



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Δαούλας Γ. Ευθύμιος**

**Βελτιστοποίηση Ανάπτυξης Ναυτιλιακού Στόλου στα  
Δωδεκάνησα**

**Επιβλέπων Καθηγητής :** κ. Ιωάννης Κολέτσος

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούνιος 2017

*Στην οικογένειά μου*



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

## Βελτιστοποίηση Ανάπτυξης Ναυτιλιακού Στόλου στα Δωδεκάνησα

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δαούλας Ευθύμιος

Επιβλέπων : κ. Ιωάννης Κολέτσος

Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την .Αθήνα, Ιούνιος 2017

.....

κ. Ιωάννης Κολέτσος

.....

κ. Βασίλης Κοκκίνης

.....

κ. Δημήτριος Β. Λυρίδης

## Περίληψη

Η εγχώρια ακτοπλοΐα , αποτελεί αρκετά σημαντικό κομμάτι της Ελληνικής Ναυτιλίας και τα τελευταία χρόνια αντιμετωπίζει αρκετά προβλήματα λόγω της αυξημένης κίνησης επιβατών -ιδίως σε νησιά Ανατολικού Αιγαίου -όσο και λόγω παλαιότητας των πλοίων τα οποία λόγω συχνών εργασιών συντήρησης μένουν ανενεργά.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται η εφαρμογή του δικτύου Hub & Spoke στο εσωτερικό των Δωδεκανήσων. Από αυτά επιλέγονται προς μελέτη τα δεκατρία μεγαλύτερα πληθυσμιακά νησιά και θεωρείται μια κεντρικά διευθυνόμενη ναυτιλιακή εταιρεία η οποία διαθέτει ένα στόλο δεκαέξι πλοίων .-δώδεκα από τα ήδη ενεργά πλοία αυτή τη στιγμή στην συγκεκριμένη περιοχή και τέσσερα καινούρια .-Παρέχονται λοιπόν τρία σενάρια στον υπεύθυνο λήψης αποφάσεων για την πολιτική που θα ακολουθήσει η εικονική ναυτιλιακή εταιρεία. Το βασικό που αφορά την ελαχιστοποίηση του κόστους λόγω κακής εξυπηρέτησης το οποίο συγκρίνεται με δύο ακραία σενάρια : την ελαχιστοποίηση του αριθμού των ατόμων που δεν εξυπηρετήθηκαν και την μεγιστοποίηση του κέρδους .Στα παρεχόμενα σενάρια συμπεριλαμβάνονται το ισοζύγιο της επιχείρησης για κάθε hub-λιμάνι αλλά και για το σύνολο του δικτύου , το εβδομαδιαίο πρόγραμμα που πρέπει να ακολουθήσει κάθε πλοίο καθώς και τα καινούρια δρομολόγια-συνδέσεις που προσφέρει το μοντέλο που παρουσιάζεται σε σχέση με την τωρινή κατάσταση. Οι συνδέσεις αυτές σε περίπτωση πραγματικής εφαρμογής ενός τέτοιου μοντέλου μπορούν να αποτελέσουν έναυσμα για περιφερειακή ανάπτυξη σε αρκετά νησιά του Αιγαίου που στερούνται υποδομές.

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία μπορεί να αποτελέσει βάση για ένα μεγαλύτερο και ρεαλιστικό έργο εξυπηρέτησης ολόκληρου του Αιγαίου ή γενικότερα οποιουδήποτε κλειστού συμπλέγματος νησιών. Στην περίπτωση αυτή ωστόσο, είναι απαραίτητη η προσθήκη αρκετών ακόμα μεταβλητών που μετατρέπουν το πρόβλημα σε μη γραμμικό, για την επίλυση του οποίου απαιτείται η ύπαρξη ισχυρών λογισμικών, κάτι το οποίο ξεφεύγει από το πεδίο μελέτης αυτής της εργασίας .

## Abstract

Domestic Coasting is a fairly important part of the Greek Shipping Industry. In recent years, the former one has encountered several problems due to the increased passenger traffic - especially in the eastern islands of the Aegean Sea – as well as the currently active, obsolete technology ships which due to frequent maintenance work remain inactive.

This diploma thesis, deals with the implementation of the Hub & Spoke network within the Dodecanese. Of these, the 13 greatest in population islands were selected for study and a centrally managed shipping company which held a fleet of sixteen ships - twelve of the currently active in the area, vessels and four new ones – was considered. Thus, three scenarios are provided to the virtual company's Policy Decision Manager. The basic one refers to minimizing bad service costs compared to two extreme scenarios: minimizing the number of people who have not been served and maximization of the profit. The scenarios provided include the business balance for each hub-port as well as for the entire network, the weekly schedule to be followed by each ship and the new routes offered by the model presented in relation to the current situation ones. These new links-connections, in case of real implementation of such a model, can trigger regional development in several islands of the Aegean Sea currently lacking infrastructure.

This diploma thesis can provide a basis for a larger and realistic service model for the whole of the Aegean or, more generally, for any closed island network. In this case, however, it is necessary to add several other variables that convert the problem into a non-linear one, which requires strong software to solve, something that exceeds the scope of this case-study.

## Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία ολοκληρώνει την φοίτησή μου στη Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και σηματοδοτεί τυπικά το πέρας μιας σημαντικής και γόνιμης διαδρομής κατά την οποία η παρουσία ορισμένων προσώπων υπήρξε καθοριστική.

Ως εκ τούτου αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω αρχικά τον κ.Ιωάννη Κολέτσο, επίκουρο καθηγητή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και βασικό επιβλέποντα της διπλωματικής, για την αμέριστη συμπαράσταση και την καθοδήγηση που μου παρείχε κατά την εκπόνηση της διπλωματικής αλλά και σε όλη συνολικά τη διάρκεια των σπουδών μου. Τίποτα ωστόσο δεν θα είχε πραγματοποιηθεί χωρίς τη συμβολή του κ. Δημήτριου Β. Λυρίδη, αναπληρωτή καθηγητή της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου , τον οποίο ευχαριστώ για τις ανεκτίμητες κατευθύνσεις του ως προς την προσέγγιση του θέματος της έρευνάς μου, το υλικό και τις υποδείξεις που συνέστησε γύρω από τα ζητήματα που αφορούσαν στην εργασία μου.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επίκουρο καθηγητή κ.Βασίλειο Κοκκίνη, για τη συμμετοχή του στην επιτροπή αξιολόγησης της παρούσας διπλωματικής.

Ιδιαίτερα οφείλω να ευχαριστήσω την κα Χάρις Ντακόλια, διδακτορική φοιτήτρια της Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών καθώς και τον μεταδιδακτορικό κ. Σταυρόνικο Παναγόπουλο οι οποίοι βοήθησαν ιδιαίτερα στο στάδιο της μαθηματικής μοντελοποίησης.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την στήριξη που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια αυτής της εργασίας αλλά και γενικότερα σε όλη τη διάρκεια της ακαδημαϊκής μου πορείας.



## Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη.....	4
Abstract .....	5
Ευχαριστίες .....	6
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	10
1.1 Ιστορική αναδρομή της Επιχειρησιακής Έρευνας .....	10
1.2. Η Θεμελίωση της Μαθηματικής Μοντελοποίησης.....	14
1.3. Η Θεωρία πίσω από την Επιχειρησιακή Έρευνα .....	15
1.4 Ιστορία της Κοινότητας της Επιχειρησιακής Έρευνας .....	17
1.5. Η Επιχειρησιακή Έρευνα σήμερα.....	19
2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	21
Εισαγωγή.....	21
2.1 Τι ακριβώς είναι η επιχειρησιακή έρευνα ;.....	22
2.1.1. Προσανατολισμός:.....	24
2.1.2 Ορισμός Προβλήματος .....	25
2.1.3. Συλλογή Δεδομένων: .....	26
2.1.4.Μοντελοποίηση: .....	27
2.1.5. Επίλυση .....	34
2.1.6.Επικύρωση και ανάλυση:.....	37
2.1.7. Εφαρμογή και παρακολούθηση: .....	38
2.2. Η επιχειρησιακή έρευνα στον πραγματικό κόσμο .....	38
3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ - ΤΡΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	44
Εισαγωγή.....	44
Πλεονεκτήματα του Hub & Spoke δικτύου.....	48
Μειονεκτήματα του Hub & Spoke δικτύου .....	49
3.3.Η τωρινή πραγματικότητα .....	51
4. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ & ΕΠΙΛΥΣΗ.....	58
4.1. Υποθέσεις.....	59
4.2. Σύνολα.....	59
4.3. Δεδομένα.....	60
4.4. Μεταβλητές απόφασης .....	60
4.5. Αντικειμενική Συνάρτηση .....	60
4.6 Υπό τους περιορισμούς .....	61



4.2. Προγραμματισμός – Η περίπτωση των Δωδεκανήσων.....	63
<i>Για το υπέρ-Hub της Κω.....</i>	67
<i>Για το Hub της Ρόδου.....</i>	67
<i>Για το Hub της Τήλου.....</i>	68
<i>Για το Hub της Λέρου.....</i>	68
4.3 Επίλυση Προβλήματος.....	69
Πρώτη Περίπτωση.....	71
Δεύτερη Περίπτωση (ελαχιστοποίηση αριθμού ταξιδιωτών που δεν θα εξυπηρετηθούν).....	84
Τρίτη Περίπτωση (Μεγιστοποίηση κέρδους).....	86
4.4 Συμπεράσματα.....	88
5. Η εφαρμογή του Hub & Spoke και τα προβλήματα στην Ελλάδα.....	93
5.1 Μελλοντικές Σκέψεις.....	95
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	96

---

# 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

## 1.1 Ιστορική αναδρομή της Επιχειρησιακής Έρευνας

Κατά τη διάρκεια της ιστορίας, είναι σύνηθες να παρατηρείται συνεργασία μεταξύ επιστημόνων και στρατιωτικών με το στόχο να πάρουν τις κατάλληλες αποφάσεις στη μάχη. Πράγματι, υποστηρίζεται από ερευνητές ότι η Επιχειρησιακή Έρευνα ξεκίνησε κατά τη διάρκεια του Δεύτερου Καρχηδονικού Πολέμου με την ανάλυση και πρόταση του Αρχιμήδη για την πολιορκία των Συρακουσών από τους Ρωμαίους. Στις εφευρέσεις του υπάγονται ο καταπέλτης και ένα σύστημα με καθρέφτες το οποίο έβαζε φωτιά στα εχθρικά πλοία μέσω της εστίασης ακτινών ηλίου .[1]

Ο Leonardo Da-Vinci συμμετείχε το 1503, ως μηχανικός στον πόλεμο ενάντια στην Πίζα καθώς κατείχε τεχνικές για την επίτευξη βομβαρδισμών, για την κατασκευή πλοίων, θωρακισμένων οχημάτων, κανονιών, καταπελών και άλλων πολεμικών μηχανημάτων.[2]

Μια ακόμα χρήση της Επιχειρησιακής Έρευνας, έγινε από τον F.W. Lanchester που κατασκεύασε μια μαθηματική μελέτη η οποία αφορούσε τη βαλλιστική ικανότητα των αντιπάλων και δημιούργησε από ένα σύστημα διαφορικών εξισώσεων, τον "Νόμο", ο οποίος μπορούσε να αποφασίσει το αποτέλεσμα μίας μάχης πολέμου .[3]

Ο Thomas Edison (1847-1931), χρησιμοποίησε την Επιχειρησιακή Έρευνα συνεισφέροντας στον ανθυποβρυχιακό πόλεμο, με τις καινοτόμες ιδέες του όπως για παράδειγμα τις ασπίδες για πλοία έναντι στις τορπίλες.[4]

Από μαθηματικής άποψης, μεταξύ του 17<sup>ου</sup> και 18<sup>ου</sup> αιώνα, οι Newton, Leibnitz, Bernoulli και Lagrange, δούλεψαν στην εύρεση του μεγίστου και ελαχίστου συγκεκριμένων συναρτήσεων. Ο μαθηματικός Jean Baptiste Joseph Fourier σκιαγράφησε τις μεθόδους του σημερινού Γραμμικού Προγραμματισμού. Στο τέλος του 18ου ο Gaspar Monge καθόρισε τις Γραφικές μεθόδους χάρη στην ανάπτυξη-δημιουργία της Περιγραφικής Γεωμετρίας.[5]

Ο Janos Von Neumann δημοσίευσε την εργασία του με τίτλο "Theory of Games" η οποία παρείχε τα βασικά Μαθηματικά για το Γραμμικό Προγραμματισμό. Σε μετέπειτα χρόνο, το 1947, διέκρινε την ομοιότητα μεταξύ του Προγραμματισμού Γραμμικών Προβλημάτων και τη Θεωρία Πινάκων την οποία εξέλιξε ο ίδιος.[5]

Το 1939, ο Ρώσος μαθηματικός Leonid Kantorovich, σε συνεργασία με τον Ολλανδό μαθηματικό T.Koormans, ανέπτυξαν τη μαθηματική θεωρία με όνομα "Linear Programming", εξαιτίας της οποίας ο πρώτος τιμήθηκε με Νόμπελ.[5]

Τα επόμενα τριάντα χρόνια, ο George Joseph Stigler παρουσίασε ένα διακεκριμένο πρόβλημα γνωστό ως το πρόβλημα της δίαιτας το οποίο προέκυψε από την ανησυχία του Αμερικάνικου Στρατού να εγγυηθεί κάποιες διατροφικές απαιτήσεις των στρατευμάτων με το μικρότερο δυνατό κόστος. Λύθηκε με την "ευρετική" Μέθοδο της οποίας η λύση διέφερε μόνο μερικά εκατοστά από την λύση που παρουσιάστηκε χρόνια αργότερα από τη Μέθοδο του Simplex.[5]

Κατά τη διάρκεια, των ετών 1941 και 1942, οι Kantorovich και Koormans μελέτησαν με ανεξάρτητους τρόπους το Πρόβλημα της Μεταφοράς για πρώτη φορά. Προς επίτευξη της λύσης τους χρησιμοποίησαν γεωμετρικές μεθόδους όπως αυτές που συσχετίζονται με το θεώρημα της κυρτότητας του Minkowski.[5]

Είναι ευρέως αποδεκτό ότι ο Charles Babbage είναι ο πατέρας της επιχειρησιακής έρευνας λόγω της ερευνάς του για τα κόστη μεταφοράς και την καταχώρηση αλληλογραφίας για το Uniform Penny Post στην Αγγλία το 1840. Ο Babbage παρουσίασε κάτι που ονόμασε ως «μηχανή διαφορών» στη Βασιλική Αστρονομική Εταιρεία, στις 14 Ιουνίου 1822, και ένα έγγραφο με τίτλο «Σημείωση για την εφαρμογή μηχανημάτων στον υπολογισμό αστρονομικών και μαθηματικών πινάκων» Η εφεύρεση αυτή μπορούσε να υπολογίσει πολυώνυμα χρησιμοποιώντας μια αριθμητική μέθοδο που ονομάζεται «μέθοδος διαφορών». Η Βασιλική Αστρονομική Εταιρεία ενέκρινε την ιδέα και η κυβέρνηση του χορήγησε £ 1500 για να την κατασκευάσει το 1823. Ο Charles Babbage μετέτρεψε ένα από τα δωμάτια στο σπίτι του σε ένα εργαστήριο και προσέλαβε τον Joseph Clement να επιβλέπει την κατασκευή του κινητήρα. Κάθε κομμάτι έπρεπε να διαμορφωθεί χειροποίητα με τη χρήση ειδικών εργαλειομηχανών, πολλές από τις οποίες ο ίδιος ο Babbage σχεδίασε. Ο ίδιος έκανε

εκτεταμένες περιοδείες σε διάφορες βιομηχανίες για να κατανοήσει καλύτερα τις διαδικασίες παραγωγής. Με βάση αυτά τα ταξίδια και την εμπειρία του με τη "μηχανή διαφορών", ο Babbage δημοσίευσε για την οικονομία των μηχανημάτων και της κατασκευής το 1832. Ήταν η πρώτη δημοσίευση για το τι θα ονομάζαμε τώρα επιχειρησιακή έρευνα .[6].

Η επιχειρησιακή έρευνα δεν αναγνωρίστηκε ωστόσο ως επιστήμη μέχρι τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, κατά τη διάρκεια της μάχης στην Αγγλία όπου η Luftwaffe, δηλαδή η Γερμανική Πολεμική Αεροπορία, υπέβαλλε τους Άγγλους σε μια σκληρή αεροπορική επιδρομή. Οι Βρετανοί, παρότι ιδιαίτερα πεπειραμένοι στη μάχη είχαν περιορισμένες δυνατότητες στον αέρα. Η Βρετανική Κυβέρνηση, ψάχνοντας έναν τρόπο να υπερασπίσει την πατρίδα της, συγκέντρωσε επιστήμονες από διάφορους τομείς και τους ανέθεσε να επιτύχουν τη βέλτιστη δυνατή χρήση των radar που είχαν στην κατοχή τους. Χάρη στην δουλειά τους, βρέθηκαν οι βέλτιστες θέσεις τοποθέτησης των κεραιών και η καλύτερη διανομή σημάτων με αποτέλεσμα τον διπλασιασμό της αποτελεσματικότητας του Συστήματος Άμυνας εξ αέρος.[5]

Για να συνειδητοποιήσει κανείς την έκταση αυτού του δόγματος εκείνη την εποχή, στην Αγγλία δημιουργήθηκε ακόμα μια ομάδα της ίδιας φύσης, στην αναζήτηση εύρεσης βέλτιστων αποτελεσμάτων. Ακριβώς όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες (ΗΠΑ), όταν μπήκαν στον πόλεμο το 1942, δημιουργώντας το SCOOT έργο (Scientific Computation of Optimal Programs), όπου δούλεψε ο George Bernard Dantzig, ο οποίος ανέπτυξε το 1947 τον αλγόριθμο Simplex.[27]

Μετά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, οι αρμόδιες αρχές για τη διαχείριση πόρων των Ηνωμένων Πολιτειών (ΗΠΑ) (ενέργεια, εξοπλισμοί, και όλα τα είδη των προμηθειών) θεώρησαν ιδιαίτερα σκόπιμη τη χρήση μοντέλων βελτιστοποίησης και ενέτειναν τη χρήση γραμμικού προγραμματισμού. Την ίδια στιγμή, το γεγονός ότι η Επιχειρησιακή Έρευνα αναπτύσσεται παράλληλα με τις τεχνικές υπολογισμού και υπολογιστών δόθηκε ιδιαίτερη ώθηση στη μείωση του χρόνου επίλυσης των προβλημάτων.

Το πρώτο αποτέλεσμα των τεχνικών αυτών δόθηκε κατά το έτος 1952, όταν ένας υπολογιστής SEAC χρησιμοποιήθηκε από το Εθνικό Γραφείο Προτύπων με σκοπό να γίνει μια προσέγγιση λύσης ενός προβλήματος. Η επιτυχία εκείνη την εποχή ήταν τόσο

ενθαρρυντική με αποτέλεσμα να χρησιμοποιηθεί αμέσως για κάθε είδους στρατιωτικά προβλήματα, όπως τον καθορισμό του βέλτιστου ύψους που πρέπει να πετάξουν τα αεροπλάνα για να εντοπίσουν τα εχθρικά υποβρύχια, νομισματική διαχείριση για τον ανεφοδιασμό με στρατιωτικό εξοπλισμό, το βάθος των χτυπημάτων ώστε η καταστροφή των αντίπαλων υποβρυχίων να προκαλέσει μεγαλύτερο αριθμό των θυμάτων κτλ. Όλα αυτά είχαν ως συνέπεια την αύξηση κατά πέντε φορές της αποτελεσματικότητας της Πολεμικής Αεροπορίας.

Κατά τη διάρκεια των δεκαετιών του 1950 και 1960, μεγαλώνει το ενδιαφέρον και την ανάπτυξη της Επιχειρησιακής Έρευνας, λόγω της εφαρμογής της στο χώρο του εμπορίου και της βιομηχανίας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το πρόβλημα του υπολογισμού του βέλτιστου σχεδίου μεταφοράς της άμμου-χώματος για την κατασκευή των έργων διαπαιδαγώγησης της πόλης της Μόσχας. Για την επίλυσή του, είχε χρησιμοποιηθεί ένας Strena υπολογιστής, ο οποίος έκανε 10 ημέρες για να λύσει το πρόβλημα, το μήνα Ιούνιο του 1958. Η λύση αυτή συνέβαλε σε μείωση του 11% των δαπανών σε σχέση με το αρχικό κόστος. Άλλες εφαρμογές αφορούσαν κυρίως προβλήματα όπως η διατροφή σε θέματα κτηνοτροφίας, η διανομή της στους τομείς της καλλιέργειας στη γεωργία, τη μεταφορά φορτηγών, τη θέση, τη διανομή του προσωπικού, καθώς και προβλήματα δικτύων, προβλήματα ουρών, γραφήματα, κλπ. Πηγαίνοντας πάλι πίσω, στις αρχές του 1941, τέτοιου είδους επιχειρησιακή έρευνα άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως στις στρατιωτικές λήψεις αποφάσεων. Έτσι στις στρατιωτικές δυνάμεις εντάσσονταν συνεχώς επιστήμονες, μηχανικοί, μαθηματικοί καθώς και αναλογιστές σε ομάδες που παρείχαν στήριξη σε υψηλόβαθμους αξιωματικούς. Στη δουλειά τους συμπεριλαμβάνονταν η συλλογή στοιχείων και η χρήση τεχνολογικών μέσων της εποχής για να αποφανθούν για το αν οι τακτικές και οι πρακτικές που ακολουθούνταν χρειαζόταν επανασχεδίαση. Μικρή ήταν ωστόσο η χρήση των μαθηματικής μοντελοποίησης η οποία αόριστα περιγραφόταν ως "επιστημονική μέθοδος".[5]

Αυτό το είδος μεθόδου, μεγάλης τελικά σημασίας, συνεισέφερε στην Πολεμική Επιχειρησιακή Έρευνα, παρακινώντας πολλούς, οι οποίοι είχαν συμμετάσχει σε αυτή, όσων αφορά τη δουλειά τους, ως κάτι το οποίο χρειάζεται όχι μόνο να διατηρηθεί αλλά και να επεκταθεί σε Εκπαιδευτικά Ιδρύματα. Είναι σύνηθες να υποθέσει κανείς ότι αυτή την περίοδο, η Επιχειρησιακή Έρευνα μετουσιώθηκε σε ένα είδος επαγγέλματος

το οποίο απορροφά και ενσωματώνει καθιερωμένες ειδικότητες όπως έρευνες χρόνου-κίνησης, λογιστική κόστους και έρευνα αγοράς. Ο Ellis A. Johnson, επικεφαλής του Στρατιωτικού Γραφείου Επιχειρησιακής Έρευνας, πρότεινε σε ένα Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας την προώθηση στον Λευκό Οίκο μιας επιτροπής επιχειρησιακής Έρευνας με σκοπό την εξυπηρέτηση των εθνικών και πολιτικών συμφερόντων[7].

Η μετέπειτα όψη της Επιχειρησιακής Έρευνας ως γενική εξέταση αλλά και ως υποστήριξη της διαδικασίας λήψης αποφάσεων επηρέασε ιδιαίτερα τη γενικότερη μορφή της. Τις δεκαετίες του 1960 και 1970 έθεσε σε κίνηση τον ενθουσιασμό για "σκεπτόμενα συστήματα" και "ελαφρά Επιχειρησιακή Έρευνα " τα οποία είναι αντικείμενα που συνεχίζουν να προσελκύουν οπαδούς.[18] Δέκα χρόνια πριν , το λανσάρισμα μίας διαφημιστικής καμπάνιας, της "Επιστήμης του Καλύτερου" αποτέλεσε τον πρόλογο της δημιουργίας της Έρευνας Επιχειρήσεων.

## 1.2. Η Θεμελίωση της Μαθηματικής Μοντελοποίησης

Στα μέσα της δεκαετίας του 1950, καθώς η επιχειρησιακή έρευνα άρχισε να παρουσιάζεται ως επάγγελμα, άρχισε επίσης να υιοθετεί μια πληθώρα μαθηματικών μεθόδων όπως ο γραμμικός προγραμματισμός, η θεωρία απογραφής και η θεωρία ουρών. Η "Υιοθέτηση" είναι ο κατάλληλος όρος εδώ, καθώς εκτός από τη θεωρία έρευνας, κανένα από τα αντικείμενα αυτά δεν προήλθε κάτω από το λάβαρο της Επιχειρησιακής Έρευνας. Σε γενικές γραμμές, οι υποστηρικτές της Επιχειρησιακής Έρευνας βασίστηκαν σε αυτές τις νέες μεθόδους, και τους έδωσαν μια θέση όπου θα μπορούσαν να ευδοκιμήσουν, όταν θα μπορούσαν να έχουν διαφορετικά ατονήσει στο περιθώριο των μαθηματικών, στατιστικών στοιχείων και της οικονομίας.

Ωστόσο, μέσα σε λίγα χρόνια, αυτές οι νέες μέθοδοι άρχισαν να κυριαρχούν στην ταυτότητα της Επιχειρησιακής Έρευνας -καθώς και η Management Science (MS) η οποία εκείνη την περίοδο παρουσιάστηκε σαν μια εναλλακτική λύση. Εκείνοι που είδαν την Επιχειρησιακή Έρευνα ως μια γενικευμένη μορφή της επιστημονικής έρευνας δυσαρεστήθηκαν με την εξέλιξη αυτή. Κατά την άποψή τους, αυτό αδικαιολόγητα περιόρισε το πεδίο εφαρμογής της μεθοδολογίας του επαγγέλματος, και συχνά οδήγησε την ακαδημαϊκή έρευνα πολύ μακριά από πρακτικά προβλήματα.

Ενώ οι υποστηρικτές της επιχειρησιακής έρευνας συχνά φαίνεται να είχαν την αίσθηση ότι στον τομέα τους έμελλε να διεισδύσει σε υψηλό επίπεδο η λήψη αποφάσεων στη βιομηχανία και την διακυβέρνηση, μείωναν την πολυπλοκότητα και την αποτελεσματικότητα των υφιστάμενων επαγγελματιών, με αποτέλεσμα τον περιορισμό τους στον κλάδο παροχής συμβουλών και παραδοσιακού management. Κατά συνέπεια, η συνεισφορά της επιχειρησιακής έρευνας στην υψηλού επιπέδου λήψη αποφάσεων, δεν αναγνωρίστηκε ιδιαίτερα. Αντιθέτως, οι νέες μαθηματικές τεχνικές που δεν είχαν ευρεία εφαρμογή, ήταν σαφώς καινοτόμες και αξιόλογες και χωρίς αυτές η επιχειρησιακή έρευνα και η M.S. δεν θα ήταν σε θέση να διατηρήσουν τη ζωτικότητα τους.

### 1.3. Η Θεωρία πίσω από την Επιχειρησιακή Έρευνα

Παραδόξως, όσο καλά και αν τελικά η επιχειρησιακή έρευνα αγκάλιασε τη θεωρία, οι πηγές της εν λόγω θεωρίας δεν αναλύονται συχνά. Οι βέλτιστες λύσεις σε καλά διαμορφωμένα προβλήματα μηχανικής και management, βέβαια, εξυμνήθηκαν ιδιαίτερος. Επίσης, οι μέθοδοι αυτές ήταν εξίσου σημαντικές, διότι εγκαινίασαν μια πάρα πολύ παραγωγική περίοδο προβληματισμού σχετικά με το τι ακριβώς συνιστά «βέλτιστη» λύση, και τι σήμαινε για ένα πρόβλημα να είναι "καλά διατυπωμένο".

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η "Ανάλυση Πολέμου", η οποία προέρχεται από τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Ξεκίνησε από τις στρατιωτικές ομάδες επιχειρησιακής έρευνας και αργότερα επεκτάθηκε σε ανάλυση συστημάτων άμυνας. Η "Ανάλυση Πολέμου" ασχολήθηκε κυρίως με τις επιλογές των μηχανικών μεταξύ των διαφόρων σχεδίων εξοπλισμού και τις διαμορφώσεις εξοπλισμών όπως προαναφέρθηκε προηγουμένως. Παραδοσιακά, οι αποφάσεις αυτές έγιναν με βάση μια αόριστη αίσθηση του πόσο διαφορετικά χαρακτηριστικά σχεδιασμού - όπως το διαμέτρημα, την ταχύτητα ρίψης, την ακρίβεια και το βάρος των όπλων που εγκαθίστανται σε αεροπλάνα - θα πρέπει να ενσωματωθούν σε αποτελεσματικά σχέδια. Η Ανάλυση Πολέμου τοποθέτησε αυτούς τους παράγοντες σε μοντέλα πιθανότητας, με βάση τα αναμενόμενα αποτελέσματα τους, σε διάφορα σενάρια μάχης. Αυτό επέτρεψε τέτοιες αποφάσεις να πρέπει να αξιολογούνται, συγκρίνονται και συζητούνται σε πιο συγκεκριμένους όρους.

Ένα παρόμοιο παράδειγμα αποτελεί η "Διαδοχική Ανάλυση". Η Διαδοχική Ανάλυση αρχικά αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, στην περίπτωση αυτή ως απάντηση στις πρακτικές των επιθεωρητών ελέγχου ποιότητας. Οι επιθεωρητές είχαν τη διαίσθηση ότι θα μπορούσαν να σταματήσουν από νωρίς ένα τεστ με ένα σταθερό μέγεθος δείγματος όταν ήταν προφανές αν η παρτίδα πρόκειται να περάσει ή να αποτύχει. Αυτή η βασική διαίσθηση επέτρεψε στον στατιστικό Abraham Wald να αναπτύξει αυστηρά τεστ χωρίς σταθερό μέγεθος δείγματος λαμβάνοντας επίσημη πληροφόρηση που έχει αποκτηθεί κατά τη διάρκεια της διαδικασίας του τεστ.[19]

Το κρίσιμο κοινό μεταξύ Ανάλυσης Πολέμου, Διαδοχικής Ανάλυσης και μιας σειράς σχετικών φορέων της θεωρίας ήταν ότι βασίστηκαν στην ιδέα ότι υπήρχαν ορισμένες σκέψεις, που παρότι σιωπηρές, θα μπορούσαν να δημοσιευτούν επίσημα και να ενσωματωθούν σε ένα θεωρητικό μοντέλο. Μεταπολεμικοί θεωρητικοί εκμεταλλεύτηκαν το γεγονός αυτό, και χρησιμοποίησαν τη διαδικασία μοντελοποίησης για να διερευνήσουν συστηματικές ανεπάρκειες στα μοντέλα. Σκέψεις εγγενείς σε μια απόφαση, αλλά εξωγενείς σε ένα ήδη υπάρχον μοντέλο της εν λόγω απόφασης, θα μπορούσαν πάντα να ενσωματώνονται στις νέες επαναλήψεις του μοντέλου. Ακόμα και όταν τα εν λόγω μοντέλα απέκτησαν ακαδημαϊκό χαρακτήρα, εξακολούθησαν να αποτελούν πνευματικά ελκυστικές ανακρίσεις στη δομή της λήψης αποφάσεων, οι οποίες θα μπορούσαν ενδεχομένως να κατευθύνονται πίσω σε εξειδικευμένες εφαρμογές.[10]

Λίγοι μοντελιστές, όπως ο οικονομολόγος Kenneth Arrow, φαίνεται να είχαν μια ιδιαίτερα διαισθητική κατανόηση αυτής της εξουσίας στο πλαίσιο της θεωρίας αποφάσεων, μεταξύ της μαθηματικής στατιστικής, των οικονομικών και των νέων πεδίων της επιχειρησιακής έρευνας. Έτσι, σε μια σύσκεψη στο RAND Corporation, το καλοκαίρι του 1948 με τον David Blackwell και τον Abraham Girshick, συνέβαλε σε μία από τις πρώτες επεξεργασίες για τη διαδοχική ανάλυση. Κατά τη διάρκεια αυτής της επίσκεψης, ο Arrow ξεκίνησε συζητήσεις σχετικά με το πώς να καθορίσει την αξία των στρατιωτικών τεχνολογιών από την ευρεία άποψη του εθνικού συμφέροντος. Αυτό, με τη σειρά του, τον οδήγησε να διατυπώσει το "Θεώρημα Αδυναμίας", το οποίο αποτέλεσε ένα θεμέλιο λίθο για τεράστιες νέες γραμμές έρευνας στις πολιτικές επιστήμες [11]. Ομοίως, το ίδιο καλοκαίρι, ο Blackwell παρουσίασε στο έργο RAND την ανάλυση συστημάτων, τα οποία τον οδήγησαν στο να μελετήσει θεωρητικά



μοντέλα μονομαχιών, κάτι που τον έφερε ένα βήμα πιο κοντά στο να αποτελέσει αυθεντία για τις Μπαγεσιανές (Bayesian) στατιστικές [9].

#### 1.4 Ιστορία της Κοινότητας της Επιχειρησιακής Έρευνας

Τον Απρίλιο του 1948, η λέσχη Επιχειρησιακής Έρευνας ιδρύθηκε στο Λονδίνο ως η πρώτη ένωση Επιχειρησιακής Έρευνας στον κόσμο. Πέντε χρόνια αργότερα, το OR Club αποτέλεσε την κοινότητα της Επιχειρησιακής Έρευνας. Ο όρος Επιχειρησιακή Έρευνα φαίνεται να επινοήθηκε για πρώτη φορά το 1938, ως περιγραφικός όρος για τη χρήση των επιστημόνων για την αξιολόγηση, στρατιωτικές καταστάσεις και την εγκατάσταση συσκευών σε αυτές. Ένα παράδειγμα ήταν η χρήση των επιστημόνων στη διαδικασία της αξιολόγησης των ραντάρ ως βοήθημα για αεράμυνα μέχρι και τα χρόνια του πολέμου που αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα. Κατά τη διάρκεια του πολέμου τμήματα επιχειρησιακής έρευνας στήθηκαν σε διάφορα τμήματα των βρετανικών ενόπλων δυνάμεων. Αυτό ακολουθήθηκε από τη θέσπιση παρόμοιων τμημάτων στις υπηρεσίες των ΗΠΑ και της Ευρώπης. Μετά την ανάδειξη της αξίας της σε όλη τη διάρκεια του πολέμου, οι υποστηρικτές της Επιχειρησιακής Έρευνας προσπάθησαν να εξασφαλίσουν το μέλλον της σε καιρό ειρήνης. Ακολούθησε μια περίοδος από το 1945 μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του εβδομήντα (που περιγράφεται ως «χρυσή εποχή» της Επιχειρησιακής Έρευνας) όταν η χρήση των νέων μεθοδολογιών επεκτάθηκε γρήγορα σε εθνικοποιημένες βιομηχανίες, αστικές κυβερνήσεις και τον επιχειρηματικό τομέα.[13]

Αν και η Επιχειρησιακή Έρευνα είχε ήδη γεννηθεί το 1938, πέρασαν άλλα 10 χρόνια ώσπου αυτή να εδραιωθεί! Αυτό ήρθε περίπου όταν, το φθινόπωρο του 1947, μια ομάδα διακεκριμένων κυρίων συναντήθηκαν για ένα ανεπίσημο δείπνο στο Athenaeum Club στο Λονδίνο. Σε αυτό το δείπνο, πάρθηκε μια βαρυσήμαντη απόφαση να σχηματιστεί μια Λέσχη Επιχειρησιακής Έρευνας. Στο δείπνο αυτό συμμετείχαν, διάφορες εξέχουσες προσωπικότητες όπως ο Sir Charles Goodeve, ο Καθηγητής P.M.S. Βρετανός φυσικός Baron Blackett (αργότερα Λόρδος Βρετανός, φυσικός Baron Blackett), ο Dr G.Gordon και ο Sir Charles Tizard. Η Λέσχη Επιχειρησιακής Έρευνας, το πρώτο σώμα στον κόσμο που έχει συσταθεί για την θέσπιση-στήριξη του επαγγέλματος της Επιχειρησιακής Έρευνας, εγκαινιάστηκε τον Απρίλιο του 1948, με

μια αρχική συμμετοχή πενήντα μελών. Η θέση της ηγετικής-προεδρικής καρέκλας άνηκε στον Sir Charles Goodeve , με τον κ I.A. Jukes να είναι ο πρώτος γραμματέας.[7]

Έχει συχνά ειπωθεί ότι η λέξη «Λέσχη- Κλαμπ» ήταν σκόπιμη επιλογή, μόνο για περιορισμένο χρονικό διάστημα, λόγω της χροιάς της αποκλειστικότητας. Είχε ως στόχο ότι κατά την περιορισμένη διάρκεια ζωής της Λέσχης θα επιτευχθεί αποσαφήνιση του τι εννοείται με τον όρο "Επιχειρησιακή Έρευνα". Ωστόσο, σε ανακοίνωση της Εταιρείας Επιχειρησιακής Έρευνας από τον Sir Charles Goodeve την ημερομηνία 16η Αυγ 1976, ο Sir Charles εξέφρασε μια ελαφρώς διαφορετική οπτική γωνία:.. "Όπως γνωρίζετε έπρεπε να το ονομάσουμε club πρώτα απ' όλα για να ξεπεράσουμε κάποιες ορισμένες νομικές δυσκολίες. Νομίζαμε ότι αυτές οι δυσκολίες θα έπρεπε να επιλυθούν σε ένα-δύο χρόνια, αλλά η διαδικασία πήρε πέντε ή έξι χρόνια όμως ο χρόνος δεν ήταν χαμένος, καταφέραμε την έκδοση του Τριμηνιαίου-Quarterly.(το O.R. Quarterly, το πρώτο στον κόσμο περιοδικό E.E, το οποίο αργότερα έγινε JORS -. Ed) και τα αιτήματά μας ικανοποιήθηκαν τελικά ». [7]

Οι κύριες δραστηριότητες του Ομίλου ήταν διατήρηση διεξαγωγής των επιστημονικών συναντήσεων και, από το 1950, η παραγωγή του τριμηνιαίου περιοδικού. Το περιοδικό χρηματοδοτήθηκε κατά τρόπο που θεωρήθηκε ασυνήθιστο για την εποχή, δηλαδή τα έσοδα που προβάλλονται από μια σειρά διαλέξεων που διοργανώνονταν από το University College του Λονδίνου. Οι διαλέξεις αυτές δημιούργησαν ένα σημαντικό κέρδος, καθώς είχαν εξαιρετική ζήτηση συμμετοχής, και λόγω του ότι οι ομιλητές παρείχαν τις υπηρεσίες τους αφιλοκερδώς( χαρίζοντας τις αμοιβές τους στο Club). Το πλεόνασμα τέθηκε στη διάθεση του Club για να χρηματοδοτήσει το επίσημο τριμηνιαίο περιοδικό.

Ο Τόμος 1, No 1 του τριμηνιαίου περιοδικού Επιχειρησιακής Έρευνας δημοσιεύθηκε το Μάρτιο του 1950 - οι πρώτοι συντάκτες ήταν οι Max Davies και Roger T. Eddison. Στις συντακτικές σημειώσεις της πρώτης έκδοσης, το σκεπτικό πίσω από το τριμηνιαίο-περιοδικό- ορίζεται σαφώς. «Ο κύριος σκοπός του ORQ είναι να συγκεντρωθούν σε ένα μέρος όσο το δυνατόν περισσότερα από τις πληροφορίες που οι εργαζόμενοι πάνω στην επιχειρησιακή έρευνα αδυνατούν να βρουν καθώς είναι διάσπαρτα σε μεγάλο βαθμό σε πολύ μεγάλο σώμα της επιστημονικής και τεχνικής βιβλιογραφίας. Η μέθοδος πρέπει να παράσχει μια τριμηνιαία συλλογή περιλήψεων

των σχετικών εγγράφων και αντικειμένων, που λαμβάνονται από το πλάτος ενός πεδίου όσο αυτό είναι δυνατόν. » Το πρώτο άρθρο, που εμφανίστηκε στο ORQ ήταν «Επιχειρησιακή Έρευνα» από τον καθηγητή P.M.S. Βρετανό φυσικό Baron Blackett. Η τριμηνιαία αυτή έκδοση συνεχίστηκε μέχρι το 1978, οπότε και μετονομάστηκε σε Εφημερίδα της Εταιρείας Επιχειρησιακών Ερευνών με δώδεκα ετήσια τεύχη.

Τρία χρόνια μετά την πρώτη έκδοση του ORQ, η λέσχη απέκτησε το σεβασμό της κοινωνίας. Κατά την περίοδο μέχρι όμως αυτό να γίνει, υπήρξε σημαντική κοινωνική διαφοροποίηση στον τρόπο δημιουργίας ενός συλλόγου. Πράγματι, φαίνεται να υπήρχε μια συναίνεση ότι η Επιχειρησιακή Έρευνα θα πρέπει να συνδεθεί με κάτι σαν τη Βασιλική Στατιστική Εταιρεία. Ευτυχώς, η διαμορφωτική περίοδος πέντε ετών είχε αποτέλεσμα - από τη στιγμή που σχηματίστηκε η κοινότητα, το μεγαλύτερο μέρος της αντιπολίτευσης είχε μετατραπεί σε ενθουσιώδη υποστήριξη.[7]

Μετά από αυτό το μετασχηματισμό στην κοινότητα της Επιχειρησιακής Έρευνας, η πλήρης ένταξη της στην κοινωνία θα μπορούσε να επιτευχθεί μόνο με εκείνους τους ανθρώπους που κατείχαν προσόντα υψηλού επιπέδου. Πρώτος πρόεδρος της ήταν ο Sir Owen Wansbrough-Jones, και ο πρώτος γραμματέας εκείνη την εποχή ήταν ο Pat Rivett.

Από το 1955 το ενδιαφέρον στην Επιχειρησιακή Έρευνα είχε εξαπλωθεί στις περισσότερες δυτικές χώρες. Το επίπεδο των μελών αυξήθηκε σταθερά, τα αρχικά πενήντα άτομα μετατράπηκαν σε ένα σύνολο περίπου 1250 μελών το 1964, εκ των οποίων περίπου το 40% είχαν τα ανάλογα με το αντικείμενο προσόντα. Ο αριθμός των μελών του Σωματείου έφτασε περίπου τις 3.000 στις αρχές της δεκαετίας του εβδομήντα και είναι σήμερα περίπου 2.500.[7]

## 1.5. Η Επιχειρησιακή Έρευνα σήμερα

Πενήντα χρόνια μετά, η Εταιρεία της Επιχειρησιακής Έρευνας συνεχίζει να είναι πρωτοποριακή και ηγετική στον τομέα της. Σήμερα η Εταιρεία αριθμεί περίπου 2.500 μέλη σε 53 χώρες που λαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών και παροχών. Το εκπαιδευτικό πρόγραμμα της Εταιρείας είναι το πιο ολοκληρωμένο πρόγραμμα κατάρτισης στην Επιχειρησιακή Έρευνα που προσφέρεται οπουδήποτε στον κόσμο. Το ετήσιο συνέδριο της είναι το μεγαλύτερο εθνικό συνέδριο εκτός των ΗΠΑ, και η σειρά

Συνεδρίων Νέων, που εγκαινιάστηκε το 1980, είναι το κορυφαίο συνέδριο του κόσμου για τους νέους εργαζόμενους σε θέματα συσχετιζόμενα με την Επιχειρησιακή Έρευνα.

Η Εταιρία Επιχειρησιακής Έρευνας επίσης εκδίδει το κορυφαίο στο είδος του μηνιαίο περιοδικό, που μεταφέρει ειδήσεις, παρουσιάζει διάφορες μεθόδους Ε.Ε, σχετικές προσωπικότητες και εκδηλώσεις, συζητήσεις και ένα ολοκληρωμένο τμήμα ανακοινώσεων που παρέχουν πληροφορίες σχετικά με το τι συμβαίνει στον κόσμο της επιχειρησιακής έρευνας. Η Εφημερίδα της Εταιρείας Επιχειρησιακών Ερευνών είναι διεθνώς σεβαστή. Η Εταιρία εκδίδει επίσης το Insight, το οποίο δημοσιεύει ποικίλο υλικό σε θέματα επιχειρησιακής έρευνας, προσφέροντας ενδιαφέρουσες αναγνώσεις για επαγγελματίες και εξαιρετικό υλικό για δασκάλους.[ 7]

## 2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

### Εισαγωγή

Αν και είναι ξεχωριστός κλάδος, η επιχειρησιακή έρευνα ή Operations Research (O.R.) έχει επίσης γίνει αναπόσπαστο τμήμα του επαγγέλματος της Βιομηχανικής Μηχανικής. Αυτό δεν προκαλεί έκπληξη όταν κάποιος κατανοήσει ότι και οι δύο μοιράζονται πολλούς από τους ίδιους στόχους, τεχνικές και τομείς εφαρμογής. Η επιχειρησιακή έρευνα ως μια επίσημη έννοια είναι περίπου πενήντα ετών και η προέλευσή της μπορεί να εντοπιστεί στο δεύτερο μισό του Β' Παγκοσμίου Πολέμου όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα. Οι περισσότερες από τις τεχνικές της επιχειρησιακής έρευνας που χρησιμοποιούνται σήμερα αναπτύχθηκαν κατά τα (περίπου) πρώτα είκοσι χρόνια μετά την έναρξή της. Κατά τα επόμενα τριάντα περίπου χρόνια ο ρυθμός ανάπτυξης ριζικά νέων μεθοδολογιών επιχειρησιακής έρευνας επιβραδύνθηκε ελαφρώς. Ωστόσο, υπήρξε μια ταχεία επέκταση στο εύρος των περιοχών-κλάδων προβλημάτων στις οποίες η επιχειρησιακή έρευνα έχει εφαρμοστεί, και στα μεγέθη των προβλημάτων που μπορούν να αντιμετωπιστούν χρησιμοποιώντας μεθοδολογίες αυτής. Σήμερα, η έρευνα των επιχειρήσεων είναι ένας καλά ανεπτυγμένος τομέας με μια εξελιγμένη σειρά τεχνικών που χρησιμοποιούνται συνήθως για την επίλυση προβλημάτων σε ένα ευρύ φάσμα τομέων εφαρμογής. Αυτή η ενότητα παρέχει μια επισκόπηση της επιχειρησιακής έρευνας από την πλευρά ενός Μηχανικού. Εμπεριέχει επίσης μια λεπτομερή συζήτηση της βασικής φιλοσοφίας πίσω από την επιχειρησιακή έρευνα και την αποκαλούμενη "προσέγγιση O.R.". Σε γενικές γραμμές, ένα έργο επιχειρησιακής έρευνας περιλαμβάνει τρία βήματα: (1) την οικοδόμηση ενός μοντέλου, (2) την επίλυσή του και (3) την εφαρμογή των αποτελεσμάτων. Η έμφαση αυτού του κεφαλαίου βρίσκεται στο πρώτο και το τρίτο βήμα. Το δεύτερο βήμα περιλαμβάνει συνήθως συγκεκριμένες μεθοδολογίες ή τεχνικές, οι οποίες θα μπορούσαν να είναι αρκετά εξελιγμένες και απαιτούν σημαντική μαθηματική ανάπτυξη. Ο αναγνώστης που ενδιαφέρεται να μάθει περισσότερα για αυτά τα θέματα αναφέρεται σε ένα από τα πολλά εξαιρετικά κείμενα για την επιχειρησιακή έρευνα (Hillier and Lieberman (1995), Taha (1997) ή Winston (1994)).[18,26,28]

## 2.1 Τι ακριβώς είναι η επιχειρησιακή έρευνα ;

Μια κοινή, εσφαλμένη αντίληψη που κατέχουν πολλοί είναι ότι η επιχειρησιακή έρευνα είναι μια συλλογή μαθηματικών εργαλείων. Ενώ είναι αλήθεια ότι χρησιμοποιεί μια ποικιλία μαθηματικών τεχνικών, η έρευνα των επιχειρήσεων έχει πολύ ευρύτερο πεδίο. Είναι στην πραγματικότητα μια συστηματική προσέγγιση για την επίλυση προβλημάτων, η οποία χρησιμοποιεί ένα ή περισσότερα αναλυτικά εργαλεία στη διαδικασία ανάλυσης. Ίσως το μεγαλύτερο πρόβλημα με την επιχειρησιακή έρευνα είναι το όνομά της. Σε έναν μη ειδικό άνθρωπο, ο όρος "επιχειρησιακή έρευνα" δεν δημιουργεί κάποιο ιδιαίτερα ευκολονόητο νόημα! Αυτή είναι μια ατυχής συνέπεια του γεγονότος ότι το όνομα που ο Α.Π. Ρόου με κάποιο τρόπο δεν άλλαξε ποτέ, σε κάτι που είναι πιο ενδεικτικό των πραγμάτων με τα οποία η επιχειρησιακή έρευνα ασχολείται στην πραγματικότητα. Μερικές φορές η επιχειρησιακή έρευνα αναφέρεται ως Management Science (M.S.) για να αντικατοπτρίζει καλύτερα τον ρόλο της ως επιστημονική προσέγγιση για την επίλυση προβλημάτων διαχείρισης, αλλά φαίνεται ότι αυτή η ορολογία είναι πιο δημοφιλής σε επαγγελματίες και οι άνθρωποι εξακολουθούν να αμφισβητούν τις διαφορές μεταξύ O.R. και M.S. Ακόμη, είναι γεγονός ότι δεν υπάρχει σαφής συναίνεση επί τυπικού ορισμού για επιχειρησιακή έρευνα, για παράδειγμα, ο C. W. Churchman ο οποίος θεωρείται ένας από τους πρωτοπόρους της επιχειρησιακής έρευνας, την καθόρισε ως εφαρμογή επιστημονικών μεθόδων, τεχνικών και εργαλείων σε προβλήματα που αφορούν τη λειτουργία ενός συστήματος έτσι ώστε να παρέχονται σε εκείνους που ελέγχουν το σύστημα τις βέλτιστες λύσεις στα προβλήματα. Αυτός είναι πράγματι ένας μάλλον περιεκτικός ορισμός, αλλά υπάρχουν πολλοί άλλοι που τείνουν να μεταβούν στο άλλο άκρο και να καθορίσουν την επιχειρησιακή έρευνα ως αυτό που κάνουν οι αντίστοιχοι ερευνητές - της επιχειρησιακής έρευνας - (ένας ορισμός που φαίνεται να αποδίδεται πιο συχνά στον E. Ναντόρ)! Ανεξάρτητα από τις ακριβείς λέξεις που χρησιμοποιούνται, είναι μάλλον ασφαλές να πούμε ότι η « επιχειρησιακή έρευνα» είναι εδώ για να παραμείνει και είναι επομένως σημαντικό να καταλάβει κανείς ότι κατ' ουσία η επιχειρησιακή έρευνα μπορεί απλώς να θεωρηθεί ως μια συστηματική και αναλυτική προσέγγιση στη λήψη αποφάσεων και την επίλυση προβλημάτων. Το κλειδί εδώ, είναι ότι η επιχειρησιακή έρευνα χρησιμοποιεί μια αντικειμενική και σαφή αρθρωτή μεθοδολογία και βασίζεται στη φιλοσοφία ότι μια τέτοια προσέγγιση είναι ανώτερη από αυτή που στηρίζεται

αποκλειστικά στην υποκειμενικότητα και τη γνώμη των "εμπειρογνομόνων", καθώς θα οδηγήσει σε καλύτερες και συνεπέστερες αποφάσεις. Ωστόσο, η επιχειρησιακή έρευνα δεν αποκλείει τη χρήση ανθρώπινης κρίσης ή μη ποσοτικοποιήσιμου συλλογισμού. Αντιθέτως, οι τελευταίες θεωρούνται συμπληρωματικές της αναλυτικής προσέγγισης. Επομένως, θα πρέπει να δούμε την επιχειρησιακή έρευνα όχι ως απόλυτη διαδικασία λήψης αποφάσεων, αλλά ως βοήθεια για την λήψη καλών αποφάσεων. Η επιχειρησιακή έρευνα διαδραματίζει συμβουλευτικό ρόλο, παρέχοντας σε έναν διευθυντή ή έναν υπεύθυνο λήψης αποφάσεων μια σειρά από υγιείς, επιστημονικά παραγόμενες εναλλακτικές λύσεις, κάτι το οποίο είναι ακριβώς το ζητούμενο στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία. Ωστόσο, η τελική απόφαση παραμένει πάντοτε στον άνθρωπο που έχει γνώσεις που δεν μπορούν να ποσοτικοποιηθούν με ακρίβεια και ο οποίος μπορεί να μετριάσει τα αποτελέσματα της ανάλυσης για να καταλήξει σε μια λογική απόφαση.[17,26]

Δεδομένου ότι η επιχειρησιακή έρευνα αποτελεί ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για τη λήψη αποφάσεων, είναι σημαντικό να έχουμε μια σαφή κατανόηση αυτού του πλαισίου, ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα γενικό πρόβλημα. Για να επιτευχθεί αυτό, η λεγόμενη προσέγγιση παρουσιάζεται λεπτομερώς. Η προσέγγιση αυτή περιλαμβάνει τα ακόλουθα επτά διαδοχικά βήματα:

**(1) Προσανατολισμός (Orientation),**

**(2) Ορισμός Προβλήματος (Problem Definition),**

**(3) Συλλογή Δεδομένων (Data Collection),**

**(4) Σύνθεση Μοντέλου (Model Formulation),**

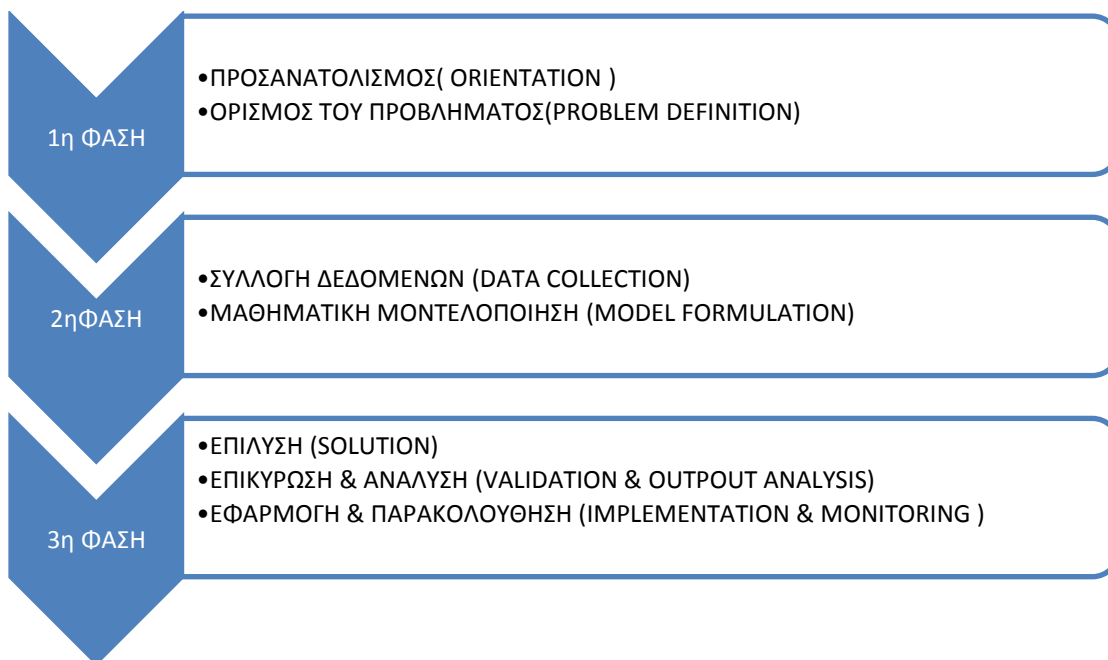
**(5) Επίλυση (Solution),**

**(8) Ανάλυση Επικύρωσης και Αποτελεσμάτων ( Validation&Output Analysis)**

**(7) Εφαρμογή και παρακολούθηση (Implementation&Monitoring)**

Η δέσμευση καθενός από αυτά τα βήματα μαζί είναι ένας μηχανισμός συνεχούς ανατροφοδότησης. Το σχήμα 1 απεικονίζει όλα τα παραπάνω .

ΣΧΗΜΑ 1



### 2.1.1. Προσανατολισμός:

Το πρώτο βήμα προσέγγισης με χρήση της επιχειρησιακής έρευνας είναι ο προσανατολισμός του προβλήματος. Ο πρωταρχικός στόχος αυτού του βήματος είναι η δημιουργία της ομάδας που θα αντιμετωπίσει το πρόβλημα και θα εξασφαλίσει ότι όλα τα μέλη της θα έχουν μια σαφή εικόνα των σχετικών θεμάτων. Αξίζει να σημειωθεί ότι ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό οποιασδήποτε μελέτης πραγματοποιείται με επιχειρησιακή έρευνα είναι ότι γίνεται από μια πολύ-λειτουργική ομάδα. Είναι επίσης ενδιαφέρον ,το γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια έχουν γραφτεί πολλά για τα οφέλη των ομαδικών έργων και ότι σχεδόν οποιοδήποτε βιομηχανικό έργο σήμερα διεξάγεται από πολύ-λειτουργικές ομάδες. Ακόμα και στην εκπαίδευση μηχανικών, η ομαδική εργασία έχει γίνει ένα βασικό συστατικό του υλικού που διδάσκεται στους μαθητές και σχεδόν όλα τα ακαδημαϊκά προγράμματα μηχανικής απαιτούν ομαδικά σχέδια-έργα από τους μαθητών τους. Η ομαδική προσέγγιση της επιχειρησιακής έρευνας είναι επομένως ένα πολύ φυσικό και επιθυμητό φαινόμενο. Συνήθως, η ομάδα θα έχει έναν ηγέτη και θα αποτελείται από μέλη, από διάφορους λειτουργικούς τομείς ή τμήματα, που θα επηρεαστούν ή θα επηρεάσουν το συγκεκριμένο πρόβλημα. Στη φάση προσανατολισμού, η ομάδα συνήθως συναντάται αρκετές φορές για να συζητήσει όλα τα θέματα που εμπλέκονται και για να φτάσει σε μια εστίαση στα κρίσιμα σημεία. Αυτή η φάση περιλαμβάνει επίσης τη μελέτη των εγγράφων και της βιβλιογραφίας που



σχετίζονται με το πρόβλημα, προκειμένου να προσδιοριστεί αν άλλοι αντιμετώπισαν το ίδιο (ή παρόμοιο) πρόβλημα στο παρελθόν και αν ναι, να προσδιορίσουν και να αξιολογήσουν τι έγινε για την αντιμετώπιση του προβλήματος. Αυτό είναι ένα σημείο που συχνά τείνει να αγνοηθεί, αλλά για να φτάσει κανείς σε μια έγκαιρη λύση, είναι σημαντικό να μην αγνοήσει παλαιότερες μελέτες αλλά να ξεκινήσει την προσέγγιση του από τις βάσεις που προηγούμενες προσεγγίσεις έχουν θεσπίσει. Σε πολλές μελέτες Επιχειρησιακής Έρευνας, προσαρμόζει κανείς πραγματικά μια διαδικασία λύσης που έχει ήδη δοκιμαστεί αρκετά, σε αντίθεση με την ανάπτυξη μιας εντελώς νέας. Στόχος της φάσης προσανατολισμού είναι να αποκτηθεί μια σαφής κατανόηση του προβλήματος και της σχέσης του με διάφορες επιχειρησιακές πτυχές του συστήματος και να επιτευχθεί συναίνεση ως προς το τι πρέπει να είναι το κύριο μέλημα του έργου. Επιπλέον, η ομάδα θα πρέπει επίσης να έχει μια εκτίμηση για το τι (αν όχι) έχει γίνει αλλού για να λύσει το ίδιο (ή παρόμοιο) πρόβλημα.

### 2.1.2 Ορισμός Προβλήματος:

Πρόκειται για το δεύτερο, και σε σημαντικό αριθμό περιπτώσεων, το πιο δύσκολο βήμα της διαδικασίας της χρήσης της επιχειρησιακής έρευνας. Ο στόχος εδώ είναι να βελτιωθούν περαιτέρω οι συζητήσεις από τη φάση προσανατολισμού έως το σημείο όπου υπάρχει σαφής ορισμός του προβλήματος όσον αφορά το πεδίο εφαρμογής και τα επιθυμητά αποτελέσματα. Αυτή η φάση δεν πρέπει να συγχέεται με την προηγούμενη δεδομένου ότι είναι πιο εστιασμένη και προσανατολισμένη στο στόχο. Ωστόσο, ένας σαφής προσανατολισμός βοηθάει σε πολύ μεγάλο βαθμό στην επίτευξη αυτής της εστίασης. Οι περισσότεροι εξειδικευμένοι βιομηχανικοί μηχανικοί μπορούν να συσχετιστούν με αυτή τη διάκριση και τη δυσκολία να περάσουν από γενικούς στόχους όπως η «αύξηση της παραγωγικότητας» ή «η μείωση των προβλημάτων ποιότητας» σε πιο συγκεκριμένους και σαφώς καθορισμένους στόχους που θα βοηθήσουν στην επίτευξη των αρχικών- στόχων.

Ένας σαφής ορισμός του προβλήματος έχει τρεις μεγάλες συνιστώσες. Η πρώτη είναι η δήλωση ενός σαφούς στόχου. Μαζί με την περιγραφή του αντικειμένου, είναι επίσης σημαντικό να καθοριστεί το πεδίο εφαρμογής του, δηλαδή να καθοριστούν όρια για την ανάλυση που θα ακολουθήσει. Ενώ είναι πάντα επιθυμητή μια ολοκληρωμένη λύση σε όλα τα επίπεδα του συστήματος, αυτό συχνά μπορεί να είναι μη ρεαλιστικό

όταν το σύστημα είναι πολύ μεγάλο ή πολύπλοκο και σε πολλές περιπτώσεις πρέπει να επικεντρωθεί σε ένα τμήμα του συστήματος που μπορεί να απομονωθεί και να αναλυθεί αποτελεσματικά. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι σημαντικό το πεδίο των λύσεων που θα προκύψουν να είναι επίσης οριοθετημένο.[17]

Η δεύτερη συνιστώσα του ορισμού του προβλήματος είναι μια προδιαγραφή των παραγόντων που θα επηρεάσουν τον στόχο. Αυτά πρέπει να ταξινομηθούν περαιτέρω, σε εναλλακτικές μεθόδους δράσης, υπό τον έλεγχο του υπεύθυνου λήψης αποφάσεων και ανεξέλεγκτων παραγόντων για τους οποίους δεν έχει κανέναν έλεγχο. Για παράδειγμα, σε ένα περιβάλλον παραγωγής, τα προβλεπόμενα ποσοστά παραγωγής μπορούν να ελεγχθούν, αλλά η πραγματική ζήτηση στην αγορά μπορεί να είναι απρόβλεπτη (αν και μπορεί να είναι δυνατή η επιστημονική πρόβλεψη αυτών με λογική ακρίβεια). Η ιδέα εδώ, είναι να σχηματιστεί ένας περιεκτικός κατάλογος όλων των εναλλακτικών ενεργειών που μπορούν να ληφθούν από τον υπεύθυνο λήψης αποφάσεων κάτι που με τη σειρά του θα επηρεάσει στη συνέχεια τον επιδιωκόμενο στόχο. Τελικά, η προσέγγιση επιχειρησιακής έρευνας θα αναζητήσει τη συγκεκριμένη πορεία δράσης που βελτιστοποιεί τον στόχο. Η τρίτη και η τελική συνιστώσα του ορισμού του προβλήματος είναι μια περιγραφή των περιορισμών στις γραμμές δράσης, δηλαδή ο καθορισμός ορίων για τις συγκεκριμένες ενέργειες που μπορεί να πάρει ο υπεύθυνος λήψης αποφάσεων. Αυτή είναι μια δραστηριότητα όπου η πολύ-λειτουργική ομάδα εστίασης της επιχειρησιακής έρευνας είναι εξαιρετικά χρήσιμη, καθώς οι περιορισμοί που δημιουργούνται από μία λειτουργική περιοχή συχνά δεν είναι προφανείς στους ανθρώπους μη σχετικούς με το πρόβλημα και τις πραγματευόμενες έννοιες. Γενικά, προτείνεται να ξεκινήσει κανείς με έναν μακρύ κατάλογο όλων των πιθανών περιορισμών και στη συνέχεια, να τον περιορίσει σε εκείνους που έχουν σαφώς επιπτώσεις στα πεδία δράσης που μπορούν να επιλεγθούν. Ο στόχος, πρέπει να είναι εκτενής-κατανοητός, αλλά και οι ερευνητές να είναι φειδωλοί όταν καθορίζουν περιορισμούς.[17, 26]

### 2.1.3. Συλλογή Δεδομένων:

Στην τρίτη φάση της προσέγγισης με επιχειρησιακή έρευνα, τα δεδομένα διεργασίας συλλέγονται με στόχο τη μετάφραση του προβλήματος που ορίζεται στη δεύτερη φάση σε ένα μοντέλο το οποίο στη συνέχεια μπορεί να αναλυθεί αντικειμενικά. Τα δεδομένα

προέρχονται συνήθως από δύο πηγές - παρατηρήσεις και πρότυπα. Το πρώτο αντιστοιχεί στην περίπτωση όπου τα δεδομένα συλλέγονται πραγματικά με την παρατήρηση του συστήματος σε λειτουργία και τυπικά, τα δεδομένα αυτά τείνουν να προέρχονται από την τεχνολογία του συστήματος. Άλλα δεδομένα λαμβάνονται με τη χρήση προτύπων. Πολλές πληροφορίες σχετικά με το κόστος τείνουν να εμπίπτουν σε αυτήν την κατηγορία. Για παράδειγμα, οι περισσότερες εταιρείες έχουν σταθερές τιμές για στοιχεία κόστους, όπως ωριαία μισθολογικά ποσοστά, τέλη εκμετάλλευσης αποθεμάτων, τιμές πώλησης κ.λπ. Αυτά τα πρότυπα πρέπει στη συνέχεια να ενοποιηθούν κατάλληλα για τον υπολογισμό του κόστους των διαφόρων δραστηριοτήτων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα δεδομένα ενδέχεται επίσης να ζητούνται ρητά για το πρόβλημα που υπάρχει μέσω της χρήσης ερευνών, ερωτηματολογίων ή άλλων ψυχομετρικών μέσων. Μία από τις κύριες κινητήριες δυνάμεις πίσω από την ανάπτυξη της επιχειρησιακής έρευνας υπήρξε η ταχεία ανάπτυξη στην τεχνολογία των υπολογιστών, η ταυτόχρονη ανάπτυξη πληροφοριακών συστημάτων και η αυτοματοποιημένη αποθήκευση και ανάκτηση δεδομένων. Αυτό ήταν ένα μεγάλο όφελος, στο ότι οι αναλυτές έχουν πλέον εύκολη πρόσβαση σε δεδομένα που ήταν πολύ δύσκολο να ληφθούν. Ταυτόχρονα όμως, αυτό έχει καταστήσει τα πράγματα δύσκολα, επειδή πολλές εταιρείες βρίσκονται σε καταστάσεις πλούσιες σε δεδομένα αλλά φτωχές σε πληροφορίες. Με άλλα λόγια, παρόλο που τα δεδομένα είναι όλα παρόντα "κάπου" και σε "κάποια μορφή", η εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών από αυτές τις πηγές είναι συχνά πολύ δύσκολη. Αυτός είναι ένας από τους λόγους για τους οποίους οι ειδικοί των συστημάτων πληροφορικής είναι πολύτιμοι για τις ομάδες που συμμετέχουν σε οποιοδήποτε έργο επιχειρησιακής έρευνας. Η συλλογή δεδομένων μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στο προηγούμενο στάδιο του ορισμού του προβλήματος καθώς και στο επόμενο βήμα της διαμόρφωσης του μοντέλου.[28]

#### 2.1.4. Μοντελοποίηση:

Αυτή είναι η τέταρτη φάση της διαδικασίας-εργασίας της επιχειρησιακής έρευνας. Είναι επίσης μια φάση που αξίζει πολλή προσοχή, αφού η μοντελοποίηση αποτελεί καθοριστικό χαρακτηριστικό όλων των ερευνητικών έργων. Ο όρος "μοντέλο" παρερμηνεύεται από πολλούς και για αυτό εξηγείται λεπτομερώς εδώ. Ένα μοντέλο μπορεί να οριστεί επισήμως ως επιλεκτική αφαίρεση της πραγματικότητας. Αυτός ο

ορισμός υποδηλώνει ότι η μοντελοποίηση είναι η διαδικασία σύλληψης επιλεγμένων χαρακτηριστικών ενός συστήματος ή μιας διαδικασίας και στη συνέχεια η σύνθεσή τους σε μια αφηρημένη αναπαράσταση του πρωτοτύπου. Η βασική ιδέα εδώ είναι ότι είναι συνήθως πολύ πιο εύκολο να αναλυθεί ένα απλοποιημένο μοντέλο από το να αναλυθεί το αρχικό σύστημα και όσο το μοντέλο είναι μια λογικά ακριβής αναπαράσταση, τα συμπεράσματα που προκύπτουν από μια τέτοια ανάλυση μπορούν να παραληφθούν έγκυρα στο αρχικό σύστημα.

Δεν υπάρχει κανένας μοναδικά "σωστός" τρόπος για να οικοδομηθεί ένα μοντέλο και όπως συχνά σημειώνεται, η οικοδόμηση μοντέλων είναι περισσότερο μια τέχνη παρά μια επιστήμη. Το βασικό σημείο που πρέπει να λαμβάνει κανείς υπόψη του είναι ότι συχνότερα υπάρχει φυσικό αντιστάθμισμα μεταξύ της ακρίβειας ενός μοντέλου και της δυνατότητας του. Στο ένα άκρο, μπορεί να είναι δυνατό να δημιουργηθεί ένα πολύ λεπτομερές και ακριβές μοντέλο του συστήματος.. Αυτό έχει το προφανώς επιθυμητό χαρακτηριστικό να είναι μια εξαιρετικά ρεαλιστική αναπαράσταση του αρχικού συστήματος. Ενώ η ίδια η διαδικασία κατασκευής ενός τέτοιου λεπτομερούς μοντέλου μπορεί συχνά να βοηθήσει στην καλύτερη κατανόηση του συστήματος, το μοντέλο μπορεί να είναι άχρηστο από μια αναλυτική προοπτική δεδομένου ότι η κατασκευή του μπορεί να είναι εξαιρετικά χρονοβόρα και η πολυπλοκότητά του να αποκλείει οποιαδήποτε ουσιαστική ανάλυση. Στο άλλο άκρο, θα μπορούσε κανείς να οικοδομήσει ένα λιγότερο ολοκληρωμένο μοντέλο με πολλές απλουστευτικές υποθέσεις ώστε να μπορεί να αναλυθεί εύκολα. Ωστόσο, σε αυτή την περίπτωση ο κίνδυνος είναι το μοντέλο να είναι τόσο ανακριβές ώστε η αναγωγή των αποτελεσμάτων για την επίλυση του αρχικού συστήματος να οδηγήσει σε σοβαρά λάθη. Σαφώς, πρέπει να σχεδιαστεί-οριστεί μια «γραμμή» κάπου στη μέση όπου το μοντέλο να αποτελεί μια αναπαράσταση του αρχικού συστήματος με αρκετά μεγάλη ακρίβεια . Γνωρίζοντας πού να σχεδιαστεί μια τέτοια «γραμμή» είναι ακριβώς αυτό που καθορίζει ένα καλό μοντέλο, και αυτό είναι κάτι που μπορεί να έρθει μόνο με την εμπειρία. Στον επίσημο ορισμό ενός μοντέλου που δόθηκε παραπάνω, η λέξη-κλειδί είναι "επιλεκτική". Έχοντας έναν σαφή ορισμό του προβλήματος, κάποιος μπορεί να προσδιορίσει καλύτερα τις κρίσιμες πτυχές ενός συστήματος που πρέπει να επιλεγεί για αναπαράσταση από το μοντέλο και η τελική πρόθεση είναι να καταλήξουμε σε ένα μοντέλο που θα συμπεριλάβει όλα τα βασικά στοιχεία του συστήματος που θα αναλυθεί.

Τα μοντέλα μπορούν να ταξινομηθούν ευρέως σε τέσσερις κατηγορίες:

**i) Φυσικά μοντέλα:**

Αυτές είναι πραγματικές, κλιμακωτές εκδόσεις του πρωτοτύπου. Παραδείγματα περιλαμβάνουν μια σφαίρα, ένα αυτοκίνητο κλίμακας μοντέλου ή ένα μοντέλο μιας γραμμής-ροής που γίνεται με στοιχεία από ένα σύνολο κατασκευής παιχνιδιών. Γενικά, τέτοια μοντέλα δεν είναι πολύ συνηθισμένα στην έρευνα των λειτουργιών, κυρίως επειδή είναι αδύνατη η ακριβής αναπαραγωγή σύνθετων συστημάτων μέσω φυσικών μοντέλων.

**ii) Αναλογικά μοντέλα:**

Αυτά είναι μοντέλα που είναι ένα βήμα παρακάτω από την πρώτη κατηγορία στο ότι είναι φυσικά μοντέλα, αλλά χρησιμοποιούν ένα φυσικό αναλογικό παράδειγμα για να περιγράψουν το σύστημα, σε αντίθεση με μια ακριβή υπό κλίμακα έκδοση. Ίσως το πιο διάσημο παράδειγμα ενός αναλογικού μοντέλου ήταν το μοντέλο ANTIAC (το ακρωνύμιο αντίθετο με τον αυτοματοποιημένο υπολογισμό), το οποίο απέδειξε ότι κάποιος θα μπορούσε να διεξάγει μια έγκυρη ανάλυση ερευνητικών λειτουργιών χωρίς να καταφύγει στη χρήση ενός υπολογιστή. Σε αυτό το πρόβλημα ο στόχος ήταν να βρεθεί ο καλύτερος τρόπος διανομής των προμηθειών σε μια στρατιωτική αποθήκη σε διάφορα σημεία ζήτησης. Ένα τέτοιο πρόβλημα μπορεί να επιλυθεί αποτελεσματικά χρησιμοποιώντας τεχνικές ανάλυσης ροής δικτύου. Ωστόσο, η πραγματική διαδικασία που χρησιμοποιήθηκε έλαβε διαφορετική προσέγγιση. Μια μυρμηγκοφωλιά σε μια ανυψωμένη πλατφόρμα επιλέχθηκε ως ανάλογο για την αποθήκη και μικρά "αναχώματα"-ποσότητες ζάχαρης στις δικές τους πλατφόρμες επιλέχθηκαν για να αντιπροσωπεύουν κάθε σημείο ζήτησης. Το δίκτυο των οδών που συνδέουν τους διάφορους κόμβους, κατασκευάστηκε χρησιμοποιώντας κομμάτια συμβολοσειράς με το μήκος καθενός να είναι ανάλογο με την πραγματική απόσταση και το πλάτος με την χωρητικότητα κατά μήκος αυτής της ζεύξης. Έπειτα απελευθερώθηκε σμήνος μυρμηγκιών και στη συνέχεια παρατηρήθηκαν τα μονοπάτια που επέλεξαν να φτάσουν στις σορούς της ζάχαρης. Αφού το μοντέλο έφτασε σε σταθερή κατάσταση, διαπιστώθηκε ότι τα μυρμηγκία λόγω των δικών τους τάσεων είχαν βρει τα πιο αποτελεσματικά μονοπάτια προς τον προορισμό τους! Θα μπορούσε ακόμη να

διεξαχθεί και κάποια επιπλέον ανάλυση μετά τη βελτιστοποίηση. Για παράδειγμα, οι διάφορες μεταφορικές ικανότητες κατά μήκος κάθε συνδέσμου θα μπορούσαν να αναλυθούν αναλογικά, ανάλογα με το πλάτος του συνδέσμου και ένα σενάριο όπου ορισμένοι δρόμοι ήταν άχρηστοι, απλά αφαιρώντας τους αντίστοιχους συνδέσμους για να δουν τι θα έκαναν τότε τα μυρμήγκια. Το παραπάνω παράδειγμα απεικονίζει ένα αναλογικό μοντέλο. Το πιο σημαντικό που πρέπει να τονιστεί είναι ότι ενώ η επιχειρησιακή έρευνα χρησιμοποιεί συνήθως την μαθηματική ανάλυση, η χρήση ενός καινοτόμου μοντέλου και μιας διαδικασίας επίλυσης προβλημάτων, όπως αυτή που μόλις περιεγράφηκε, είναι ένας απόλυτα νόμιμος τρόπος διεξαγωγής μιας μελέτης επιχειρησιακής έρευνας.

### **iii) Μοντέλα προσομοίωσης υπολογιστών:**

Με την αύξηση της υπολογιστικής ισχύος αυτά τα μοντέλα έχουν γίνει εξαιρετικά δημοφιλή τα τελευταία δέκα έως δεκαπέντε χρόνια. Ένα μοντέλο προσομοίωσης είναι εκείνο στο οποίο το σύστημα αντλείται από ένα πρόγραμμα υπολογιστή. Ενώ η συγκεκριμένη γλώσσα του υπολογιστή που χρησιμοποιείται δεν είναι ένα καθοριστικό χαρακτηριστικό, έχουν αναπτυχθεί πολλές γλώσσες και συστήματα λογισμικού αποκλειστικά για την κατασκευή μοντέλων προσομοίωσης υπολογιστών. Μια έρευνα των πιο δημοφιλών συστημάτων μπορεί να βρεθεί στο OR / MS Today (Οκτώβριος 1997, σελ. 38-46). Συνήθως, ένα τέτοιο λογισμικό έχει σύνταξη καθώς και ενσωματωμένες δομές που επιτρέπουν την εύκολη ανάπτυξη του μοντέλου. Πολύ συχνά τέτοιου τύπου λογισμικά έχουν επίσης διατάξεις για γραφικά και κινούμενα σχέδια που μπορούν να βοηθήσουν κάποιον να απεικονίσει το σύστημα που προσομοιώνεται. Τα μοντέλα προσομοίωσης αναλύονται με την εκτέλεση του λογισμικού για ένα χρονικό διάστημα που αντιπροσωπεύει μια κατάλληλη περίοδο όταν το αρχικό σύστημα λειτουργεί σε σταθερή κατάσταση. Οι εισροές σε αυτά τα μοντέλα είναι οι μεταβλητές απόφασης που βρίσκονται υπό τον έλεγχο του υπεύθυνου λήψης αποφάσεων. Αυτά αντιμετωπίζονται ως παράμετροι και η προσομοίωση εκτελείται για διάφορους συνδυασμούς τιμών για αυτές τις παραμέτρους. Στο τέλος μιας διαδρομής συγκεντρώνονται στατιστικά στοιχεία για διάφορα μέτρα απόδοσης και αυτά στη συνέχεια αναλύονται χρησιμοποιώντας τυπικές τεχνικές. Ο υπεύθυνος για τη λήψη αποφάσεων επιλέγει έπειτα τον συνδυασμό τιμών για τις μεταβλητές απόφασης που αποδίδει την πιο επιθυμητή απόδοση.

Τα μοντέλα προσομοίωσης είναι εξαιρετικά ισχυρά και έχουν ένα ιδιαίτερα επιθυμητό χαρακτηριστικό: μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μοντελοποιήσουν πολύπλοκα συστήματα χωρίς να χρειάζεται να κάνουν πάρα πολλές απλουστευτικές υποθέσεις και χωρίς να χρειάζεται να θυσιάσουν λεπτομέρειες. Από την άλλη πλευρά, θα πρέπει να είναι κανείς πολύ προσεκτικός με τα μοντέλα προσομοίωσης επειδή είναι εύκολο να καταστραφεί η προσομοίωση. Πρώτον, πριν χρησιμοποιηθεί το μοντέλο πρέπει να επικυρωθεί σωστά. Ενώ η επικύρωση είναι απαραίτητη με οποιοδήποτε μοντέλο, είναι ιδιαίτερα σημαντική στην προσομοίωση. Δεύτερον, ο αναλυτής πρέπει να είναι εξοικειωμένος με το πώς να χρησιμοποιήσει σωστά ένα μοντέλο προσομοίωσης, συμπεριλαμβανομένων πράξεων όπως η αναπαραγωγή, το μήκος εκτέλεσης, κλπ. Τρίτον, ο αναλυτής πρέπει να είναι εξοικειωμένος με διάφορες στατιστικές τεχνικές προκειμένου να αναλύσει την έξοδο προσομοίωσης με τρόπο ουσιαστικό. Τέταρτον, η κατασκευή ενός πολύπλοκου μοντέλου προσομοίωσης σε έναν υπολογιστή μπορεί συχνά να είναι μια δύσκολη και σχετικά χρονοβόρα εργασία, παρόλο που το λογισμικό προσομοίωσης έχει αναπτυχθεί αρκετά. Ο λόγος που τα παραπάνω θέματα υπογραμμίζονται εδώ είναι ότι ένα σύγχρονο μοντέλο προσομοίωσης μπορεί να είναι πολύ ελκυστικό, αλλά η πραγματική του αξία έγκειται στην ικανότητά του να κατανοεί τα πολύ περίπλοκα προβλήματα. Ωστόσο, προκειμένου να αποκτηθούν τέτοιες γνώσεις, απαιτείται ένα σημαντικό επίπεδο τεχνικών δεξιοτήτων.

Ένα τελευταίο σημείο που πρέπει να λαμβάνει κανείς υπόψη του με την προσομοίωση είναι ότι δεν παρέχει καμία ένδειξη για τη βέλτιστη στρατηγική. Από μια άποψη, πρόκειται για μια διαδικασία δοκιμών και επαλήθευσης (trial&error) δεδομένου ότι πειράματα με διάφορες στρατηγικές φαίνεται να έχουν νόημα και εξετάζει τα αντικειμενικά αποτελέσματα που παρέχει το μοντέλο προσομοίωσης για να αξιολογήσει τα πλεονεκτήματα κάθε στρατηγικής. Εάν ο αριθμός των μεταβλητών απόφασης είναι πολύ μεγάλος, τότε κάποιος πρέπει απαραίτητα να περιοριστεί σε κάποιο υποσύνολο αυτών για να προχωρήσει η ανάλυση και είναι πιθανό η τελική στρατηγική που επιλέχθηκε να μην είναι η βέλτιστη. Ωστόσο, από την οπτική γωνία του ασκούμενου, ο στόχος συχνά είναι να βρεθεί μια καλή στρατηγική και όχι απαραίτητα η καλύτερη και τα μοντέλα προσομοίωσης είναι πολύ χρήσιμα για να παρέχουν στον υπεύθυνο λήψης αποφάσεων καλές λύσεις.

#### iv) **Μαθηματικά μοντέλα:**

Αυτή είναι η τελική κατηγορία των μοντέλων, και αυτή που παραδοσιακά αναγνωρίστηκε συνήθως ως επιχειρησιακή έρευνα. Σε αυτόν τον τύπο μοντέλου καταγράφονται τα χαρακτηριστικά ενός συστήματος ή μιας διαδικασίας μέσω ενός συνόλου μαθηματικών σχέσεων. Τα μαθηματικά μοντέλα μπορεί να είναι ντετερμινιστικά ή πιθανοτικά. Στον προηγούμενο τύπο-μοντέλου-, όλες οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή του μοντέλου θεωρούνται ότι είναι γνωστές (ή εκτιμώνται με υψηλό βαθμό βεβαιότητας). Με πιθανοτικά μοντέλα, οι ακριβείς τιμές για μερικές από τις παραμέτρους μπορεί να είναι άγνωστες, αλλά υποτίθεται ότι είναι ικανές να χαρακτηριστούν με κάποιο συστηματικό τρόπο (π.χ. με τη χρήση κατανομής πιθανοτήτων). Για παράδειγμα, η μέθοδος κρίσιμης διαδρομής (CPM) και η τεχνική αξιολόγησης και ανασκόπησης προγράμματος (PERT= Program Evaluation and Review Technique) είναι δύο πολύ παρόμοιες τεχνικές επιχειρησιακής έρευνας που χρησιμοποιούνται στον τομέα του σχεδιασμού των έργων. Ωστόσο, η CPM βασίζεται σε ένα ντετερμινιστικό μαθηματικό μοντέλο που υποθέτει ότι η διάρκεια κάθε δραστηριότητας του έργου είναι μια γνωστή σταθερά, ενώ η PERT βασίζεται σε ένα πιθανοτικό μοντέλο που υποθέτει ότι κάθε διάρκεια δραστηριότητας είναι τυχαία αλλά ακολουθεί κάποια συγκεκριμένη κατανομή πιθανότητας(συνήθως την κατανομή Βήτα(Beta)). Σε γενικές γραμμές, τα ντετερμινιστικά μοντέλα τείνουν να είναι κάπως πιο εύκολα να αναλυθούν από τα πιθανοτικά. Ωστόσο, αυτό δεν είναι καθολικά αληθές. Τα περισσότερα μαθηματικά μοντέλα τείνουν να χαρακτηρίζονται από τρία βασικά στοιχεία: τις μεταβλητές απόφασης, τους περιορισμούς και τις αντικειμενικές λειτουργίες. Οι μεταβλητές απόφασης χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση συγκεκριμένων ενεργειών που βρίσκονται υπό τον έλεγχο του υπεύθυνου λήψης αποφάσεων. Μια ανάλυση του μοντέλου θα αναζητήσει ειδικές τιμές για αυτές τις μεταβλητές που είναι επιθυμητές από μία ή περισσότερες προοπτικές. Πολύ συχνά - ειδικά σε μεγάλα μοντέλα - είναι επίσης κοινό να οριστούν πρόσθετες μεταβλητές "ευκολίας" με σκοπό την απλούστευση του μοντέλου ή την αποσαφήνιση του. Αυτές οι μεταβλητές δεν είναι υπό τον έλεγχο του υπεύθυνου για τη λήψη αποφάσεων, αλλά αναφέρονται και ως μεταβλητές απόφασης. Οι περιορισμοί χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό ορίων στο εύρος τιμών που μπορεί να λάβει κάθε μεταβλητή απόφασης και κάθε περιορισμός είναι συνήθως μια μετάφραση κάποιου συγκεκριμένου περιορισμού (π.χ. διαθεσιμότητα κάποιου πόρου) ή απαίτησης (π.χ., ανάγκη κάλυψης της



συμβατικής ζήτησης). Σαφώς, οι περιορισμοί υπαγορεύουν τις τιμές που μπορούν να αποδοθούν στις μεταβλητές απόφασης, δηλ. τις συγκεκριμένες αποφάσεις για το σύστημα ή τη διαδικασία που μπορούν να ληφθούν. Το τρίτο και τελικό στοιχείο ενός μαθηματικού μοντέλου είναι η αντικειμενική λειτουργία. Αυτή είναι μια μαθηματική δήλωση κάποιου μέτρου απόδοσης (όπως το κόστος, το κέρδος, ο χρόνος, τα έσοδα, η αξιοποίηση κλπ.) Και εκφράζεται ως συνάρτηση των μεταβλητών απόφασης για το μοντέλο. Συνήθως είναι επιθυμητό να μεγιστοποιείται ή να ελαχιστοποιείται η αξία της αντικειμενικής λειτουργίας, ανάλογα με το τι αντιπροσωπεύει. Πολύ συχνά, μπορεί κανείς να έχει ταυτόχρονα περισσότερες από μία αντικειμενικές λειτουργίες για βελτιστοποίηση (π.χ. μεγιστοποίηση των κερδών και ελαχιστοποίηση των αλλαγών στα επίπεδα εργατικού δυναμικού, ας πούμε). Σε τέτοιες περιπτώσεις υπάρχουν δύο επιλογές. Πρώτον, θα μπορούσαμε να επικεντρωθούμε σε ένα μόνο στόχο και να υποβιβάσουμε τα υπόλοιπα σε μια δευτερεύουσα κατάσταση, μεταφέροντάς τα σε ένα σύνολο περιορισμών και καθορίζοντας κάποια ελάχιστη ή μέγιστη επιθυμητή αξία για αυτά. Αυτό τείνει να είναι η απλούστερη επιλογή και αυτή που συνήθως υιοθετείται. Η άλλη επιλογή είναι να χρησιμοποιηθεί μια τεχνική σχεδιασμένη ειδικά για πολλαπλούς στόχους (όπως προγραμματισμός στόχων).

Χρησιμοποιώντας ένα μαθηματικό μοντέλο, η ιδέα είναι να καταγραφούν αρχικά όλες οι κρίσιμες πτυχές του συστήματος χρησιμοποιώντας τα τρία στοιχεία που περιεγράφηκαν και στη συνέχεια να βελτιστοποιήσουμε την αντικειμενική λειτουργία επιλέγοντας (μεταξύ όλων των τιμών για τις μεταβλητές απόφασης που δεν παραβιάζουν κανένα από τους καθορισμένους περιορισμούς) τις συγκεκριμένες τιμές που δίνουν επίσης την πιο επιθυμητή (μέγιστη ή ελάχιστη) τιμή για την αντικειμενική λειτουργία. Αυτή η διαδικασία καλείται συχνά μαθηματικός προγραμματισμός. Παρόλο που πολλά μαθηματικά μοντέλα τείνουν να ακολουθούν αυτή τη μορφή, σίγουρα κάτι τέτοιο δεν αποτελεί απαίτηση. Για παράδειγμα, ένα μοντέλο μπορεί να κατασκευαστεί για να ορίσει απλά σχέσεις μεταξύ διαφόρων μεταβλητών και ο υπεύθυνος για τη λήψη αποφάσεων μπορεί να τις χρησιμοποιήσει για να μελετήσει τον τρόπο με τον οποίο επηρεάζονται μία ή περισσότερες μεταβλητές από μεταβολές στις αξίες των άλλων. Τα δέντρα αποφάσεων, οι αλυσίδες Markov και πολλά μοντέλα αναμονής θα μπορούσαν να εμπίπτουν σε αυτήν την κατηγορία.[17]

### 2.1.5. Επίλυση

Η πέμπτη φάση της διαδικασίας της επιχειρησιακής έρευνας είναι η λύση του προβλήματος που αντιπροσωπεύει το μοντέλο. Αυτός είναι ο τομέας στον οποίο πραγματοποιήθηκε τεράστια έρευνα και ανάπτυξη στην επιχειρησιακή έρευνα. Έχει επικεντρωθεί και υπάρχει πληθώρα μεθόδων για την ανάλυση ενός μεγάλου φάσματος μοντέλων.

Σε γενικές γραμμές, κάποια επίσημη κατάρτιση στην έρευνα των επιχειρήσεων είναι απαραίτητη προκειμένου να εκτιμηθεί πόσες από αυτές τις μεθόδους εργασίας ο ενδιαφερόμενος αναγνώστης καλείται να εξετάσει. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι τα τελευταία χρόνια έχουν προκύψει διάφορα συστήματα λογισμικού που (τουλάχιστον θεωρητικά) είναι "μαύρα κουτιά" για την επίλυση διαφόρων μοντέλων. Ωστόσο, κάποια επίσημη εκπαίδευση στις μεθόδους της επιχειρησιακής έρευνας εξακολουθεί να απαιτείται (ή τουλάχιστον συνιστάται έντονα) πριν από τη χρήση τέτοιων συστημάτων. Από την άποψη-πλευρά του ασκούμενου, το πιο σημαντικό είναι να είναι σε θέση να αναγνωρίσει ποιες από τις πολλές διαθέσιμες τεχνικές είναι κατάλληλες για το μοντέλο που κατασκευάστηκε. Συνήθως, αυτό δεν είναι δύσκολο έργο για κάποιον με κάποια στοιχειώδη εκπαίδευση στην επιχειρησιακή έρευνα. Οι τεχνικές αυτές εμπίπτουν σε διάφορες κατηγορίες.[17]

Στο αρχικό επίπεδο μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει απλές γραφικές τεχνικές ή ακόμα και δοκιμές και σφάλματα. Ωστόσο, παρά το γεγονός ότι η ανάπτυξη υπολογιστικών φύλλων καθιστά το παραπάνω πολύ πιο εύκολο να γίνει, είναι συνήθως μια μη εφικτή προσέγγιση για τα περισσότερα όχι και τόσο μεγάλης σημασίας προβλήματα. Οι περισσότερες τεχνικές επιχειρησιακής έρευνας έχουν αναλυτικό χαρακτήρα και εμπίπτουν σε μία από τις τέσσερις ευρείες κατηγορίες. Πρώτον, υπάρχουν τεχνικές προσομοίωσης, οι οποίες προφανώς χρησιμοποιούνται για την ανάλυση μοντέλων προσομοίωσης. Ένα σημαντικό μέρος αυτών είναι τα πραγματικά προγράμματα υπολογιστών που τρέχουν το μοντέλο και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για να το κάνουν σωστά. Ωστόσο, το πιο ενδιαφέρον και προκλητικό μέρος περιλαμβάνει τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των μεγάλων όγκων των αποτελεσμάτων των προγραμμάτων. Συνήθως, αυτά περιλαμβάνουν μια σειρά στατιστικών τεχνικών. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τεχνικές μαθηματικής ανάλυσης που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση ενός μοντέλου που δεν έχει απαραίτητα μια σαφή αντικειμενική λειτουργία ή περιορισμούς, αλλά είναι παρόλα

αυτά μια μαθηματική αναπαράσταση του εν λόγω συστήματος. Παραδείγματα περιλαμβάνουν κοινές στατιστικές τεχνικές όπως ανάλυση παλινδρόμησης, στατιστική συμπερασματολογία και ανάλυση της διακύμανσης, καθώς και άλλες όπως ουρές, αλυσίδες Markov και ανάλυση αποφάσεων. Η τρίτη κατηγορία αποτελείται από τις βέλτιστες τεχνικές αναζήτησης, οι οποίες συνήθως χρησιμοποιούνται για την επίλυση των μαθηματικών προγραμμάτων που περιεγράφηκαν στην προηγούμενη ενότητα, προκειμένου να βρεθούν οι βέλτιστες (δηλαδή καλύτερες) τιμές για τις μεταβλητές απόφασης. Οι συγκεκριμένες τεχνικές περιλαμβάνουν γραμμικό, μη γραμμικό, δυναμικό, ακέραιο, και στοχαστικό προγραμματισμό, καθώς και διάφορες μεθόδους που βασίζονται στο δίκτυο.. Η τελευταία κατηγορία τεχνικών αναφέρεται συχνά ως ευρετικές (heuristics). Το χαρακτηριστικό γνώρισμα μιας ευρετικής τεχνικής είναι ότι δεν εγγυάται ότι θα βρεθεί η καλύτερη λύση, αλλά ταυτόχρονα δεν είναι τόσο πολύπλοκη όσο μια βέλτιστη τεχνική αναζήτησης. Παρόλο που οι ευρετικές μέθοδοι μπορεί να είναι απλές διαδικασίες με τη μορφή ενός κανόνα είναι συνήθως μέθοδοι που εκμεταλλεύονται συγκεκριμένα χαρακτηριστικά προβλημάτων για να αποκτήσουν καλά αποτελέσματα. Μια σχετικά πρόσφατη εξέλιξη στον τομέα αυτό είναι τα λεγόμενα μετα-ευρετικά (όπως γενετικοί αλγόριθμοι και εξελικτικός προγραμματισμός) οι οποίες είναι μέθοδοι γενικού σκοπού που μπορούν να εφαρμοστούν σε διάφορα προβλήματα. Ειδικότερα, οι μέθοδοι αυτές, αυξάνονται στη δημοτικότητα λόγω της σχετικής απλότητάς τους και του γεγονότος ότι οι αυξήσεις στην υπολογιστική ισχύ έχουν αυξήσει σημαντικά την αποτελεσματικότητά τους.

Εφαρμόζοντας μια συγκεκριμένη τεχνική, κάτι που είναι σημαντικό να έχει κανείς κατά νου από την οπτική του επαγγελματία, είναι ότι συχνά είναι αρκετό να επιτευχθεί μια καλή λύση ακόμα κι αν δεν είναι εγγυημένα η καλύτερη λύση. Εάν ούτε η διαθεσιμότητα των πόρων ούτε ο χρόνος ήταν ένα ζήτημα, θα φαινόταν βέβαια η βέλτιστη λύση. Ωστόσο, αυτό συμβαίνει σπάνια στην πράξη, και η επικαιρότητα είναι η ουσία σε πολλές περιπτώσεις. Σε αυτό το πλαίσιο, είναι συχνά πιο σημαντικό να επιτύχει κανείς γρήγορα μια λύση που να είναι ικανοποιητική, σε αντίθεση με την προσπάθεια που καταβάλλεται για τον προσδιορισμό της βέλτιστης, ειδικά όταν το οριακό κέρδος από αυτό είναι μικρό. Ο οικονομολόγος Herbert Simon χρησιμοποιεί τον όρο "ικανοποιώντας" για να περιγράψει αυτήν την έννοια – «κάποιος ψάχνει για το βέλτιστο αλλά σταματά κατά μήκος του δρόμου όταν έχει βρεθεί μια αποδεκτή λύση».

Όταν η επιχειρησιακή έρευνα εφαρμόζεται σε ένα πρόβλημα πραγματικού κόσμου, σχεδόν όλες οι τεχνικές που συζητούνται σε αυτή την ενότητα απαιτούν τη χρήση υπολογιστή. Πράγματι, η μοναδική και μεγαλύτερη ώθηση για την αυξημένη χρήση των μεθόδων επιχειρησιακής έρευνας ήταν η ταχεία αύξηση της υπολογιστικής ισχύος. Παρόλο που εξακολουθούν να υπάρχουν προβλήματα μεγάλης κλίμακας των οποίων η λύση απαιτεί τη χρήση κεντρικών υπολογιστών ή ισχυρών σταθμών εργασίας, πολλά μεγάλα προβλήματα σήμερα μπορούν να επιλυθούν σε υπολογιστικά συστήματα μικροϋπολογιστών. Υπάρχουν πολλά πακέτα ηλεκτρονικών υπολογιστών (και ο αριθμός τους αυξάνεται διαρκώς) που έχουν γίνει δημοφιλή λόγω της ευκολίας χρήσης τους. Τέτοιου είδους προγράμματα που είναι συνήθως διαθέσιμα σε διάφορες εκδόσεις ή μεγέθη και συνδέονται άμεσα με άλλα συστήματα λογισμικού. Ανάλογα με τις συγκεκριμένες ανάγκες τους, οι τελικοί χρήστες μπορούν να επιλέξουν μια κατάλληλη διαμόρφωση. Πολλοί από τους πωλητές λογισμικού προσφέρουν επίσης υπηρεσίες κατάρτισης και συμβουλευτικής υποστήριξης για να βοηθήσουν τους χρήστες να αξιοποιήσουν στο έπακρο τα συστήματα (π.χ. η εταιρεία IBM). Ορισμένες συγκεκριμένες τεχνικές για τις οποίες είναι διαθέσιμες σήμερα οι εμπορικές εφαρμογές λογισμικού, περιλαμβάνουν βελτιστοποίηση / μαθηματικό προγραμματισμό (συμπεριλαμβανομένων γραμμικών, μη γραμμικών, ακέραιων, δυναμικών και στόχων προγραμματισμού), ροής δικτύου, προσομοίωσης, στατιστικής ανάλυσης, αναμονής, πρόβλεψης, / CPM. Επίσης διατίθενται πλέον εμπορικά συστήματα λογισμικού που ενσωματώνουν διάφορα συστήματα τεχνικών της επιχειρησιακής έρευνας για την αντιμετώπιση συγκεκριμένων τομέων εφαρμογής, συμπεριλαμβανομένων των μεταφορών και της εφοδιαστικής, τον προγραμματισμό παραγωγής, τον έλεγχο απογραφής, τον προγραμματισμό, την ανάλυση θέσης, την πρόβλεψη και τη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού. Μερικά παραδείγματα δημοφιλών συστημάτων λογισμικού περιλαμβάνουν CPLEX, LINDO, OSL, MPL, SAS και SIMAN κλπ. Παρόλο που θα ήταν σαφώς αδύνατο να περιγράψουμε εδώ τα χαρακτηριστικά όλων των διαθέσιμων λογισμικών, περιοδικά όπως το OR / MS Today και η IE Solutions δημοσιεύουν τακτικά χωριστές έρευνες για διάφορες κατηγορίες συστημάτων και πακέτων λογισμικού. Αυτές οι εκδόσεις παρέχουν επίσης δείκτες για διάφορους τύπους διαθέσιμου λογισμικού. Για παράδειγμα, το τεύχος του OR / MS Today (σελίδες 61-75) του Δεκεμβρίου 1997 παρέχει έναν πλήρη κατάλογο πόρων για το λογισμικό και τους συμβούλους. Οι ενημερώσεις σε τέτοιους καταλόγους παρέχονται περιοδικά. Το κύριο σημείο εδώ είναι ότι η ικανότητα επίλυσης σύνθετων μοντέλων / προβλημάτων

είναι πολύ λιγότερο θέμα σήμερα από ό, τι ήταν μια δεκαετία ή δύο πριν και υπάρχουν αρκετοί διαθέσιμοι πόροι για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος.

#### 2.1.6.Επικύρωση και ανάλυση:

Μόλις επιτευχθεί μια λύση, πρέπει να γίνουν δύο πράγματα πριν κανείς να σκεφθεί να αναπτύξει μια τελική πολιτική ή μια πορεία δράσης για την εφαρμογή. Το πρώτο είναι να επαληθεύσουμε ότι η ίδια η λύση έχει νόημα. Πολλές φορές, αυτό δεν συμβαίνει και ο συνηθέστερος λόγος είναι ότι το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε δεν ήταν ακριβές ή δεν κάλυψε κάποιο σημαντικό θέμα. Η διαδικασία εξασφάλισης ότι το μοντέλο είναι μια ακριβής αναπαράσταση του συστήματος ονομάζεται επικύρωση και αυτό είναι κάτι που (όποτε είναι δυνατόν) πρέπει να γίνει πριν από την πραγματική λύση. Ωστόσο, είναι μερικές φορές απαραίτητο να επιλυθεί το μοντέλο για να ανακαλυφθούν τυχόν ανακρίβειες σε αυτό. Ένα τυπικό σφάλμα που μπορεί να ανακαλυφθεί σε αυτό το στάδιο είναι ότι κάποιος σημαντικός περιορισμός αγνοήθηκε στη διαμόρφωση μοντέλου - αυτό θα οδηγήσει σε μια λύση που αναγνωρίζεται σαφώς ότι είναι ανέφικτη και ο αναλυτής πρέπει να επιστρέψει και να τροποποιήσει το μοντέλο και να επιλύσει εκ νέου το. Αυτός ο κύκλος συνεχίζεται μέχρις ότου κάποιος είναι σίγουρος ότι τα αποτελέσματα είναι λογικά και προέρχονται από μια έγκυρη αναπαράσταση του συστήματος.

Το δεύτερο μέρος αυτού του βήματος στη διαδικασία που ακολουθεί η επιχειρησιακή έρευνα αναφέρεται ως ανάλυση μετά την αρχική βελτιστοποίηση, κάτι το οποίο αναφέρεται συχνά ως «What-if Analysis». Υπενθυμίζουμε ότι το μοντέλο που αποτελεί τη βάση της ληφθείσας λύσης είναι (α) μια επιλεκτική αφαίρεση του αρχικού συστήματος (β) κατασκευάζεται χρησιμοποιώντας δεδομένα που σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι 100% ακριβή. Δεδομένου ότι η εγκυρότητα της ληφθείσας λύσης περιορίζεται από την ακρίβεια του μοντέλου, ένα φυσικό ερώτημα που ενδιαφέρει έναν αναλυτή είναι: «Πόσο ισχυρή είναι η λύση σε σχέση με τις αποκλίσεις στις υποθέσεις που είναι εγγενείς στο μοντέλο και στις τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του;» κλπ. Τέτοιες ερωτήσεις είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες για τους διευθυντές και τους υπεύθυνους για τη λήψη αποφάσεων. Επίσης μια από τις πιο σημαντικές πτυχές ενός καλού έργου επιχειρησιακής έρευνας είναι η δυνατότητα να

παρέχει όχι μόνο μια συνισταμένη πορεία δράσης, αλλά και λεπτομέρειες σχετικά με το εύρος εφαρμογής του και την ευαισθησία του στις παραμέτρους του μοντέλου.[26]

#### 2.1.7. Εφαρμογή και παρακολούθηση:

Το τελευταίο βήμα στη διαδικασία επιχειρησιακής έρευνας είναι να εφαρμόσει την τελική σύσταση και να την ελέγξει. Η εφαρμογή συνεπάγεται τη συγκρότηση μιας ομάδας, η ηγεσία της οποίας θα αποτελείται από μερικά από τα μέλη της αρχικής ομάδας (επιχειρησιακής έρευνας). Αυτή η ομάδα είναι συνήθως υπεύθυνη για την ανάπτυξη λειτουργικών διαδικασιών ή εγχειριδίων και του χρονοδιαγράμματος για την εφαρμογή του σχεδίου. Μόλις ολοκληρωθεί η υλοποίηση, η ευθύνη για την παρακολούθηση του συστήματος συνήθως μεταβιβάζεται σε μια λειτουργική ομάδα. Από την πλευρά της Επιχειρησιακής Έρευνας, η κύρια ευθύνη της τελευταίας είναι να αναγνωρίσει ότι τα αποτελέσματα που εφαρμόζονται είναι έγκυρα μόνο εφόσον το περιβάλλον λειτουργίας παραμείνει αμετάβλητο και οι υποθέσεις της μελέτης παραμένουν έγκυρες. Έτσι, όταν υπάρχουν ριζικές αναχωρήσεις από τις βάσεις που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη του σχεδίου, πρέπει να επανεξεταστεί η ακολουθούμενη στρατηγική. Ως τελευταία λέξη σχετικά με την εφαρμογή, θα πρέπει να τονιστεί ότι μια μεγάλη ευθύνη του αναλυτή της έρευνας των επιχειρήσεων είναι να μεταδώσει τα αποτελέσματα του έργου στη Διαχείριση με αποτελεσματικό τρόπο. Αυτό είναι κάτι που δυστυχώς δεν τονίζεται επαρκώς και υπάρχουν πολλές περιπτώσεις επιτυχούς μελέτης που δεν υλοποιούνται επειδή οι λεπτομέρειες και τα οφέλη δεν μεταφέρονται αποτελεσματικά στη Διοίκηση. Ενώ αυτό είναι βεβαίως αληθές για οποιοδήποτε έργο γενικά, είναι ιδιαίτερα σημαντικό με την επιχειρησιακή έρευνα λόγω του μαθηματικού περιεχομένου και της δυνατότητάς του να μην είναι πλήρως κατανοητό από έναν διαχειριστή χωρίς ισχυρό ποσοτικό υπόβαθρο.

## 2.2. Η επιχειρησιακή έρευνα στον πραγματικό κόσμο

Σε αυτή την παράγραφο παρέχονται μερικά παραδείγματα επιτυχημένων εφαρμογών πραγματικής διερεύνησης των επιχειρήσεων. Αυτά θα πρέπει να δώσουν στον αναγνώστη μια εκτίμηση για τα διάφορα είδη προβλημάτων που η επιχειρησιακή έρευνα καλείται να αντιμετωπίσει. Χωρίς αμφιβολία, η καλύτερη πηγή για μελέτες περιπτώσεων και λεπτομέρειες επιτυχημένων εφαρμογών είναι το περιοδικό *Interfaces*,

το οποίο είναι μια έκδοση του Ινστιτούτου Επιχειρησιακών Ερευνών και Διοικητικών Επιστημών (INFORMS). Αυτό το περιοδικό είναι προσανατολισμένο προς τον ασκούμενο και μεγάλο μέρος της έκθεσης είναι σε απλουστευμένους όρους Σε κάποιο σημείο, κάθε πρακτικός, βιομηχανικός μηχανικός θα πρέπει να αναφερθεί σε αυτό το περιοδικό για να εκτιμήσει τις συνεισφορές που οι μέθοδοι της επιχειρησιακής έρευνας μπορούν να προσφέρουν. Όλες οι εφαρμογές που ακολουθούν έχουν εξαχθεί πρόσφατα.

Πριν την περιγραφή αυτών των εφαρμογών, θα προσθέσουμε λίγα ακόμη γεγονότα για τη διεξαγωγή έρευνας στον πραγματικό κόσμο. Μια ατυχής πραγματικότητα είναι ότι η επιχειρησιακή έρευνα έχει λάβει περισσότερο από το δίκαιο μερίδιο της αρνητικής δημοσιότητας. Έχει μερικές φορές θεωρηθεί ως μια εσωτερική επιστήμη με ελάχιστη συνάφεια με τον πραγματικό κόσμο, και μερικοί κριτικοί έχουν μάλιστα αναφερθεί σε αυτήν ως μια συλλογή τεχνικών για την αναζήτηση ενός προβλήματος προς επίλυση! Είναι προφανές ότι αυτή η κριτική είναι αναληθής και υπάρχουν πολλές τεκμηριωμένες αποδείξεις ότι, όταν εφαρμόζεται σωστά και με εστιασμένη στο πρόβλημα προσέγγιση, η επιχειρησιακή έρευνα μπορεί να έχει οφέλη που μπορεί να είναι αρκετά θεαματικά.

Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν επίσης στοιχεία που δείχνουν ότι (δυστυχώς) οι επικρίσεις που διατυπώθηκαν κατά της επιχειρησιακής έρευνας δεν είναι εντελώς αβάσιμες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η επιχειρησιακή έρευνα συχνά δεν εφαρμόζεται όπως πρέπει να είναι - οι άνθρωποι έχουν πάρει συχνά τη μυωπική άποψη ότι η επιχειρησιακή έρευνα είναι μια συγκεκριμένη μέθοδος σε αντίθεση με μια πλήρη και συστηματική διαδικασία. Συγκεκριμένα, πολλές φορές τείνει να δίνεται υπερβολική έμφαση στα στάδια μοντελοποίησης και λύσης, πιθανώς επειδή αυτά προσφέρουν σαφώς την πιο πνευματική πρόκληση. Ωστόσο, είναι ζωτικής σημασίας να διατηρηθεί μια εστιασμένη στο πρόβλημα προσέγγιση - ο απώτερος στόχος μιας μελέτης επιχειρησιακής έρευνας. Η οικοδόμηση πολύπλοκων μοντέλων που είναι τελικά ανυπερβλήτα ή η ανάπτυξη εξαιρετικά αποτελεσματικών διαδικασιών λύσης σε μοντέλα που έχουν μικρή σχέση με τον πραγματικό κόσμο μπορεί να είναι ωραίες ως πνευματικές ασκήσεις, αλλά αντιβαίνουν στην πρακτική φύση της έρευνας των επιχειρήσεων! Μια άλλη έγκυρη κριτική είναι το γεγονός ότι πολλοί αναλυτές είναι αξιοσημείωτα κακοί στην επικοινωνία των αποτελεσμάτων ενός project επιχειρησιακής έρευνας με όρους που μπορούν να κατανοηθούν και να εκτιμηθούν από επαγγελματίες οι οποίοι μπορεί να μην έχουν αναγκαστικά μεγάλη οικειότητα με

μαθηματικά πολύπλοκες έννοιες ή επίσημη εκπαίδευση στην επιχειρησιακή έρευνα. Ένα σχέδιο επιχειρησιακής έρευνας μπορεί να είναι επιτυχές μόνο εάν δοθεί επαρκής προσοχή σε καθένα από τα επτά στάδια της διαδικασίας και τα αποτελέσματα κοινοποιηθούν στους τελικούς χρήστες σε κατανοητή μορφή.

Παρακάτω παρουσιάζονται τρεις σημαντικές εφαρμογές της επιχειρησιακής έρευνας στη σημερινή εποχή.:

**Η ανάμειξη βενζίνης στην Texaco:** Μία εφαρμογή στον προγραμματισμό της παραγωγής, αλλά αυτή τη φορά σε ένα συνεχές, σε αντίθεση με το διακριτό περιβάλλον παραγωγής, εξετάζουμε ένα σύστημα που χρησιμοποιείται στην Texaco [25]. Μία από τις σημαντικότερες εφαρμογές της επιχειρησιακής έρευνας. Είναι στον τομέα της ανάμειξης βενζίνης στα διυλιστήρια πετρελαίου. Ουσιαστικά όλες οι μεγάλες εταιρείες πετρελαίου χρησιμοποιούν εξελιγμένα μοντέλα βελτιστοποίησης σε αυτόν τον τομέα. Στην Texaco το σύστημα ονομάζεται StarBlend και τρέχει σε δικτυωμένους μικροϋπολογιστές. Ως υπόβαθρο, η απόσταξη αργού πετρελαίου παράγει διάφορα προϊόντα σε διαφορετικές θερμοκρασίες απόσταξης. Καθένα από αυτά μπορεί να βελτιωθεί περαιτέρω μέσω της πυρόλυσης (όπου οι πολύπλοκοι υδρογονάνθρακες διασπώνται σε απλούστερους) και του ανασυνδυασμού. Αυτά τα διάφορα ρεύματα εξόδου στη συνέχεια αναμειγνύονται για να σχηματίσουν τελικά προϊόντα, όπως διαφορετικές ποιότητες βενζίνης (μολυβδούχου, αμόλυβδου, υπέρ-αμόλυβδη κλπ.), καυσίμου αεριωθουμένων, πετρελαίου ντίζελ και πετρελαίου θέρμανσης. Το πρόβλημα σχεδιασμού είναι πολύ σύνθετο, δεδομένου ότι οι διαφορετικές ποιότητες ακατέργαστου προϊόντος αποδίδουν διαφορετικές συγκεντρώσεις ροών παραγωγής και συνεπώς διαφορετικό κόστος και δεδομένου ότι τα διάφορα τελικά προϊόντα επιφέρουν διαφορετικά έσοδα και χρησιμοποιούν διαφορετικά ποσά πόρων διυλιστηρίου. Λαμβάνοντας υπόψη μόνο ένα προϊόν - βενζίνη - υπάρχουν διάφορες ιδιότητες που περιορίζουν τα παραγόμενα μείγματα. Αυτά περιλαμβάνουν τον αριθμό οκτανίων, την περιεκτικότητα σε μόλυβδο και θείο, τις μεταβλητές και την πίεση ατμών του Reid, για να αναφέρουμε μερικές.

**KeyCorp Σύστημα Διαχείρισης Υπηρεσιών Υψηλού Επιπέδου :** Μία ακόμη εφαρμογή στον τομέα των υπηρεσιών σε μια βιομηχανία που απασχολεί πολλούς βιομηχανικούς μηχανικούς - τραπεζικούς. Αυτή η εφαρμογή [13] καταδεικνύει τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιήθηκε η επιχειρησιακή έρευνα για τη βελτίωση της



παραγωγικότητας και της ποιότητας των υπηρεσιών στην KeyCorp, μια εταιρεία χαρτοφυλακίου με έδρα το Cleveland, στο Ohio των Η.Π.Α. Αντιμετωπίζοντας τον αυξανόμενο ανταγωνισμό από μη παραδοσιακές πηγές και την ταχεία ενοποίηση στον τραπεζικό τομέα, ο στόχος της KeyCorp ήταν να προσφέρει μια σειρά χρηματοπιστωτικών προϊόντων και υπηρεσιών παγκόσμιας κλάσης, σε αντίθεση με μία παραδοσιακή τράπεζα. Το βασικό στοιχείο της αποτελεσματικής εξυπηρέτησης είναι η υψηλής ποιότητας εξυπηρέτηση πελατών. Ως φυσικό επακόλουθο, οι διευθυντές ήρθαν αντιμέτωποι με προβλήματα όπως η στελέχωση και η εξυπηρέτηση - η καλύτερη εξυπηρέτηση με τη μορφή συντομότερων χρόνων αναμονής απαιτούσε πρόσθετη στελέχωση και συνεπώς υψηλότερο κόστος. Ο στόχος του έργου ήταν να προσφέρει στους διαχειριστές ένα ολοκληρωμένο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων, το οποίο ονομάστηκε SE.

Το πρώτο βήμα ήταν η ανάπτυξη ενός μηχανογραφικού συστήματος για τη συλλογή δεδομένων σχετικά με τις επιδόσεις. Το σύστημα συνέλαβε τον χρόνο έναρξης και λήξης όλων των συνιστωσών μιας συναλλαγής καταγραφής, περιλαμβανομένου του χρόνου απόκρισης του κεντρικού υπολογιστή, του χρόνου απόκρισης του δικτύου, του ελεγχόμενου χρόνου του ταμιευτήρα, του χρόνου του πελάτη και του χρόνου του υλικού του κλάδου. Τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν θα μπορούσαν τότε να αναλυθούν για τον προσδιορισμό των περιοχών για βελτίωση. Η θεωρία των ουρών χρησιμοποιήθηκε για να προσδιορίσει τις ανάγκες σε προσωπικό για ένα προκαθορισμένο επίπεδο υπηρεσίας. Αυτή η ανάλυση οδήγησε σε μια απαιτούμενη αύξηση του προσωπικού που ήταν ανέφικτη από απόψεως κόστους και, ως εκ τούτου, έγινε μια εκτίμηση των μειώσεων των χρόνων επεξεργασίας που θα απαιτούντο για την επίτευξη του στόχου των υπηρεσιών με τα μέγιστα επίπεδα προσωπικού που ήταν εφικτά. Χρησιμοποιώντας το σύστημα καταγραφής επιδόσεων, η KeyCorp κατάφερε να εντοπίσει στρατηγικές για τη μείωση των διαφόρων συνιστωσών των χρόνων εξυπηρέτησης. Ορισμένες από αυτές αφορούσαν αναβαθμίσεις στην τεχνολογία, ενώ άλλες αφορούσαν διαδικαστικές βελτιώσεις και το αποτέλεσμα ήταν η μείωση του χρόνου επεξεργασίας συναλλαγών κατά 27%. Μόλις σταθεροποιήθηκε το λειτουργικό περιβάλλον, η KeyCorp εισήγαγε τα δύο βασικά συστατικά του SEMS για να βοηθήσει τους διαχειριστές υποκαταστημάτων να βελτιώσουν την παραγωγικότητα. Το πρώτο, ένα σύστημα παραγωγικότητας Teller, παρείχε στον διαχειριστή συνοπτικά στατιστικά στοιχεία και αναφορές ώστε να βοηθήσει με την στελέχωση, τον προγραμματισμό και

τον εντοπισμό φορέων που χρειάστηκαν περαιτέρω εκπαίδευση. Το δεύτερο, ένα σύστημα χρόνου αναμονής πελάτη, παρείχε πληροφορίες σχετικά με τους χρόνους αναμονής των πελατών ανά υποκατάστημα, ανά ώρα και ανά ημίωρο σε κάθε υποκατάστημα. Αυτό το σύστημα χρησιμοποίησε τις έννοιες από τις στατιστικές και τη θεωρία ουρών αναμονής για την ανάπτυξη αλγορίθμων για τη δημιουργία των απαιτούμενων πληροφοριών. Με τη χρήση του SEMS, ένας διαχειριστής υποκαταστημάτων θα μπορούσε να αποφασίσει αυτόνομα για στρατηγικές για περαιτέρω βελτίωση των υπηρεσιών. Το σύστημα κυκλοφόρησε προοδευτικά σε όλα τα υποκαταστήματα της KeyCorp και τα αποτελέσματα ήταν πολύ εντυπωσιακά. Για παράδειγμα, κατά μέσο όρο, οι χρόνοι επεξεργασίας των πελατών μειώθηκαν κατά 53% και οι χρόνοι αναμονής των πελατών μειώθηκαν σημαντικά, ενώ μόνο το 4% των πελατών περιμένουν περισσότερο από πέντε λεπτά. Οι εξοικονόμηση που προέκυψε κατά τη διάρκεια μιας πενταετούς περιόδου υπολογίστηκε στα 98 εκατομμύρια δολάρια.

**Ανάπτυξη στόλου στη Delta Airlines:** Μια από τις πιο απαιτητικές και ικανοποιητικές περιοχές εφαρμογής της επιχειρησιακής έρευνας ήταν η αεροπορική βιομηχανία. Περιγράφεται εν συντομία μια τέτοια στην Delta Airlines [20]. Το πρόβλημα που επιλύεται συχνά αναφέρεται ως πρόβλημα εκχώρησης στόλου και είναι παρεμφερές με το πρόβλημα που παρουσιάζεται στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία. Η Delta πετάει πάνω από 2500 εγχώρια πόδια πτήσης κάθε μέρα και χρησιμοποιεί περίπου 450 αεροσκάφη από 10 διαφορετικούς στόλους και ο στόχος ήταν να εκχωρηθούν τα αεροσκάφη να πετούν με τέτοιο τρόπο ώστε τα έσοδα από τις θέσεις των επιβατών-εισιτήρια να μεγιστοποιηθούν. Το ισοζύγιο είναι αρκετά απλό - εάν ένα αεροπλάνο είναι πολύ μικρό, τότε η αεροπορική εταιρεία χάνει δυνητικά έσοδα από επιβάτες που δεν μπορούν να επιβιβαστούν και αν είναι υπερβολικά μεγάλο(το μέγεθος του αεροπλάνου), τότε οι μη κατειλημμένες θέσεις αντιπροσωπεύουν χαμένα έσοδα (εκτός από το γεγονός ότι τα μεγαλύτερα αεροσκάφη είναι επίσης πιο δαπανηρά στη λειτουργία τους). Έτσι, ο στόχος είναι να εξασφαλιστεί ότι ένα αεροσκάφος του "σωστού" μεγέθους είναι διαθέσιμο όταν απαιτείται και όπου απαιτείται. Δυστυχώς, η διασφάλιση ότι αυτό μπορεί να συμβεί είναι εξαιρετικά περίπλοκη, καθώς υπάρχουν πολλά θέματα υλικοτεχνικής υποστήριξης που περιορίζουν τη διαθεσιμότητα αεροσκαφών σε διαφορετικές χρονικές στιγμές και τοποθεσίες.

Το πρόβλημα αυτό σχετίζεται άμεσα με το πρόβλημα που εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική εργασία με αρκετές ωστόσο διαφορές.

---

## 3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ - ΤΡΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.

---

### Εισαγωγή

Στην παρούσα εργασία, το πρόβλημα της οργάνωσης των δρομολογίων μιας ναυτιλιακής εταιρίας μοντελοποιείται με τη χρήση γραμμικού προγραμματισμού και επιλύεται με τη μέθοδο simplex μέσω του solver και του λογισμικού excel για προβλήματα μικρής κλίμακας.

Ο Γραμμικός Προγραμματισμός είναι ο πιο εφαρμοσμένος κλάδος της επιστήμης των μαθηματικών με πληθώρα εφαρμογών στην επιστήμη των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Ασχολείται με την επίλυση του γραμμικού προβλήματος. Για το σκοπό αυτό μελετάει τις ιδιότητες του γραμμικού προβλήματος, κατασκευάζει μεθόδους επίλυσης (αλγόριθμους) και εξετάζει τρόπους εφαρμογής των αποτελεσμάτων στη λήψη πολύπλοκων αποφάσεων σε διοικητικό ή οικονομικό επίπεδο, με επιστημονικό τρόπο. Ο Γραμμικός Προγραμματισμός βρίσκει πολλές εφαρμογές στην παραγωγική διαδικασία, όπου αναζητούνται οι ποσότητες των παραγόμενων προϊόντων σε σχέση με τα αποθέματα, τις πρώτες ύλες, το προσωπικό και άλλους παράγοντες με στόχο την μεγιστοποίηση του κέρδους. Υπάρχουν πολλά επιμέρους γραμμικά προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπίσει μια επιχείρηση ή ένας οργανισμός. Τα πιο γνωστά από αυτά τα προβλήματα χαρακτηρίζονται ως κλασσικά προβλήματα του γραμμικού προγραμματισμού και είναι :το πρόβλημα κατανομής πόρων, της δίαιτας, της μείξης προϊόντων, ενέργειας και προστασίας του περιβάλλοντος, της παραγωγικής διαδικασίας, της διοίκησης προσωπικού, marketing (προώθηση προϊόντων) τα οποία αναφέρονται εκτενέστερα σε προηγούμενες ενότητες.

Ο ακέραιος προγραμματισμός, είναι κλάδος του γραμμικού προγραμματισμού και αποτελεί Τμήμα της συνδυαστικής βελτιστοποίησης. Στόχος της χρήσης του είναι η βελτιστοποίηση συστημάτων παραγωγής ή διοίκησης. Ο ακέραιος προγραμματισμός χρησιμοποιείται για την επίλυση πρακτικών προβλημάτων, όπως:

- Χρονοδιαγράμματα (scheduling)
- Σχεδιασμός παραγωγής

- Παράλληλη εκτέλεση εργασιών
- Τηλεπικοινωνίες

Ο ακέραιος προγραμματισμός (integer programming) περιλαμβάνει όλα τα προβλήματα στα οποία οι μεταβλητές απόφασης μπορούν να πάρουν μόνο ακέραιες τιμές.

Η μέθοδος Simplex χρησιμοποιείται σε πραγματικές εφαρμογές όπου ο αριθμός των μεταβλητών και των περιορισμών των προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού ανέρχεται σε δεκάδες. Η μέθοδος Simplex είναι μια συστηματική μέθοδος επίλυσης των προβλημάτων Γραμμικού Προγραμματισμού η οποία είναι δυνατόν να υλοποιηθεί μέσω κατάλληλων προγραμμάτων ηλεκτρονικού υπολογιστή για την επίλυση προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού οποιουδήποτε μεγέθους.

Παρά την μεγάλη ανάπτυξη του κλάδου της επιχειρησιακής έρευνας και του προγραμματισμού, κυρίως λόγω της συνεχούς βελτίωσης των δυνατοτήτων των ηλεκτρονικών υπολογιστών, η μέθοδος Simplex (G. Dantzig, 1947) αποτελεί, μέχρι σήμερα, την πιο διαδεδομένη διαδικασία προσδιορισμού της βέλτιστης λύσης οποιουδήποτε προβλήματος γραμμικού προγραμματισμού. Υλοποιείται μέσω του ομώνυμου αλγορίθμου ο οποίος βασίζεται στο γεγονός ότι η βέλτιστη λύση του προβλήματος είναι κάποια από τις κορυφές του υπέρ-πολυέδρου που ορίζει το σύνολο των εφικτών του λύσεων.

Ο αλγόριθμος Simplex πραγματώνει μια αλγεβρική διαδικασία ελέγχου στις κορυφές του υπέρ-πολυέδρου με τρόπο ώστε σε κάθε βήμα εκτέλεσής του να εντοπίζει μια κορυφή η οποία αντιστοιχεί σε καλύτερη λύση από την υπάρχουσα. Ύστερα από ένα πεπερασμένο αριθμό βημάτων, συνήθως μεταξύ  $m$  και  $3m$  για ένα πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού με  $m$  περιορισμούς, η βέλτιστη λύση εντοπίζεται ή αποδεικνύεται ότι δεν υπάρχει.[27]

### 3.1. Το σύστημα Hub & Spoke

Το σύστημα Hub-and-Spoke έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές. Πρόκειται για ένα πλήρως συνδεδεμένο δίκτυο με ροή υλικού / πληροφοριών( στη συγκεκριμένη περίπτωση επιβατών) μεταξύ οποιωνδήποτε δύο κόμβων , τα οποία επεξεργάζονται σε ένα μικρό αριθμό κρίσιμων κόμβων και μετακινούνται διαμέσου των interhub συνδέσεων. Σε σύγκριση με τη δομή από σημείο σε σημείο, έχει πολύ μικρότερο αριθμό συνδέσεων. Επίσης, επειδή οι ροές της

κυκλοφορίας ενοποιούνται από κόμβους και interhub συνδέσεις, μπορεί να επιτευχθεί σημαντικά μικρότερο λειτουργικό κόστος εξαιτίας των οικονομιών κλίμακας. Λαμβάνοντας υπόψη τα πλεονεκτήματα αυτά, οι εταιρείες του κλάδου συγκοινωνιών, συμπεριλαμβανομένων των αεροπορικών και ναυτιλιακών εταιρειών, των εταιρειών logistics, και οι επιχειρήσεις τηλεπικοινωνιών χρησιμοποιούν εκτενώς την αρχιτεκτονική hub-and-spoke για τη μείωση στις δαπάνες κατασκευής και λειτουργίας των δικτύων που τους αφορούν.

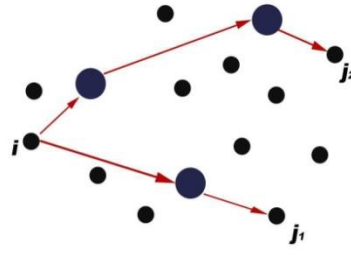
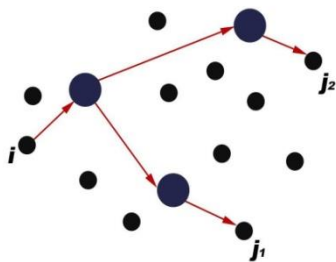
Στην Ελληνική γλώσσα, ο όρος «Hub and Spoke» απαντάται και ως «Σύστημα Διαμετακομιστικών Κόμβων», «Σύστημα Ανταποκρίσεων», «Ακτινωτό Σύστημα», «Σύστημα/Δίκτυο Τύπου Ακτινωτού Τροχού». Στην παρούσα Έκθεση χρησιμοποιείται η Λατινική ορολογία.

Παραδοσιακά, η πρωταρχική ανησυχία του σχεδιασμού δικτύου hub-and-spoke είναι οι τοποθεσίες των κεντρικών εγκαταστάσεων( εδώ κεντρικά λιμάνια ) και την κατανομή των μη-κόμβων (δηλαδή των ακτινών) σε κόμβους έτσι ώστε το κόστος της μεταφοράς να ελαχιστοποιείται. Το πρώτο ποσοτικό μοντέλο εισήχθη από τον Ο' Kelly [21,22,24] σε ένα σύνολο δεδομένων που περιγράφει τις ροές επιβατών αεροπορικών εταιρειών μεταξύ οποιουδήποτε ζεύγους 25 μεγάλων πόλεων των Η.Π.Α. την δεκαετία του '70, η οποία αναφέρεται συχνά ως σύνολο δεδομένων πολιτικής αεροναυτικής (CAB). Όσον αφορά τη λειτουργία του στην πράξη, το πιο ενοχλητικό ζήτημα ενός συστήματος hub-and-spoke είναι η ευαισθησία του. Δεδομένου του γεγονότος ότι οι ροές ενοποιούνται και υφίστανται επεξεργασία σε συγκεκριμένους κόμβους, διαταραχές, ατυχή συμβάντα ή ακόμα και συμφόρηση στους κόμβους αυτούς θα μπορούσε να επιδεινώσει σημαντικά την απόδοση του hub-and spoke συστήματος. Ένα τέτοιο ζήτημα γίνεται έντονα αντιληπτό στις αεροπορικές αλλά και θαλάσσιες μεταφορές όπου οι φυσικές καταστροφές, οι καιρικές συνθήκες, οι απεργίες στην εργασία ή οι τρομοκρατικές απειλές που θα διαταράξουν την τακτικότητα καθιστούν τους αερολιμένες ή αντίστοιχα τα λιμάνια εν μέρει ή εντελώς μη διαθέσιμα. Ένα πρόσφατο παράδειγμα είναι η έκρηξη του ηφαιστείου της Ισλανδίας το 2010, η οποία "απενεργοποίησε" δύο διεθνείς κόμβους, δηλαδή το Heathrow Ηνωμένο Βασίλειο και de Gaulle στη Γαλλία και είχε ως αποτέλεσμα την ακύρωση πολυάριθμων υπερατλαντικών πτήσεων. Επιπλέον, τα γεγονότα ενιαίας αναστάτωσης συχνά εξαπλώνονται σε ολόκληρο το δίκτυο, υποβαθμίζοντας δραστικά την απόδοση του συνόλου των αεροπορικών και θαλάσσιων δικτύων με τεράστιες οικονομικές απώλειες. Στο προηγούμενο παράδειγμα η έκρηξη του ηφαιστείου είχε ως αποτέλεσμα την αδυναμία εξυπηρέτησης περισσότερων από δέκα εκατομμυρίων επιβατών.[8]

Προκειμένου να αντιμετωπισθούν τέτοιου είδους ζητήματα, έχουν προταθεί διάφορες στρατηγικές μετριασμού των παραπάνω αδυναμιών. Αυτές οι στρατηγικές περιλαμβάνουν καθυστέρηση, ακύρωση και αναδρομολόγηση στις αεροπορικές και ακτοπλοϊκές μεταφορές[12,15] και δικτύωση σε συστήματα τηλεπικοινωνιών [23]. Ωστόσο, οι περισσότερες από αυτές τις στρατηγικές είναι συχνά δαπανηρές, δύσκολες στην εφαρμογή τους και αναποτελεσματικές, λόγω του αρχικού σχεδιασμού του συστήματος. Ακόμη, η εισαγωγή πολλών εφεδρικών κόμβων και μεγάλου πλήθους εναλλακτικών διαδρομών αυξάνει δραστικά την πολυπλοκότητα αυτών των μοντέλων, σε σύγκριση με τα /κλασσικά μοντέλα σχεδιασμού hub-and-spoke. Για να λύσει κανείς τα προκύπτοντα μεγάλης κλίμακας (μη γραμμικά) μικτά ακέραια προγράμματα, πρέπει να ερευνήσει σε βάθος τις δομές τους και να αναπτύξει διάφορες μεθόδους λύσης.

Το πρόβλημα σχεδιασμού Hub-and-Spoke ονομάζεται συμβατικά, πρόβλημα θέσης πλήμνης (HLP), το οποίο ασχολείται με τον εντοπισμό εγκαταστάσεων πλήμνης και την κατανομή κόμβων ζήτησης σε κόμβους. Υπάρχουν γενικά δύο βασικές δομές: ενιαία κατανομή (SA) και πολλαπλή κατανομή (MA). Στο SA μοντέλο hub-and-spoke, όλες οι εισερχόμενες / εξερχόμενες ροές οποιουδήποτε κόμβου πρέπει να δρομολογούνται μέσω ενός κόμβου πριν προχωρήσουν στον προορισμό τους. Στο μοντέλο MA, η ροές ξεκινούν από ένα δεδομένο κόμβο πηγής και περνούν από διαφορετικούς κόμβους ανάλογα με τους προορισμούς τους, βλ. Εικόνες 2,3 για τις διαφορές μεταξύ τους. Όταν δίνεται ο αριθμός των διανομέων ( $p$ ), το πρόβλημα ονομάζεται πρόβλημα διάκενου  $p$ -hub ή πρόβλημα  $p$ -hub για σύντομο χρονικό διάστημα. Ο O' Kelly [21] προτείνει το πρώτο μαθηματικό σκεύασμα για το HLP  $p$ -hub και παρουσιάζει την πρώτη ποσοτική ανάλυση σε αυτήν τη δομή δικτύου χρησιμοποιώντας το σύνολο δεδομένων CAB. Από τότε, καθώς οι δομές με κόμβους και ακτίνες των έχουν ιδιαίτερα σημαντική θεωρητική και πρακτική αξία, έχει δημοσιευθεί μεγάλος αριθμός άρθρων στην ανάπτυξη μοντέλων με πρακτικά χαρακτηριστικά και στο σχεδιασμό αποδοτικών αλγορίθμων.

Εικόνα 1 SA structure<sup>1</sup>



Εικόνα 2 MA Structure<sup>2</sup>

Πηγή Yu An, Yu Zhang and Bo Zeng, (2011). "The Reliable Hub-and-spoke Design Problem: Models and Algorithms" p5

Παρακάτω παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του hub & spoke δικτύου. :

### Πλεονεκτήματα του Hub & Spoke δικτύου

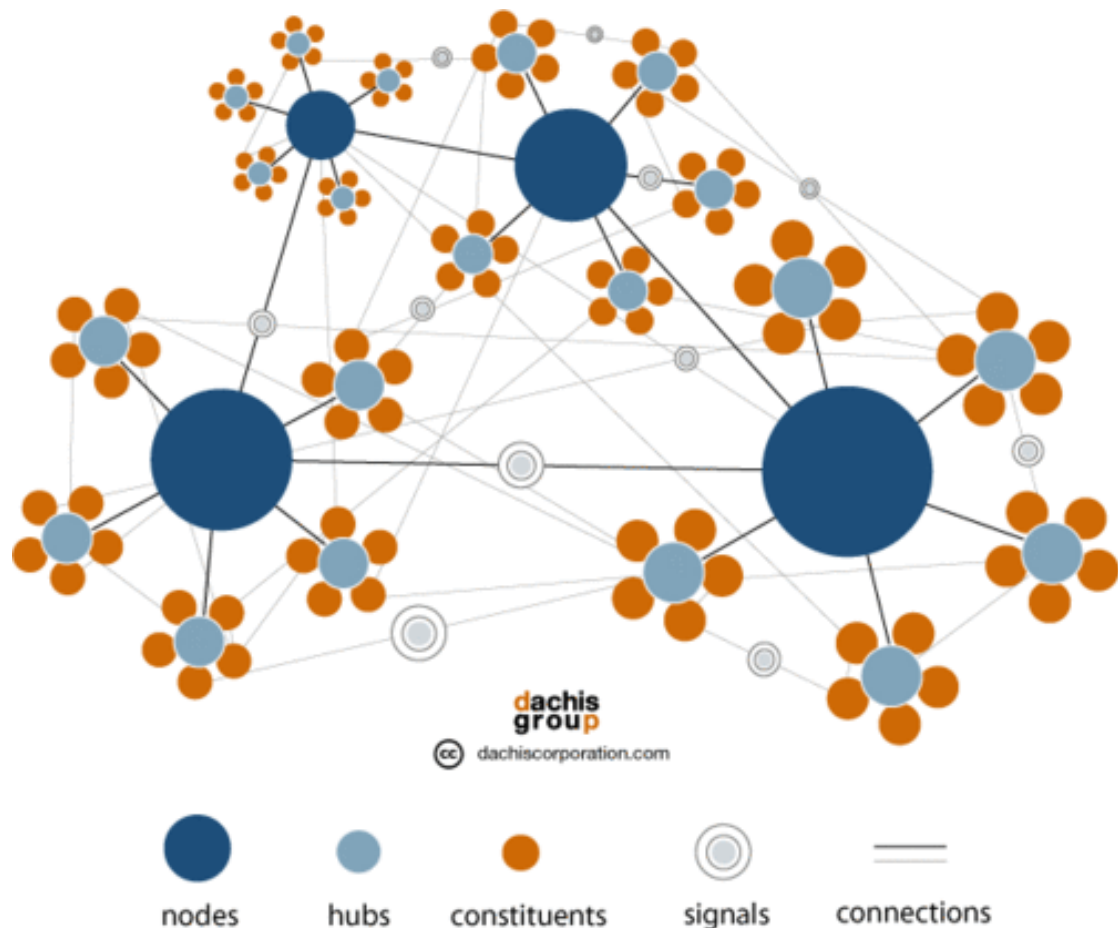
- Για ένα δίκτυο  $n$  κόμβων απαιτούνται μόνο  $n - 1$  διαδρομές για να συνδεθούν όλοι οι κόμβοι έτσι ώστε το άνω όριο να είναι  $n - 1$ , και η πολυπλοκότητα είναι  $O(n)$ . Το τελευταίο είναι ευνοϊκό συγκριτικά με τις διαδρομές  $\frac{n(n-1)}{2}$  ή  $O(n^2)$  συνδέσεις από κάθε κόμβο σε κάθε άλλο κόμβο, σε ένα δίκτυο με point-to-point (σημείου με σημείο) σύνδεση. Για παράδειγμα, σε ένα σύστημα με 10 προορισμούς, το σύστημα hub & spoke απαιτεί μόνο 9 διαδρομές για τη σύνδεση όλων των προορισμών και ένα πραγματικό σύστημα point-to-point απαιτεί 45 δρομολόγια.
- Ο μικρός αριθμός δρομολογίων μπορεί να οδηγήσει σε αποτελεσματικότερη χρήση των μεταφορικών μέσων. Για παράδειγμα, τα πλοία είναι πιο πιθανό να πλεύσουν με πλήρη χωρητικότητα και συχνά μπορούν να εκτελέσουν δρομολόγια περισσότερες από μία φορές την ημέρα, το οποίο βρίσκει άμεση εφαρμογή στο πρόβλημα που εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική εργασία.



- Συμπληρωματικές λειτουργίες, όπως η ταξινόμηση των συσκευασιών και η λογιστική, μπορούν να πραγματοποιηθούν στο κέντρο και όχι σε κάθε κόμβο.
- Τα spokes είναι απλά και έτσι μπορούν εύκολα να δημιουργηθούν νέα.

### Μειονεκτήματα του Hub & Spoke δικτύου

- Επειδή το μοντέλο είναι συγκεντρωτικό, οι καθημερινές-συνήθειες λειτουργίες μπορεί να είναι σχετικά δύσκαμπτες και οι αλλαγές στο κέντρο, ακόμη και σε μια ενιαία διαδρομή, μπορεί να έχουν απροσδόκητες συνέπειες σε όλο το δίκτυο. Μπορεί να είναι δύσκολο ή και αδύνατος χειρισμός περιστασιακής περιόδου υψηλής ζήτησης μεταξύ δύο ακτινών.
- Ο προγραμματισμός διαδρομής είναι περίπλοκος για τον διαχειριστή του δικτύου. Οι περιορισμένοι πόροι πρέπει να χρησιμοποιηθούν προσεκτικά για να αποφευχθεί η έλλειψη πόρων του κόμβου. Απαιτείται προσεκτική ανάλυση κυκλοφορίας και ακριβής χρονισμός για να διατηρηθεί η λειτουργία του κόμβου αποτελεσματικά.
- Ο κόμβος αποτελεί εμπόδιο ή ενιαίο σημείο αποτυχίας στο δίκτυο. Το συνολικό φορτίο του δικτύου περιορίζεται από την χωρητικότητα του κόμβου. Οι καθυστερήσεις στο κέντρο (όπως από τις κακές καιρικές συνθήκες) μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα καθυστερήσεις σε όλο το δίκτυο.
- Το φορτίο πρέπει να περάσει από τον κόμβο πριν φτάσει στον προορισμό του και έτσι απαιτούν μεγαλύτερα ταξίδια από ότι τα απευθείας ταξίδια από σημείο σε σημείο. Αυτό μπορεί να είναι επιθυμητό για τα εμπορεύματα, τα οποία μπορούν να επωφεληθούν από τη διαλογή και την ενοποίηση των επιχειρήσεων στο κέντρο, αλλά είναι προβληματική τόσο για τα φορτία που είναι κρίσιμα όσο και για τους επιβάτες.
- Απαιτούνται δύο ταξίδια για να φτάσουν στους περισσότερους προορισμούς. Η διανυθείσα απόσταση μπορεί επομένως να είναι αρκετές φορές μεγαλύτερη σε σύγκριση με την απευθείας διαδρομή μεταξύ σημείων αναχώρησης και προορισμού. Ο χρόνος που περνάει στο κέντρο αυξάνει τη διάρκεια του ταξιδιού. Επιπλέον, η έλλειψη του διαύλου σύνδεσης, της πτήσης ή της αμαξοστοιχίας μπορεί να είναι πιο ενοχλητική από μια καθυστέρηση.



Εικόνα 3 Η παραπάνω εικόνα αποτελεί σχηματική απεικόνιση ενός δικτύου Hub & Spoke. Πηγή: [http://darmano.typepad.com/logic\\_emotion/2009/06/sbd-1.html](http://darmano.typepad.com/logic_emotion/2009/06/sbd-1.html)

### 3.2. Το hub and spoke δίκτυο στη Ναυτιλία

Προσαρμοσμένο στην Ακτοπλοΐα, ένα δίκτυο της μορφής hub & spoke θα μπορούσε να περιγραφεί με τον ακόλουθο τρόπο: Ένα μεγάλο κεντρικό λιμάνι (hub), το οποίο θα διαθέτει τις κατάλληλες υποδομές και προδιαγραφές ορίζεται ως το σημείο έλξης του συνόλου των ροών εκείνων που αφορούν μια ολόκληρη γεωγραφική περιοχή. Έπειτα οι παραπάνω ροές διασπώνται ώστε να κατευθύνονται προς τα μικρότερα λιμάνια της ίδιας γεωγραφικής περιοχής. Τα τελευταία έχουν τον ρόλο των spokes στο σύστημα.

Το δίκτυο hub & spoke έχει ποικίλες εφαρμογές στις συγκοινωνίες και μεταφορές από το 1955 που εφαρμόστηκε για πρώτη φορά από τη Delta Airlines όπως προαναφέρθηκε. Στη ναυτιλία τέτοιου είδους δίκτυα άρχισαν να χρησιμοποιούνται τη δεκαετία του 1970 κυρίως στις μεταφορές εμπορευματοκιβωτίων.

Η χρήση των εμπορευματοκιβωτίων παρά το γεγονός ότι είχε αρχίσει ήδη από τα μέσα της δεκαετίας του 1940 έγινε αρκετά πιο ευρεία στα τέλη της δεκαετίας του 1980 κάτι που συνεχίστηκε ακόμα περισσότερο το 1990. Εκείνη τη χρονική στιγμή άρχισε να γίνεται αντιληπτή η ανάγκη εξεύρεσης του οικονομικά αποδοτικότερης διαδρομής για τα πλοία που μετέφεραν τα εμπορευματοκιβώτια. Ως επακόλουθο αυτής της κατάστασης οι παρεκκλίσεις από τις κεντρικές εμπορικές γραμμές μειώθηκαν σημαντικά το οποίο με τη σειρά του οδήγησε σε μικρότερο αριθμό προσεγγίσεων των περιφερειακών λιμανιών από τα μεγάλα πλοία μεταφοράς. Τα αγαθά μεταφέρονταν πλέον στους περιφερειακούς προορισμούς μέσω της πρακτικής της μεταφόρτωσης σε μικρότερα πλοία (feeder ships). Το αποτέλεσμα όλης αυτής της κατάστασης ήταν η παρακμή των παραδοσιακών λιμένων διαχείρισης φορτίου και τη δημιουργία νέων λιμένων οι οποίοι είχαν το πλεονέκτημα υποδοχής όλο και μεγαλύτερων (mother ships) καθώς και τις κατάλληλες υλικοτεχνικές υποδομές για την εξυπηρέτησή τους. Τα λιμάνια αυτά λειτουργούν ως Hubs.

Αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι παρά την εφαρμογή των δικτύων Hub & Spoke στη θαλάσσια μεταφορά εμπορευμάτων δεν έχει γίνει κάτι αντίστοιχο στη μεταφορά επιβατών. Ο βασικότερος λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι με εξαίρεση την Ελλάδα και κάποιες χώρες της Νοτιοανατολικής Ασίας δεν συναντάται πουθενά στον κόσμο τόσο έντονο το φαινόμενο της πολυνησίας.

### 3.3. Η τωρινή πραγματικότητα

Τα Δωδεκάνησα ή η Δωδεκάνησος ονομάζεται το σύνολο των νησιών και νησίδων, ανάμεσα στη Σάμο, την Κρήτη και τα μικρασιατικά παράλια. Ο συνολικός πληθυσμός του νομού Δωδεκανήσου φτάνει τους 190.071 κατοίκους (απογραφή 2001) και έχει έκταση 2.579,275 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Τον Οκτώβριο του 2006 τα κατοικημένα νησιά και νησίδες της Δωδεκανήσου ήταν στο σύνολο 27. Στο μοντέλο που κατασκευάσαμε κρατήσαμε τα δεκατρία μεγαλύτερα σε πληθυσμό νησιά τα οποία είναι με φθίνουσα πληθυσμιακή σειρά :

1. Ρόδος ( 115.499 κάτοικοι)
2. Κώς (33.388 κάτοικοι )
3. Κάλυμνος (11.179 κάτοικοι )
4. Λέρος (7.917 κάτοικοι )
5. Κάρπαθος (6.2161 κάτοικοι)
6. Πάτμος (3.047 κάτοικοι)
7. Σύμη (2.590 κάτοικοι )

8. Αστυπάλαια (1.334 κάτοικοι )
9. Κάσος (1.084 κάτοικοι)
10. Νίσυρος (1.008 κάτοικοι)
11. Τήλος (790 κάτοικοι)
12. Καστελλόριζο.(492 κάτοικοι)
13. Χάλκη (478 κάτοικοι)

Στα Δωδεκάνησα αλλά και σε άλλα νησιά του Βορειοανατολικού Αιγαίου παρατηρείται από το 2015 αύξηση της κίνησης των επιβατών σύμφωνα με τα στοιχεία του ΣΕΕΝ( Σύνδεσμος επιχειρήσεων Επιβατηγού Ναυτιλίας ).Το γεγονός αυτό αποδίδεται στην ιδιαίτερα αυξημένη κίνηση αλλοδαπών τουριστών και κυρίως μεταναστών, καθώς ο αριθμός των Ελλήνων επιβατών έχει μειωθεί σημαντικά σε σχέση με το παρελθόν .Ο ΣΕΕΝ επίσης επισημαίνει ότι είναι πολύ πιθανόν να παρουσιαστούν προβλήματα στις συνδέσεις μεταξύ των νησιών που εξυπηρετούνται με επιδοτούμενα δρομολόγια Δημόσιας Υπηρεσίας (άγονες γραμμές ) Κι αυτό, όπως εξήγησαν, καθώς υπάρχουν πλοία ηλικίας άνω των 40 ετών, τα οποία οδηγούνται σταδιακά προς απόσυρση αλλά είναι δύσκολο να αντικατασταθούν καθώς δεν υπάρχουν ελεύθερα διαθέσιμα στην αγορά.

Στο πλαίσιο σύγκρισης με το δίκτυο που προτείνεται από τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, παρουσιάζεται εδώ η τωρινή κατάσταση της ακτοπλοΐας στα Δωδεκάνησα, κάτι το οποίο αναλύεται περαιτέρω στο τέλος της Εργασίας.

Συγκεκριμένα αυτή τη στιγμή στα Δωδεκάνησα δραστηριοποιούνται οι παρακάτω ναυτιλιακές εταιρίες:

**1)Dodekanisos Seaways**, με έδρα τη Ρόδο η οποία ιδρύθηκε το 1999 και έχει τα παρακάτω πλοία

1) Dodekanisos Express :

Ολικό Μήκος : 40m

Πλάτος Καταμέτρησης:11m

Βάθος Καταμέτρησης: 3.68m

Υπηρεσιακή Ταχύτητα: 20~25 knots

Χωρητικότητα Επιβατών:335

2) Dodekanisos Pride :

Ολικό Μήκος : 40m

Πλάτος Καταμέτρησης:11.46

Βάθος Καταμέτρησης: 3.98m

Υπηρεσιακή Ταχύτητα: 20~25 knots

Χωρητικότητα Επιβατών:280~340

3) Dodekanisos Skiadeni :

Ολικό Μήκος : 85m

Πλάτος Καταμέτρησης: 13.5 m

Βάθος Καταμέτρησης: 4.69m

Υπηρεσιακή Ταχύτητα: 15 knots

Χωρητικότητα Επιβατών: 600~690

**2) Sea Dreams**

1) SYMI

Ολικό Μήκος : 69.25

Πλάτος Καταμέτρησης : 11.7m

Βάθος Καταμέτρησης: 4.98m

Υπηρεσιακή Ταχύτητα: 15 knots

Χωρητικότητα Επιβατών : 700~800

### **3)ANEK KALYMNOY**

#### 1) Nisos Kalymnos

Ολικό Μήκος : 60m

Πλάτος Καταμέτρησης: 10m

Βάθος Καταμέτρησης: 4.88m

Υπηρεσιακή Ταχύτητα : 15 knots

Χωρητικότητα Επιβατών :600~700

#### 2)Kalymnos Star

Ολικό Μήκος : 35m

Πλάτος Καταμέτρησης:13.5m

Βάθος Καταμέτρησης: 2.6 m

Υπηρεσιακή Ταχύτητα: 15 knots

Χωρητικότητα Επιβατών :~200 επιβάτες

#### 3) Kalymnos Dolphin :

Ολικό Μήκος : 30m

Πλάτος Καταμέτρησης:15.8m

Βάθος Καταμέτρησης: 2.8m

Υπηρεσιακή Ταχύτητα: 15 knots

Χωρητικότητα Επιβατών :~200

#### **4) Aigaio Pelagos**

1)F/B Prevelis

Ολικό Μήκος :140 m

Πλάτος Καταμέτρησης : 23.5

Βάθος Καταμέτρησης :5.73m

Υπηρεσιακή Ταχύτητα : 15~20knots

Χωρητικότητα Επιβατών : 1.300

#### **5) BLUE STAR FERRIES**

1) BLUE STAR 2

Ολικό Μήκος : 170m

Πλάτος Καταμέτρησης : 26.2.m

Βάθος Καταμέτρησης : 5.73m

Υπηρεσιακή Ταχύτητα : 25 ~27knots

Χωρητικότητα Επιβατών : 1.800

2)BLUE STAR PATMOS

Ολικό Μήκος :140 m

Πλάτος Καταμέτρησης: 23m

Βάθος Καταμέτρησης: 5.73m

Υπηρεσιακή Ταχύτητα: 23~25 knots

Χωρητικότητα Επιβατών :1.300

### 3) BLUE STAR DIAGORAS

Ολικό Μήκος :141.25m

Πλάτος Καταμέτρησης: 23m

Βάθος Καταμέτρησης: 5.73m

Υπηρεσιακή Ταχύτητα: 23~25 knots

Χωρητικότητα Επιβατών: 1.300

### 6) SUPERFAST FERRIES( πλέον με τα σήματα της Blue Star)

#### 1) SUPERFAST XII

Ολικό Μήκος :188m

Μήκος Καταμέτρησης:25m

Βάθος Καταμέτρησης: 5.93m

Υπηρεσιακή Ταχύτητα: 25~27 knots

Χωρητικότητα Επιβατών: 1800

Να σημειωθεί ότι η Ναυτιλιακή Εταιρεία της Λέσβου (C –Link ) θα δραστηριοποιηθεί σύντομα στο χώρο των Δωδεκανήσων-συνεπώς θα αυξηθεί ο αριθμός των εν ενεργεία πλοίων-.



Οι συνδέσεις που πραγματοποιούνται και περιλαμβάνουν νησιά των Δωδεκανήσων είναι οι παρακάτω.

- Πειραιάς → Κάλυμνος → Κώς → Ρόδος.
  - Πάρος → Νάξος → Αστυπάλαια → Πάτμος → Λειψοί → Λέρος → Νίσυρος → Τήλος → Σύμη → Καστελλόριζο.
  - Πειραιάς → Σάμος → Ρόδος → Κως → Ρόδος → Κάρπαθος
  - Ρόδος → Σύμη → Καστελλόριζο
  - Ρόδος → Χάλκη → Τήλος → Νίσυρος → Κώς → Κάλυμνος → Λέρος → Λειψοί → Πάτμος → Αγαθονήσι → Σάμος
  - Κώς → Σύμη → Ρόδος
  - Κώς → Κάλυμνος → Λέρος → Πάτμος → Αρκοί → Αγαθονήσι → Σάμος → Φούρνοι → Ικαρία
  - Ρόδος → Πανορμίτης → Σύμη
  - Πειραιάς → Σύρος → Αμοργός → Πάτμος → Λέρος → Κως → Ρόδος
  - Πειραιάς → Μήλος → Σαντορίνη → Ηράκλειο Κρήτης → Σητεία → Κάρπαθος → Κάσος → Χάλκη → Ρόδος .
  - Θεσσαλονίκη → Ρόδος.
  - Κάλυμνος → Μαστιχάρι → Κάλυμνος
  - Κάλυμνος → Αστυπάλαια → Κάλυμνος
- Οι επιδοτούμενες γραμμές ( Άγονες Γραμμές ) οι οποίες περιλαμβάνουν νησιά των Δωδεκανήσων είναι οι εξής . Σε επίπεδο επιβατών, οι άγονες γραμμές αντιπροσωπεύουν το 3% – 5% της ετήσιας κίνησης.
- Τήλος → Ρόδος → Σύμη & επιστροφή
  - Νίσυρος → Κώς
  - Θήρα → Κάσος → Πηγάδια Καρπάθου → Διαφάνι → Χάλκη → Ρόδος
  - Κάλυμνος → Λέρος → Λειψοί → Πάτμος → Αρκοί → Αγαθονήσι → Πυθαγόρειο Σάμου & επιστροφή

---

## 4. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ & ΕΠΙΛΥΣΗ

---

Στην παράγραφο αυτή θα εργαστούμε με σκοπό την μαθηματική μοντελοποίηση του προβλήματος υλοποίησης δρομολογίων και ανάθεσης δρομολογίων στα Δωδεκάνησα. Στη συνέχεια θα υλοποιήσουμε το μοντέλο μας στο λογισμικό excel και θα επιλυθεί με την χρήση της μεθόδου simplex μέσω του solver.

Στόχος είναι η ελαχιστοποίηση:

- του κόστους υλοποίησης των δρομολογίων και
- της απώλειας εσόδων των εισιτηρίων από ταξιδιώτες που δεν εξυπηρετήθηκαν.

Υπό τους περιορισμούς που αφορούν:

- τον αριθμό των πλοίων που είναι διαθέσιμα για κάθε hub
- τον μέγιστο και ελάχιστο αριθμό δρομολογίων που μπορεί να εκτελέσει κάθε τύπος πλοίου
- τον μέγιστο και ελάχιστο αριθμό ωρών ταξιδιού που μπορεί να εκτελέσει κάθε τύπος πλοίου. Οι περιορισμοί αυτοί αφορούν κυρίως το πλήρωμα
- τη σειρά εκτέλεσης των δρομολογίων

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε αναλυτικά:

- τις υποθέσεις που χρειάστηκε να υιοθετήσουμε προκειμένου να υλοποιήσουμε μια πρώτη προσέγγιση του πραγματικού προβλήματος με τη χρήση του γραμμικού προγραμματισμού.
- την μαθηματική μοντελοποίηση του προβλήματος για τα Δωδεκάνησα ενσωματώνοντας την μεθοδολογία των hubs και hub-ports.
- την μορφολογία των hubs όπως αυτά ορίστηκαν για τα Δωδεκάνησα
- την επίλυση του προβλήματος σε μικρή κλίμακα, και
- την σύγκριση των αποτελεσμάτων με άλλα δύο ακραία μοντέλα (μεγιστοποίησης κέρδους, ελαχιστοποίησης πελατών που δεν έχουν εξυπηρετηθεί).

#### 4.1. Υποθέσεις

- Πάντα στο μοντέλο προτιμάται να μην εξυπηρετηθεί ένας αριθμός ταξιδιωτών από το να πραγματοποιηθούν δρομολόγια με χαμηλή πληρότητα που δε θα κάλυπταν το κόστος υλοποίησης του ταξιδιού (ρεαλιστική υπόθεση).
- Τα πλοία έχουν την απαιτούμενη ποσότητα καυσίμου για την εκτέλεση των δρομολογίων που αναφέρονται για κάθε τύπο πλοίου (ρεαλιστική υπόθεση).
- Τα λιμάνια έχουν άπειρη χωρητικότητα σε αφίξεις και αναχωρήσεις μη ρεαλιστική υπόθεση). Ωστόσο για τα παραδείγματα που εργαζόμαστε και την περίπτωση των Δωδεκανήσων ο αριθμός των πλοίων, των δρομολογίων καθώς και το εύρος του προβλήματος που μοντελοποιείται, η υπόθεση αυτή μπορεί να θεωρηθεί σχεδόν ρεαλιστική.
- Στα πλοία λαμβάνεται υπόψη μόνο η χωρητικότητα σε επιβάτες αφού μελετάμε μόνο την εξυπηρέτηση επιβατών (μη ρεαλιστική υπόθεση). Ωστόσο αυτή η υπόθεση δεν επηρεάζει σημαντικά την ορθότητα των αποτελεσμάτων αφού σκοπός της μαθηματικής μοντελοποίησης είναι η βελτιστοποίηση της εξυπηρέτησης των ταξιδιωτών.
- Κάθε πλοίο μπορεί να ταξιδέψει τη μέρα 8 ή 10 ώρες το πολύ ανά ημέρα, ανάλογα με τον τύπο του (ρεαλιστική υπόθεση). Η υπόθεση αυτή θεωρείται ρεαλιστική για το σύμπλεγμα νησιών που εξετάζεται (Δωδεκάνησα).
- Για κάθε Hub λύνεται το παρακάτω μοντέλο βελτιστοποίησης γραμμικού προγραμματισμού για την εύρεση μιας βέλτιστης λύσης – συνδυασμού δρομολογίων για την ελαχιστοποίηση του κόστους από κακή εξυπηρέτηση.

Οι παραπάνω υποθέσεις μας βοηθάνε να διατηρήσουμε τη γραμμικότητα στον μαθηματικό μοντέλο μας, να μειώσουμε τον αριθμό των μεταβλητών και των περιορισμών ώστε να κρατήσουμε τον υπολογιστικό χρόνο σε χαμηλά επίπεδα για να μπορέσει κατ' επέκταση το μοντέλο να υλοποιηθεί μέσω του προγράμματος excel.

#### 4.2. Σύνολα

$\wp$ : (Ports) Το σύνολο των νησιών – λιμανιών σε ένα Hub

$\mathcal{T}$ : (Types) Το σύνολο των τύπων των πλοίων του στόλου για το σύμπλεγμα νησιών που εξετάζεται

$\mathcal{S}$ : (*Ships*) Το σύνολο των πλοίων που εξυπηρετεί ένα Hub

$\mathcal{R}$ : (*Routes*) Το σύνολο των δρομολογίων  $(i, j)$  σε ένα Hub,  $\forall (i, j) \in \mathcal{R}$

### 4.3. Δεδομένα

$C(t)$ : (*Capacity*) Η χωρητικότητα του πλοίου τύπου  $t$ ,  $\forall t \in \mathcal{T}$

$type(s)$ : Ο τύπος του πλοίου  $s$ , με  $type(s) \in \mathcal{T}$

$max\_R(t)$ : ο μέγιστος αριθμός δρομολογίων που μπορεί να κάνει ένα πλοίο τύπου  $t$ ,  $\forall t \in \mathcal{T}$

$min\_R(t)$ : ο ελάχιστος αριθμός δρομολογίων που μπορεί να κάνει ένα πλοίο τύπου  $t$ ,  $\forall t \in \mathcal{T}$

$D(i, j)$ : (*Demand*) η ζήτηση του δρομολογίου  $(i, j)$ ,  $\forall (i, j) \in \mathcal{R}$

$vel(t)$ : (*Velocity*) Η μέση ταχύτητα ταξιδιού για το πλοίο τύπου  $t$ ,  $\forall t \in \mathcal{T}$

$dis(i, j)$ : (*Distance*) Η απόσταση μεταξύ δύο λιμανιών  $i$  και  $j$  σε μίλια,  $\forall (i, j) \in \mathcal{R}$

$hub(h)$ : (*Hub – Port*) Το Hub-port (κεντρικό λιμάνι) του Hub  $h$ , με  $hub(h) \in \mathcal{P}$ ,  $\forall h \in \mathcal{H}$

$mp(i, j)$ : (*mean price*) μέση τιμή του εισιτηρίου για το δρομολόγιο  $(i, j)$  με βάση τις τιμές των εισιτηρίων των πλοίων που εξυπηρετούν το εν λόγω δρομολόγιο,  $\forall (i, j) \in \mathcal{R}$

$cph(t)$ : (*cost per hour*) Το κόστος ανά ώρα για την πραγματοποίηση ενός ταξιδιού για το πλοίο τύπου  $t$ ,  $\forall t \in \mathcal{T}$

$F^S$ : ( η μεγιστη διάρκεια ταξιδιού για το πλοίο  $S$  ανά εβδομάδα)

Να σημειωθεί ότι η χρονική διάρκεια μελέτης είναι η μία εβδομάδα.

### 4.4. Μεταβλητές απόφασης

$X^s(i, j)$ : πόσες φορές θα εκτελέσει το πλοίο  $s$  το δρομολόγιο  $(i, j)$  στον χρονικό ορίζοντα που μελετάται,  $\forall s \in \mathcal{S}, (i, j) \in \mathcal{R}$

### 4.5. Αντικειμενική Συνάρτηση

Ελαχιστοποίηση κόστους – (losses) από κακή εξυπηρέτηση ταξιδιωτών.

Η κακή εξυπηρέτηση εκφράζεται στο μοντέλο μας κυρίως από τους δύο παρακάτω όρους:

1. Ταξιδιώτες που δεν εξυπηρετήθηκαν από τα πλοία του στόλου. Αυτό αντιστοιχεί σε κόστος-ζημία (*opportunity loss*) από εισιτήρια που δεν πουλήθηκαν.
2. Διάρκεια ταξιδιού και επιλογή τύπων πλοίου για υλοποίηση διαδρομών. Ο συνδυασμός των δύο αυτών όρων είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με τα κόστη πραγματοποίησης δρομολογίων.

Ο πρώτος όρος μαθηματικά εκφράζεται ως εξής:

$$\sum_{s \in \mathcal{S}} \sum_{(i,j) \in \mathcal{R}} mp(i,j) [D(i,j) - X^s(i,j)C(type(s))]$$

Ο δεύτερος όρος μαθηματικά εκφράζεται ως εξής:

$$\sum_{s \in \mathcal{S}} \sum_{(i,j) \in \mathcal{R}} cph(type(s)) \left[ X^s(i,j) \frac{dis(i,j)}{vel(type(s))} \right]$$

Επομένως, η αντικειμενική συνάρτηση είναι η ελαχιστοποίηση των δύο αυτών όρων:

$minz =$

$$\min \sum_{s \in \mathcal{S}} \sum_{(i,j) \in \mathcal{R}} \left\{ mp(i,j) [D(i,j) - X^s(i,j)C(type(s))] + cpm(type(s)) \left[ X^s(i,j) \frac{dis(i,j)}{vel(type(s))} \right] \right\}$$

#### 4.6 Υπό τους περιορισμούς

**1. Περιορισμός πληρότητας πλοίων ώστε να μην γίνουν δρομολόγια για έναν αριθμό επιβατών που δεν καλύπτουν τα κόστη ταξιδιού**

$$\sum_{s \in \mathcal{S}} [D(i,j) - X^s(i,j)C(type(s))] \geq 0, \forall (i,j) \in \mathcal{R} ,$$

**2. Περιορισμός μεγίστου και ελαχίστου αριθμού δρομολογίων**

$$\min\_R(type(s)) \leq \sum_{(i,j) \in \mathcal{R}} X^s(i,j) \leq \max\_R(type(s))$$

**3. Περιορισμός μέγιστων ωρών ταξιδιού**

$$\sum_{(i,j) \in \mathcal{R}} X^s(i,j) \frac{dis(i,j)}{vel(type(s))} < F^s, \forall s \in \mathcal{S}$$

**4. Περιορισμός Hub-Port.** Όλα τα πλοία ενός hub  $h$  πρέπει να ξεκινάνε και να επιστρέφουν στο hub λιμάνι  $p$ . Όπου  $p = \text{hub}(h)$ .

$$\sum_{j \in \mathcal{P}: (p,j) \in \mathcal{R}} X^s(p,j) - \sum_{i \in \mathcal{P}: (i,p) \in \mathcal{R}} X^s(i,p) = 0$$

**5. Περιορισμοί συνέχειας δρομολογίων για ένα πλοίο  $s$  σε ένα hub  $h$ .**

$$\sum_{\substack{i \in \mathcal{P} \setminus \{\text{hub}(h)\}: \\ (i,j) \in \mathcal{R}}} X^s(i,j) - \sum_{\substack{i \in \mathcal{P} \setminus \{\text{hub}(h)\}: \\ (j,k) \in \mathcal{R}}} X^s(j,k) = 0, \forall s \in \mathcal{S}, j \in \mathcal{P}$$

**6. Περιορισμοί μη αρνητικότητας**

$$X^s(i,j) \geq 0, \forall (i,j) \in \mathcal{R}, s \in \mathcal{S}$$

Ο πρώτος περιορισμός αναγκάζει ένα δρομολόγιο να υλοποιηθεί μόνο αν έχει καλυφθεί η πληρότητα του πλοίου το οποίο θα εκτελέσει το δρομολόγιο. Ο όρος αυτός δεν είναι τελείως ρεαλιστικός όμως επιτρέπει στο μοντέλο να διατηρήσει την γραμμικότητα του αφού ένας περιορισμός με απόλυτο  $\sum_{s \in \mathcal{S}} |D(i,j) - X^s(i,j)C(\text{type}(s))| \leq a * C(\text{type}(s))$  θα έκανε το μοντέλο μη -γραμμικό ( γιατί ένα απόλυτο δημιουργεί μη γραμμικότητα ), όπου  $a$  το ποσοστό πληρότητας που θέλουμε να έχει ένα πλοίο για να εκτελέσει το δρομολόγιο ώστε να υπερκαλύψει τα κόστη υλοποίησης του δρομολογίου αυτού.

Οι περιορισμοί 2 και 3 αναγκάζουν το πλοίο να σταματήσει να εκτελεί δρομολόγια αν αυτό εκτελέσει το μέγιστο αριθμό των δρομολογίων του ή συμπληρώσει το μέγιστο αριθμό ωρών λειτουργίας. Στο μοντέλο επιβάλλονται και οι δύο περιορισμοί διότι σε hubs όπου οι αποστάσεις είναι μικρές ενεργοποιείται πρώτα ο περιορισμός των αριθμών των δρομολογίων ενώ σε μεγάλες αποστάσεις πρώτα υλοποιείται ο αριθμός των μέγιστων ωρών. Με τον τρόπο αυτό καλύπτουμε και τις δύο περιπτώσεις. Ωστόσο ο αριθμός μεγίστων ωρών αφορά επίσης και το πλήρωμα με βάση των ωρών εργασίας.

Οι περιορισμοί 4 και 5 επιβάλλουν συνέχεια στο μοντέλο μας. Συγκεκριμένα, ο 4 αναγκάζει τα πλοία να ξεκινήσουν τα δρομολόγια τους από το hub λιμάνι και να καταλήξουν σε αυτό με την υλοποίηση των δρομολογίων. Ο περιορισμός 5 αναγκάζει

ένα πλοίο να φύγει από ένα λιμάνι όσες φορές έφτασε σε αυτό. Έτσι με αυτό τον τρόπο διατηρείται η συνέχεια των δρομολογίων μεταξύ των λιμανιών.

Τέλος ο περιορισμός 6 αποτελεί τον περιορισμό μη αρνητικότητας των μεταβλητών απόφασης.

## 4.2. Προγραμματισμός – Η περίπτωση των Δωδεκανήσων

Το μοντέλο που αναπτύχθηκε στην παραπάνω παράγραφο θα εξεταστεί για την επίλυση του προβλήματος των Δωδεκανήσων. Συγκεκριμένα, θα χρησιμοποιήσουμε το πρόγραμμα excel του office και τον solver simplex για την ελαχιστοποίηση του κόστους της κακής εξυπηρέτησης των ταξιδιωτών των εσωτερικών δρομολογίων στα Δωδεκάνησα.

Λόγω των περιορισμένων δυνατοτήτων του excel και solver σε αριθμό μεταβλητών και πολυπλοκότητας του προβλήματος, το πρόβλημα θα επιλυθεί με την ακόλουθη μεθοδολογία.

**1<sup>ο</sup> Βήμα:** Για το πρόβλημα μας επιλέγουμε μόνο τα 13 νησιά με μεγαλύτερη επισκεψιμότητα και αριθμό κατοίκων. Έτσι στο πρόβλημα μας λαμβάνουμε υπόψη τα νησιά: Ρόδος, Κάρπαθος, Κως, Κάλυμνος, Αστυπάλαια, Κάσος, Τήλος, Σύμη, Λέρος, Νίσυρος, Πάτμος και Καστελόριζο.

**2<sup>ο</sup> Βήμα:** Για την απλοποίηση του προβλήματος και τη μείωση των μεταβλητών ώστε να επιλυθεί στο πρόγραμμα excel και με τη χρήση του solver simplex θα υιοθετήσουμε την μεθοδολογία των Hubs. Έτσι η μορφολογία του προβλήματος μας είναι η εξής:

- Δημιουργούμε τρία Hubs με Hub-λιμάνια την Ρόδο, Τήλο και Λέρο. Η επιλογή αυτών έγινε γεωγραφικά ώστε να μειωθούν οι αποστάσεις των δρομολογίων.
- Το Hub1 της Ρόδου αποτελείται από τα Spoke-Ports λιμάνια Κάρπαθος, Κάσος και Καστελόριζο.
- Το Hub2 της Τήλου αποτελείται από τα Spoke-Ports λιμάνια Σύμη, Χάλκη και Νίσυρος.
- Το Hub3 της Λέρου αποτελείται από τα Spoke-Ports λιμάνια Πάτμος, Κάλυμνος και Αστυπάλαια.

- Τέλος, δημιουργούμε ένα υπέρ-Hub με υπέρ-Hub λιμάνι την Κω το οποίο θα περιέχει μόνο τα Hub-λιμάνια (Ρόδος, Τήλος και Λέρος). Με αυτόν τον τρόπο θα επικοινωνούν τα Hubs μεταξύ τους.



## Δωδεκάνησα Hub Rhodes



## Δωδεκάνησα Hub Tilos

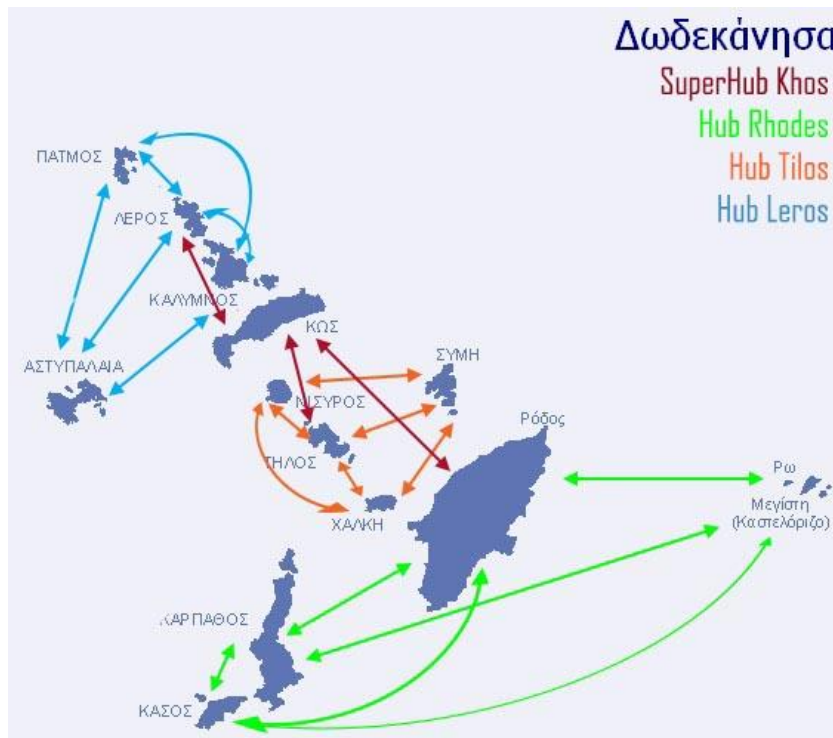


## Δωδεκάνησα Hub Leros



## Δωδεκάνησα SuperHub Kos





Εικόνα 4: Το δίκτυο των Δωδεκανήσων.

**3<sup>ο</sup> Βήμα:** Οι αποστάσεις των λιμανιών (σε μίλια) μετρήθηκαν μέσω των ιστοσελίδων [apostaseis.gr](http://apostaseis.gr)<sup>1</sup>, [marinetraffic.com](http://marinetraffic.com)<sup>2</sup> βασιζόμενοι στις ακτοπλοϊκές γραμμές που εμφανίζονται στο χάρτη και συνδέουν τα λιμάνια.

**4<sup>ο</sup> Βήμα:** Κάθε Hub ή υπέρ-Hub έχει 4 πλοία (ένα από κάθε τύπο 1,2,3,4) στο Hub-λιμάνι για την υλοποίηση των εσωτερικών δρομολογίων. Τα χαρακτηριστικά των πλοίων πάρθηκαν από τα πλοία που ήδη χρησιμοποιούνται από ναυτιλιακές εταιρείες<sup>3</sup> για τα δρομολόγια των Δωδεκανήσων. Τα τέσσερα ήδη πλοίων είναι τα εξής:

Τύπος	Χωρητικότητα (επιβάτες)	Ταχύτητα (κόμβοι)	Κόστος/ώρα (ευρώ)	Τιμή εισιτηρίου (ευρώ)	Εβδομαδιαίος χρόνος ταξιδιών (ώρα) max
T1	400	20	1841,25	35	56
T2	1800	27	3417,81	40	70
T3	700	16	1104,75	30	56
T4	1300	23	2514,45	45	70

<sup>1</sup>[http://www.apostaseis.gr/loc\\_ap/apostaseis-se-eftheia.asp](http://www.apostaseis.gr/loc_ap/apostaseis-se-eftheia.asp)

<sup>2</sup><https://www.marinetraffic.com/en/ais/home>

<sup>3</sup><http://www.directferries.gr/>

**5<sup>ο</sup> Βήμα:** Η περίοδος εξυπηρέτησης που εξετάζεται είναι μία εβδομάδα Αυγούστου και οι τιμές ζήτησης εισιτηρίων βασίζονται στα δεδομένα από την Ελληνική Στατιστική Εταιρία, το Λιμεναρχείο Ρόδου, τις επίσημες ιστοσελίδες των ναυτιλιακών εταιριών.

### Για το υπέρ-Hub της Κω

Ο πίνακας παρουσιάζει τα επιτρεπόμενα δρομολόγια που πρέπει να εκτελεστούν στο συγκεκριμένο hub.

Δρομολόγια	Κως	Ρόδος	Τήλος	Λέρος
Κως		R1	R2	R3
Ρόδος	R4		R5	R6
Τήλος	R7	R8		R9
Λέρος	R10	R11	R12	

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η ζήτηση για κάθε δρομολόγιο και η απόσταση κάθε δρομολογίου.

	Routes Properties											
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
Demand	4000	3600	1800	3500	2800	1300	3800	3100	1600	1900	1200	1500
Distance	72,5	40	29,3	72,5	43,5	98,3	40	43,5	63,4	29,3	98,3	63,4

### Για το Hub της Ρόδου

Ο πίνακας παρουσιάζει τα επιτρεπόμενα δρομολόγια που πρέπει να εκτελεστούν στο συγκεκριμένο hub.

Δρομολόγια	Ρόδος	Κάρπαθος	Κάσος	Καστελόριζο
Ρόδος		R1	R2	R3
Κάρπαθος	R4		R5	R6
Κάσος	R7	R8		R9
Καστελόριζο	R10	R11	R12	

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η ζήτηση για κάθε δρομολόγιο και η απόσταση κάθε δρομολογίου.

	Routes Properties											
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
Demand	2100	2000	2300	2700	2300	1600	2800	1500	1300	2800	1500	1100
Distance	156,7	179	141,3	156,7	56,5	248,4	179	56,5	280,5	141,3	248,4	280,5

### Για το Hub της Τήλου

Ο πίνακας παρουσιάζει τα επιτρεπόμενα δρομολόγια που πρέπει να εκτελεστούν στο συγκεκριμένο hub.

Δρομολόγια	Τήλος	Σύμη	Νίσυρος	Χάλκη
Τήλος		R1	R2	R3
Σύμη	R4		R5	R6
Νίσυρος	R7	R8		R9
Χάλκη	R10	R11	R12	

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η ζήτηση για κάθε δρομολόγιο και η απόσταση κάθε δρομολογίου.

	Routes Properties											
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
Demand	4000	3600	1800	3500	2800	1300	3800	3100	1200	1900	1300	1400
Distance	64,1	39,4	35,3	64,1	82,3	69,5	39,4	82,3	69,4	35,3	69,5	69,4

### Για το Hub της Λέρου

Ο πίνακας παρουσιάζει τα επιτρεπόμενα δρομολόγια που πρέπει να εκτελεστούν στο συγκεκριμένο hub.

Δρομολόγια	Λέρος	Πάτμος	Κάλυμνος	Αστυπάλαια
Λέρος		R1	R2	R3
Πάτμος	R4		R5	R6
Κάλυμνος	R7	R8		R9
Αστυπάλαια	R10	R11	R12	

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η ζήτηση για κάθε δρομολόγιο και η απόσταση κάθε δρομολογίου.

	Routes Properties											
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
Demand	3700	3600	2200	3900	3500	1600	2150	3800	1100	1700	1300	1300
Distance	64,1	39,4	35,3	64,1	82,3	69,5	39,4	82,3	69,4	35,3	69,5	69,4

Με βάση την παραπάνω μορφολογία του προβλήματος, τη ζήτηση και τα χαρακτηριστικά των πλοίων θα προχωρήσουμε στην επίλυση του παρακάτω εικονικού προβλήματος μικρής κλίμακας, το οποίο ωστόσο βασίζεται σε ρεαλιστικά δεδομένα.

## 4.3 Επίλυση Προβλήματος

Για την υλοποίηση της μοντελοποίησης και την επίλυση προβλημάτων μικρής κλίμακας θα χρησιμοποιηθεί ένας υπολογιστής windows 10 64 bit, επεξεργαστής intel core I7 2.9 GHz με μνήμη RAM 6GB και το λογισμικό excel 2010. Η επίλυση θα γίνει, όπως αναφέρθηκε και στην αρχή της ενότητας, με τη χρήση του βοηθητικού προγράμματος επίλυσης γραμμικών προβλημάτων του excel, solver.

### Προσδιορισμός και επίλυση προβλήματος χρησιμοποιώντας τον solver

Ο solver είναι ένα πρόσθετο πρόγραμμα του Microsoft Excel που μπορείτε να χρησιμοποιήσετε κανείς για την ανάλυση what-if. Η Επίλυση επιτρέπει την εύρεση της βέλτιστης (μέγιστης ή ελάχιστης) τιμής για τον τύπος ενός κελιού — το οποίο ονομάζεται κελί στόχου — που υπόκειται σε περιορισμούς ή όρια στις τιμές άλλων κελιών τύπων σε ένα φύλλο εργασίας. Η Επίλυση λειτουργεί με μια ομάδα κελιών, τα οποία ονομάζονται μεταβλητές αποφάσεων ή απλώς μεταβλητά κελιά, που συμμετέχουν στον υπολογισμό των τύπων στα κελιά στόχου και στα κελιά περιορισμού.

Για την επίλυση των παραδειγμάτων θα επιλεγεί η μέθοδος επίλυσης γραμμικού προγραμματισμού simplex.

### Υλοποίηση προβλήματος μικρού μεγέθους



**Octopus  
Seaways**

Αρχικά θεωρούμε την εικονική ναυτιλιακή εταιρία Octopus Seaways η οποία έχει αναλάβει αποκλειστικά τα εσωτερικά δρομολόγια των Δωδεκανήσων και τις 48 διαδρομές όπως αυτές παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο.

Στην παρούσα ενότητα θα εργαστούμε με σκοπό την λήψη επιχειρησιακών και οργανωτικών αποφάσεων για τη διαμόρφωση του στόλου και τον διαδρομών που θα εκτελεί κάθε πλοίο σε κάθε Hub, έτσι ώστε να βελτιστοποιηθεί η εξυπηρέτηση των ταξιδιωτών αλλά και να έχει κέρδος η ναυτιλιακή εταιρία.

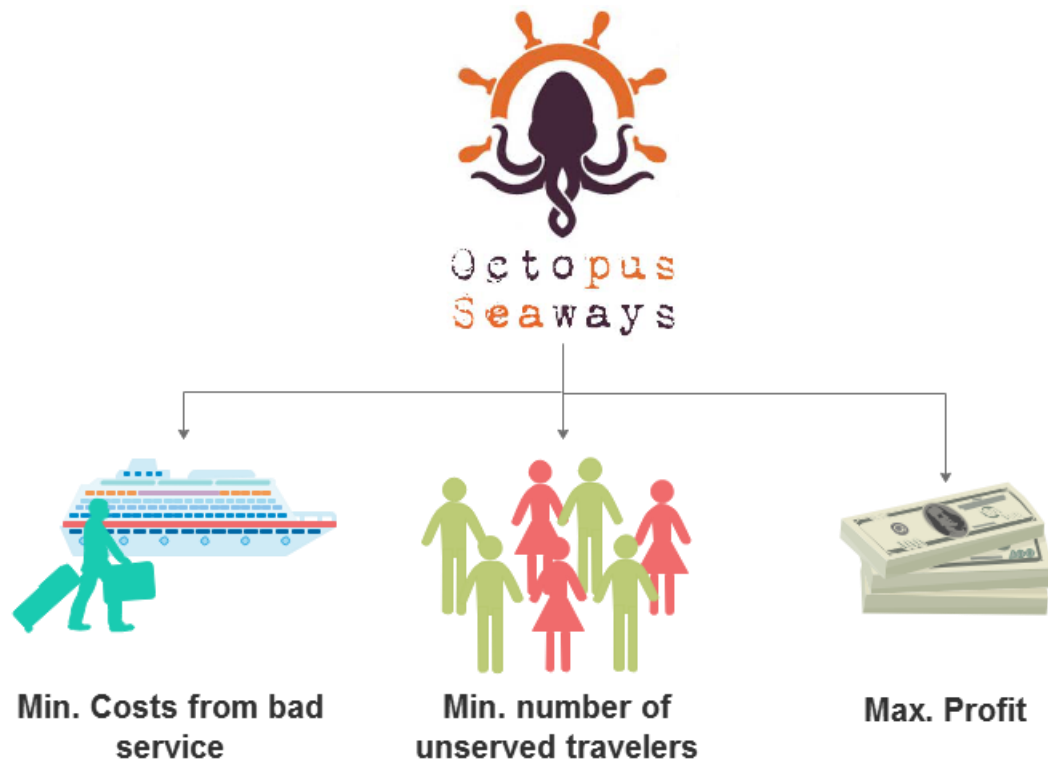
Συγκεκριμένα, η Octopus Seaways είναι διατεθειμένη να επενδύσει για τη δημιουργία ενός στόλου αποτελούμενο από 16 πλοία, όπως αυτά παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα ως αρχική προσέγγιση του προβλήματος. Στη συνέχεια μέσω

της επίλυσης του προβλήματος θα ελεγχθεί αν πρέπει να γίνουν αλλαγές των τύπων των πλοίων ή να παραμείνει ο αρχικός προτεινόμενος στόλος. Ερωτήματα όπως:

- Ο αριθμός των πλοίων στο στόλο επαρκεί για την κάλυψη της ζήτησης;
- Πόσα πλοία από κάθε τύπο πρέπει να περιέχει ο στόλος ως ιδανικό συνδυασμό;
- Ποια δρομολόγια, από ποια πλοία και πόσες φορές πρέπει να πραγματοποιηθούν ώστε να έχει κέρδος η εταιρία και παράλληλα να εξυπηρετηθεί ο μέγιστος δυνατός αριθμός επιβατών;

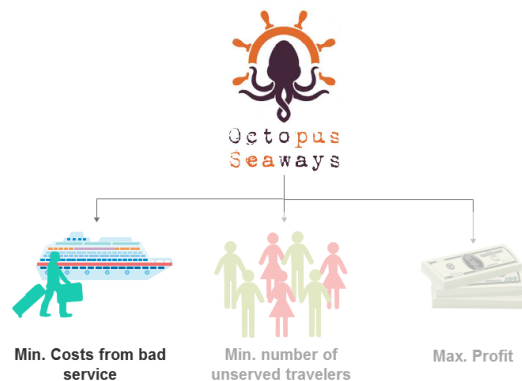
Με βάση τα παραπάνω υλοποιήσαμε το πρόβλημα των εξυπηρέτησης των εσωτερικών δρομολογίων στα Δωδεκάνησα στο πρόγραμμα excel για την ελαχιστοποίηση του κόστους λόγω κακής εξυπηρέτησης (κόστος μη εξυπηρέτησης ταξιδιωτών, κόστος υλοποίησης δρομολογίων). Το σενάριο αυτό θα συγκριθεί με άλλες δύο ακραίες περιπτώσεις. Η μία αφορά την ελαχιστοποίηση του αριθμού των ταξιδιωτών που δεν εξυπηρετήθηκαν, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το κόστος υλοποίησης των δρομολογίων και η άλλη περίπτωση την μεγιστοποίηση του κέρδους της εταιρίας χωρίς να λαμβάνεται υπόψη ο αριθμός των ταξιδιωτών που εξυπηρετήθηκαν. Επομένως υλοποιήσαμε και παρουσιάζουμε τα τρία αυτά σενάρια (business plans):

1. Ελαχιστοποίηση ταξιδιωτών που δεν εξυπηρετήθηκαν από την εταιρία Octopus Seaways και του κόστους υλοποίησης των δρομολογίων.
2. Ελαχιστοποίηση του αριθμού των ταξιδιωτών που δεν εξυπηρετήθηκαν.
3. Λαμβάνοντας υπόψη μόνο την μεγιστοποίηση του κέρδους.



### Πρώτη Περίπτωση

Για την πρώτη περίπτωση, στην οποία βασίζεται το μαθηματικό μοντέλο που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο, θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα αποτελέσματα, θα προταθούν ενδεικτικά δρομολόγια και θα γίνει οικονομική μελέτη των κοστών και κέρδους της εταιρίας. Τέλος τα αποτελέσματα αυτά θα συγκριθούν με τα άλλα δύο ακραία σενάρια.



### **Υπέρ-Hub Κως**

Ο στόλος που επιλέγεται αρχικά για την υλοποίηση των εσωτερικών δρομολογίων στο υπέρ-Hub είναι:

Πλοία	Τύπος
S1	T1
S2	T2
S3	T3
S4	T4

Επιλύοντας το πρόβλημα με τον solver simplex στο excel παίρνουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα.

	Routes											
Ships	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
S1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
S2	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0
S3	1	0	0	0	4	0	1	2	1	0	1	0
S4	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1
Total Passengers Capacity	3800	3500	1800	3500	2800	1300	3800	2700	1100	1800	1100	1300
Unsold tickets	200	100	0	0	0	0	0	400	500	100	100	200
cost unsold tickets	7500	3750	0	0	0	0	0	15000	18750	3750	3750	7500
income from sold tickets	151500	144500	72000	144500	84000	58500	151500	100500	35000	72000	35000	58500

Παρατηρούμε ότι από τη συνολική ζήτηση των 30.100 ταξιδιωτών, εξυπηρετήθηκαν 28.500 ταξιδιώτες (δηλαδή το 95% των ταξιδιωτών), ενώ 1600 ταξιδιώτες δεν εξυπηρετήθηκαν παρόλο που τα πλοία δεν υλοποίησαν το μέγιστο αριθμό των δρομολογίων τους αλλά ούτε κάλυψαν τις μέγιστες ώρες πλεύσης ανά εβδομάδα, όπως φαίνεται στους παρακάτω πίνακες για τα πλοία S1, S2, S3, S4 αντιστοίχως.

C. MinRoutes		Total Routes	C. MaxRoutes		Routes Duration hours	C. Max Travel hours	
1	<=	4	<=	28	11,91366	<=	56
1	<=	6	<=	38	9,127469	<=	70
1	<=	10	<=	26	29,06726	<=	56
1	<=	7	<=	34	16,25363	<=	70

Τέλος, τα εκτιμώμενα κόστη να ανήλθαν στα 312.226 ευρώ για την υλοποίηση αυτών των δρομολογίων. Με τη 'ζημία' των εσόδων από τους επιβάτες που δεν εξυπηρετήθηκαν να είναι 186.113 ευρώ και τα κόστη από την υλοποίηση των παραπάνω δρομολογίων να ανέρχονται στα 126.113 ευρώ.

O.F.	Min Losses
312.226,00 €	

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε το ισοζύγιο της επιχείρησης για το συγκεκριμένο Hub και αν τελικά είναι συμφέρον το εξαγόμενο επιχειρησιακό πλάνο για το συγκεκριμένο Hub.



S1				
Routes	Kos	Rhodes	Tilos	Leros
Kos	0	0	1	0
Rhodes	1	0	0	0
Tilos	0	0	0	1
Leros	0	1	0	0

S2				
Routes	Kos	Rhodes	Tilos	Leros
Kos	0	1	1	1
Rhodes	1	0	0	0
Tilos	1	0	0	0
Leros	1	0	0	0

S3				
Routes	Kos	Rhodes	Tilos	Leros
Kos	0	1	0	0
Rhodes	0	0	4	0
Tilos	1	2	0	1
Leros	0	1	0	0

S4				
Routes	Kos	Rhodes	Tilos	Leros
Kos	0	1	1	0
Rhodes	1	0	0	1
Tilos	1	1	0	0
Leros	0	0	1	0

Hub	Total Routes	Total Passengers served	Profit
SuperHub Kos	27	28500	921.387,00 €

Παρατηρούμε λοιπόν ότι θα υλοποιηθούν στο σύνολο **27 δρομολόγια** για την εξυπηρέτηση **28.500 επιβατών** (ποσοστό εξυπηρέτησης **95%**) με εκτιμώμενο **κέρδος 921.387 ευρώ**. Το κέρδος υπολογίστηκε από τα έσοδα των εισιτηρίων που πουλήθηκαν μείον το κόστος κακής εξυπηρέτησης που προέκυψε από τη μέθοδο simplex.

Επομένως ένα ενδεικτικό πρόγραμμα δρομολογίων και στόλου για το υπέρ-Hub με βάση το βοηθητικό σύστημα λήψης αποφάσεων είναι το ακόλουθο:

Για το πλοίο S1 θα εκτελεστούν με τη σειρά τα συνεχόμενα δρομολόγια **Κως → Τήλος → Λέρος → Ρόδος → Κως**.

Το πλοίο S2 εκτελεί τα δρομολόγια :**Κως → Ρόδος → Κως, Κως → Τήλος → Κως** και **Κως → Λέρος → Κως**.

Το πλοίο S3 εκτελεί τα δρομολόγια: **Κως → Ρόδος → Τήλος → Λέρος → Ρόδος → Τήλος → Ρόδος → Τήλος → Ρόδος → Τήλος → Κως**. Διάφοροι συνδυασμοί θα

μπορούσαν να γίνουν για τα συγκεκριμένα δρομολόγια ωστόσο επιλέχθηκαν τα προαναφερθέντα με βάση το λιμάνι της Κω. Η εταιρία Octopus Seaways ωστόσο για το συγκεκριμένο πλοίο θα μπορούσε να εξετάσει την αλλαγή του λιμανιού και να εδρεύει στην Τήλο ή Ρόδο.

Τέλος, το πλοίο S4 θα εκτελέσει τα δρομολόγια: **Κως → Ρόδος → Λέρος → Τήλος → Κως** και **Κως → Τήλος → Ρόδος → Κως**.

Συνοπτικά, ένα προτεινόμενο πρόγραμμα δρομολογίων που θα μπορούσε να υιοθετήσει η εταιρία Octopus Seaways για το υπέρ-Hub της Κω είναι το εξής:

	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
S1						Kos-Tilos-Leros-Rodhes-Kos	
S2	Kos-Leros Leros-Kos			Kos-Tilos Tilos-Kos			Kos-Rhodes Rhodes-Kos
S3		Kos-Rodhes-Tilos- Leros-Rodhes-Tilos	Tilos-Rodhes-Tilos- Rhodes-Tilos-Kos				
S4	Kos-Tilos-Rodhes-Kos				Kos-Rodhes-Leros- Tilos-Kos		

## Hub1Ρόδος

Ο στόλος που επιλέγεται αρχικά για την υλοποίηση των εσωτερικών δρομολογίων στο Hub1 είναι:

Πλοία	Τύπος
S1	T1
S2	T2
S3	T3
S4	T4

Επιλύοντας το πρόβλημα με τον solver simplex στο excel παίρνουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα.

Ships	Routes												
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	
S1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
S2	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
S3	1	0	0	1	1	1	0	2	0	0	0	0	1
S4	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0
<b>Total Passengers Capacity</b>	<b>2000</b>	<b>1800</b>	<b>2200</b>	<b>2000</b>	<b>2000</b>	<b>700</b>	<b>1800</b>	<b>1400</b>	<b>1300</b>	<b>2200</b>	<b>1300</b>	<b>700</b>	
<b>Unsold tickets</b>	100	200	100	700	300	900	1000	100	0	600	200	400	
<b>cost unsold tickets</b>	3750	7500	3750	26250	11250	33750	37500	3750	0	22500	7500	15000	
<b>income from sold tickets</b>	79500	72000	86000	79500	79500	21000	72000	42000	58500	86000	58500	21000	

Παρατηρούμε ότι από τη συνολική ζήτηση των 24.000 ταξιδιωτών, εξυπηρετήθηκαν 19.400 ταξιδιώτες (δηλαδή το 81% των ταξιδιωτών), ενώ 4.600 ταξιδιώτες δεν εξυπηρετήθηκαν παρόλο που τα πλοία δεν υλοποίησαν το μέγιστο αριθμό των δρομολογίων τους αλλά ούτε κάλυψαν τις μέγιστες ώρες πλεύσης ανά εβδομάδα, όπως φαίνεται στους παρακάτω πίνακες για τα πλοία S1, S2, S3, S4 αντιστοίχως. Βέβαια, για το πλοίο S4 μπορούμε να πούμε ότι εκτέλεσε τις μέγιστες ώρες ταξιδιού (55 ώρες) και ίσως θα έπρεπε η εταιρία να σκεφτεί την αντικατάσταση κάποιων πλοίων με λίγες ώρες (S1) με ένα πλοίο τύπου 3. Να συνυπολογίσουμε ότι το Hub1 έχει μεγάλες αποστάσεις μεταξύ των λιμανιών και προφανώς το πλοίο τύπου 3 έχει μεγαλύτερο κέρδος σε μακρινές αποστάσεις απ' ό,τι τα υπόλοιπα λόγω του χαμηλού κόστους υλοποίησης διαδρομών.

C. MinRoutes		Total Routes	C. MaxRoutes		Routes Duration hours	C. Max Travel hours	
1	<=	2	<=	28	12,27863	<=	56
1	<=	4	<=	38	20,61727	<=	70
1	<=	7	<=	26	54,95189	<=	56
1	<=	5	<=	34	33,95808	<=	70

Τέλος, τα εκτιμώμενα κόστη να ανήλθαν στα 411.668 ευρώ για την υλοποίηση αυτών των δρομολογίων. Με τη 'ζημία' των εσόδων από τους επιβάτες που δεν εξυπηρετήθηκαν να είναι 172.500 ευρώ και τα κόστη από την υλοποίηση των παραπάνω δρομολογίων να ανέρχονται στα 239.168 ευρώ.

O.F.	Min Losses
411.668,00 €	

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε το ισοζύγιο της επιχείρησης για το συγκεκριμένο Hub και αν τελικά είναι συμφέρον το εξαγόμενο επιχειρησιακό πλάνο για το συγκεκριμένο Hub.

S1				
Routes	RHODES	KARPATHOS	KASOS	KASTELORIZO
RHODES	0	0	0	1
KARPATHOS	0	0	0	0
KASOS	0	0	0	0
KASTELORIZO	1	0	0	0

S2				
Routes	RHODES	KARPATHOS	KASOS	KASTELORIZO
RHODES	0	0	1	1
KARPATHOS	0	0	0	0
KASOS	1	0	0	0
KASTELORIZO	1	0	0	0

S3				
Routes	RHODES	KARPATHOS	KASOS	KASTELORIZO
RHODES	0	1	0	0
KARPATHOS	1	0	1	1
KASOS	0	2	0	0
KASTELORIZO	0	0	1	0

S4				
Routes	RHODES	KARPATHOS	KASOS	KASTELORIZO
RHODES	0	1	0	0
KARPATHOS	1	0	1	0
KASOS	0	0	0	1
KASTELORIZO	0	1	0	0

Hub	Total Routes	Total Passengers served	Unserviced Passengers	Profit
Hub 1 Rhodes	18	19400	4600	343.832,00 €

Παρατηρούμε λοιπόν ότι θα υλοποιηθούν στο σύνολο **19 δρομολόγια** για την εξυπηρέτηση **19.400 επιβατών** (ποσοστό εξυπηρέτησης **81%**) με εκτιμώμενο **κέρδος 343.832 ευρώ**. Το κέρδος υπολογίστηκε από τα έσοδα των εισιτηρίων που πουλήθηκαν μείον το κόστος κακής εξυπηρέτησης που προέκυψε από τη μέθοδο simplex.

Επομένως ένα ενδεικτικό πρόγραμμα δρομολογίων και στόλου για το Hub1 με βάση το βοηθητικό σύστημα λήψης αποφάσεων είναι το ακόλουθο:

Για το πλοίο S1 θα εκτελεστούν με τη σειρά τα συνεχόμενα δρομολόγια **Ρόδος → Καστελόριζο → Ρόδος**.

Το πλοίο S2 εκτελεί τα δρομολόγια: **Ρόδος → Κάσος → Ρόδος** και **Ρόδος → Καστελόριζο → Ρόδος**.

Το πλοίο S3 εκτελεί τα δρομολόγια: **Ρόδος → Κάρπαθος → Καστελόριζο → Κάσος → Κάρπαθος → Κάσος → Κάρπαθος → Ρόδος**. Διάφοροι συνδυασμοί θα μπορούσαν να γίνουν για τα συγκεκριμένα δρομολόγια ωστόσο επιλέχθηκαν τα προαναφερθέντα με βάση το λιμάνι της Ρόδου. Η εταιρία Octopus Seaways ωστόσο

για το συγκεκριμένο πλοίο θα μπορούσε να εξετάσει την αλλαγή του λιμανιού και να εδρεύει στην Κάρπαθο.

Τέλος, το πλοίο S4 θα εκτελέσει τα δρομολόγια: **Ρόδος → Κάρπαθος → Κάσος → Καστελόριζο → Κάρπαθος → Ρόδος.**

Συνοπτικά, ένα προτεινόμενο πρόγραμμα δρομολογίων που θα μπορούσε να υιοθετήσει η εταιρία Octopus Seaways για το Hub1 της Ρόδου είναι το εξής:

	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
S1				Rodhes-Kastelorizo-Rhodes			
S2	Rodhes-Kastelorizo-Rodhes				Rodhes-Kasos-Rodhes		
S3						Rodhes-Karpathos-Kastelorizo - Kasos - Karpathos	Karpathos-Kasos-Karpathos-Rodhes
S4		Rhodes-Karpathos-Kasos-Kastelorizo	Kastelorizo-Karpathos-Rodhes				

## Hub 2 Τήλος

Ο στόλος που επιλέγεται αρχικά για την υλοποίηση των εσωτερικών δρομολογίων στο Hub2 είναι:

Πλοία	Τύπος
S1	T1
S2	T2
S3	T3
S4	T4

Επιλύοντας το πρόβλημα με τον solver simplex στο excel παίρνουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα.

Ships	Routes											
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
S1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
S2	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0
S3	1	0	0	0	4	0	1	2	1	0	1	0
S4	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1
<b>Total Passengers Capacity</b>	<b>3800</b>	<b>3500</b>	<b>1800</b>	<b>3500</b>	<b>2800</b>	<b>1300</b>	<b>3800</b>	<b>2700</b>	<b>1100</b>	<b>1800</b>	<b>1100</b>	<b>1300</b>
<b>Unsold tickets</b>	200	100	0	0	0	0	0	400	100	100	200	100
<b>cost unsold tickets</b>	7500	3750	0	0	0	0	0	15000	3750	3750	7500	3750
<b>income from sold tickets</b>	151500	144500	72000	144500	84000	58500	151500	100500	35000	72000	35000	58500

Παρατηρούμε ότι από τη συνολική ζήτηση των 29.700 ταξιδιωτών, εξυπηρετήθηκαν 28.500 ταξιδιώτες (δηλαδή το 96% των ταξιδιωτών), ενώ 1.200 ταξιδιώτες δεν εξυπηρετήθηκαν παρόλο που τα πλοία δεν υλοποίησαν το μέγιστο αριθμό των

δρομολογίων τους αλλά ούτε κάλυψαν τις μέγιστες ώρες πλεύσης ανά εβδομάδα, όπως φαίνεται στους παρακάτω πίνακες για τα πλοία S1, S2, S3, S4 αντιστοίχως.

C. MinRoutes		Total Routes	C. MaxRoutes		Routes Duration hours	C. Max Travel hours	
1	<=	4	<=	28	10,53199	<=	56
1	<=	6	<=	38	8,934363	<=	70
1	<=	10	<=	26	39,98377	<=	56
1	<=	7	<=	34	16,17807	<=	70

Τέλος, τα εκτιμώμενα κόστη να ανήλθαν στα 179.779 ευρώ για την υλοποίηση αυτών των δρομολογίων. Με τη 'ζημία' των εσόδων από τους επιβάτες που δεν εξυπηρετήθηκαν να είναι 45.000 ευρώ και τα κόστη από την υλοποίηση των παραπάνω δρομολογίων να ανέρχονται στα 134.779 ευρώ.

O.F.	Min Losses
179.779,00 €	

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε το ισοζύγιο της επιχείρησης για το συγκεκριμένο Hub και αν τελικά είναι συμφέρον το εξαγόμενο επιχειρησιακό πλάνο για το συγκεκριμένο Hub.

S1				
Routes	Tilos	Sumi	Nisuros	Chalki
Tilos	0	0	1	0
Sumi	1	0	0	0
Nisuros	0	0	0	1
Chalki	0	1	0	0

S2				
Routes	Tilos	Sumi	Nisuros	Chalki
Tilos	0	1	1	1
Sumi	1	0	0	0
Nisuros	1	0	0	0
Chalki	1	0	0	0

S3				
Routes	Tilos	Sumi	Nisuros	Chalki
Tilos	0	1	0	0
Sumi	0	0	4	0
Nisuros	1	2	0	1
Chalki	0	1	0	0

S4				
Routes	Tilos	Sumi	Nisuros	Chalki
Tilos	0	1	1	0
Sumi	1	0	0	1
Nisuros	1	1	0	0
Chalki	0	0	1	0

Hub	Total Routes	Total Passengers served	Profit
Hub 2 Tilos	27	28500	927.721,00 €

Παρατηρούμε λοιπόν ότι θα υλοποιηθούν στο σύνολο **27 δρομολόγια** για την εξυπηρέτηση **28.500 επιβατών** (ποσοστό εξυπηρέτησης **95%**) με εκτιμώμενο **κέρδος 927.721,00 ευρώ**. Το κέρδος υπολογίστηκε από τα έσοδα των εισιτηρίων που πουλήθηκαν μείον το κόστος κακής εξυπηρέτησης που προέκυψε από τη μέθοδο simplex.

Επομένως ένα ενδεικτικό πρόγραμμα δρομολογίων και στόλου για το Hub2 με βάση το βοηθητικό σύστημα λήψης αποφάσεων είναι το ακόλουθο:

Για το πλοίο S1 θα εκτελεστούν με τη σειρά τα συνεχόμενα δρομολόγια **Τήλος → Νίσυρος → Χάλκη → Σύμη → Τήλος**.

Το πλοίο S2 εκτελεί τα δρομολόγια: **Τήλος → Νίσυρος → Τήλος, Τήλος → Σύμη → Τήλος** και **Τήλος → Χάλκη → Τήλος**.

Το πλοίο S3 εκτελεί τα δρομολόγια: **Τήλος** → **Σύμη** → **Νίσυρος** → **Σύμη** → **Νίσυρος** → **Σύμη** → **Νίσυρος** → **Χάλκη** → **Σύμη** → **Νίσυρος** → **Τήλος**. Διάφοροι συνδυασμοί θα μπορούσαν να γίνουν για τα συγκεκριμένα δρομολόγια ωστόσο επιλέχθηκαν τα προαναφερθέντα με βάση το λιμάνι της Τήλου. Η εταιρία Octopus Seaways ωστόσο για το συγκεκριμένο πλοίο θα μπορούσε να εξετάσει την αλλαγή του λιμανιού και να εδρεύει στην Σύμη ή Νίσυρο.

Τέλος, το πλοίο S4 θα εκτελέσει τα δρομολόγια: **Τήλος** → **Σύμη** → **Χάλκη** → **Νίσυρος** → **Τήλος** και **Τήλος** → **Νίσυρος** → **Σύμη** → **Τήλος**.

Συνοπτικά, ένα προτεινόμενο πρόγραμμα δρομολογίων που θα μπορούσε να υιοθετήσει η εταιρία Octopus Seaways για το Hub2 της Τήλου είναι το εξής:

	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
S1	Tilos-Nisuros-Chalki-Sumi-Tilos						
S2		Tilos-Sumi-Tilos		Tilos-Nisuros-Tilos		Tilos-Chalki-Tilos	
S3	Sumi-Nisuros-Chalki-Sumi-Nisuros-Tilos						Tilos-Sumi-Nisuros-Sumi-Nisuros-Sumi
S4			Tilos-Nisuros-Sumi-Tilos		Tilos-Sumi-Chalki-Nisuros		

### Hub3Λέρος

Ο στόλος που επιλέγεται αρχικά για την υλοποίηση των εσωτερικών δρομολογίων στο Hub2 είναι:

Πλοία	Τύπος
S1	T1
S2	T2
S3	T3
S4	T4

Επιλύοντας το πρόβλημα με τον solver simplex στο excel παίρνουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα.

Ships	Routes											
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
S1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0
S2	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0
S3	2	4	0	3	0	0	3	1	1	0	0	1
S4	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0
<b>Total Passengers Capacity</b>	<b>3200</b>	<b>2800</b>	<b>1700</b>	<b>3900</b>	<b>3100</b>	<b>1300</b>	<b>2100</b>	<b>3800</b>	<b>1100</b>	<b>1700</b>	<b>1300</b>	<b>1100</b>
<b>Unsold tickets</b>	<b>500</b>	<b>800</b>	<b>500</b>	<b>0</b>	<b>400</b>	<b>300</b>	<b>50</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>200</b>
<b>cost unsold tickets</b>	<b>18750</b>	<b>30000</b>	<b>18750</b>	<b>0</b>	<b>15000</b>	<b>11250</b>	<b>1875</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>7500</b>
<b>income from sold tickets</b>	<b>114000</b>	<b>84000</b>	<b>72500</b>	<b>135000</b>	<b>130500</b>	<b>58500</b>	<b>63000</b>	<b>151500</b>	<b>35000</b>	<b>72500</b>	<b>58500</b>	<b>35000</b>



Παρατηρούμε ότι από τη συνολική ζήτηση των 29.850 ταξιδιωτών, εξυπηρετήθηκαν 27.100 ταξιδιώτες (δηλαδή το 91% των ταξιδιωτών), ενώ 2.750 ταξιδιώτες δεν εξυπηρετήθηκαν παρόλο που τα πλοία δεν υλοποίησαν το μέγιστο αριθμό των δρομολογίων τους αλλά ούτε κάλυψαν τις μέγιστες ώρες πλεύσης ανά εβδομάδα, όπως φαίνεται στους παρακάτω πίνακες για τα πλοία S1, S2, S3, S4 αντιστοίχως.

C. MinRoutes		Total Routes	C. MaxRoutes		Routes Duration hours	C. Max Travel hours	
1	<=	4	<=	28	9,098181	<=	56
1	<=	4	<=	38	9,423565	<=	70
1	<=	15	<=	26	44,39382	<=	56
1	<=	6	<=	34	14,13787	<=	70

Τέλος, τα εκτιμώμενα κόστη να ανήλθαν στα **236.678 ευρώ** για την υλοποίηση αυτών των δρομολογίων. Με τη ‘ζημία’ των εσόδων από τους επιβάτες που δεν εξυπηρετήθηκαν να είναι 103.125 ευρώ και τα κόστη από την υλοποίηση των παραπάνω δρομολογίων να ανέρχονται στα 133.553 ευρώ.

O.F.	Min Losses
236.678,00 €	

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε το ισοζύγιο της επιχείρησης για το συγκεκριμένο Hub και αν τελικά είναι συμφέρον το εξαγόμενο επιχειρησιακό πλάνο για το συγκεκριμένο Hub.

S1				
Routes	Leros	Patmos	Kalumnos	Astupalaia
Leros	0	0	0	1
Patmos	0	0	0	0
Kalumnos	0	0	0	1
Astupalaia	1	0	1	0

S2				
Routes	Leros	Patmos	Kalumnos	Astupalaia
Leros	0	1	0	0
Patmos	1	0	1	0
Kalumnos	0	1	0	0
Astupalaia	0	0	0	0

S3				
Routes	Leros	Patmos	Kalumnos	Astupalaia
Leros	0	2	4	0
Patmos	3	0	0	0
Kalumnos	3	1	0	1
Astupalaia	0	0	1	0

S4				
Routes	Leros	Patmos	Kalumnos	Astupalaia
Leros	0	0	0	1
Patmos	0	0	1	1
Kalumnos	0	1	0	0
Astupalaia	1	1	0	0

Hub	Total Routes	Total Passengers served	Profit
Hub 2 Leros	29	27100	773.322,00 €

Παρατηρούμε λοιπόν ότι θα υλοποιηθούν στο σύνολο **29 δρομολόγια** για την εξυπηρέτηση **27.100 επιβατών** (ποσοστό εξυπηρέτησης **91%**) με εκτιμώμενο **κέρδος 773.322 ευρώ**. Το κέρδος υπολογίστηκε από τα έσοδα των εισιτηρίων που πουλήθηκαν μείον το κόστος κακής εξυπηρέτησης που προέκυψε από τη μέθοδο simplex.

Επομένως ένα ενδεικτικό πρόγραμμα δρομολογίων και στόλου για το Hub3 με βάση το βοηθητικό σύστημα λήψης αποφάσεων είναι το ακόλουθο:

Για το πλοίο S1 θα εκτελεστούν με τη σειρά τα συνεχόμενα δρομολόγια **Λέρος → Αστυπάλεια → Κάλυμνος → Αστυπάλεια → Λέρος**.

Για το πλοίο S1, η εταιρία θα μπορούσε εναλλακτικά να του ορίσει ως αφετηρία το νησί Αστυπάλεια.

Το πλοίο S2 εκτελεί τα δρομολόγια: **Λέρος → Πάτμος → Κάλυμνος → Πάτμος → Λέρος**. Για το πλοίο S2, η εταιρία θα μπορούσε εναλλακτικά να του ορίσει ως αφετηρία το νησί Πάτμος.

Το πλοίο S3 εκτελεί τα περισσότερα δρομολόγια στο Hub (15) με διαφορά από τα υπόλοιπα πλοία. Γεγονός που μπορεί να εξετάσει περαιτέρω η εταιρία για την αντικατάσταση των άλλων πλοίων με τύπου 3. Τα δρομολόγια είναι: **Λέρος → Πάτμος → Λέρος (2 φορές), Λέρος → Κάλυμνος → Πάτμος → Λέρος, Λέρος → Κάλυμνος → Αστυπάλαια → Κάλυμνος → Λέρος και Λέρος → Κάλυμνος → Λέρος (2 φορές)**.

Τέλος, το πλοίο S4 θα εκτελέσει τα δρομολόγια: **Λέρος → Αστυπάλαια → Πάτμος → Κάλυμνος → Πάτμος → Αστυπάλαια → Λέρος**.

Συνοπτικά, ένα προτεινόμενο πρόγραμμα δρομολογίων που θα μπορούσε να υιοθετήσει η εταιρία Octopus Seaways για το Hub3 της Λέρου είναι το εξής:

	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
S1			Leros-Astupalaia-KalumnosAstupalaia-Leros				
S2						Leros-Patmos-Kalumnos-Patmos-Leros	
S3	Leros-Patmos-Leros	Leros-Kalumnos-Patmos-Leros	Leros-Kalumnos-Leros	Leros-Patmos-leros	Leros-Kalumnos-Astupalaia-Kalumnos-Leros	Leros-Kalumnos-Leros	
S4	Kalumnos-Patmos-Astupalaia-Leros						Leros-Astupalaia-Patmos-Kalumnos

Άρα, λοιπόν, η εταιρία Octopus Seaways έχει εκτιμώμενα κέρδη από το σύνολο των Hubs:

Hub	Total Routes	Total Passengers served	Unserved Passengers	Profit
SuperHub Kos	27	28500	1600	795.274,00 €
Hub 1 Rhodes	18	19400	4600	343.832,00 €
Hub 2 Tilos	27	28500	1200	927.721,00 €
Hub 2 Leros	29	27100	2750	773.322,00 €
<b>Total</b>	<b>101</b>	<b>103500</b>	<b>10150</b>	<b>2.840.149,00 €</b>

Παρατηρούμε ότι συνολικά εκτέλεσε **101 δρομολόγια** για την εξυπηρέτηση **103.500 ταξιδιωτών**(συνολικά 91%) με εκτιμώμενα κέρδη **2.840.149 ευρώ**.

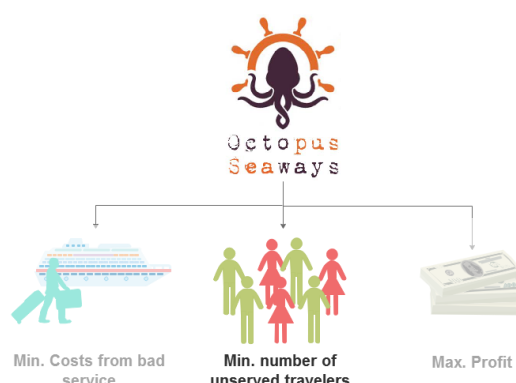
Τέλος, να σημειώσουμε ότι τα δρομολόγια που παρουσιάστηκαν είναι ενδεικτικά καθώς το πρόγραμμα δεν αποτελεί παρά μόνο ένα βοηθητικό σύστημα λήψης αποφάσεων όπου με βάση την εμπειρία των αρμοδίων για την υλοποίηση του εβδομαδιαίου προγράμματος των δρομολογίων, τις προτιμήσεις της εταιρίας αλλά και

τις έκτακτες ανάγκες/προτεραιότητες που δημιουργούνται, δημιουργείται το τελικό πρόγραμμα των δρομολογίων.

Στη συνέχεια θα εξετάσουμε τη δεύτερη περίπτωση όπου ελαχιστοποιούμε τον αριθμό των ταξιδιωτών που δεν εξυπηρετήθηκαν χωρίς να λαμβάνουμε υπόψη τα κόστη και θα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα μας για να εξετάσουμε αν είναι συμφέρουσα αυτή η προσέγγιση.

### Δεύτερη Περίπτωση (ελαχιστοποίηση αριθμού ταξιδιωτών που δεν θα εξυπηρετηθούν)

Για την περίπτωση ελαχιστοποίησης του αριθμού των ταξιδιωτών που δεν εξυπηρετήθηκαν σε κάθε Hub χρησιμοποιούμε τα ίδια πλοία και ίδια μορφή των hubs όπως παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους.



Τα αποτελέσματα για κάθε hub είναι τα ακόλουθα:

#### *Υπέρ-Hub*

Ships	Routes											
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
S1	1	0	0	1	2	3	0	2	2	0	3	2
S2	0	2	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0
S3	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1
S4	2	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0
<b>Total Passengers Capacity</b>	<b>3700</b>	<b>3600</b>	<b>1800</b>	<b>3500</b>	<b>2800</b>	<b>1200</b>	<b>3800</b>	<b>2600</b>	<b>1500</b>	<b>1800</b>	<b>1200</b>	<b>1500</b>
<b>Unsold tickets</b>	<b>300</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>500</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>cost unsold tickets</b>	<b>11250</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3750</b>	<b>0</b>	<b>18750</b>	<b>3750</b>	<b>3750</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>income from sold tickets</b>	<b>152000</b>	<b>144000</b>	<b>72000</b>	<b>144500</b>	<b>107500</b>	<b>42000</b>	<b>151500</b>	<b>100000</b>	<b>49000</b>	<b>72000</b>	<b>42000</b>	<b>49000</b>

### Hub1

Ships	Routes											
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
S1	0	0	1	0	1	1	0	2	0	1	0	1
S2	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
S3	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1
S4	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
<b>Total Passengers Capacity</b>	<b>1800</b>	<b>2000</b>	<b>2200</b>	<b>1300</b>	<b>2200</b>	<b>1100</b>	<b>2500</b>	<b>1500</b>	<b>1300</b>	<b>2200</b>	<b>1300</b>	<b>1100</b>
Unsold tickets	300	0	100	1400	100	500	300	0	0	600	200	0
cost unsold tickets	13050	0	3925	60900	1600	34500	14775	0	0	23550	13800	0
income from sold tickets	73800	99900	85000	66300	34600	66700	107300	22900	118300	85000	105300	74900

### Hub2

Ships	Routes											
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
S1	1	0	0	1	2	0	0	2	3	0	0	3
S2	0	2	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0
S3	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
S4	2	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0
<b>Total Passengers Capacity</b>	<b>3700</b>	<b>3600</b>	<b>1800</b>	<b>3500</b>	<b>2800</b>	<b>1300</b>	<b>3800</b>	<b>2600</b>	<b>1200</b>	<b>1800</b>	<b>1300</b>	<b>1200</b>
Unsold tickets	300	0	0	0	0	0	0	500	0	100	0	200
cost unsold tickets	11250	0	0	0	0	0	0	18750	0	3750	0	7500
income from sold tickets	152000	144000	72000	144500	107500	58500	151500	100000	42000	72000	58500	42000

### Hub3

Ships	Routes											
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
S1	0	0	1	0	5	0	0	5	1	1	0	1
S2	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
S3	5	1	0	3	2	0	3	0	1	0	0	1
S4	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0
<b>Total Passengers Capacity</b>	<b>3500</b>	<b>2500</b>	<b>1700</b>	<b>3900</b>	<b>3400</b>	<b>1300</b>	<b>2100</b>	<b>3800</b>	<b>1100</b>	<b>1700</b>	<b>1300</b>	<b>1100</b>
Unsold tickets	200	1100	500	0	100	300	50	0	0	0	0	200
cost unsold tickets	7500	41250	18750	0	3750	11250	1875	0	0	0	0	7500
income from sold tickets	105000	93000	72500	135000	112000	58500	63000	142000	35000	72500	58500	35000

Ο πίνακας παρακάτω δείχνει τα αποτελέσματα συνοπτικά:

Hub	Total Routes	Total Passengers served	Unserved Passengers	Profit
SuperHub Kos	33	29000	1100	742.328,00 €
Hub 1 Rhodes	21	20500	3500	374.301,00 €
Hub 2 Tilos	29	28600	1100	942.291,00 €
Hub 2 Leros	37	27400	2450	708.755,00 €
<b>Total</b>	<b>120</b>	<b>105500</b>	<b>8150</b>	<b>2.767.675,00 €</b>

Παρατηρούμε ότι για το υπέρ-Hub γίνανε 33 δρομολόγια και εξυπηρετήθηκαν 29.000 ταξιδιώτες (96%) με κέρδος 742.328 ευρώ. Προφανώς, σε σύγκριση με την πρώτη

περίπτωση εξυπηρετήθηκαν 500 ταξιδιώτες παραπάνω αλλά με αρνητική επίδραση στο εκτιμώμενο κέρδος κατά 52.946 ευρώ.

Για το Hub 1 γίνανε 21 δρομολόγια και η εξυπηρέτηση έφτασε το 85% σημαντική διαφορά σε σχέση με το 81% της πρώτης περίπτωσης. Αναμενόμενη απόκλιση αφού αυτή τη φορά δεν συνυπολογίστηκαν τα κόστη υλοποίησης των ταξιδιών. Για αυτό το λόγο τα κόστη ανήλθαν τα 422.699 ευρώ.

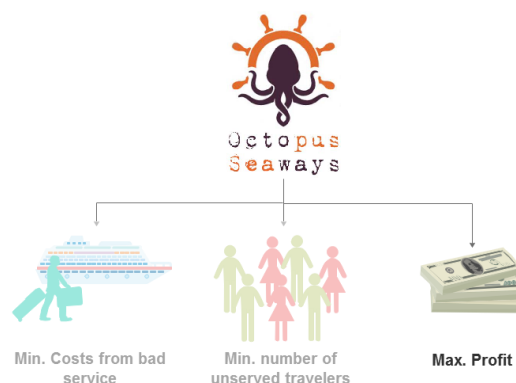
Για το Hub 2 εκτελούνται 29 δρομολόγια για να εξυπηρετήσουν 28.600 ταξιδιώτες (96%) – 100 περισσότερους από την πρώτη περίπτωση – έχοντας κέρδος 942.291 ευρώ κατά 14.570.

Τέλος, το Hub 3 εκτελεί 37 δρομολόγια για την εξυπηρέτηση 27.400 ταξιδιωτών με κέρδος 708.755 ευρώ, κατά 64.567 ευρώ χαμηλότερο από το αρχικό.

### Τρίτη Περίπτωση (Μεγιστοποίηση κέρδους)

Για την περίπτωση μεγιστοποίησης κέρδους σε κάθε Hub χρησιμοποιούμε τα ίδια πλοία και ίδια μορφή των hubs όπως παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους.

Το κέρδος υπολογίστηκε από τα έσοδα των εισιτηρίων μείον το κόστος υλοποίησης των δρομολογίων και της ζημίας από τους ταξιδιώτες που δεν εξυπηρετήθηκαν.



Τα αποτελέσματα για κάθε hub είναι τα ακόλουθα:

#### *Υπέρ-Hub*

	Routes											
<b>Ships</b>	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
<b>S1</b>	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
<b>S2</b>	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0
<b>S3</b>	1	0	0	0	2	0	1	0	1	0	1	0
<b>S4</b>	1	1	0	1	1	1	1	2	0	0	0	1
<b>Total Passengers Capacity</b>	3800	3500	1800	3500	2700	1300	3800	2600	1100	1800	1100	1300
<b>Unsold tickets</b>	200	100	0	0	100	0	0	500	500	100	100	200
<b>cost unsold tickets</b>	7500	3750	0	0	3750	0	0	18750	18750	3750	3750	7500
<b>income from sold tickets</b>	151500	144500	72000	144500	100500	58500	151500	117000	35000	72000	35000	58500

### Hub1

	Routes											
Ships	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
S1	0	0	1	0	1	1	0	2	0	1	0	1
S2	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
S3	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1
S4	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
<b>Total Passengers Capacity</b>	<b>1800</b>	<b>2000</b>	<b>2200</b>	<b>1300</b>	<b>2200</b>	<b>1100</b>	<b>2500</b>	<b>1500</b>	<b>1300</b>	<b>2200</b>	<b>1300</b>	<b>1100</b>
Unsold tickets	300	0	100	1400	100	500	300	0	0	600	200	0
cost unsold tickets	11250	0	3750	52500	3750	18750	11250	0	0	22500	7500	0
income from sold tickets	72000	79500	86000	58500	86000	35000	93000	49000	58500	86000	58500	35000

### Hub2

	Routes											
Ships	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
S1	0	1	0	1	2	0	0	0	3	0	3	0
S2	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0
S3	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
S4	1	1	0	1	1	1	1	2	0	0	0	1
<b>Total Passengers Capacity</b>	<b>3800</b>	<b>3500</b>	<b>1800</b>	<b>3500</b>	<b>2800</b>	<b>1300</b>	<b>3800</b>	<b>2600</b>	<b>1200</b>	<b>1800</b>	<b>1200</b>	<b>1300</b>
Unsold tickets	200	100	0	0	0	0	0	500	0	100	100	100
cost unsold tickets	7500	3750	0	0	0	0	0	18750	0	3750	3750	3750
income from sold tickets	151500	144500	72000	144500	107500	58500	151500	117000	42000	72000	42000	58500

### Hub3

	Routes											
Ships	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
S1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1
S2	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
S3	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1
S4	2	0	1	1	2	1	1	1	0	1	1	0
<b>Total Passengers Capacity</b>	<b>3300</b>	<b>2500</b>	<b>1700</b>	<b>3800</b>	<b>3300</b>	<b>1300</b>	<b>2000</b>	<b>3800</b>	<b>1100</b>	<b>1700</b>	<b>1300</b>	<b>1100</b>
Unsold tickets	400	1100	500	100	200	300	150	0	0	0	0	200
cost unsold tickets	15000	41250	18750	3750	7500	11250	5625	0	0	0	0	7500
income from sold tickets	138000	93000	72500	151500	138000	58500	79500	151500	35000	72500	58500	35000

Ο πίνακας παρακάτω δείχνει τα αποτελέσματα συνοπτικά:

Hub	Total Routes	Total Passengers served	Unserved Passengers	Profit
SuperHub Kos	25	28300	1800	825.124,00 €
Hub 1 Rhodes	21	20500	3500	374.301,00 €
Hub 2 Tilos	28	28600	1100	967.466,00 €
Hub 2 Leros	26	26900	2950	839.682,00 €
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>104300</b>	<b>9350</b>	<b>3.006.573,00 €</b>

Παρατηρούμε ότι για το υπέρ-Hub γίνανε 25 δρομολόγια και εξυπηρετήθηκαν 28.300 ταξιδιώτες (94%) με κέρδος 825.124 ευρώ. Προφανώς, σε σύγκριση με την πρώτη

περίπτωση εξυπηρετήθηκαν 200 ταξιδιώτες λιγότεροι αλλά με θετική επίδραση στο εκτιμώμενο κέρδος κατά 29.850 ευρώ. Για το hub1 εξυπηρετήθηκαν 20.500 ταξιδιώτες (85%) με κέρδος 374.301 ευρώ ενώ για το hub2 εκτελούνται 28 δρομολόγια για να εξυπηρετήσουν 28.600 ταξιδιώτες έχοντας κέρδος 967.466 ευρώ. Τέλος, το hub3 εκτελεί 26 δρομολόγια για την εξυπηρέτηση 26.900 ταξιδιωτών με κέρδος 839.682 ευρώ.

Παρατηρούμε ότι το κέρδος είναι αρκετά υψηλότερο σε σχέση με τις άλλες δύο προσεγγίσεις εκτελώντας συνολικά τα λιγότερα δρομολόγια σε σχέση με τις άλλες δύο περιπτώσεις (100) αλλά εξυπηρετώντας τους λιγότερους ταξιδιώτες από τις υπόλοιπες περιπτώσεις.

#### 4.4 Συμπεράσματα

Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας με τα συνολικά αποτελέσματα για κάθε περίπτωση. Αρχικά παρουσιάζεται ο αριθμός των δρομολογίων που εκτελέστηκαν σε κάθε hub για κάθε περίπτωση αλλά και συνολικά όλα τα δρομολόγια που εκτελέστηκαν για κάθε περίπτωση.

Στην συνέχεια, δίνονται οι πληροφορίες που αφορούν τον συνολικό αριθμό των ταξιδιωτών που εξυπηρετήθηκαν για κάθε σε κάθε hub για κάθε περίπτωση αλλά και όλοι οι επιβάτες που μετακινήθηκαν σε όλα τα hubs για κάθε περίπτωση.

Για να μπορέσουμε να εξάγουμε σωστά συμπεράσματα ο αριθμός των ταξιδιωτών που δεν εξυπηρετήθηκαν σε κάθε hub για κάθε περίπτωση αλλά και συνολικά για όλα τα hubs σε κάθε περίπτωση υπολογίζεται και παρουσιάζεται στον πίνακα.

Τέλος, το κέρδος σε κάθε περίπτωση για κάθε hub αλλά και συνολικά για όλα τα hubs υπολογίζεται και συμπεριλαμβάνεται στον πίνακα.

<b>Total Routes</b>			
<b>Hubs</b>	<b>Min costs</b>	<b>Min unserved travelers</b>	<b>Max Profit</b>
<b>Super-Hub</b>	27	33	25
<b>Hub1</b>	18	21	21
<b>Hub2</b>	27	29	28
<b>Hub3</b>	29	37	26
<b>Total</b>	<b>101</b>	<b>120</b>	<b>100</b>
<b>Total passengers served</b>			



Hubs	Min costs	Min unserved travelers	Max Profit
Super-Hub	28.500	29.000	28.300
Hub1	19.400	20.500	20.500
Hub2	28.500	28.600	28.600
Hub3	27.100	27.400	26.900
<b>Total</b>	<b>103.500</b>	<b>105.500</b>	<b>104.300</b>
<b>Total unserved travelers</b>			
Hubs	Min costs	Min unserved travelers	Max Profit
Super-Hub	1.600	1.100	1.800
Hub1	4.600	3.500	3.500
Hub2	1.200	1.100	1.100
Hub3	2.750	2.450	2.950
<b>Total</b>	<b>10.150</b>	<b>8.150</b>	<b>9.350</b>
<b>Total Profit (in euros)</b>			
Hubs	Min costs	Min unserved travelers	Max Profit
Super-Hub	795.274	742.328	825.124
Hub1	343.832	374.301	374.301
Hub2	927.721	942.291	967.466
Hub3	773.322	708.755	839.682
<b>Total</b>	<b>2.840.149</b>	<b>2.767.675</b>	<b>3.006.573</b>

Συνολικά παρατηρούμε ότι στην πρώτη περίπτωση η ναυτιλιακή εταιρία Octopus Seaways εκτελεί 101 δρομολόγια για την εξυπηρέτηση 103.500 ταξιδιωτών (91%) με κέρδος 2.840.149 ευρώ. Στη δεύτερη περίπτωση εκτελέστηκαν 120 δρομολόγια εξυπηρετώντας 105.500 ταξιδιώτες (93%) με κέρδος 2.767.675 ευρώ. Ενώ στην τρίτη περίπτωση εκτελούνται 100 δρομολόγια εξυπηρετώντας 104.300 επιβάτες (91,7%) με κέρδος 3.006.573 ευρώ.

Επομένως, μπορούμε να πούμε ότι είναι απόφαση της εταιρίας ποια πολιτική – στρατηγική θα ήθελα να ακολουθήσει. Δηλαδή, αν θα αποφάσιζε να αφήσει περισσότερους ταξιδιώτες χωρίς εξυπηρέτηση προκειμένου να μεγιστοποιήσει το κέρδος της ή αν θα αποφάσιζε να θυσιάσει ένα ποσοστό του κέρδους της για την εξυπηρέτηση μεγαλύτερου ποσοστού των ταξιδιωτών και κατ' επέκταση να κερδίσει περισσότερους συχνούς ταξιδιώτες που ενδεχομένως να επέλεγαν κάποια ανταγωνιστική ναυτιλιακή εταιρία. Η πρώτη περίπτωση ωστόσο αποτελεί μια ενδιάμεση λύση λαμβάνοντας υπόψη τόσο να μεγιστοποιήσει το κέρδος αλλά και τον αριθμό των επιβατών για το λόγο αυτό παρουσιάστηκαν αναλυτικά τα αποτελέσματα της περίπτωσης αυτής.

Όπως παρουσιάζεται παραπάνω αυτή τη στιγμή στο χώρο των Δωδεκανήσων δραστηριοποιούνται 13 πλοία. Στις αρχικές δοκιμές που κάναμε στο μοντέλο μας τα πλοία αυτά δεν ήταν αρκετά για να καλύψουν τον αριθμό των συνδέσεων που εξασφάλισε το δικό μας μοντέλο .Για το λόγο αυτό στα ήδη υπάρχοντα πλοία προσθέσαμε 3 επιπλέον καράβια των εξής τύπων .

1. Red Octopus ( πλοίο τύπου 2 ή παρόμοιο με το Blue Star 2)  
Ολικό Μήκος : 180m

Πλάτος Καταμέτρησης : 26.2 m

Βάθος Καταμέτρησης : 5.73m

Υπηρεσιακή Ταχύτητα : 25~27 knots

Χωρητικότητα Επιβατών : 1.800

2. Blue Octopus ( πλοίο τύπου 2 ή παρόμοιο με το Blue Star 2)  
Ολικό Μήκος :180m

Πλάτος Καταμέτρησης : 26.2m

Βάθος Καταμέτρησης : 5.73m

Υπηρεσιακή Ταχύτητα :25~27 knots

Χωρητικότητα Επιβατών : 1.800

3. Golden Ferry ( πλοίο τύπου 4 ή παρόμοιο με το Blue Star Diagoras )  
Ολικό Μήκος : 140m

Πλάτος Καταμέτρησης : 23.5m

Βάθος Καταμέτρησης : 5.73m

Υπηρεσιακή Ταχύτητα : 15~20 knots

Χωρητικότητα Επιβατών : 1.300

4. Jewel of Dodekanisa (πλοίο τύπου 3 ή παρόμοιο με το Dodekanisos Skiadeni)

Ολικό Μήκος :85m

Πλάτος Καταμέτρησης :13.5 m

Βάθος Καταμέτρησης :4.69 m

Υπηρεσιακή Ταχύτητα : 15 knots

Χωρητικότητα Επιβατών :700

Το μοντέλο που κατασκευάσαμε προσφέρει στο δίκτυο των Δωδεκανήσων τα επιπλέον **απευθείας** δρομολόγια :

Αστυπάλαια → Λέρος & το αντίστροφο

Ρόδος → Κάσος & το αντίστροφο

Ρόδος → Καστελόριζο & το αντίστροφο

Ρόδος → Κάρπαθος & το αντίστροφο

Τήλος → Χάλκη & το αντίστροφο

Κως → Λέρος & το αντίστροφο

Κως → Τήλος & το αντίστροφο

Πάτμος → Κάλυμνος & το αντίστροφο

Νίσυρος → Σύμη & το αντίστροφο

Νίσυρος → Χάλκη & το αντίστροφο

Κάρπαθος → Καστελόριζο & το αντίστροφο

Κάσος → Καστελόριζο & το αντίστροφο

Σύμη → Τήλος & το αντίστροφο

Μία πιθανή πραγματοποίηση των παραπάνω προτεινόμενων δρομολογίων θα δημιουργήσει πολλά οφέλη στην ευρύτερη κοινότητα των Δωδεκανήσων καθώς δίνονται περισσότερες ευκαιρίες σε τουρίστες να επισκεφθούν περισσότερα νησιά , αλλά και η δυνατότητα για επικοινωνία , ίσες ευκαιρίες στην εκπαίδευση , καλύτερη υγειονομική περίθαλψη κλπ.

Ένα πλεονέκτημα του μοντέλου, το οποίο επίσης αξίζει να σημειωθεί, είναι ότι επειδή χρησιμοποιούμε τέσσερα πλοία για κάθε hub καθώς και ότι κάθε νησί συνδέεται πάντοτε με άλλα τρία –νησιά-, τα νησιά δεν μένουν ποτέ εκτός εξυπηρέτησης σε μία πιθανή βλάβη ενός πλοίου, όπως για παράδειγμα έγινε το έτος 2015 με την Κάσο.

Συγκεκριμένα η προσάραξη του Πλοίου «Βινσέντζος Κορνάρος»- μοναδικού πλοίου που εξυπηρετούσε το νησί- για επισκευή καταδίκασε τους νησιώτες σε αποκλεισμό από τον υπόλοιπο κόσμο καθώς ήταν το μοναδικό πλοίο που εξυπηρετούσε το νησί. Με άλλα λόγια, οι περισσότερες απευθείας συνδέσεις που δημιουργεί το προτεινόμενο δίκτυο δίνουν περισσότερες και συχνότερες ανά εβδομάδα δυνατότητες επικοινωνίας- σύνδεσης του νησιού με υπόλοιπα.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι μια σύγκριση κόστους του προτεινόμενου μοντέλου εξυπηρέτησης σε σχέση με την υπάρχουσα κατάσταση θα ήταν άσκοπη για τον παρακάτω λόγο. Το σύστημα που προτάθηκε είναι ένα κλειστό σύστημα εξυπηρέτησης ενώ η τωρινή κατάσταση περιλαμβάνει εξωτερικά δρομολόγια και συνδέσεις οπότε η σύγκριση δεν θα απέφερε αντικειμενικά αποτελέσματα ,λόγω ουσιαστικών διαφορών των συγκρινόμενων ποσοτήτων. Για τον ίδιο ακριβώς λόγο δεν μπορούμε να συγκρίνουμε με κάτι ως αναφορά το κόστος τις καινούριες συνδέσεις αφού στην τωρινή κατάσταση δεν υπάρχουν. Το σημείο στο οποίο θα έπρεπε κανείς να σταθεί είναι η προσφορά επιπλέον απευθείας συνδέσεων, οι οποίες αναλύονται παραπάνω.

---

## 5. Η εφαρμογή του Hub & Spoke και τα προβλήματα στην Ελλάδα

---

Όλα τα παραπάνω κάνουν το Hub & Spoke να φαίνεται ως ένα ιδιαίτερα αποδοτικό σύστημα και ιδανική λύση για τις ακτοπλοϊκές μεταφορές επιβατών και εμπορευμάτων στη χώρα μας, παρόλα αυτά η εφαρμογή του δεν είναι άμεσα εφικτή. Βασικό ζήτημα, δεδομένου πως το Hub & Spoke στην ακτοπλοΐα δεν έχει μελετηθεί στο παρελθόν, είναι απολύτως απαραίτητος ο εντοπισμός των λιμένων εκείνων που θα μπορούσαν να έχουν το ρόλο του Hub, σε κάθε δεδομένη γεωγραφική περιοχή. Σε δεύτερη φάση και δεδομένου πως το παρακάτω είναι εγγενές μειονέκτημα του συστήματος Hub and Spoke, είναι εξαιρετικά κρίσιμος ο συντονισμός αφίξεων και αναχωρήσεων πλοίων στο κάθε λιμάνι, είτε αυτό είναι Hub-Port είτε είναι Spoke-Port. Όπως προαναφέρθηκε στην ενότητα ανάλυσης των μειονεκτημάτων του εν λόγω συστήματος, οποιαδήποτε καθυστέρηση σε οποιοδήποτε ακτοπλοϊκό δρομολόγιο μπορεί να προκαλέσει δυσλειτουργίες και κόστη οικονομικά, χρονικά και κοινωνικά. Επίσης ιδιαίτερα κρίσιμος είναι ο συγκεκριμένος παράγοντας στην περίπτωση Περιφερειακών Συγκοινωνιακών Κόμβων στους οποίους θα βρίσκουν εφαρμογή πολυτροπικά συστήματα μεταφορών, καθώς εκεί οποιαδήποτε δυσλειτουργία σε ένα από τα δίκτυα μεταφορών τα οποία θα αποτελούν δομικά του μέρη αυτόματα θα μεταφέρεται και στα υπόλοιπα. Όλα τα παραπάνω δημιουργούν την ανάγκη της ιδανικής συνεργασίας και ο συντονισμού μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων μερών και την ύπαρξη δικλείδων ασφαλείας στη λειτουργία του συστήματος, οι οποίες θα προσφέρουν εναλλακτικές λύσεις σε προκύπτοντα προβλήματα, αποτρέποντας την κατάρρευσή του. Ακόμη, το θέμα των λιμενικών υποδομών είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε αυτή την περίπτωση. Η λειτουργία των Hub λιμένων προϋποθέτει κατάλληλες υποδομές, οι οποίες τη δεδομένη στιγμή Ελληνική Ακτοπλοΐα δεν είναι διαθέσιμες. Μερικές από αυτές τις υποδομές αποτελούν: Οι αίθουσες αναμονής επιβατών και όλες οι συνοδευτικές υπηρεσίες. Στην Ελληνική πραγματικότητα πολύ λίγα είναι τα λιμάνια εκείνα στα ελληνικά νησιά τα οποία διαθέτουν στοιχειώδεις αίθουσες αναμονής και ελέγχου επιβατών. Ως επακόλουθο, απαιτείται η δημιουργία κατάλληλων terminals υποδοχής, εξυπηρέτησης και αναμονής επιβατών και των αποσκευών τους, κυρίως στα λιμάνια Hubs. Όσον αφορά τα λιμάνια Spokes η ανάγκη παραμένει ίδια, όμως διαφοροποιείται

το επίπεδο των απαιτούμενων κεφαλαίων, καθώς λόγω ελκόμενων ροών, τα μεγέθη δεν είναι ίδια. Ο μακροπρόθεσμος στόχος είναι ο διαχωρισμός της επιβατικής από την εμπορευματική κίνηση και η εξυπηρέτηση του επιβατικού κοινού στα πρότυπα των αεροπορικών μεταφορών: ο επιβάτης θα μπορεί να προσέλθει στο λιμένα αναχώρησης, να παραδίδει τις αποσκευές του σε κατάλληλα διαμορφωμένους χώρους, να πραγματοποιεί το ακτοπλοϊκό του ταξίδι με τις απαραίτητες μετεπιβιβάσεις, αναμένοντας σε σύγχρονες επιβατικές αίθουσες και να αποβιβάζεται στον τελικό του προορισμό, παραλαμβάνοντας εκεί και μόνο εκεί τις αποσκευές του. Το παραπάνω ιδανικό σενάριο προς το παρόν είναι σχετικά δύσκολο στην υλοποίησή του, όμως δεν αποκλείει τη δυνατότητα έναρξης λειτουργίας τέτοιων λιμένων ως Hubs, σε προσωρινή μορφή, με χαμηλότερες προδιαγραφές και με ελάχιστες δαπάνες, με προοπτική οριστικής διευθέτησης του προβλήματος στο μέλλον. Όπως προαναφέρθηκε, η εφαρμογή του συστήματος Hub and Spoke στην ακτοπλοΐας είναι μια νέα προσέγγιση στις μεταφορές από και προς τα ελληνικά νησιά. Για το λόγο αυτό, οργανωμένη μελέτη του θέματος έχει υπάρξει μόνο σε μικρή, τοπική κλίμακα, για συγκεκριμένες νησιωτικές περιοχές όπως άλλωστε και στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία. Δυστυχώς, δεν έχει υπάρξει συστηματική μελέτη του θέματος και των παραμέτρων που το συνοδεύουν συνολικά. Ο προσδιορισμός των λιμένων που θα έχουν το ρόλο των Hubs και αντίστοιχα των Spokes είναι μια ιδιαίτερα απαιτητική διαδικασία. Ιδιαίτερα εμφανής επίσης, είναι η ανάγκη μελέτης της πιθανής εξειδίκευσης του κάθε λιμένα στο συνολικό Περιφερειακό Λιμενικό Δίκτυο, καθώς θα ήταν τουλάχιστον άστοχη η επικάλυψη εμπορικών δραστηριοτήτων μεταξύ τους, με συνέπεια την όξυνση του ανταγωνισμού μεταξύ τους, και όχι τη συμπληρωματικότητά τους. Επιπλέον, παρά τα θεωρητικά πλεονεκτήματα που προσφέρει, το σύστημα δεν έχει εφαρμοστεί στην πράξη ως τώρα, καθιστώντας την πιλοτική εφαρμογή του σε μία ή περισσότερες επιλεγμένες γεωγραφικές νησιωτικές περιοχές ως ιδιαίτερα σημαντική, προκειμένου να πιστοποιηθεί η ικανότητά του να ανταπεξέλθει στα ιδιαίτερα συγκοινωνιακά χαρακτηριστικά της χώρας μας, όπως αυτά συγκεκριμενοποιούνται στις ακτοπλοϊκές μεταφορές. Σε κάθε περίπτωση, η ανάπτυξη του Hub&Spoke και η συνακόλουθη δημιουργία Περιφερειακών Συγκοινωνιακών Κόμβων, προκειμένου για την ανάπτυξη ενός Βέλτιστου Δικτύου Νησιωτικών Συνδέσεων, είναι εγχείρημα ιδιαίτερα σύνθετο και απαιτητικό, δεδομένων τόσο των πολλών παραμέτρων του όσο και της πληθώρας των εμπλεκόμενων. Με βάση τα παραπάνω, είναι γεγονός αυταπόδεικτο πως απαιτείται επιτακτικά η επιστημονική υποστήριξη του, πάνω στη βάση έγκυρων μελετών, οι

οποίες θα πρέπει να εκπονηθούν από εξειδικευμένους και έμπειρους μελετητές με πρόσβαση σε ισχυρά συστήματα λογισμικού αλλά και απόρρητες βάσεις δεδομένων – λόγω άρνησης παροχής οικονομικών στοιχείων αρκετών από τις ιδιωτικές εταιρίες. Ωστόσο, όπως φαίνεται από διάφορες ανακοινώσεις του υπουργείου η δυνατότητα εξεύρεσης χρηματοδοτικών λύσεων τόσο για την εκπόνηση των προαναφερθέντων απαραίτητων μελετών όσο και για την εν συνεχεία δημιουργία Hubs είναι εφικτή μέσω των Περιφερειακών Ταμείων τα οποία χρησιμοποιεί η Ευρωπαϊκή Ένωση προκειμένου για την προώθηση της περιφερειακής ανάπτυξης στις χώρες-μέλη της.

## 5.1 Μελλοντικές Σκέψεις

Η ανάλυση που έχει προηγηθεί, μπορεί να αποτελέσει βάση για ένα μεγαλύτερο έργο που μπορεί να εξυπηρετήσει όλα τα νησιά του Αιγαίου αλλά και κάθε σύμπλεγμα νησιών. Ωστόσο κάτι τέτοιο απαιτεί τη χρήση κάποιου πολύ δυνατού λογισμικού τύπου MPL, LINGO, CPLEX κτλ. το οποίο θα μπορεί να υπολογίζει πληθώρα μεταβλητών, σε αντίθεση με τις περιορισμένες δυνατότητες του Excel που χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη εργασία. Εκτός από την αύξηση του αριθμού νησιών μπορούν να εισαχθούν αρκετές άλλες μεταβλητές ώστε να κατασκευαστεί ένα πλήρως ρεαλιστικό μοντέλο. Ενδεικτικά θα μπορούσαμε να προσθέσουμε μεταβλητές όπως ο χρόνος, η διακεκριμένη τιμή εισιτηρίου, οι καιρικές συνθήκες, κτλ. Τέτοιου τύπου εισαγωγή μεταβλητών, όμως θα προκαλούσε αλλαγή των αντικειμενικών συναρτήσεων και περιορισμών και θα μετέτρεπε το πρόβλημα σε μη-γραμμικό, κάτι το οποίο ξεφεύγει από τα πλαίσια μελέτης της συγκεκριμένης εργασίας.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

### Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

- [1] [http://www.ancient.eu/Punic\\_Wars/](http://www.ancient.eu/Punic_Wars/)
- [2] <http://www.sparknotes.com/biography/davinci/section6.rhtml>
- [3] [http://lanchester.com/category/authors/fw\\_lanchester/](http://lanchester.com/category/authors/fw_lanchester/)
- [4] <http://www.history.com/topics/inventions/thomas-edison>
- [5] <http://www.phpsimplex.com/en/history.htm>
- [6] <http://www.charlesbabbage.net/>
- [7] <http://www.theorsociety.com/Pages/Society/SocietyHistory.aspx>
- [8] [http://airportwatch.org.uk/news/detail.php?art\\_id=4021](http://airportwatch.org.uk/news/detail.php?art_id=4021).

### Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- [9] Albers, Donald J., (1985). "David Blackwell," in "Mathematical People: Profiles and Interviews," ed. Donald J. Albers and G. L. Alexanderson, Birkhäuser, Boston, pp. 17-32.
- [10] Arrow, Kenneth J., (1957). "Decision Theory and Operations Research," *Operations Research*, Vol. 5, No. 6, pp. 765-774, is an intriguing reflection on these themes.
- [11] Arrow, Kenneth J., (2002). "The Genesis of 'Optimal Inventory Policy,'" *Operations Research*, Vol. 50, No. 1, pp. 1-2.
- [12] Ball, M., C. Barnhart, G. Nemhauser, A. Odoni. ,(2006). Air transportation: irregular operations and control. Handbooks of Operations Research and Management. North Holland.
- [13] Barnum M.P., D. A. Bowen and S.K. Kotha (1996). "KeyCorp Service Excellence Management System," *Interfaces*, 26:1, pp. 54-74, .



- [14]Benson R.F., R.C. Leachman, C. Liu and D. J. Raar,(1996). "IMPreSS: An Automated Production-Planning and Delivery-Quotation System at Harris Corporation - Semiconductor Sector," *Interfaces*, 26:1, pp. 6-37.
- [15]Campell, J. F.,(1994). Integer programming formulations of discrete hub location problems. *European Journal of Operational Research* 72(2) 387–405.
- [16]Davis, W.J. and S.W. Flanders,(1995). "Scheduling a Flexible Manufacturing System with Tooling Constraints: An Actual Case Study," *Interfaces*, 25:2, pp. 42-54.
- [17]Hillier, F. S. and G. J. Lieberman,(1995). *Introduction to Operations Research*, McGraw-Hill Publishing Company, New York, NY.
- [18] Kirby, M. W.,( 2007). "Paradigm Change in Operations Research: Thirty Years of Debate," *Operations Research*, Vol. 55, No. 1, pp. 1-13.
- [19] Klein, J. L., (2000). "Economics for a Client: The Case of Statistical Quality Control and Sequential Analysis," in "Toward a History of Applied Mathematics," ed. Roger E. Backhouse and Jeff Biddle, Duke University Press, Durham, pp. 27-69.
- [20] Marsten R.E. , R.P. Scheff, R. Subramanian, R. and Jr., J. D. Quillinan and D. S. Wiper,(1994) "Coldstart: Fleet Assignment at Delta Air Lines," *Interfaces*, 24:1, pp. 104-120.
- [21]O’Kelly, M. E. (1987). A quadratic integer program for the location of interacting hub facilities. *European Journal of Operational Research* 32(3) 393–404.
- [22]O’Kelly, M. E. ,(1986). The location of interacting hub facilities. *Transportation Science* 20(2) 92–105.

[23]O'Kelly, M. E., H. Kim, C. Kim.,(2006). Internet reliability with realistic peering. *Environment and Planning Part B* 33(3) 325–343.

[24]O'Kelly, M. E.,(1986). Activity levels at hub facilities in interacting networks. *Geographical Analysis* 18(4) 343–356.

[25]Rigby, B., L. S. Lasdon and A. D. Waren,(1995). "The Evolution of Texaco's Blending Systems: From OMEGA to StarBlend," *Interfaces*, 25:5, pp. 64-83.

[26]Taha, H. A., (1997). *Operations Research*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

[27]Todd, M. J. (2011). "Review: The Basic George B. Dantzig, by Richard W. Cottle". *Bull. Amer. Math. Soc. (N.S.)*. 48 (1): 123–12.

[28]Winston, W. L.,(1994). *Operations Research*, Duxbury Press, Belmont, CA.

Τέλος στη βιβλιογραφία θα ήθελα να προσθέσω το Βιβλίο «Εισαγωγή στην Επιχειρησιακή Έρευνα», Κολέτσος Ι., Στογιάννης Δ. (2012 ),η ανάγνωση του οποίου συντέλεσε στο γενικό τρόπο σκέψης και εργασίας αυτής της διπλωματικής.

