



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΛΕΩΦΟΡΕΙΑΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕ  
ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ DEA



Διπλωματική Εργασία

Μαντά Σταυρούλα

Επιβλέπουσα: Βλαχογιάννη Ελένη, Επίκουρη Καθηγήτρια Σχολής Πολιτικών  
Μηχανικών ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2016

Copyright © Μαντά Σταυρούλα, 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών, διανομή, αναπαραγωγή, μετάφραση ή μετάδοση της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό, υπό οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας, ηλεκτρονικό ή μηχανικό, χωρίς την προηγούμενη έγγραφη άδεια της συγγραφέως. Επιτρέπεται η αναπαραγωγή, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς την συγγραφέα.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων της συγγραφέως (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

Copyright © Manta Stavroula, 2016

All Rights Reserved

Neither the whole nor any part of this diploma thesis may be copied, stored in a retrieval system, distributed, reproduced, translated, or transmitted for commercial purposes, in any form or by any means now or hereafter known, electronic or mechanical, without the written permission from the author. Reproducing, storing and distributing this thesis for non-profitable, educational or research purposes is allowed, without prejudice to reference to its source and to inclusion of the present text. Any queries in relation to the use of the present thesis for commercial purposes must be addressed to its author.

Approval of this diploma thesis by the School of Civil Engineering of the National Technical University of Athens (NTUA) does not constitute in any way an acceptance of the views of the author contained herein by the said academic organization (L. 5343/1932, art. 202).

Μαντά Σταυρούλα  
«Αξιολόγηση της απόδοσης λεωφορειακών γραμμών με την μέθοδο DEA»  
Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο,  
Αθήνα 2016.

Manta Stavroula  
"Performance evaluation of bus lines with DEA method"  
Department of Transportation Planning and Engineering,  
National Technical University of Athens,  
Greece 2016

Αφιερώνεται στον πατέρα μου

# Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου κα Ελένη Βλαχογιάννη, Λέκτορα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, για την υποστήριξη της κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας, καθώς και για την άψογη συνεργασία και συμπαράσταση της καθόλη την περίοδο αυτή. Χωρίς την βοήθεια και καθοδήγηση της η εκπόνηση της παρούσας εργασίας θα ήταν αδύνατη.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές της σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και ειδικά του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής που με τις γνώσεις που μας προσφέρουν κατάφεραν να αγαπήσω ακόμα περισσότερο το αντικείμενο που επέλεξα να σπουδάσω και που αποτελούν βάση για την επαγγελματική μου σταδιοδρομία.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, τους φίλους μου και όλους τους κοντινούς μου ανθρώπους που ήταν δίπλα μου όλο αυτό το διάστημα. Η ενθάρρυνση και η υπομονή τους με βοήθησαν σημαντικά κατά την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

## **ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΛΕΩΦΟΡΕΙΑΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ DEA**

Μαντά Σταυρούλα

Επιβλέπουσα : Βλαχογιάννη Ελένη

### **Σύνοψη**

Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η αξιολόγηση ενενήντα τριών (93) λεωφορειακών γραμμών των Οδικών Αστικών Συγκοινωνιών της Αθήνας (Ο.Σ.Υ. Α.Ε.) ως προς την απόδοση τους, με βάση συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που διαδραματίζουν μείζονα ρόλο στην λειτουργία τους. Η αξιολόγηση των γραμμών πραγματοποιείται με την χρήση της μεθόδου Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων (DEA) έχοντας ως δεδομένα το μέσο μηνιαίο κόστος λειτουργίας των Οδικών Συγκοινωνιών, τον αριθμό των μηνιαίων βαρδιών σε κάθε γραμμή, τον αριθμό των προγραμματισμένων, καθώς και των εκτελεσμένων δρομολογίων, τα εκτελεσμένα οχηματοχιλιόμετρα και τον αριθμό των επιβατών ανά εκτελεσμένο δρομολόγιο που δόθηκαν στον τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής του ΕΜΠ. Η μέθοδος ανέδειξε ποιες γραμμές θεωρούνται αποδοτικές και ποιες όχι, καθώς και τι αλλαγές που απαιτούνται ώστε οι μη αποδοτικές γραμμές να γίνουν αποδοτικές.

Λέξεις κλειδιά: αξιολόγηση λεωφορειακών γραμμών, αποδοτικότητα , μέθοδος DEA

## **PERFORMANCE EVALUATION OF BUS LINES WITH DEA METHOD**

Manta Stavroula

Supervisor: Eleni Vlahogianni

### **Abstract**

The aim of this thesis is to develop and test a methodology for evaluating the efficiency bus lines in urban areas. Based on a sample of ninety three (93) bus lines of Athens Urban Transport (O.S.Y. SA), a data envelopment analysis approach is undertaken using real world collected monthly data on the monthly cost, monthly shifts per lane, scheduled and completed routes, completed kilometers per vehicle and passengers per completed routes. The proposed modeling approach can distinguish between those lines that are relatively efficient and those that need to be improved in order to achieve efficiency. Moreover, all the necessary changes that need to be done, in order to ensure that inefficient lines will become efficient are discussed.

Key words: evaluation of bus lines, efficiency, DEA method

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την αξιολόγηση ενενήντα τριών (93) λεωφορειακών γραμμών των Οδικών Αστικών Συγκοινωνιών της Αθήνας (Ο.Σ.Υ. Α.Ε.) ως προς την απόδοση τους μέσω της εφαρμογής της μεθόδου Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων (DEA). Τα απαραίτητα δεδομένα δόθηκαν από τον Οργανισμό Αστικών Συγκοινωνιών Αθήνας (Ο.Α.Σ.Α. Α.Ε.) στον τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής του ΕΜΠ.

Σε πρώτο στάδιο αναλύονται όλα τα δεδομένα προκειμένου να σχηματιστεί μια πρώτη εικόνα για την λειτουργία της εκάστοτε λεωφορειακής γραμμής. Σε δεύτερο στάδιο επιλέγονται τα δεδομένα εκείνα που επηρεάζουν περισσότερο την αποδοτικότητα των λεωφορειακών γραμμών τα οποία είναι το συνολικό κόστος ανά μήνα, οι μηνιαίες βάρδιες, τα προγραμματισμένα δρομολόγια, τα μηνιαία εκτελεσμένα οχηματοχιλιόμετρα, οι επιβάτες/ Εκτελεσμένα δρομολόγια και τα εκτελεσμένα δρομολόγια. Τα ανωτέρω στοιχεία εισάγονται στο υπολογιστικό πρόγραμμα Rstudio με σκοπό την εφαρμογή της μεθόδου DEA.

Η στατιστική ανάλυση ανέδειξε τις γραμμές που είναι αποδοτικές, καθώς και εκείνες που δεν είναι αποδοτικές ως προς την λειτουργία τους, με την πλειοψηφία των γραμμών να είναι μη αποδοτικές. Αναφέρονται ακόμη, οι αλλαγές που οφείλουν να πραγματοποιηθούν στα χαρακτηριστικά της εκάστοτε μη αποδοτικής γραμμής που χρησιμοποιήθηκαν στην εφαρμογή της μεθόδου προκειμένου να γίνει αποδοτική. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην μεταβολή του μέσου μηνιαίου κόστους για την λειτουργία των Οδικών Συγκοινωνιών και του αριθμού των βαρδιών ανά μήνα, ενώ επεξεργάστηκαν όλες οι αποδοτικές γραμμές για την εκμετάλλευση του βέλτιστου συνδυασμού εισροών και εκροών τους.

Όσον αφορά τι μη αποδοτικές γραμμές, αναγκαία είναι η λήψη μέτρων και η μεταβολή κάποιων χαρακτηριστικών τους, προκειμένου να λειτουργούν και αυτές αποδοτικά. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περαιτέρω ανάλυση των υπόλοιπων λεωφορειακών γραμμών του Οργανισμού Αστικών Συγκοινωνιών Αθήνας (Ο.Α.Σ.Α. Α.Ε.), καθώς και η αξιολόγηση τους ως προς την αποτελεσματικότητά τους, δηλαδή λαμβάνοντας υπόψη την γνώμη των επιβατών. Τέλος, εκτός από την μεμονωμένη αξιολόγηση της κάθε λεωφορειακής γραμμής, σημαντική είναι και η αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος των Οδικών Αστικών Συγκοινωνιών, ώστε να ελεγχθεί αν ως σύστημα είναι αποδοτικό ή όχι.



# Περιεχόμενα

Σύνοψη .....	vi
Abstract .....	vii
Περίληψη .....	viii
1.1 Σύστημα μέσων μαζικής μεταφοράς .....	1
1.2 Οδικές αστικές συγκοινωνίες .....	1
1.2.1 Ιστορικά Στοιχεία .....	2
1.2.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα .....	5
1.3 Επικρατούσα κατάσταση στην Ελλάδα .....	6
1.4 Σημασία αξιολόγησης λεωφορειακών γραμμών .....	7
1.5 Σκοπός διπλωματικής .....	7
1.6 Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας .....	8
2.1 Εισαγωγή .....	9
2.2 Σχεδιασμός και Αξιολόγηση Γραμμών .....	9
2.2.1 Δείκτες αποδοτικότητας .....	10
2.2.2 Δείκτες αποτελεσματικότητας .....	11
2.2.3 Δείκτες εξυπηρέτησης .....	14
2.3 Αρχές Σχεδιασμού Λεωφορειακής Γραμμής .....	15
2.1 Έρευνες Αξιολόγησης Συστημάτων .....	19
2.2 Έρευνες Αξιολόγησης Αμαξοστασίων .....	20
2.3 Έρευνες Αξιολόγησης Μεμονωμένων Γραμμών .....	20
2.4 Ανασκόπηση Μεθόδων .....	20
2.4.1 Παραμετρικές και μη παραμετρικές μέθοδοι .....	20
2.4.2 Πολυκριτηριακή ανάλυση .....	21
2.4.3 Μη γραμμική ανάλυση παλινδρόμησης .....	22
2.4.4 Γραμμική Παλινδρόμηση .....	23
2.4.5 Data Envelopment Analysis .....	23
2.5 Σύνοψη Βιβλιογραφίας .....	25
3.1 Η Περιβάλλουσα Ανάλυσης Δεδομένων .....	30
3.1.1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Μεθόδου .....	32
3.1.2 Αποδοτικότητα .....	33
3.1.3 Παραγωγικές Μονάδες .....	33

3.1.4 Εισροές-Εκροές .....	34
3.1.5 Σχετική Αποδοτικότητα .....	35
3.1.6 Τεχνική Αποδοτικότητα .....	36
3.1.7 Γραφική Εξήγηση Μεθόδου DEA.....	37
3.2 Μαθηματικά Μοντέλα Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων .....	38
3.2.1 Μοντέλο Σταθερών Επιδόσεων Κλίμακας (CCR) .....	39
3.2.2 Μοντέλο Μεταβαλλόμενων Αποδόσεων Κλίμακας (BCC) .....	41
3.2.3 Στάδια Εφαρμογής.....	45
3.3 Γλώσσα Προγραμματισμού R.....	45
3.3.1 Υπολογιστικό Πρόγραμμα Rstudio .....	46
4.1 Περιγραφή δικτύου .....	53
4.2 Διαθέσιμα Δεδομένα .....	53
4.3 Προκαταρκτική Ανάλυση Δεδομένων .....	55
4. Αξιολόγηση δεδομένων .....	65
5.1 Καθορισμός Δεδομένων Μοντέλου .....	67
5.2 Μεθοδολογία.....	68
5.3 Αποτελέσματα.....	72
5.3.1 Απόδοση.....	72
5.3.2 Slacks (Περιθώρια).....	77
6.1 Εισαγωγή .....	79
6.2 Βασικά Συμπεράσματα.....	80
6.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα .....	81
Διαδικτυακές πηγές .....	84
Διπλωματικές εργασίες.....	84

# Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Όριο παραγωγικών δυνατοτήτων .....	31
Διάγραμμα 2: Όριο αποδοτικότητας υπό σταθερές αποδόσεις κλίμακας .....	37
Διάγραμμα 3: Όριο αποδοτικότητας υπό μεταβλητές μονάδες κλίμακας(Πηγή: Κατσιγάρκη Χ. 2015).....	43
Διάγραμμα 4: Διαφορά μεταξύ συνόρων αποδοτικότητας BCC και CCR (Πηγή: Σαΐτης 2014) .....	43
Διάγραμμα 5: Ποσοστό συμμετοχής λεωφορείων-τρόλεϊ.....	55
Διάγραμμα 6: Ποσοστό κυκλικών-κανονικών διαδρομών .....	56
Διάγραμμα 7: Κατανομή των γραμμών με βάση τον τύπο της γραμμής για κανονική διαδρομή .....	56
Διάγραμμα 8: η κατανομή των γραμμών με βάση τον τύπο της γραμμής για κυκλική διαδρομή .....	57
Διάγραμμα 9 : κατανομή βάρδιας ανά μήνα.....	57
Διάγραμμα 10: κατανομή γραμμών με βάση το συνολικό μήκος .....	58
Διάγραμμα 11: κατανομή εκτελεσμένων προς προγραμματισμένων δρομολογίων.....	58
Διάγραμμα 12: Κατανομή ημερήσιας επιβατικής κίνησης ανά βάρδια .....	59
Διάγραμμα 13: κατανομή επιβατικής κίνησης ανά οχηματοχιλιόμετρο.....	59
Διάγραμμα 14: κατανομή επιβατικής κίνησης ανά ολοκληρωμένο δρομολόγιο .....	60
Διάγραμμα 15: κατανομή κόστους ανά επιβάτη .....	60
Διάγραμμα 16: ποσοστό κόστους ανά επιβάτη με βάση τον τύπο της γραμμής .....	61
Διάγραμμα 17: κατανομή κόστους/επιβάτη με βάση την επιβατική κίνηση/εκτελεσμένα δρομολόγια .....	61
Διάγραμμα 18: κατανομή κόστους σε σχέση με την επιβατική κίνηση ανά βάρδια .....	62
Διάγραμμα 19: κατανομή ατυχημάτων/1000χλμ .....	62
Διάγραμμα 20: ποσοστό ατυχημάτων/1000χλμ με βάση τον τύπο της γραμμής .....	63
Διάγραμμα 21: κατανομή παραπόνων ανά γραμμή .....	63
Διάγραμμα 22: ποσοστό των παραπόνων ανά γραμμή με βάση το τύπο της γραμμής.....	64
Διάγραμμα 23: κατανομή αλληλοεπικάλυψης γραμμών .....	64
Διάγραμμα 24: κατανομή ευθύτητας γραμμών .....	65
Διάγραμμα 25: Κατανομή αποδοτικότητας στον λεωφορειακών γραμμών .....	75
Διάγραμμα 26: Κατανομή αποδοτικότητας με βάση το είδος της λεωφορειακής γραμμής.....	76

## Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Πρώτη γραμμή τρόλεϊ (Πηγή: osy.gr) .....	2
Εικόνα 2: Λεωφορεία "Χασανιώτικα" στο σταθμό συγκέντρωσης, 1947 (Πηγή: osy.gr) .....	3
Εικόνα 3: Λεωφορείο "Federal" της γραμμής Αθήνα-Φάληρο-Εδέμ, 1948(Πηγή: osy.gr) .....	3
Εικόνα 4: Λεωφορείο "Scania Vabis", 1961 (Πηγή: osy.gr) .....	4
Εικόνα 5: Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών(Πηγή: osy.gr) .....	5
Εικόνα 6: Αρχική μορφή του προγράμματος Rstudio .....	47
Εικόνα 7: Ιδιότητες σχετικά με τον τρόπο γραφής στο πρόγραμμα Rstudio .....	48
Εικόνα 8: Βασικά χαρακτηριστικά του προγράμματος Rstudio .....	49
Εικόνα 9: Ενσωμάτωση εργαλείων απαραίτητων για το πρόγραμμα .....	49
Εικόνα 10: Κωδικοποίηση βασικών εργαλείων .....	50
Εικόνα 11: Πλοήγηση σε προϋπάρχοντα αρχεία .....	51
Εικόνα 12: Άμεση δημιουργία νέων αρχείων .....	51
Εικόνα 13: Εισαγωγή δεδομένων στο πρόγραμμα Rstudio .....	68
Εικόνα 14: Διαχωρισμός δεδομένων σε εισροές και εκροές .....	69
Εικόνα 15: Υπολογισμός αποδοτικότητας .....	70
Εικόνα 16: Εντολή slack .....	71
Εικόνα 17: Εξαγωγή αποτελεσμάτων σε αρχείο μορφής excel .....	72

## Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Σύνοψη βιβλιογραφίας. ....	26
Πίνακας 2: Αποδοτικές λεωφορειακές γραμμές.....	73
Πίνακας 3: Αποδοτικότητα των 10 λεωφορειακών γραμμών με την μικρότερη απόδοση.....	74

## Ευρετήριο Παραρτήματος

<a href="#">Πίνακας 4: Αποτελέσματα αποδοτικότητας λεωφορειακών γραμμών</a> .....	86
<a href="#">Πίνακας 5: Αποτελέσματα Περιθωρίων (Slacks)</a> .....	88

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Σύστημα μέσων μαζικής μεταφοράς

Το σύστημα των μέσων μαζικής μεταφοράς της Αθήνας αποτελείται από ένα σύστημα μητροπολιτικού σιδηρόδρομου (Μετρό), τραμ, λεωφορεία και τρόλεϊ, ενώ ένα τμήμα του συγκοινωνιακού έργου καλύπτεται και από τον Προαστιακό Σιδηρόδρομο. Στις υπόλοιπες περιοχές του νομού Αττικής, το μεγαλύτερο μέρος του συγκοινωνιακού έργου καλύπτεται από υπεραστικά λεωφορεία (Κ.Τ.Ε.Λ.), ενώ το υπόλοιπο εξυπηρετείται από τον Προαστιακό Σιδηρόδρομο, αλλά και τα αστικά λεωφορεία.

Την εποπτεία για ένα μεγάλο τμήμα του νομού έχει ο Οργανισμός Αστικών Συγκοινωνιών Αθηνών (Ο.Α.Σ.Α.), με τις θυγατρικές αυτού, Οδικές Συγκοινωνίες (Ο.Σ.Υ.) Α.Ε. και Σταθερές Συγκοινωνίες (ΣΤΑ.ΣΥ.) Α.Ε. να έχουν την ευθύνη εκτέλεσης του συγκοινωνιακού έργου, ενώ υπάρχει συνεργασία και με την ΤΡΑΙΝΟΣΕ Α.Ε., λόγω της ύπαρξης τμήματος του δικτύου αυτής (Προαστιακός Σιδηρόδρομος), εντός του αστικού ιστού της Αθήνας. Για το υπόλοιπο τμήμα του νομού, η εποπτεία του συγκοινωνιακού έργου έχει ανατεθεί στη Ρυθμιστική Αρχή Επιβατικών Μεταφορών και την ευθύνη εκτέλεσης έχει αναλάβει η Κ.Τ.Ε.Λ. Νομού Αττικής Α.Ε.

## 1.2 Οδικές αστικές συγκοινωνίες

Η Ανώνυμη Εταιρεία Οδικές Συγκοινωνίες (Ο.Σ.Υ., Α.Ε.) είναι εταιρεία που δραστηριοποιείται στις οδικές συγκοινωνίες και προέκυψε κατόπιν απορρόφησης της εταιρείας Η.Λ.Π.Α.Π. Α.Ε. (τρόλεϊ) από την Ε.ΘΕ.Λ. Α.Ε. (Θερμικά λεωφορεία). Αποτελεί Νομικό Πρόσωπο Ιδιωτικού Δικαίου και λειτουργεί με σκοπό την παροχή υπηρεσιών κοινής ωφέλειας, ελέγχεται από τον Οργανισμό Αστικών Συγκοινωνιών Αθηνών (Ο.Α.Σ.Α.), υπό την εποπτεία του Υπουργείου Ανάπτυξης, Ανταγωνιστικότητας, Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων.

Κύριος σκοπός της Ο.Σ.Υ. Α.Ε. είναι η εκτέλεση και η εκμετάλλευση του συγκοινωνιακού έργου με λεωφορεία και τρόλεϊ και κύριος στρατηγικός της στόχος αποτελεί η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη συμμετοχή των αστικών συγκοινωνιών στις καθημερινές μετακινήσεις των κατοίκων του Λεκανοπεδίου Αττικής.

Το δίκτυο των αστικών λεωφορείων καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος του συγκοινωνιακού έργου στο πολεοδομικό συγκρότημα της Αθήνας. Με 280 γραμμές, εξυπηρετούνται μετακινήσεις από τα προάστια προς τα κέντρα της Αθήνας και του Πειραιά και αντίστροφα, μετακίνηση από και προς σταθμούς του Μετρό, σύνδεση με τον Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών και πλήθος ακόμα μετακινήσεων.

### 1.2.1 Ιστορικά Στοιχεία

Τα λεωφορεία κινήθηκαν για πρώτη φορά στους δρόμους της Αθήνας στην αρχή του προηγούμενου αιώνα και βρισκόνταν στα χέρια ιδιωτών ιδιοκτητών λεωφορείων. Σε αυτούς είχαν δοθεί παραχωρητήρια και άδειες για εκτέλεση Αστικής συγκοινωνίας από το Κράτος.

Το 1929 ιδρύεται η Ηλεκτρική Εταιρεία Μεταφορών (Η.Ε.Μ.) με σκοπό να λειτουργήσει τραμ, τρόλεϊ και λεωφορεία στις κεντρικές περιοχές της Αθήνας και του Πειραιά. Το 1938 προχώρησε σε παραγγελία κατασκευής των 12 πρώτων τρόλεϊ, που ήταν μικρού μεγέθους, από την ιταλική κοινοπραξία Fiat/CGE. Παρόλο που τον Οκτώβριο του 1939 τα οχήματα έφτασαν στον Πειραιά για να τεθούν στη διάθεση της Εταιρείας Μεταφορών, παρέμειναν σε ακινησία ολόκληρη την περίοδο της κατοχής.

Το 1938 η πρώτη γραμμή τρόλεϊ που εγκαινιάστηκε από την Η.Ε.Μ. ήταν εκείνη της Καστέλας που αντικατέστησε την τροχιοδρομικής γραμμή 20. Η γραμμή αυτή έχει διατηρήσει τον αριθμό της μέχρι και σήμερα.



Εικόνα 1: Πρώτη γραμμή τρόλεϊ (Πηγή: osy.gr)

Το 1941 ιδρύεται ο Οργανισμός Ελέγχου Αστικών Συγκοινωνιών (Ο.Ε.Α.Σ.) με σκοπό τον έλεγχο και την εποπτεία της παρεχόμενης εξυπηρέτησης από τους ιδιώτες λεωφορειούχους.



*Εικόνα 2: Λεωφορεία "Χασανιώτικα" στο σταθμό συγκέντρωσης, 1947 (Πηγή: osy.gr)*

Το 1952 οι ιδιώτες λεωφορειούχοι οργανώνουν έξι Κοινά Ταμεία Εκμετάλλευσης Λεωφορείων (Κ.Τ.Ε.Λ.). Το καθένα απ' αυτά λειτουργεί σε συγκεκριμένες γραμμές και για λόγους ισότητας ακολουθείται η αρχή της εξίσωσης χιλιομέτρων και εισπράξεων.

Ταυτόχρονα δημιουργούνται και έξι χώροι στάθμευσης χωρίς όμως συνεργεία συντήρησης. Δεκαέξι χρόνια αργότερα, ενώνονται τα έξι Κ.Τ.Ε.Λ. και δημιουργείται το Ε.Κ.Τ.Ε.Λ., ενώ τα έξι αυτά Κ.Τ.Ε.Λ. εξακολουθούν να διατηρούν την αυτοδυναμία τους και να λειτουργούν συγκεκριμένες γραμμές το καθένα με την ίδια περί εξίσωσης αρχή. Την εποχή αυτή τα Κ.Τ.Ε.Λ. αρχίζουν να παρουσιάζουν μείωση κερδών.



*Εικόνα 3: Λεωφορείο "Federal" της γραμμής Αθήνα-Φάληρο-Εδέμ, 1948(Πηγή: osy.gr)*

Στις 27 Δεκέμβρη του 1953 λειτούργησε η πρώτη γραμμή τρόλεϊ στην Αθήνα με την διαδρομή Πατήσια-Αμπελόκηποι. Τα πρώτα 40 οχήματα που κυκλοφόρησαν σε αυτή τη γραμμή ήταν μεγάλου μεγέθους, τριαξονικά, ηλεκτροκίνητα λεωφορεία Alpha Romeo-GCE-Casaro.

Το 1956 έληξε το παραχωρητήριο για τη λειτουργία τραμ και επειδή δεν ανανεώθηκε έκτοτε η Η.Ε.Μ. περιορίζεται στη λειτουργία μόνο των τρόλεϊ. Ακολούθησε η επέκταση του δικτύου των τρόλεϊ στην Αθήνα και η προσθήκη νέων μοντέλων οχημάτων. Η Η.Ε.Μ. έφτασε τελικά να έχει στην κατοχή της στόλο από 137 ηλεκτροκίνητα λεωφορεία και παρείχε υπηρεσίες από το 1970, οπότε και εξαγοράστηκε από το Ελληνικό Δημόσιο και μετονομάστηκε σε Η.Λ.Π.Α.Π. Α.Ε.



*Εικόνα 4: Λεωφορείο "Scania Vabis", 1961 (Πηγή: osy.gr)*

Το 1977 αφαιρούνται οι άδειες λειτουργίας Αστικής Συγκοινωνίας από τους μετόχους του Ενοποιημένου Κοινού Ταμείου Εισπράξεων Λεωφορείων (Ε.Κ.Τ.Ε.Λ.) και στη θέση του δημιουργείται μια ανώνυμη κρατική εταιρεία με την επωνυμία Επιχείρηση Αστικών Συγκοινωνιών (Ε.Α.Σ.).

Με τον ίδιο νόμο καταργείται ο Ο.Ε.Α.Σ. και ιδρύεται ο Οργανισμός Αστικών Συγκοινωνιών (Ο.Α.Σ.), ο οποίος έχει ως σκοπό το σχεδιασμό, το συντονισμό και την εποπτεία όλου του συστήματος αστικών συγκοινωνιών της Πρωτεύουσας.

Η Ε.Α.Σ. καταργήθηκε το 1992 και η εκτέλεση του συγκοινωνιακού έργου με θερμικά λεωφορεία ανατέθηκε στις ιδιωτικές Συγκοινωνιακές επιχειρήσεις (Σ.ΕΠ.). Το 1993 οι Σ.ΕΠ. καταργήθηκαν και πλέον το συγκοινωνιακό έργο ανέλαβε να εκτελέσει ο Οργανισμός Αστικών Συγκοινωνιών Αθηνών (Ο.Α.Σ.Α.) μέχρι τον Ιούλιο του 1994, οπότε και ιδρύθηκε η Ε.Θ.Ε.Λ. Α.Ε., στην οποία ανατέθηκε η εκτέλεση του συγκοινωνιακού έργου μεταφέροντας σε αυτή το στόλο των λεωφορείων και το προσωπικό.

Στις 5 Ιούλη 2011 ολοκληρώθηκε η διαδικασία συγχώνευσης της Ε.Θ.Ε.Λ. Α.Ε. με την Η.Λ.Π.Α.Π. Α.Ε. με στόχο την αποδοτικότερη λειτουργία των συγχωνευθέντων εταιρειών προς όφελος του επιβατικού κοινού. Το όνομα της νέας εταιρείας είναι Οδικές Αστικές Συγκοινωνίες (Ο.Σ.Υ. Α.Ε.) και οι αρμοδιότητες της είναι η εκτέλεση του δημόσιου συγκοινωνιακού έργου με επίγεια οδικά μέσα στην περιοχή ευθύνης του Ο.Α.Σ.Α. Α.Ε.



## 1.2.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

Οι αστικές συγκοινωνίες διαδραματίζουν μείζονα ρόλο στην καθημερινότητα των κατοίκων στις σύγχρονες αστικές περιοχές, ενώνοντας σχεδόν όλα τα σημεία της πόλης μεταξύ τους με τον φιλικότερο, προς το περιβάλλον τρόπο. Αποτελούν ένα γρήγορο και οικονομικό, χωρίς κοινωνικές διακρίσεις, μέσο μεταφοράς που είναι σε θέση να εξυπηρετήσει όλους τους πολίτες και τους επισκέπτες μιας περιοχής.

Πιο συγκεκριμένα, με την βοήθεια των αστικών συγκοινωνιών ο επιβάτης μπορεί να μετακινηθεί από το ένα άκρο της πόλης στο άλλο, συνήθως με την επικύρωση ενός μόνο κομίστρου. Τα μέσα μεταφοράς συνδέουν όλα τα προάστια με το κέντρο, βοηθούν στην μετακίνηση εντός του κάθε προαστίου ή μεταξύ διπλανών προαστίων και φυσικά ενώνουν την πόλη με τα αεροδρόμια, τα λιμάνια και άλλες σημαντικές τοποθεσίες. Αποτελούν μέσο μετακίνησης για εργασία, εκπαίδευση και ψυχαγωγία.



Εικόνα 5: Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών(Πηγή: [osy.gr](http://osy.gr))

Ένα ακόμη πλεονέκτημα των μέσων μαζικής μεταφοράς είναι ότι παρέχουν υπηρεσίες σε όλους τους ανθρώπους χωρίς καμία διάκριση, οικονομική είτε κοινωνική. Αναλυτικότερα, η τιμή του κομίστρου είναι προσιτή προς την πλειοψηφία των πολιτών, ενώ διατίθενται και ειδικές μειωμένες τιμές κομίστρων για φοιτητές, ανέργους και άτομα τρίτης ηλικίας. Η πλειοψηφία των στάσεων και των οχημάτων διαθέτουν υποδομές για την εξυπηρέτηση ατόμων με ειδικές ανάγκες. Τέλος, ο τρόπος λειτουργίας τους είναι όσο το δυνατόν πιο απλοϊκός και κατανοητός ώστε το κοινό κατά την μετακίνηση του να μην προβληματιστεί με τις παρεχόμενες πληροφορίες.

Εξίσου σημαντική ωφέλεια της χρήσης των αστικών συγκοινωνιών είναι η προστασία του περιβάλλοντος. Η μετακίνηση με τα μέσα μαζικής μεταφοράς μειώνει το αποτύπωμα άνθρακα, τις επιβλαβείς εκπομπές στον αέρα και την ποσότητα των αερίων του θερμοκηπίου που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα. Μεταφέρονται πολλά άτομα μέσω ενός οχήματος, που σε διαφορετική περίπτωση ο καθένας θα χρησιμοποιούσε το δικό του όχημα, άρα μειώνεται το αντίκτυπο στο περιβάλλον.

Όσον αφορά τα μειονεκτήματα των μέσω μαζικής μεταφοράς, ένα από αυτά είναι ότι κατά τη διάρκεια ορισμένων περιόδων της ημέρας, τα μέσα μαζικής μεταφοράς μπορεί να είναι υπερπλήρη σε ασφυκτικό βαθμό. Μερικές φορές είναι πιθανόν η επιβίβαση σε ένα μέσο να είναι αδύνατη λόγω της πληρότητας του συγκεκριμένου οχήματος, με αποτέλεσμα να επιμηκυνθεί ο χρόνος αναμονής των επιβατών στη στάση.

Επίσης, όταν ο επιβάτης επιθυμεί να χρησιμοποιήσει τις αστικές συγκοινωνίες είναι ανάγκη να σχεδιάσει το πρόγραμμά του γύρω από το λεωφορείο ή το τρένο. Σε πολλές περιπτώσεις υπάρχουν καθυστερήσεις ή και παραλείψεις των προγραμματισμένων δρομολογίων που μπορεί να έχει άμεσο αντίκτυπο στον επιβάτη, οπότε οφείλει να λαμβάνει υπόψη του ότι δεν υπάρχει πλήρης συνέπεια των εκτελεσμένων δρομολογίων.

Ένα ακόμη αρνητικό σχετικά με τα δημόσια μέσα μεταφοράς είναι ότι παρόλο τον υψηλό αριθμό των ατόμων που τα χρησιμοποιούν, εξακολουθούν να υπάρχουν εκατοντάδες αυτοκίνητα στο δρόμο καθώς και λεωφορεία παλαιότερης τεχνολογίας που εκπέμπουν καυσαέρια ρυπαίνοντας το περιβάλλον και ταυτόχρονα δημιουργώντας προβλήματα στην κυκλοφορία.

### 1.3 Επικρατούσα κατάσταση στην Ελλάδα

Την τελευταία δεκαετία η ζήτηση των μέσων μαζικής μεταφοράς αυξήθηκε κατά κόρον λόγω της οικονομικής ύφεσης που διανύει η Ελλάδα. Στην αύξηση αυτή συντέλεσαν η διαφορά του κόστους που έχουν οι υπόλοιποι τρόποι μετακίνησης (Ι.Χ., ταξί) σε σχέση με τις αστικές συγκοινωνίες με τα πρώτα μέσα να κοστίζουν πολύ περισσότερο.

Ως αποτέλεσμα μεγάλη μερίδα των πολιτών προτίμησαν για τις καθημερινές μετακινήσεις τους τα μέσα μαζικής μεταφοράς. Οπότε, τα μέλη που διοικούν τις αστικές συγκοινωνίες οφείλουν να διατηρούν τον πήχη της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών υψηλά και να προσαρμόζονται στις νέες επιβατικές συνθήκες, ώστε να ικανοποιούνται οι μετακινούμενοι.

Ταυτόχρονα όμως, πλήττονται και οι αστικές συγκοινωνίες από την οικονομική ύφεση διότι η διοίκηση έρχεται αντιμέτωπη με συνεχείς μειώσεις στα έσοδα και το προσωπικό, αναγκάζοντας την να μειώνει και τις δαπάνες.

Συνεπώς, κρίνεται αναγκαία η αναδιοργάνωση της λειτουργίας του δικτύου των μέσων μαζικής μεταφοράς με σκοπό την καλύτερη δυνατή εξυπηρέτηση των επιβατών με το μικρότερο δυνατό κόστος. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί με επιτυχία η αναδιοργάνωση των αστικών συγκοινωνιών απαιτείται η πλήρης κατανόηση του δικτύου και η εκτενής αξιολόγηση του από άποψη οργάνωσης και κόστους.

## 1.4 Σημασία αξιολόγησης λεωφορειακών γραμμών

Προηγουμένως αναφέρθηκε πως για την επιτυχή λειτουργία των λεωφορειακών γραμμών με όσο το δυνατόν λιγότερες δαπάνες απαιτείται αναδιοργάνωση του δικτύου με την βοήθεια της αξιολόγησης.

Η αξιολόγηση των λεωφορειακών γραμμών και γενικότερα των μέσων μαζικής μεταφοράς αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της ορθής εκτέλεσης του συγκοινωνιακού έργου. Η ενδελεχής ανάλυση των χαρακτηριστικών που διέπουν κάθε γραμμή και την επηρεάζουν είτε έμμεσα είτε άμεσα, των προβλημάτων ή ελλείψεων που εμφανίζει, καθώς και της άποψης των επιβατών σχετικά με τις υπηρεσίες που τους προσφέρονται, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο για την διοίκηση προκειμένου να αποκτήσει μια σαφή εικόνα της κατάστασης των λεωφορειακών γραμμών.

Εφόσον έχει αναπτυχθεί μια πλήρης εικόνα για την λειτουργία των λεωφορειακών γραμμών, τα άτομα, που είναι υπεύθυνα για την διοίκηση του συγκοινωνιακού δικτύου, θα είναι σε θέση να ελέγξουν ποιες γραμμές είναι αποδοτικές και ποιες όχι. Ταυτόχρονα θα μπορούν να εντοπίσουν τις αδυναμίες της εκάστοτε μη αποδοτικής γραμμής και να δώσουν ιδιαίτερη προσοχή στο να βρεθεί η καλύτερη δυνατή λύση που να ικανοποιεί και τις δυο πλευρές.

Μέσα στα χρόνια έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τρόποι αξιολόγησης των λεωφορειακών γραμμών, πολλοί εκ των οποίων έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία σε διάφορα συγκοινωνιακά δίκτυα. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την προϋπάρχουσα βιβλιογραφία για την αξιολόγηση των λεωφορειακών γραμμών παρατίθενται στο επόμενο κεφάλαιο.

## 1.5 Σκοπός διπλωματικής

Παρόλο που κάθε λεωφορειακή γραμμή είναι ξεχωριστή ως προς τα χαρακτηριστικά της, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον να διερευνηθεί εάν η λειτουργία κάθε μίας από αυτές είναι αποδοτική ή όχι με βάση κάποιους συγκεκριμένους παράγοντες. Οι παράγοντες αυτοί επηρεάζουν σε διαφορετικό βαθμό την σωστή λειτουργία της εκάστοτε γραμμής και επιφέρουν διαφορετικά αποτελέσματα.

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η αξιολόγηση της απόδοσης 93 λεωφορειακών γραμμών της Αθήνας με εφαρμογή της μεθόδου Data Envelopment Analysis (DEA), καθώς και της επιρροής που έχουν τα χαρακτηριστικά που απαιτήθηκαν για την μέτρηση της αποδοτικότητας. Σημαντικό ρόλο διαδραματίζει ο τρόπος που θα συνδυαστούν τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη αποδοτικότητα των λεωφορειακών γραμμών με τις λιγότερες δυνατές δαπάνες.

Για την εφαρμογή της μεθόδου DEA επιλέχθηκαν τα χαρακτηριστικά των λεωφορειακών γραμμών που σχετίζονται περισσότερο με την αποδοτικότητα της λειτουργίας τους με βάση την βιβλιογραφία. Η βάση δεδομένων από την οποία πραγματοποιήθηκε η επιλογή αυτή δόθηκε από τον Οργανισμό Αστικών Συγκοινωνιών Αθηνών (Ο.Α.Σ.Α.).

## 1.6 Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας

Η διπλωματική εργασία χωρίζεται στα παρακάτω κεφάλαια:

Το πρώτο κεφάλαιο περιγράφει το σύστημα των μέσων μαζικής μεταφοράς στο οποίο συγκαταλέγονται οι οδικές αστικές συγκοινωνίες. Συνεχίζει με μια ιστορική αναδρομή της χρήσης των οδικών αστικών συγκοινωνιών στην Αθήνα, αναλύονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μέσων μαζικής μεταφοράς καθώς και η παρούσα κατάσταση στην Ελλάδα. Τέλος γίνεται εισαγωγή στην μέθοδο αξιολόγησης των λεωφορειακών γραμμών και γενικότερα της έρευνας που θα ακολουθήσει.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση σε προηγούμενες έρευνες σχετικές με την αξιολόγηση των λεωφορειακών γραμμών. Η ανασκόπηση αυτή χωρίζεται σε έρευνες που μελέτησαν την απόδοση ενός συστήματος αστικών συγκοινωνιών, ενός αμαξοστασίου ή μεμονωμένων λεωφορειακών γραμμών με διάφορες μεθόδους.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται διεξοδικά η μέθοδος Περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων (DEA), καθώς και η γλώσσα προγραμματισμού R που απαιτείται για την εφαρμογή της μεθόδου DEA για την αξιολόγηση των λεωφορειακών γραμμών.

Στο τέταρτο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια περιγραφή του δικτύου που μελετάται και στην συνέχεια αναλύονται τα θεωρητικά στοιχεία των λεωφορειακών γραμμών που δόθηκαν. Στη συνέχεια του κεφαλαίου αυτού παρουσιάζεται η ακριβής επίλυση της μεθόδου DEA μέσω της γλώσσας προγραμματισμού R.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου DEA, καθώς και τα βασικότερα συμπεράσματα της έρευνας σχετικά με την αξιολόγηση των λεωφορειακών των οδικών αστικών συγκοινωνιών της Αθήνας

Τέλος στο έκτο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια σύνοψη της μελέτης της διπλωματικής εργασίας. Ακόμη, παρατίθενται τα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανωτέρω μελέτη, καθώς και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

## 2.1 Εισαγωγή

Οι οδικές αστικές συγκοινωνίες της Αθήνας αποτελούν τον πυρήνα του ευρύτερου συστήματος αστικών συγκοινωνιών του λεκανοπεδίου. Οι λεωφορειακές γραμμές είναι εξυπηρετούν σχεδόν όλο το λεκανοπέδιο Αττικής, ενώ η χρήση τους αποτελεί μονόδρομο για μεγάλη ποσοστό του πληθυσμού της περιοχής. Συνεπώς η διασφάλιση και η διευκόλυνση της αστικής κινητικότητας είναι αναγκαία για την απρόσκοπτη παροχή υπηρεσιών δημόσιας μεταφοράς. Τα τελευταία χρόνια, λόγω οικονομικής ύφεσης, αυξήθηκε η μεταφορική ζήτηση με την στροφή όλο και περισσότερων πολιτών στα μέσα μαζικής μεταφοράς και ταυτόχρονα περιορίστηκαν οι οικονομικοί πόροι που παρέχονταν για την λειτουργία των αστικών συγκοινωνιών, συνεπώς η βιωσιμότητα τους χρήζει συνεχούς παρακολούθησης, με σκοπό την επίτευξη της βέλτιστης διαχείρισής τους στην κατεύθυνση της αποδοτικότητας.

Προκειμένου ο οργανισμός αστικών συγκοινωνιών να εναρμονιστεί στις παρούσες οικονομικές και κοινωνικές συνθήκες απαιτείται να πραγματοποιηθεί αναδιάρθρωση των γραμμών. Αρχικά μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση των υπάρχοντων λεωφορειακών γραμμών από οικονομικής και λειτουργικής άποψης και σε επόμενο στάδιο εφαρμογή παρεμβάσεων για τον καλύτερο δυνατό ανασχεδιασμό του δικτύου. Ο κεντρικός στόχος της αναδιάρθρωσης είναι η βελτίωση της οικονομικής αποδοτικότητας του συστήματος με ταυτόχρονη διατήρηση ή αναβάθμιση του επιπέδου εξυπηρέτησης των επιβατών.

Η αξιολόγηση των λεωφορειακών γραμμών βασίζεται στη διατύπωση κριτηρίων και δεικτών ανά γραμμή, σχετικά με την απόδοση και τα οικονομικά δεδομένα από τη λειτουργία κάθε γραμμής.

## 2.2 Σχεδιασμός και Αξιολόγηση Γραμμών

Οι δείκτες που χρησιμοποιούνται διεθνώς για την αξιολόγηση ενός δικτύου αστικών συγκοινωνιών είναι οι δείκτες αποδοτικότητας, αποτελεσματικότητας και εξυπηρέτησης που αναλύονται παρακάτω.

### 2.2.1 Δείκτες αποδοτικότητας

Με τον όρο αποδοτικότητα αναφερόμαστε στην οικονομική και διαχειριστική λειτουργία των αστικών συγκοινωνιών και στην ουσία περιγράφει πόσο καλά χρησιμοποιούνται τα μέσα παραγωγής, δηλαδή το προσωπικό, ο εξοπλισμός, η κατανάλωση ενέργειας κ.λπ. (Karlaftis et al., 2009). Οι δείκτες αποδοτικότητας συγκεκριμένα είναι:

**Δείκτης Αποδοτικότητας Προσωπικού** (Labor Efficiency). Το κόστος του προσωπικού αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος του συνολικού κόστους ενός συστήματος συγκοινωνιών και ισούται με το 75% περίπου του συνόλου όταν συμπεριληφθεί και το κόστος ασφάλισης (Karlaftis et al., 2009), συνεπώς η λεπτομερής ανάλυσή του απαιτείται για την επίτευξη της κοστολόγησης των γραμμών με ακρίβεια. Για την μέτρηση του δείκτη αυτού χρησιμοποιείται συνήθως οχηματοώρες παρεχόμενων υπηρεσιών ανά πληρωμένες ώρες, ή ανά εργαζόμενο.

Απαρτίζεται από το κόστος οδήγησης που περιλαμβάνει το συνολικό κόστος μισθοδοσίας των εν ενεργεία οδηγών (εργοδοτικές εισφορές, επιδόματα κλπ), το κόστος των τεχνικών που υπολογίζεται αρχικά ανά Αμαξοστάσιο και στη συνέχεια κατανέμεται ανάλογα με τα διανυθέντα οχηματοχιλιόμετρα ανά γραμμή και το κόστος του Διοικητικού προσωπικού και του προσωπικού γενικών καθηκόντων, στο οποίο προσμετράτε το προσωπικό που ανήκει στον κλάδο των οδηγών αλλά ταυτόχρονα απασχολείται και σε άλλο τομέα, και κατανέμεται με βάση το πλήθος των γραμμών ανά Αμαξοστάσιο.

**Δείκτης Αποδοτικότητας Οχημάτων** (Vehicle Efficiency). Η εκμετάλλευση των οχημάτων χρησιμοποιεί κυρίως τα διανυθέντα χιλιόμετρα (οχηματοχιλιόμετρα ανά όχημα) επειδή σχετίζονται με τις ανάγκες επισκευής των οχημάτων και με τα κόστη τελών κυκλοφορίας και ασφάλιστρων που αποτελούν μέρος του άμεσου κόστους παραγωγής του συγκοινωνιακού έργου, τα οποία αναφέρονται στα έξοδα για την πληρωμή των τελών κυκλοφορίας των οχημάτων ανά αμαξοστάσιο και για τα ασφάλιστρα του συνόλου των οχημάτων. Σπανιότερα εφαρμόζονται και οι οχηματοώρες ανά όχημα.

**Καταναλισκόμενη ενέργειας** (Energy Efficiency). Η καταναλισκόμενη ενέργεια αποτελεί το δεύτερο σημαντικότερο άμεσο κόστος παραγωγής του συγκοινωνιακού έργου, καθώς και το 10% του λειτουργικού κόστους ανά οχηματοώρα (Karlaftis et al., 2009). Αφορά το κόστος των καυσίμων που αναλώνονται για την κίνηση των λεωφορείων και του ηλεκτρικού ρεύματος κίνησης για τα τρόλεϊ. Κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται για την μέτρηση αυτού του δείκτη τα οχηματοχιλιόμετρα ανά μονάδα καταναλισκόμενης ενέργειας, η οποία τον τελευταίο καιρό έχει αντικατασταθεί από τα οχηματοχιλιόμετρα ανά λίτρο καυσίμου.

**Δείκτης Αποδοτικότητας Συντήρησης** (Maintenance Efficiency). Όσον αφορά το κόστος συντήρησης του στόλου των αστικών συγκοινωνιών περιλαμβάνει

το κόστος σχετικά με την ανάλωση των υλικών αποθήκης που απαιτούνται για την ασφαλή λειτουργία των οχημάτων, με την μείωση των δαπανών αυτών να οδηγεί σε σημαντική εξοικονόμηση των λειτουργικών εξόδων. Επίσης, στα έξοδα συντήρησης συμπεριλαμβάνεται το κόστος καθαρισμού οχημάτων που επιμερίζεται ανά αμαξοστάσιο και αφορά το κόστος του εσωτερικού και του εξωτερικού καθαρισμού των οχημάτων, καθώς και το κόστος καθαρισμού των κτιρίων ανά αμαξοστάσιο. Ορισμένοι τυπικοί δείκτες αποδοτικότητας συντήρησης είναι τα οχηματοχιλιόμετρα ανά αριθμό υπαλλήλων συντήρησης ή ανά έξοδα συντήρησης.

**Δείκτης Αποδοτικότητας Συνολικού Κόστους** (Overall Cost Efficiency). Τα διοικητικά-λειτουργικά κόστη περιλαμβάνουν όλα τα κόστη που αναφέρθηκαν προηγουμένως προσθέτοντας τα έξοδα για το υπόλοιπο της μισθοδοσίας των εργαζόμενων στις κεντρικές υπηρεσίες, στα επιμέρους τμήματα και στα αμαξοστάσια, για τις παροχές και τις αμοιβές τρίτων εξαιρώντας τα προηγούμενα κόστη που έχουν ήδη προσμετρηθεί, καθώς και για τις αναλώσεις υλικών που δεν αφορούν τη συντήρηση οχημάτων. Στην ουσία περιλαμβάνουν το σύνολο των δαπανών για τη λειτουργία του φορέα. Συνήθως μετράται σε λειτουργικά έξοδα ανά οχηματοώρες ή ανά οχηματοχιλιόμετρα, με τις οχηματοώρες να θεωρούνται πιο αξιόπιστες εφόσον λαμβάνουν υπόψη τους μικρές ταχύτητες κίνησης καθώς και ενδεχόμενες καθυστερήσεις.

## 2.2.2 Δείκτες αποτελεσματικότητας

Η αποτελεσματικότητα αναφέρεται στην κατανάλωση του παραγόμενου μεταφορικού έργου, καθώς και στον κοινωνικό ρόλο που διαδραματίζει το εκάστοτε σύστημα αστικών συγκοινωνιών και ορίζεται ως η σχέση μεταξύ των σχεδιαζόμενων και των προσφερόμενων υπηρεσιών από το σύστημα (Karlaftis et al., 2009). Οι δείκτες αποτελεσματικότητας απoσκοπούν στην αξιολόγηση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών σε σχέση με τη συγκοινωνιακή πολιτική και τις ανάγκες των πολιτών και διαιρούνται στους ακόλουθους δείκτες:

- Χρήση παρεχόμενων υπηρεσιών (Utilization of Service)
- Παραγωγή εσόδων (Revenue Generation)
- Ασφάλεια Λειτουργίας (Operating Safety)
- Κοινωνική Αποτελεσματικότητα (Social Effectiveness)
- Αποτελεσματικότητα του Κόστους (Cost Effectiveness)

### Χρήση παρεχόμενων υπηρεσιών

Οι παρεχόμενες υπηρεσίες καταναλώνονται από τους επιβάτες με την επιβατική κίνηση να αποτελεί βασικό παράγοντα της σωστής λειτουργίας του μεταφορικού συστήματος. Όσον αφορά τον όρο επιβατική κίνηση υπάρχουν δύο ορισμοί για την κατανόηση του. Ο πρώτος αναφέρεται στις μη

συνδεδεμένες επιβατικές μετακινήσεις και ισούται με το σύνολο των επιβιβάσεων που σημειώνονται. Αντίθετα, ο δεύτερος βασίζεται στη μέτρηση των συνδεδεμένων επιβατικών μετακινήσεων, δηλαδή των ολοκληρωμένων μετακινήσεων που πραγματοποιούνται ανεξάρτητα από τις αλλαγές γραμμών (Karlaftis et al., 2009). Παρακάτω παρατίθενται τα κριτήρια σχετικά με που συνδέεται με την επιβατική κίνηση.

#### ΕΠΙΒΑΤΕΣ ΑΝΑ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ

Η επιβατική κίνηση μετράται σε διάφορες χρονικές περιόδους, όπως ώρα ή ημέρα, με συνηθέστερη την οχηματοώρα, διότι η μισθοδοσία του προσωπικού υπολογίζεται σε ωριαία βάση.

Επίσης οι οχηματοώρες κάθε γραμμής μετρώνται με δύο διαφορετικούς τρόπους: Κατά τη μία εκδοχή, λαμβάνονται υπόψη μόνο οι ενεργές – παραγωγικές ώρες κατά τις οποίες μεταφέρονται επιβάτες και αγνοούνται οι ώρες κατά τις οποίες το όχημα δεν παράγει μεταφορικό έργο. Εναλλακτικά, συνυπολογίζονται οι συνολικές – παραγωγικές και μη – οχηματοώρες.

#### ΕΠΙΒΑΤΕΣ ΑΝΑ ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΟ

Προτιμάται σε λεωφορειακές γραμμές με υψηλό αριθμό στάσεων και κατ' επέκταση μεγάλη εναλλαγή επιβατών.

#### ΕΠΙΒΑΤΕΣ ΑΝΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΟ

Ο δείκτης ισούται με το συνολικό πλήθος των επιβατών σε μια απλή διαδρομή του λεωφορείου από το ένα άκρο της γραμμής στο άλλο. Το μειονέκτημα του δείκτη αυτού είναι ότι δεν ανάγει την επιβατική κίνηση σε μετακινήσεις ανά απόσταση, χρόνο ή κόστος, με αποτέλεσμα να εφαρμόζεται σε γραμμές express, λόγω των μειωμένων τους επιβιβάσεων και αποβιβάσεων.

#### ΕΠΙΒΑΤΟΧΙΛΙΟΜΕΤΡΑ

Τα επιβατοχιλιόμετρα ισούνται με το γινόμενο της συνολικής επιβατικής κίνησης επί τα διανυθέντα χιλιόμετρα μιας απλής διαδρομής. Είναι χρήσιμος δείκτης για express γραμμές ή για λεωφορειακές γραμμές με μικρή εναλλαγή επιβατών ή με σταθερά υψηλούς επιβατικούς φόρτους για μεγάλες αποστάσεις, όμως είναι ακατάλληλος για σύγκριση γραμμών που λειτουργούν υπό διαφορετικές συνθήκες ή ανήκουν σε διαφορετικά συστήματα.

#### ΕΠΙΒΑΤΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ ΣΕ ΚΟΜΒΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Ο συγκεκριμένος δείκτης αναφέρεται στο πλήθος της μεταφορικής ζήτησης από και προς τα κομβικά σημεία ενδιαφέροντος του δικτύου, όπου και συγκεντρώνονται οι δραστηριότητες της περιοχής κάλυψης.

#### ΠΛΗΡΟΤΗΤΑ

Ο δείκτης αυτός ισούται με τον λόγο των συνολικών επιβατικών μετακινήσεων ή επιβατοχιλιομέτρων προς τη θεωρητική χωρητικότητα του οχήματος (Karlaftis et al., 2009) και επηρεάζεται από την εποχικότητα των υπηρεσιών.



## Παραγωγή εσόδων (Revenue Generation)

Μείζονα ρόλο στην αποτελεσματικότητα των αστικών συγκοινωνιών κατέχουν τα έσοδα που παράγονται κατά την λειτουργία του συστήματος, για αυτό στη συνέχεια παρουσιάζονται τα κριτήρια σχετικά με την παραγωγή των εσόδων.

### ΕΣΟΔΑ ΑΝΑ ΕΠΙΒΑΤΗ ΑΝΑ ΓΡΑΜΜΗ

Τα έσοδα ανά επιβάτη ανά γραμμή προκύπτουν από τον λόγο των εσόδων μιας γραμμής προς τις συνολικές επιβιβάσεις της, ενώ ταυτόχρονα εκφράζει τη σχετική απόδοση μιας γραμμής ως προς τις υπόλοιπες του συστήματος. Μειονεκτεί, όμως, στο ότι δε λαμβάνει υπόψη του τη διακύμανση στο ύψος του καταβαλλόμενου κομίστρου ανάλογα με το είδος της γραμμής, όπως για παράδειγμα η σχολική γραμμή.

### ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ ΑΝΑ ΕΠΙΒΑΤΗ

Ο δείκτης αναφέρεται στη διαφορά ανάμεσα στο κόστος και τα έσοδα ανά επιβάτη που καλύπτονται από κρατική επιδότηση. Σε περίπτωση μεταβλητού κομίστρου, ο συνδυασμός υψηλού κομίστρου και σταθερού κόστους ανά επιβάτη μειώνει την απαιτούμενη επιδότηση ανά επιβάτη.

### ΛΟΓΟΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ

Ο λόγος ανάκτησης κόστους ισούται με το ποσοστό του λειτουργικού κόστους (μισθοδοσία, συντήρηση, καύσιμα, κτλ.) μιας γραμμής, το οποίο ανακτάται μέσω των κομίστρων.

## Κοινωνική αποτελεσματικότητα

### ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗ ΚΑΤΟΙΚΩΝ

Το συγκεκριμένο κριτήριο αποσκοπεί στο σχεδιασμό γραμμών που συγχρόνως ελαχιστοποιούν την απαιτούμενη απόσταση βαδίσματος από και προς τις κατοικίες των χρηστών του δικτύου, αλλά δεν προκαλούν σημαντική αύξηση του μέσου χρόνου μετακίνησης.

### ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗ ΟΣΟ ΤΟ ΔΥΝΑΤΟΝ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΩΝ ΟΒΟ (ΟΧΙ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΟΙΚΙΑ) ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ

Ακολουθώντας παρόμοια λογική με προηγουμένως, σκοπός του κριτηρίου είναι η καλύτερη δυνατή προσέγγιση στον προορισμό του μετακινούμενου χωρίς άσκοπη καθυστέρηση των υπόλοιπων επιβατών.

## Ασφάλεια Λειτουργίας

### ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ

Τα ατυχήματα, που περιλαμβάνουν είτε τραυματισμό, είτε φθορά προσωπικής περιουσίας, έχουν άμεση σχέση με τον τρόπο παροχής των μεταφορικών υπηρεσιών, αλλά ταυτόχρονα επηρεάζουν την κατανάλωση των υπηρεσιών αυτών, με τα ατυχήματα λόγω συγκρούσεων να αναφέρονται ως πιο αξιόπιστα από τα συνολικά ατυχήματα που συνήθως περιέχουν και μικρούς τραυματισμούς που δηλώνονται από επιβάτες (Karlaftis et al., 2009).

## Αποτελεσματικότητα του κόστους

### ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΕΠΙΒΑΤΗ

Ο δείκτης είναι ίσος με το λόγο του κόστους της εκάστοτε γραμμής προς την επιβατική της κίνηση. Επιπλέον, εκφράζει την σχετική απόδοση κάθε γραμμής ως προς το μέσο όρο του συστήματος.

## 2.2.3 Δείκτες εξυπηρέτησης

Οι δείκτες εξυπηρέτησης αντανακλούν την ποιότητα των υπηρεσιών που αντιλαμβάνονται οι επιβάτες κατά την χρήση των αστικών συγκοινωνιών. Η ποιότητα λοιπόν, είναι συνάρτηση της ικανοποίησης των επιβατών για τα διάφορα χαρακτηριστικά του συστήματος. Τα αποτελέσματα της καταγραφής αυτής βοηθούν στην επανεξέταση του συστήματος, καθώς και στη λήψη μέτρων για τη βελτίωση των παρεχόμενων υπηρεσιών.

### Δείκτης αξιοπιστίας

Ο δείκτης αξιοπιστίας ορίζεται ως το ποσοστό του χρόνου κατά το οποίο ο χρόνος μετακίνησης για τους επιβάτες δεν υπερβαίνει περισσότερο από 10% το μέσο χρόνο μετακίνησης (TRB, 2001).

### Διαμαρτυρίες επιβατών

Οι διαμαρτυρίες που διατυπώνονται από τους επιβάτες αποτελούν μέτρο αξιολόγησης της ποιότητας της παρεχόμενης υπηρεσίας.

### Παράλειψη δρομολογίων και μη προγραμματισμένα επιπλέον δρομολόγια

Σε κάποιες περιπτώσεις, λόγω έκτακτων συνθηκών είναι πιθανόν να προστεθούν επιπλέον δρομολόγια είτε να πασαλειφθούν προγραμματισμένα δρομολόγια, προκαλώντας μια απόκλιση από το προκαθορισμένο πρόγραμμα δρομολογίων.

### Άνεση και ασφάλεια εντός του οχήματος

Η άνεση και ασφάλεια των επιβατών σχετίζονται με παράγοντες όπως η καθαριότητα του οχήματος, η κατάστασή του από άποψη συντήρησης και η παρουσία ορθοστατών.

### Ειδική πληροφόρηση σε περιοχές που προκαλούν αίσθημα ανασφάλειας

Για λόγους ασφαλείας, υπάρχουν διαφοροποιήσεις κατά τη λειτουργία του δικτύου σε περιοχές με υψηλό δείκτη εγκληματικότητας. Οι διαφοροποιήσεις αυτές αποσκοπούν στην μείωση του χρόνου αναμονής των επιβατών στις προαναφερθέντες περιοχές και ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων ωρών της ημέρας.

### Πληροφόρηση επιβατών και ευκολία στην κατανόηση του δικτύου

Η ικανοποιητική πληροφόρηση του επιβατικού κοινού, τόσο υπό κανονικές όσο και υπό έκτακτες συνθήκες αποσκοπεί στην παροχή μιας πλήρους εμποπτείας της δομής του δικτύου, των διαδρομών και των δρομολογίων από μεριάς των επιβατών.

### Ευκολία προμήθειας κομίστρου

Η ευκολία στην προμήθεια κομίστρου εξασφαλίζεται με την τοποθέτηση εκδοτηρίων ή αυτόματων μηχανημάτων έκδοσης εισιτηρίων σε καιρία και προσβάσιμα σημεία του δικτύου.

## 2.3 Αρχές Σχεδιασμού Λεωφορειακής Γραμμής

Στο στάδιο του σχεδιασμού μιας λεωφορειακής γραμμής προσδιορίζεται η διαδρομή που θα ακολουθούν τα λεωφορεία της γραμμής στο οδικό δίκτυο, καθώς και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά που την διέπουν.

Οι συνθήεις στόχοι του σχεδιασμού είναι συνοπτικά οι ακόλουθοι:

- Η ανάπτυξη και διατήρηση ενός υψηλής ποιότητας δικτύου αστικών συγκοινωνιών.
- Η επαρκής εξυπηρέτηση του αστικού χώρου.
- Η προσέλκυση χρηστών ΙΧ.
- Η παροχή υπηρεσιών σε γενικώς δέσμιους επιβάτες.
- Η οικονομική βιωσιμότητα του συστήματος αστικών συγκοινωνιών.

Οι αρχές σχεδιασμού που ακολουθούν αναφέρονται σε δύο διακριτούς τομείς του σχεδιασμού:

- Στη δομή της γραμμής
- Στη λειτουργία της γραμμής

### Δομή γραμμής

Η δομή της γραμμής αναφέρεται στα γενικά χαρακτηριστικά της διαδρομής της και σε ειδικότερα μορφολογικά ζητήματα σχετικά με την χάραξη της. Τα βασικά χαρακτηριστικά που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον καθορισμό της δομής της γραμμής είναι τα ακόλουθα:

### Χωροθέτηση λεωφορειακών στάσεων

Οι λεωφορειακές στάσεις είναι απαραίτητο να τοποθετούνται σε σημεία με υψηλή γένεση ή προσέλκυση μετακινήσεων. Η χωροθέτηση τους πρέπει να λαμβάνει υπόψη την προσβασιμότητα τους από όλες τις ομάδες επιβατών, την κατανομή του πληθυσμού στην εξυπηρετούμενη περιοχή και την συγκέντρωση των θέσεων εργασίας. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στην πυκνότητα των στάσεων, διότι μικρή πυκνότητα επηρεάζει αρνητικά τον απαιτούμενο χρόνο βαδίσματος, ενώ μεγάλη πυκνότητα μειώνει την λειτουργική ταχύτητα της

γραμμής, καθώς και στην θέση τοποθέτησης της στάσης κατά μήκος του δρόμου, ώστε να αποφεύγονται καθυστερήσεις και ατυχήματα.

### **Μήκος γραμμών**

Το συνολικό μήκος της εκάστοτε γραμμής πρέπει να κυμαίνεται εντός ενός όριου, πέραν του οποίου θα απαιτούνται πολλά οχήματα για την διατήρηση της συχνότητας και της αξιοπιστίας της.

### **Πυκνότητα γραμμών**

Η πυκνότητα των γραμμών σε μια περιοχή εξαρτάται από παράγοντες όπως η πληθυσμιακή πυκνότητα, η ανάπτυξη της περιοχής και το είδος των λεωφορειακών γραμμών. Σε γενικές γραμμές, επιδιώκεται η χάραξη των γραμμών με τρόπο ώστε να μεγιστοποιείται η προσβασιμότητα για δεδομένο επίπεδο εξυπηρέτησης (Karlaftis et al., 2009).

### **Περιορισμός στο πλήθος των αποκλίσεων ή διακλαδώσεων**

Απόκλιση ή διακλάδωση εμφανίζεται όταν ορισμένες γραμμές εγκαταλείπουν τον κύριο άξονα της διαδρομής και συνεχίζουν πέρα από αυτόν. Όταν υπάρχουν γραμμές με ομοιόμορφα χαρακτηριστικά ζήτησης και κοινό βασικό άξονα, πέρα του οποίου διακλαδίζονται, συνιστάται η συνένωσή τους σε μια ενιαία γραμμή κατά μήκος του κύριου άξονα και η δημιουργία νέων, απλοποιημένων γραμμών με σκοπό την αντικατάσταση των διακλαδώσεων. Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται η αποδοτικότητα του συστήματος και δημιουργείται μια πιο κατανοητή δομή του δικτύου από τους χρήστες (Dodson et al., 2011).

### **Ευθύτητα γραμμής (route directness)**

Γενικά, μια λεωφορειακή γραμμή είναι καλό να ακολουθεί ευθύγραμμη διαδρομή χρησιμοποιώντας κύριους οδικούς άξονες με σκοπό την διατήρηση σταθερής ταχύτητας και σταθερού λειτουργικού κόστους. Το κριτήριο ευθύτητας μετράει την απόκλιση της διαδρομής της εκάστοτε γραμμής από μια υποθετική ευθύγραμμη διαδρομή και δεν πρέπει να συγχέεται με το κριτήριο «περιορισμού πλήθους αποκλίσεων ή διακλαδώσεων» παρά μόνο εάν η απόκλιση ερμηνευτεί ως παρέκκλιση της κύριας γραμμής από τις οδούς που εξασφαλίζουν την πιο άμεση διαδρομή.

### **Αποφυγή αλληλοεπικάλυψης**

Με στόχο την βέλτιστη δυνατή εξυπηρέτηση, οι γραμμές οφείλουν να καλύπτουν σχεδόν το σύνολο μιας περιοχής. Ωστόσο, συχνά παρουσιάζεται αλληλοεπικάλυψη των γραμμών, κυρίως λόγω των περιορισμένων μεγάλων οδικών αξόνων μιας περιοχής. Για το λόγο αυτό εφαρμόζονται ορισμένα κριτήρια τα οποία ορίζουν την επικάλυψη ως αποδεκτή υπό συγκεκριμένες συνθήκες.

### **Σχέση νέας γραμμής με υπάρχουσες (μεμονωμένα)**

Το κριτήριο αναφέρεται στην περίπτωση εισαγωγής μιας νέας γραμμή σε ένα υπάρχον σύστημα, όπου απαιτείται έλεγχος για τον συντονισμό των μετεπιβιβάσεων στα σημεία διασταύρωσης της νέας γραμμής με κάποια υπάρχουσα, καθώς και για την χρήση κοινής αφετηρία ή τέρματος με άλλες.

### **Συνδεσιμότητα του δικτύου**

Η συνδεσιμότητα του δικτύου περιγράφει την φυσική σχέση ανάμεσα σε μια καινούργια γραμμή και στο προϋπάρχον σύστημα, όπως για παράδειγμα, η συνένωση δύο γραμμών χαμηλής απόδοσης που μπορεί να οδηγήσει στην κατασκευή μίας γραμμής με υψηλή απόδοση και να βελτιώσει το δίκτυο συνολικά.

### **Λειτουργία γραμμής**

#### **Απαιτούμενες μετεπιβιβάσεις**

Είναι φυσικό ότι σε ένα δίκτυο με πολλές διασταυρούμενες γραμμές είναι αναγκαία η μετεπιβίβαση, καθώς περιορισμένος αριθμός επιβατών θα εξυπηρετηθεί χρησιμοποιώντας αποκλειστικά μία γραμμή. Συνεπώς, ο σχεδιασμός μιας λεωφορειακής γραμμής οφείλει να διευκολύνει τους επιβάτες με γρήγορες και άνετες μετεπιβιβάσεις από και προς το υπόλοιπο σύστημα αστικών συγκοινωνιών.

#### **Χρονοαπόσταση και συχνότητα**

Με τον όρο μέγιστη χρονοαπόσταση αναφερόμαστε στο μέγιστο χρονικό διάστημα που επιτρέπει να μεσολαβεί μεταξύ διαδοχικών διελεύσεων λεωφορείων μιας γραμμής και αντιστοιχεί στην ελάχιστη επιτρεπόμενη συχνότητα. Αντίστοιχα, η ελάχιστη χρονοαπόσταση αναφέρεται στον ελάχιστο χρόνο ανάμεσα στις προγραμματισμένες διαδοχικές διελεύσεις του λεωφορείου και αντιστοιχεί σε μια μέγιστη καθορισμένη συχνότητα. Η συχνότητα διαφοροποιείται ανάλογα με το είδος της παρεχόμενης υπηρεσίας, ενώ αυξάνεται κατά την ώρα αιχμής για την κάλυψη της ζήτησης.

#### **Χρονική περίοδος λειτουργίας (span of service)**

Η χρονική περίοδος λειτουργίας της γραμμής εκφράζεται ως ποσοστό του 24ώρου. Σε ορισμένα συστήματα λειτουργούν γραμμές 24ωρης λειτουργίας ή υπάρχουν τροποποιήσεις των ωρών λειτουργίας ανάλογα με την ημέρα της εβδομάδας ή την εποχή.

#### **Συντονισμένες μετεπιβιβάσεις και χρόνος αναμονής κατά τη μετεπιβίβαση**

Σε ορισμένα συγκοινωνιακά δίκτυα, για την διευκόλυνση των μετεπιβιβάσεων από μία γραμμή σε μια άλλη, εφαρμόζεται προγραμματισμένη άφιξη των γραμμών αυτών στην κοινή τους στάση.

#### **Επιβολή συγκεκριμένων χρονοαποστάσεων**

Με την επιβολή συγκεκριμένων χρονοαποστάσεων τα χρονοδιαγράμματα των λεωφορειακών γραμμών διαιρούνται σε χρονικά διαστήματα των οποίων η διάρκεια σε λεπτά είναι διαιρέτης του 60, για την διευκόλυνση των επιβατών, ώστε να είναι σε θέση να απομνημονεύσουν το δρομολόγιο χωρίς δυσκολία (Florida Department of Transportation, 2009), καθώς και να οργανώσουν όσο το δυνατόν καλύτερα τις μετεπιβιβάσεις τους.

### **Συντελεστής φορτίου (loading factor)**

Ο δείκτης εκφράζει το ποσοστό της χωρητικότητας του λεωφορείου σε θέση καθημένων στο κρίσιμο τμήμα της διαδρομής, δηλαδή το μεταφερόμενο επιβατικό φόρτο. Βεβαίως τις ώρες αιχμής, ο αριθμός των μετακινούμενων θα αυξηθεί κατακόρυφα με κίνδυνο δημιουργίας συνθηκών συνωστισμού εντός του οχήματος.

### **Μέγιστος αριθμός όρθιων**

Ο μέγιστος αριθμός όρθιων επιβατών εκφράζεται με δύο τρόπους, είτε ως απόλυτη τιμή είτε ως ποσοστό των θέσεων καθημένων και η τιμή του επηρεάζει την επιλογή του χρησιμοποιούμενου οχήματος.

### **Διάρκεια ορθοστασίας**

Ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζει η χρονική διάρκεια κατά την οποία κάθε μετακινούμενος παραμένει όρθιος εντός των μέσων μαζικής μεταφοράς, ενώ υπάρχει μια μέγιστη χρονική διάρκεια που δεν πρέπει να ξεπεραστεί. Ο δείκτης εκτιμάται εύκολα στις express γραμμές, όχι όμως σε λεωφορεία που παρουσιάζουν συχνή εναλλαγή των επιβατών ή σε μικρά συγκοινωνιακά συστήματα με χαμηλούς επιβατικούς φόρτους.

### **Διαφοροποίηση περιόδων αιχμής/εκτός αιχμής**

Στα μεγάλα συγκοινωνιακά συστήματα εντοπίζονται διαφοροποιήσεις στις τηρούμενες προδιαγραφές των λεωφορειακών γραμμών μεταξύ των περιόδων αιχμής και εκτός αιχμής

### **Τήρηση χρονοδιαγράμματος**

Η τήρηση του χρονοδιαγράμματος αποτελεί το βασικό δείκτη αξιοπιστίας του συγκοινωνιακού δικτύου.

### **Τήρηση χρονοαποστάσεων**

Η τήρηση των χρονοαποστάσεων αποτελεί βασικό κριτήριο σχετικά με την αξιοπιστία της εκτέλεσης του συγκοινωνιακού έργου από πλευράς των επιβατών, όμως η έλλειψη αντικειμενικότητας των επιβατών μειώνει την αξία του κριτηρίου αυτού.

## 2.1 Έρευνες Αξιολόγησης Συστημάτων

Αρχικά, οι Karlaftis et al. (1997) μέσω της μεθόδου factor analysis δημιούργησαν μια σειρά από παράγοντες, οι οποίοι επηρεάζουν την απόδοση των συστημάτων μαζικής μεταφοράς στην Ιντιάνα. Οι Cowie et al. (1999), εφάρμοσαν την μέθοδο DEA με σκοπό να ελέγξουν την αποτελεσματικότητα της βρετανικής βιομηχανίας των λεωφορειακών γραμμών συνδύασαν.

Οι Chung-Hsing Yeh et al. (2000) παρουσίασαν μια αποτελεσματική πολυκριτηριακή ανάλυση για την αξιολόγηση των επιδόσεων των συστημάτων των αστικών δημόσιων μεταφορών, που περιλαμβάνονται κριτήρια για πολλαπλά ιεραρχικά επίπεδα και για αξιολογήσεις εναλλακτικών αποφάσεων.

Στη συνέχεια οι Pina et al. (2001) ασχολήθηκαν με την συσχέτιση της αποδοτικότητας ανάμεσα στις δημόσιες και ιδιωτικές υπηρεσίες μετακίνησης με την μέθοδο DEA καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι η απόδοση των μέσων μεταφοράς δεν εξαρτάται από το είδος της ηγεσίας της εκάστοτε υπηρεσίας.

Σχετικά με την αξιολόγηση των συστημάτων ο Boame (2003) εφάρμοσε την μέθοδο DEA στο αστικό σύστημα μεταφορών του Καναδά και στη συνέχεια το μοντέλο Tobit προκειμένου να ελέγξει την εξασθένηση των αποτελεσμάτων της μεθόδου από περιβαλλοντικές μεταβλητές.

Επίσης, ο Karlaftis (2002) ασχολήθηκε με την μελέτη αξιολόγησης ταυτόχρονα της αποδοτικότητας και της αποτελεσματικότητας των συστημάτων μετακίνησης μέσω της μεθόδου DEA, καθώς και με την μελέτη της σχέσης μεταξύ των δυο παραπάνω εννοιών. Ένα χρόνο αργότερα (2003) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η επίδοση ενός συστήματος μεταφορών είναι πιθανόν να εμφανίσει διαφορετικά αποτελέσματα ανάλογα με τον ειδικό δείκτη που εξετάζεται κάθε φορά.

Οι Tyriopoulos et al. (2008) εστίασαν στην γνώμη των επιβατών σχετικά με την επίδοση των συστημάτων μεταφοράς της Ελλάδας μέσω της μεθόδου factor analysis, ενώ μέσω της μεθόδου ordered logit modeling αξιολόγησαν την ποιότητα και την απόδοση των συστημάτων χρησιμοποιώντας μια ποικιλία από δείκτες απόδοσης και ποιότητας

Οι Liu και Lao (2009) μελέτησαν με την μέθοδο DEA την απόδοση των λεωφορειακών γραμμών του συστήματος Monterey-Salinas Transit της Κεντρικής Ακτής της Καλιφόρνια στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής λαμβάνοντας υπόψη τις επιχειρήσεις και το επιχειρησιακό περιβάλλον. Η εφαρμογή της μεθόδου πραγματοποιήθηκε ως προς την επιχείρηση και ως προς τον γεωγραφικό χώρο που καλύπτουν οι γραμμές. Η Sanchez (2009) εφάρμοσε την μέθοδο DEA στο αστικό μεταφορικό σύστημα της Ισπανίας προκειμένου να ελέγξει την αποδοτικότητα των λεωφορειακών γραμμών.

Οι Karlaftis και Tsaboulas (2011) ασχολήθηκαν σχετικά με το αν οι μέθοδοι DEA, stochastic frontier analysis και neural networks παρέχουν διαφορετικά αποτελέσματα αποδοτικότητας στο ίδιο σύστημα, τον τρόπο με τον οποίο σχετίζονται η αποτελεσματικότητα και η αποδοτικότητα των μετακινήσεων καθώς και αν οι δύο αυτού παράμετροι επηρεάζουν τα οργανωτικά καθεστώτα.

## 2.2 Έρευνες Αξιολόγησης Αμαξοστασιών

Όσον αφορά την αξιολόγηση των αμαξοστασιών των λεωφορειακών γραμμών οι Vlahogianni et al. (2015) ασχολήθηκαν με την μελέτη της απόδοσης των αμαξοστασιών της δημόσιας υπηρεσίας μεταφορών της Αθήνας.

## 2.3 Έρευνες Αξιολόγησης Μεμονωμένων Γραμμών

Οι Hassan et al. (2013) ανέπτυξαν ένα πλαίσιο με σκοπό την αξιολόγηση της απόδοσης των λεωφορειακών γραμμών με την μέθοδο Topsis, χρησιμοποιώντας πολλαπλά υποκειμενικά και αντικειμενικά κριτήρια, τα οποία περιλαμβάνουν σταθμισμένες τεχνικές βαθμολόγησης. Η αξιολόγηση αυτή είναι βοηθά στην ενίσχυση της λειτουργία των λεωφορειακών γραμμών καθώς και στον προσδιορισμό των λειτουργικών ελλείψεων σε επίπεδο συστήματος.

Οι Triantis et al. (2006) με την βοήθεια της μεθόδου DEA προερχόμενη από το neural network και της εφαρμογής του μοντέλου goal programming στην DEA ανέπτυξαν ένα πλαίσιο σχετικά με την αξιολόγηση των λεωφορειακών γραμμών.

## 2.4 Ανασκόπηση Μεθόδων

### 2.4.1 Παραμετρικές και μη παραμετρικές μέθοδοι

Η παραμετρική στατιστική αποτελεί ένα κλάδος της στατιστικής που υποθέτει ότι τα δεδομένα του δείγματος προέρχονται από έναν πληθυσμό που ακολουθεί μια κατανομή πιθανοτήτων η οποία βασίζεται σε ένα σταθερό σύνολο των παραμέτρων.

factor analysis: Είναι μια παραμετρική στατιστική μέθοδος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη μεταβλητότητα μεταξύ παρατηρηθέντων συσχετιζόμενων μεταβλητών σε όρους ενός μικρότερου αριθμού από μη παρατηρούμενες μεταβλητές που ονομάζονται παράγοντες (Tzigiopoulos et al., 2008). Στην προκειμένη περίπτωση βοηθά στην μείωση του αριθμού των μεταβλητών από ένα σύνολο δεδομένων σε ένα μικρότερο σύνολο (Karlaftis et al, 1997).



Με το όρο μη παραμετρική στατιστική αναφερόμαστε σε μια μέθοδο στατιστικής που δεν βασίζεται σε παραμετροποιημένες οικογένειες πιθανοτικών κατανομών. Περιλαμβάνει την περιγραφική καθώς και την επαγωγική στατιστική και οι τυπικές παράμετροι της είναι η μέση τιμή, διακύμανση, κλπ. Το μη-παραμετρικό μοντέλο δεν έχει καμία παράμετρο διότι όλοι οι παράμετροι καθορίζονται από τα δεδομένα και όχι το μοντέλο.

Η διαφορά ανάμεσα στις δυο αυτές αναλύσεις είναι ότι οι μη παραμετρικές στατιστικές, σε αντίθεση με τις παραμετρικές, δεν κάνουν καμία υπόθεση σχετικά με τις κατανομές της πιθανότητας των μεταβλητών που αξιολογούνται. Ακόμη τα παραμετρικά μοντέλα έχουν ένα σταθερό αριθμό παραμέτρων, ενώ στα μη παραμετρικά αυξάνεται ο αριθμός των παραμέτρων όσο αυξάνεται η ποσότητα των δεδομένων εκπαίδευσης.

DEA: είναι μια μη-παραμετρική μέθοδος που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας και της παραγωγικότητας των μονάδων λήψης αποφάσεων (decision making units- DMUs). Η μέθοδος βασίζεται στην περίσφιγξη των παρατηρούμενων στοιχείων εισόδου-εξόδου, καθώς επίσης επιτρέπει την εμφάνιση πολλαπλών σχέσεων μεταξύ των στοιχείων εισόδου-εξόδου χωρίς καμία υπόθεση για την κατανομή των δεδομένων. Για κάθε DMU, υπολογίζεται μια βαθμολογία απόδοσης σε όρους μιας αναλογικής αλλαγής στα στοιχεία εισόδου ή εξόδου. Τα μοντέλα της μεθόδου DEA μπορούν να υποδιαιρεθούν σε μοντέλα με προσανατολισμό τις εισροές, που ελαχιστοποιούνται οι τιμές εισόδου, ικανοποιώντας τουλάχιστον τα δεδομένα επίπεδα των εκροών, και τα μοντέλα με προσανατολισμό στην παραγωγή που μεγιστοποιούν τα αποτελέσματα, χωρίς να απαιτείται αύξηση από οποιαδήποτε από τις παρατηρούμενες τιμές εισόδου.

#### 2.4.2 Πολυκριτηριακή ανάλυση

Αποτελεί μια υποκατηγορία των ερευνητικών εργασιών που λαμβάνει υπόψη πολλαπλά κριτήρια σε περιπτώσεις λήψης αποφάσεων. Είτε στην καθημερινή μας ζωή ή σε επαγγελματικά θέματα, υπάρχουν συνήθως πολλαπλά κριτήρια που πρέπει να αξιολογηθούν στη λήψη αποφάσεων με το κόστος και την τιμή να αποτελούν τα πιο συνήθη και βασικά κριτήρια (Chung-Hsing Yeh et al., 2000).

Topsis: Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution, είναι μια πολυκριτηριακή μέθοδος ανάλυσης αποφάσεων, η οποία βασίζεται στην ιδέα ότι η εναλλακτική λύση που έχει εκλεχθεί οφείλει να έχει τη μικρότερη γεωμετρική απόσταση από το θετικά ιδανική λύση και τη μεγαλύτερη γεωμετρική απόσταση από την αρνητικά ιδανική λύση.

Συγκεκριμένα είναι μια μέθοδος αντισταθμιστικής συνάθροισης που συγκρίνει μια σειρά από εναλλακτικές λύσεις, εντοπίζοντας τα "βάρη" για κάθε κριτήριο, ομαλοποιώντας τις βαθμολογίες κάθε κριτηρίου και υπολογίζοντας την

γεωμετρική απόσταση μεταξύ κάθε εναλλακτικής λύσης καθώς και την ιδανική εναλλακτική λύση, η οποία έχει την καλύτερη βαθμολογία σε κάθε κριτήριο (Hassan et al. 2013).

Η μέθοδος αυτή επιτρέπει συμβιβασμούς μεταξύ των κριτηρίων, διότι ένα κακό αποτέλεσμα σε ένα κριτήριο μπορεί να ανατραπεί από ένα καλό αποτέλεσμα σε ένα άλλο κριτήριο, παρέχοντας μια πιο ρεαλιστική μορφή της μοντελοποίησης από τις μη-αντισταθμιστικές μεθόδους.

Goal programming: είναι ένα πρόγραμμα βελτιστοποίησης, δηλαδή αποτελεί κλάδο της βελτιστοποίησης με πολλαπλά κριτήρια, τα οποία με τη σειρά τους είναι ένας κλάδος της πολυκριτηριακής ανάλυσης αποφάσεων. Μπορεί να θεωρηθεί ως μια επέκταση ή γενίκευση του γραμμικού προγραμματισμού για τον χειρισμό πολλαπλών αλληλοσυγκρουόμενων αντικειμενικών μέτρων. Σε κάθε ένα από αυτά τα μέτρα δίδεται ένας συγκεκριμένος στόχος ή πολλοί που πρέπει να επιτευχθούν. Συγκεκριμένα η μέθοδος αυτή βοηθά την αξιολόγηση των επιδόσεων των συστημάτων μεταφορών (Karlaftis 2002-2003).

### 2.4.3 Μη γραμμική ανάλυση παλινδρόμησης

Με τον όρο ανάλυση παλινδρόμησης αναφερόμαστε σε μια στατιστική διαδικασία για την εκτίμηση των σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών. Περιλαμβάνει πολλές τεχνικές για τη μοντελοποίηση και την ανάλυση πολλών μεταβλητών, σε περιπτώσει όπου εστιάζεται η σχέση μεταξύ μιας εξαρτημένη μεταβλητή και μίας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών. Πιο συγκεκριμένα, η ανάλυση παλινδρόμησης βοηθά στην κατανόηση του γεγονότος ότι η χαρακτηριστική τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής αλλάζει, όταν οποιαδήποτε από τις ανεξάρτητες μεταβλητές μεταβληθεί, ενώ οι άλλες ανεξάρτητες μεταβλητές παραμείνουν σταθερές.

Artificial Neural Network: είναι ένα σύνολο από μοντέλα εμπνευσμένα από το βιολογικό νευρικό σύστημα του εγκεφάλου και χρησιμοποιείται για την εκτίμηση ή την προσέγγιση λειτουργιών που εξαρτώνται από ένα μεγάλο τον αριθμό εισροών, των οποίων οι τιμές είναι άγνωστες. Τα συγκεκριμένα μοντέλα γενικά παρουσιάζονται ως συστήματα διασυνδεόμενων "νευρώνων" που ανταλλάσσουν μηνύματα μεταξύ τους. Οι συνδέσεις αυτές έχουν αριθμητικά "βάρη" που μπορεί να συντονιστούν με βάση την εμπειρία, προσαρμόζοντας τα νευρωνικά δίκτυα στις εισόδους. Είναι εύχρηστο σε κάθε συγκοινωνιακή έρευνα και όσον αφορά την αξιολόγηση λεωφορειακών γραμμών ασχολείται με την εύρεση των παραγόντων εκείνων που επηρεάζουν την απόδοση μιας γραμμής (Vlahogianni et al., 2015).

#### 2.4.4 Γραμμική Παλινδρόμηση

Είναι μια προσέγγιση μοντελοποίησης της σχέσης μιας απλής εξαρτημένης μεταβλητής με μια ή περισσότερες ανεξάρτητες μη ερμηνευτικές μεταβλητές.

Ordered logit model: Όσον αφορά την στατιστική η μέθοδος αυτή αναφέρεται σε ένα μοντέλο παλινδρόμησης για τις τακτικά εξαρτημένες μεταβλητές. Μπορεί να θεωρηθεί ως μια επέκταση του μοντέλου λογιστικής παλινδρόμησης που ισχύει για εξαρτημένες μεταβλητές, επιτρέποντας περισσότερες από δύο κατηγορίες απαντήσεων. Όσον αφορά την αξιολόγηση των συστημάτων μετακινήσεως χρησιμοποιούνται δείκτες σχετικά με την απόδοση και την ποιότητα (Tyriopoulos et al., 2008).

Tobit: Το μοντέλο Tobit είναι ένα στατιστικό μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης που περιγράφει τη σχέση μεταξύ μιας μη-αρνητικά εξαρτημένης μεταβλητής και μιας ανεξάρτητης μεταβλητής. Στην αξιολόγηση των λεωφορειακών γραμμών χρησιμοποιείται προκειμένου να αποτυπώσει πως επηρεάζεται η αποτελεσματικότητα της γραμμής από διάφορες περιβαλλοντικές μεταβλητές (Boame, 2003).

Stochastic frontier analysis: είναι μια μέθοδος οικονομικής μοντελοποίησης που εξυπηρετεί στην εύρεση εξωτερικών παραγόντων που δεν συγκαταλέγονται στο πλαίσιο των παραγόντων που ελέγχονται και πώς αυτοί επηρεάζουν την απόδοση μιας λεωφορειακής γραμμής (Karlaftis et al., 2011).

#### 2.4.5 Data Envelopment Analysis

Αρχικά η μέθοδος εγκαθιδρύθηκε από τον Charles et al.(1978). Η μεθοδολογία αυτή παρέχει σχετικές μετρήσεις της απόδοσης και χρησιμοποιήθηκε όλο και περισσότερο για την αξιολόγηση της απόδοσης των βιομηχανιών δημόσιας υπηρεσίας (Ganley and Cubbin 1992).

Ειδικότερα η μέθοδος DEA έχει εφαρμοστεί τις τελευταίες δεκαετίες ως εργαλείο για την αξιολόγηση της απόδοσης των δημόσιων συστημάτων μεταφοράς. Την δεκαετία του '90, οι Cowie και Asepona (1999), προκειμένου να ελέγξουν την αποτελεσματικότητα της βρετανικής βιομηχανίας των λεωφορειακών γραμμών συνδύασαν την μέθοδο DEA με μεθόδους παλινδρόμησης.

Δύο χρόνια αργότερα οι Pina και Torres μελέτησαν την σχέση ανάμεσα στην αποδοτικότητα των δημόσιων και των ιδιωτικών υπηρεσιών μετακίνησης μέσω της μεθόδου DEA καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι η απόδοση των μέσων μεταφοράς δεν εξαρτάται από το είδος της ηγεσίας της εκάστοτε υπηρεσίας.

Ο Boame (2003) εφάρμοσε στο αστικό σύστημα μετακινήσεων του Καναδά ένα μοντέλο Tobit προκειμένου να ελέγξει την εξασθένηση των αποτελεσμάτων, που είχε συλλέξει από την εφαρμογή της μεθόδου DEA, από περιβαλλοντικές μεταβλητές. Ο Karlaftis (2002) ασχολήθηκε με την μελέτη αξιολόγησης

ταυτόχρονα της αποδοτικότητας και της αποτελεσματικότητας των συστημάτων μετακίνησης μέσω της μεθόδου DEA, καθώς και με την μελέτη της σχέσης μεταξύ των δυο παραπάνω εννοιών. Ενώ ένα χρόνο αργότερα (2003) μέσω μιας νέας μελέτης του με την χρήση της μεθόδου DEA κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η επίδοση μιας εταιρίας δημόσια μετακίνησης είναι πιθανόν να εμφανίσει διαφορετικά αποτελέσματα ανάλογα με τον ειδικό δείκτη που εξετάζεται κάθε φορά.

Εν συνεχεία, οι Triantis et al. (2006) ανέπτυξαν ένα πλαίσιο με στόχο την αξιολόγηση των αστικών λεωφορειακών γραμμών, θεωρώντας ότι η αποδοτικότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών μεγιστοποιήθηκε ενώ η απόκλιση από συγκεκριμένους κοινωνικούς στόχους ελαχιστοποιήθηκε. Το άνω πλαίσιο στηρίχθηκε στην μέθοδο DEA προερχόμενο από το neural network και στην εφαρμογή του μοντέλου goal programming στην DEA.

Οι Liu και Lao (2009) ασχολήθηκαν με την αξιολόγηση της απόδοσης των λεωφορειακών γραμμών λαμβάνοντας υπόψη τις επιχειρήσεις και το επιχειρησιακό περιβάλλον. Συγκεκριμένα εφάρμοσαν την μέθοδο DEA ως προς την επιχείρηση και ως προς τον γεωγραφικό χώρο που καλύπτουν οι γραμμές και στην συνέχεια σύγκριναν την λειτουργική αποδοτικότητα και την χωρική αποτελεσματικότητα με την βοήθεια του clustering algorithm, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει μια σαφής συσχέτιση μεταξύ τους. Επίσης, την ίδια χρονιά η Sanchez (2009) ασχολήθηκε με την μελέτη της αποδοτικότητας των αστικών λεωφορειακών γραμμών στην Ισπανία εφαρμόζοντας την μέθοδο DEA ξεχωριστά για την ζήτηση, την προσφορά, την ποιότητα και τέλος λαμβάνοντας υπόψη τρεις βασικούς παράγοντες (προσφορά και ζήτηση- άνεση και ασφάλεια-προσβασιμότητα στις στάσεις).

Οι Karlaftis και Tsaboulas (2011) έθεσαν τρία ερωτήματα σχετικά με το αν οι διάφορες μέθοδοι εκτίμησης της αποδοτικότητας παρέχουν διαφορετικά αποτελέσματα (DEA- stochastic frontier analysis- neural networks), τον τρόπο με τον οποίο σχετίζονται η αποτελεσματικότητα και η αποδοτικότητα των μετακινήσεων καθώς και αν τα ευρήματα της μελέτης τους που αφορούν τα οργανωτικά καθεστάτα επηρεάζονται από τις μεθοδολογικές προδιαγραφές που χρησιμοποιούνται. Τα αποτελέσματα επισημαίνουν μια ευαισθησία στις εκτιμώμενες βαθμολογίες της αποδοτικότητας και της αποτελεσματικότητας ανάλογα με την μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε, μια αρνητική σχέση μεταξύ της αποδοτικότητας και της αποτελεσματικότητας και τέλος οι τιμές των δυο διαστάσεων της απόδοσης είναι πολύ χρήσιμες για την οργάνωση του συστήματος μετακινήσεων.

Τέλος οι Vlahogianni et al. (2015) μελέτησαν την αποδοτικότητα των λεωφορειακών γραμμών και των αμαξοστασίων της Αθήνας με την χρήση της μεθόδου DEA, ενώ με την μέθοδο neural network εξετάστηκαν οι παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα των λεωφορειακών γραμμών.

## 2.5 Σύνοψη Βιβλιογραφίας

Η σύνοψη της βιβλιογραφίας που αναλύθηκε για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας παρατίθεται στο Πίνακα 1 κατηγοριοποιημένη ανάλογα με το επίπεδο ανάλυσης στο οποίο στηρίχθηκε η κάθε εργασία, όπως είναι η ανάλυση με βάση το σύστημα, την λεωφορειακή γραμμή ή το αμαξοστάσιο, καθώς και την μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε για την εκάστοτε αξιολόγηση.

Πίνακας 1: Σύνοψη βιβλιογραφίας.

Συγγραφέας	Έτος	Επίπεδο Ανάλυσης	Μέθοδος	Δεδομένα Εισόδου	Δεδομένα Εξόδου	Περιοχή Εφαρμογής
<b>Karlaftis and McCarthy</b>	1997	Σύστημα	Factor analysis	Πληθυσμός μελετώμενης περιοχής Ετήσιος αριθμός επιβατών Αριθμός οχημάτων Αριθμός εργαζόμενων revenue vehicle miles	Αποδοτικότητα Αποτελεσματικότητα Συνολική απόδοση	Ιντιάνα, USA
<b>Cowie and Asenova</b>	1999	Σύστημα	DEA	Σύνολο εργαζομένων Αριθμός οχημάτων με λιγότερες από 35 θέσεις Αριθμός οχημάτων με περισσότερες από 35 θέσεις	Λειτουργικά έσοδα	Μεγάλη Βρετανία
<b>Yeh et al.</b>	2000	Σύστημα	Multicriteria analysis	Μέση ηλικία οχημάτων Αριθμός ατυχημάτων Κλιματισμός οχημάτων Παρεχόμενες πληροφορίες εντός του λεωφορείου Καθαριότητα οχημάτων Άνεση θέσεων Ικανότητες, συμπεριφορά και εμφάνιση οδηγού Συνέπεια δρομολογίων Χώρος τερματικών σταθμών Αξιοπιστία παρεχόμενων υπηρεσιών Δυνατότητα μεταφοράς γραμμής Κόστη αποδοτικότητας, αποτελεσματικότητας Απόδοτικότητα υπηρεσιων Ρύπανση από τα οχήματα Ηχορύπανση από οχήματα Κατανάλωση καυσίμων	Ασφάλεια Άνεση Διευκόλυνση-εξυπηρέτηση Λειτουργία Κοινωνική ευθύνη	Ταπέι, Ταιβάν
<b>Pina andTorres</b>	2001	Σύστημα	DEA	Κόστος ανά χιλιόμετρο ή ανά επιβάτη	Οχηματοχιλιόμετρα/ εργαζόμενο Ετήσια οχηματοχιλιόμετρα/ όχημα Ετήσια οχηματοχιλιόμετρα/	

				Επιδότηση ανά επιβάτη	κάτοικο Μέγεθος ατυχημάτων και συχνότητα αυτών	
<b>Karlaftis</b>	2002	Σύστημα	DEA  Goal programming	Αριθμός οχημάτων Ποσότητα καυσίμων Σύνολο εργαζομένων Λειτουργικά κόστη Αριθμός επιβατών	Ετήσια διανυθέντα οχηματοχιλιόμετρα	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
<b>Boame</b>	2003	Σύστημα	DEA	Αριθμός λεωφορείων που λειτουργούν Καύσιμα	Έσοδα από οχηματοχιλιόμετρα	Καναδάς
<b>Karlaftis</b>	2003	Σύστημα	Tobit DEA  Goal programming	Αριθμός πληρωμένων ωρών Αριθμός συστημάτων Αριθμός οχημάτων Ετήσια κατανάλωση καυσίμων Αριθμός εργαζομένων Ετήσια διανυθέντα οχηματοχιλιόμετρα Αριθμός επιβατών	Ετήσια οχηματοχιλιόμετρα Ετήσια επιβατική κίνηση Ετήσια οχηματοχιλιόμετρα και επιβατική κίνηση	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
<b>Sheth et al.</b>	2006	Γραμμή	model based in DEA derives from Network Model and Goal Programming in DEA	Πλευρά του παρόχου: κόστος, πρόοδος και διάρκεια υπηρεσιών Πλευρά επιβατών: Οχηματοχιλιόμετρα, Μέση διάρκεια διαδρομής, Αξιοπιστία προγράμματος Περιβαλλοντικές μεταβλητές: προσβασιμότητα, πυκνότητα πληθυσμού, άνεση, συνδεσιμότητα Κοινωνικές μεταβλητές: Αριθμός ατυχημάτων, ηχορύπανση, υποβάθμιση πόρων Γενικά χαρακτηριστικά του κάθε συστήματος	Οχηματοχιλιόμετρα, Μέση διάρκεια διαδρομής, Αξιοπιστία προγράμματος Επιβάτες ανά χιλιόμετρο	
<b>Tyrinopoulos and Antoniou</b>	2008	Σύστημα	factor analysis  ordered logit modeling DEA	Χαρακτηριστικά οχημάτων Χαρακτηριστικά στάσεων και τερματικών σταθμών Χαρακτηριστικά σημείων ανταπόκρισης	Ποιότητα παρεχόμενων υπηρεσιών Παραγωγή υπηρεσιών Ποιότητα μεταφοράς Πληροφόρηση Ικανοποίηση	Ελλάδα
<b>Garcia Sanchez</b>	2009	Σύστημα	DEA	Αριθμός εργαζομένων	Οχηματοχιλιόμετρα	Ισπανία

			Tobit regression	Κατανάλωση καυσίμων Αριθμός οχημάτων σε λειτουργία	Σύνολο καθισμάτων Ώρες λειτουργίας λεωφορείων Αριθμός επιβατών Συχνότητα δρομολογίων Προσβασιμότητα Ασφάλεια Άνεση οχημάτων	
<b>Yong Lao, Lin Liu</b>	2009	Σύστημα	DEA	Χρόνος λειτουργίας λεωφορειακών γραμμών Απόσταση διαδρομών Αριθμός στάσεων Ποσότητα καυσίμων	Συνολικός αριθμός επιβατών	Κεντρική ακτή Καλιφόρνια, Αμερική Ευρώπη
<b>Karlaftis and Tsamboulas</b>	2011	Σύστημα	DEA	Σύνολο εργαζομένων Αριθμός οχημάτων	Ετήσια οχηματοχιλιόμετρα Ετήσιος αριθμός επιβατών	
<b>Hassanet al.</b>	2013	Λεωφορειακή γραμμή  Σύστημα	Neural network stochastic frontier analysis Topsis	Απόσταση διαδρομής Αριθμός διαδρομών την ημέρα Αριθμός οδηγών Ημερήσιος χρόνος λειτουργίας Ημερήσιος αριθμός εξυπηρετηθέντων επιβατών Μέσος χρόνος διαδρομής ανά μονή διαδρομή Χωρικότητα καθιζόμενων επιβατών ανά λεωφορείο Μέγιστος αριθμός οχημάτων  Ικανοποίηση επιβατών και οδηγών	Αξία αριθμού επιβατών  Αξία οχημάτων  Αξία οδηγών Αξία ικανοποίησης επιβατών Συνολική απόδοση γραμμής με βάση τις παραπάνω αξίες Αξία κόστους μιας γραμμής	Αμπου Ντάμπι, Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα
<b>Vlahogianni et</b>	2015	Αμαξοστάσιο	DEA	Χαρακτηριστικά συστημάτων Αριθμός αμαξοστασίων και λεωφορειακών γραμμών	Απόδοση συστήματος Επιβάτες ανά βαρδία	Αθήνα, Ελλάδα



<b>al.</b>		Αριθμός γραμμών σε κάθε αμαξοστάσιο	Επιβατες ανά οχηματοχιλιόμετρο
		Αριθμός οχημάτων σε κάθε αμαξοστάσιο	Επιβατες ανά δρομολόγιο
Λεωφορειακή γραμμή	Neural network	Κόστος καυσίμου ανά λεωφορείο Προσωπικό αμαξοστασίου Τύπος και κατηγορία λεωφορείου	Κόστος ανά επιβάτη Παράπονα ανά γραμμή Ατυχήματα ανά 1000χλμ
		Μηνιαίο κόστος καυσίμων	Απόσταση διαδρομής Μέγιστη αλληλοεπικάλυψη
		Μηνιαίο βάρδιες οδηγών	Ευθύτητα Τήρηση προγράμματος

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Το τρίτο κεφάλαιο ασχολείται με την περιγραφή της μεθόδου Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων, των ιδιοτήτων και των χαρακτηριστικών της. Έπειτα, παρουσιάζεται η γλώσσα προγραμματισμού R και εξηγείται το πρόγραμμα της γλώσσας αυτής, το Rstudio, με τη βοήθεια του οποίου θα εφαρμοστεί η μέθοδος DEA για να προκύψουν τα αποτελέσματα της μελέτης.

### 3.1 Η Περιβάλλουσα Ανάλυσης Δεδομένων

Η αρχική εκτίμηση της αποδοτικότητας, καθώς και του συνόρου της αποδοτικότητας διατυπώθηκε από τον Farrell (1957), αναφέροντας πως τα πρόβλημα εκτίμησης της αποδοτικότητας σε μια επιχείρηση είναι μείζον για τους οικονομολόγους, όσο και για τους φορείς διαχείρισης της επιχείρησης.

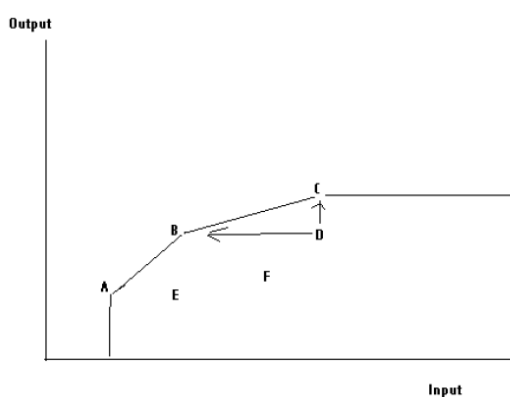
Στη συνέχεια, η μέθοδος DEA ή αλλιώς Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων αναπτύχθηκε πλήρως από την Διοικητική και Οικονομική Επιστήμη το 1978 από τους Charnes, Cooper και Rhodes. Είναι μία μη παραμετρική τεχνική μέθοδος γραμμικού προγραμματισμού για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας παραγωγικών μονάδων αναφορικά πάντα με ένα σύνολο όμοιων μονάδων που χρησιμοποιούν πολλαπλές εισροές και εκροές, με στόχο τη βελτίωση της απόδοσής τους.

Με άλλα λόγια, συγκρίνει τη διαδικασία μετατροπής των εισροών σε εκροές της κάθε μονάδας με το σύνολο των μονάδων του δείγματος. Γι' αυτό το λόγο, η εκτιμώμενη αποδοτικότητα που προκύπτει μέσω της DEA χαρακτηρίζεται σχετική ή συγκριτική.

Συνεπώς η μέθοδος DEA δίνει την εκτίμηση των τιμών αποτελεσματικότητας των διαφόρων Μονάδων Αποφάσεων, χρησιμοποιώντας αποκλειστικά και μόνο τα διανύσματα των εισροών και εκροών των συγκεκριμένων μονάδων (DMU). Οι συγκεκριμένες DMU χαρακτηρίζονται επίσης ως οριοθέτες γιατί ορίζουν το εμπειρικό όριο των παραγωγικών δυνατοτήτων, με το οποίο θα προσδιοριστεί εν τέλει η αποτελεσματικότητα των υπολοίπων μονάδων απόφασης.

Το όριο των παραγωγικών δυνατοτήτων είναι ο βασικός στόχος της μεθόδου DEA, εφόσον προσανατολίζεται στην δημιουργία ενός οριοθέτη, με την ύπαρξη του οποίου όλες οι εισροές και εκροές θα βρίσκονται πάνω ή κάτω

από αυτό το όριο των παραγωγικών δυνατοτήτων. Ο οριοθέτης (frontier), είναι στην ουσία είτε μία τεθλασμένη γραμμή (στην περίπτωση μίας εισροής και εκροής), είτε μία επιφάνεια (στην περίπτωση πολλαπλών εισροών και εκροών). Διαχωρίζει τις αποτελεσματικές από τις μη αποτελεσματικές μονάδες καθώς επίσης προσδιορίζει τον βέλτιστο συνδυασμό των εισροών και εκροών που θα έπρεπε εξ αρχής να επιλεγθεί. Στο Διάγραμμα 1 παρουσιάζονται τα όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως, με τις Παραγωγικές Μονάδες A, B, C να βρίσκονται πάνω στο όριο της τεθλασμένης γραμμής και να θεωρούνται αποτελεσματικές και τις Μονάδες D, E, F κάτω από το όριο, άρα είναι μη αποτελεσματικές.



Διάγραμμα 1: Όριο παραγωγικών δυνατοτήτων

Με σκοπό την ανωτέρω κατασκευή του ορίου αποδοτικότητας δεν απαιτείται ο προσδιορισμός μιας συνάρτησης παραγωγής μεταξύ εισροών και εκροών, γι' αυτό τον λόγο θεωρείται ως μία μη παραμετρική μέθοδος. Το σύνολο των παραγωγικών της δυνατοτήτων καθορίζονται μέσα από διάφορους συνδυασμούς εισροών-εκροών για την κάθε μονάδα λήψης απόφασης (DMU), σε συνδυασμό βεβαίως με την επιλογή της απαραίτητης κλίμακας και της πιθανότητας για διαθεσιμότητα των συγκεκριμένων κάθε φορά εισροών-εκροών. Ταυτόχρονα είναι σε θέση να ενσωματώσει με επιτυχία περιβαλλοντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοτικότητα των μονάδων.

Η χρήση της μεθόδου DEA είναι ευρεία και αναφέρεται πάντα στην αξιολόγηση ομοιογενών μεταξύ τους οργανισμών όπως τραπεζικά υποκαταστήματα, καταστήματα λιανικής πώλησης, σχολεία, πανεπιστήμια, νοσοκομεία δηλαδή οργανισμούς που προσφέρουν είτε υπηρεσίες είτε παράγουν προϊόντα, τους οποίους ονομάζουμε ως παραγωγικές μονάδες (DMUs) και διαδραματίζουν κυρίαρχο ρόλο στην Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων.

Η μέθοδος DEA πήρε το όνομά της, από το βασικό της χαρακτηριστικό, το οποίο είναι να περιβάλλει τις παρατηρήσεις, δημιουργώντας μία καμπύλη, το οποίο λειτουργεί ως όριο και χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των

παρατηρήσεων, οι οποίες αντιστοιχούν στις επιδόσεις όλων των υπό μελέτη μονάδων.

Το γεγονός που έκανε ευρέως αποδεκτή την εφαρμογή της μεθόδου DEA, είναι η δυνατότητά της να χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις κατά τις οποίες άλλες μέθοδοι είναι αδύνατον να εφαρμοστούν, είτε λόγω της σύνθετης, είτε ακόμα και της άγνωστης φύσης των σχέσεων μεταξύ των πολλαπλών εισροών και εκροών που λαμβάνουν χώρα στην έρευνα. Ταυτόχρονα ο εμπειρικός της προσανατολισμός, ο οποίος χρησιμοποιείται για την μέτρηση της αποδοτικότητας (με την χρήση εμπειρικών δεδομένων), καθώς και η μη αναγκαία χρήση αρχικών υποθέσεων κατά την εφαρμογή της, σε αντίθεση με τις διάφορες στατιστικές μεθόδους, οδήγησαν στην προτίμηση της μεθόδου DEA από μελετητές, προερχόμενους από πολλά και διαφορετικά πεδία επιστήμης.

### 3.1.1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Μεθόδου

Τα πλεονεκτήματα που διαθέτει η χρήση της μεθόδου Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων παρατίθενται παρακάτω.

- Δεν απαιτούνται περιορισμοί, ούτε κάποια συνάρτηση μεταξύ εισροών και εκροών
- Χρησιμοποιούνται πολλά δεδομένα εισόδου και εξόδου με καθένα από αυτά να έχει διαφορετικές μονάδες και γενικά χωρίς να υπάρχει συγκεκριμένη συσχέτιση μεταξύ τους.
- Οι αποδοτικές Παραγωγικές Μονάδες καθορίζουν το άνω όριο αποδοτικότητας.
- Ποσοτικοποιείται η έλλειψη αποδοτικότητας των υπόλοιπων Παραγωγικών Μονάδων αναγνωρίζοντας τις ομότιμες αποδοτικές, παρέχοντας πληροφορίες για τον τρόπο που πρέπει να αλλάξουν ώστε να γίνουν αποδοτικές.
- Είναι δυνατή η ενσωμάτωση περιβαλλοντικών και δημογραφικών μετρήσεων ως δεδομένα εισόδου, τα οποία επηρεάζουν την αποδοτικότητα.
- Είναι εφικτός ο έλεγχος των περιθωρίων των δεδομένων εισόδου και εξόδου, ώστε να μεταβληθεί η κατανάλωση εισροών ή η παραγωγή εκροών.
- Η μέθοδος είναι σε θέση να αναγνωρίσει τα αίτια και να ποσοτικοποιήσει την μη αποδοτικότητα.
- Κατατάσσει τις Παραγωγικές Μονάδες με βάση τον βαθμό απόδοσης της καθεμιάς
- Αξιολογεί την διαχείριση και την διοίκηση των Παραγωγικών Μονάδων.
- Ανακατανέμει τους πόρους με βάση τα αποτελέσματα των Περιθωρίων.
- Ελέγχει και αναλύει την σχέση μεταξύ των δεδομένων εισόδου και εξόδου με την τελική απόδοση.

- Συγκρίνει και αντιπαραθέτει αποτελέσματα με παλαιότερες έρευνες.

Τα αδύναμα σημεία της μεθόδου DEA είναι τα εξής.

- Οι τιμές της αποδοτικότητας είναι εύκολο να επηρεαστούν από τις ακραίες τιμές των Παραγωγικών Μονάδων.
- Εάν μελετάται ένα μικρού μεγέθους δείγμα με μεγάλο αριθμό δεδομένων εισόδου και εξόδου, είναι πιθανόν να επηρεαστούν αρνητικά τα αποτελέσματα της αποδοτικότητας.
- Χαρακτηρίζεται ως μια καλή μέθοδος εκτίμησης της σχετικής αποδοτικότητας, όχι όμως και της απόλυτης αποδοτικότητας.
- Δεν είναι σε θέση να βοηθήσει αποτελεσματικά στην ανακατανομή των συνολικών πόρων μιας επιχείρησης μεταξύ των Παραγωγικών Μονάδων, ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή απόδοση της επιχείρησης.

### 3.1.2 Αποδοτικότητα

Ως αποδοτικότητα μιας μονάδας μπορεί να οριστεί η ικανότητα της να μετασχηματίζει αποτελεσματικά τους διαθέσιμους πεπερασμένους πόρους που λαμβάνει (εισροές-inputs) και να τους μετατρέπει σε προϊόντα ή υπηρεσίες (εκροές-outputs). Ο μηχανισμός παραγωγής από τις εισροές στις εκροές είναι άγνωστος και δεν απασχολεί την μέθοδο την οποία θα αναλύσουμε.

### 3.1.3 Παραγωγικές Μονάδες

Οι Παραγωγικές Μονάδες ή αλλιώς Μονάδες Απόφασης (DMUs) είναι οι μονάδες που προτείνονται για σύγκριση, με άλλες συγκρίσιμες μεταξύ τους μονάδες, ως προς τις επιδόσεις τους. Οι Παραγωγικές Μονάδες χρησιμοποιούν ένα σύνολο εισροών τις οποίους μετατρέπουν σε εκροές. Σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις οι Παραγωγικές Μονάδες διαθέτουν πολλαπλές εισροές και εκροές, ενώ κάποιες φορές περιβαλλοντικοί παράγοντες μπορεί να επηρεάσουν την διαδικασία μετατροπής των εισροών σε εκροές και ανάλογα με την κατεύθυνση των επιπτώσεων τους, μπορούν να ενσωματωθούν είτε σαν εισροές είτε σαν εκροές.

Συνήθως η ΠΑΔ προσπαθεί να μεγιστοποιήσει τις εκροές και να ελαχιστοποιήσει τις εισροές. Αυτό όμως μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα, π.χ η εκπομπή ρύπων από ένα εργοστάσιο που θεωρείται ως εκροή θα είχε ως σκοπό την μεγιστοποίηση των ρύπων αλλά αυτό θα είναι λάθος. Για αυτές τις περιπτώσεις υπάρχουν συγκεκριμένες μελέτες που προσπαθούν να αντιμετωπίσουν αυτούς τους ανεπιθύμητους παράγοντες.

Το βασικό χαρακτηριστικό, που καθιστά αυτές τις μονάδες συγκρίσιμες σε κάθε περίπτωση είναι ότι εκτελούν την ίδια λειτουργία όσον αφορά τα είδη των

πόρων που καταναλώνουν (εισροές-input) και τα είδη που παράγουν (εκροές-output). Για παράδειγμα, μπορούμε να συγκρίνουμε όλα τα υποκαταστήματα της Τράπεζας διότι χρησιμοποιούν συνήθως προσωπικό και στοιχεία ενεργητικού κεφαλαίου για την πραγματοποίηση προσοδοφόρων δραστηριοτήτων, όπως η προώθηση των δανείων, πώληση χρηματοοικονομικών προϊόντων και τη διενέργεια τραπεζικών συναλλαγών για λογαριασμό των πελατών τους.

Παρόλο που πάντοτε υπάρχουν διαφορές στην αποδοτικότητα παρόμοιων μονάδων, οι διαφορές αυτές πάντοτε είναι μετρήσιμες. Ακόμη και υπό σχεδόν ίδιες συνθήκες, μπορούν να εντοπιστούν διαφορές στον τρόπο διοίκησης των μονάδων γιατί πολύ απλά διαφέρει κάθε φορά αυτός που παίρνει τις αποφάσεις.

Η ορθή περιγραφή των Παραγωγικών Μονάδων και ο προσδιορισμός των αντίστοιχων παραγόντων, εισροών-εκροών είναι καθοριστικής σημασίας για την αξιολόγηση των επιδόσεων, διότι λανθασμένη περιγραφή της μονάδας αξιολόγησης ή παράλειψη σημαντικής εισροής ή εκροής, θα οδηγήσει σε μεροληπτική αξιολόγηση. Γι' αυτό η επιλογή των DMU γίνεται με γνώμονα δύο κατεξοχήν στοιχείων:

- Οι Παραγωγικές Μονάδες που θα επιλεγθούν οφείλουν να διαχειρίζονται κατάλληλα τις διαθέσιμες εισροές και να είναι υπεύθυνες για τα παραγόμενα αποτελέσματα-εκροές.
- Από το σύνολο των Παραγωγικών Μονάδων που θα επιλεγθούν, θα πρέπει να προκύπτει ένας ικανοποιητικός αριθμός βαθμών ελευθερίας, έτσι ώστε τα τελικά αποτελέσματα της μεθόδου να έχουν νόημα σε σχέση με τον αριθμό των εισροών και εκροών.

Τέλος, οι Παραγωγικές Μονάδες συχνά αναφέρονται και σαν **Μονάδες Απόφασης (decision making units - DMUs)** υποδηλώνοντας τον έλεγχο που κατέχουν στην διαδικασία μετατροπής εισροών σε εκροές.

### 3.1.4 Εισροές-Εκροές

Όσον αφορά τις έννοιες των εισροών και εκροών της μεθόδου, ως εισροές ή δεδομένα εισόδου χαρακτηρίζονται οι πόροι που χρησιμοποιούνται για να παραχθούν οι εκροές ή δεδομένα εξόδου, ενώ ως εκροές τα προϊόντα ή τις υπηρεσίες που παράγονται από τις μονάδες.

Πιο συγκεκριμένα, οι εισροές, αναφέρονται στις πρώτες ύλες, το εργατικό δυναμικό καθώς και το κεφάλαιο. Τόσο οι εισροές όσο και οι εκροές, είναι ποικιλόμορφες, μετρήσιμες σε διαφορετικές συνήθως κλίμακες και οριζόμενες αναλόγως της φύσης του προβλήματος όπως και της διαθεσιμότητας και «πρόσβασης» των δεδομένων.

Οι εισροές χαρακτηρίζονται ως αγαθά προς εξοικονόμηση και τα μικρότερα επίπεδα της κατανάλωσής τους, είναι σαφέστερα περισσότερο επιθυμητά, σε αντίθεση με τις εκροές, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως αγαθά προς μεγιστοποίηση, με τα μεγαλύτερα επίπεδα της παραγωγής τους, να είναι τα περισσότερο επιθυμητά.

Επίσης τονίζεται ότι δεν κρίνεται απαραίτητο να είναι γνωστό το επίπεδο των τιμών των δεδομένων εισόδου και εξόδου, διότι κατά την διαδικασία της εφαρμογής της μεθόδου, προσδιορίζεται ένα όριο παραγωγικών δυνατοτήτων, με το οποίο κάποιες μονάδες απόφασης, χαρακτηρίζονται εμπειρικά ως αποτελεσματικές.

### 3.1.5 Σχετική Αποδοτικότητα

Ο όρος σχετική αποδοτικότητα αναφέρεται στο ότι μια παραγωγική μονάδα θεωρείται πλήρως αποδοτική αν οι επιδόσεις άλλων παραγωγικών μονάδων δεν υποδεικνύουν πως κάποια από τα δεδομένα εισόδου ή εξόδου μπορούν να βελτιωθούν χωρίς να ζημιωθεί κάποιο άλλο δεδομένο εισόδου ή εξόδου της (Cooper 2004).

Η Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων είναι μία μέθοδος σχετική με την μέτρηση της σχετικής αποδοτικότητας. Ονομάζεται σχετική αποδοτικότητα διότι η μέτρηση της γίνεται σε ένα σύνολο όμοιων μονάδων και όλες οι συγκρίσεις πραγματοποιούνται μεταξύ τους. Γενικότερα, η μέθοδος DEA δεν παρέχει κάποιο απόλυτο μέτρο αποδοτικότητας εκτός και αν κάνουμε κάποια συμπληρωματική υπόθεση, όπως ότι οι μονάδες που συγκρίνονται περιλαμβάνουν έναν επαρκή αριθμό μονάδων, οι οποίες να είναι αποδοτικές ως προς κάποια απόλυτη έννοια. Άρα στην πράξη ένα πρόβλημα του οποίου οι μονάδες θεωρήθηκαν αποτελεσματικές από την Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων, στην πραγματικότητα ίσως να πρέπει να βελτιώσουν την απόδοσή τους ακόμη περισσότερο.

Η μέτρηση της αποδοτικότητας για την ορθή λειτουργία μιας Παραγωγικής Μονάδας βασίζεται σε εκτιμήσεις που διατυπώνονται με δύο διαφορετικούς τρόπους:

- Την μέγιστη δυνατή παραγωγή εκροών για ένα δεδομένο αριθμό εισροών (προσανατολισμός στις εκροές).
- Την χρήση των λιγότερων δυνατών πόρων-εισροών για ένα συγκεκριμένο επίπεδο παραγωγής- εκροών (προσανατολισμός στις εισροές).

Σε πρώτο στάδιο ελέγχεται αν οι εν λόγω μονάδες έχουν περισσότερη διακριτική ευχέρεια ως προς τα επίπεδα εισροών ή ως προς τα επίπεδα εκροών τους, το οποίο εξαρτάται από το πλαίσιο. Για παράδειγμα, τα σχολεία έχουν ελάχιστο έλεγχο σχετικά με τα επίπεδα εισροών τους, όπως είναι τα μέτρα της έμφυτης

ικανότητας των μαθητών ή το κοινωνικο-οικονομικό τους υπόβαθρο και περισσότερο έλεγχο πάνω στα επίπεδα εκροών τους, όπως οι βαθμοί των μαθητών.

Προκειμένου να διακρίνεται με σαφήνεια η ευχέρεια των δεδομένων εισόδου ή εξόδου ορίζεται ο προσανατολισμός. Συνεπώς, η αποδοτικότητα υπολογίζεται είτε προσανατολισμένη στα δεδομένα εξόδου είτε εισόδου. Ο προσανατολισμός εισροών είναι κατάλληλος όταν οι εισροές των Παραγωγικών Μονάδων (DMUs) είναι ελέγξιμες και αντίστοιχα ο προσανατολισμός εκροών είναι κατάλληλος όταν οι εκροές είναι ελέγξιμες.

Η αποδοτικότητα στην περίπτωση των εισροών κυμαίνεται από 0 έως 1, ενώ στην περίπτωση των εκροών από 1 έως το άπειρο. Το κοινό των δύο περιπτώσεων είναι πως η μονάδα αποτελεί την τιμή της πλήρους αποδοτικότητας, ενώ αν μία Παραγωγική Μονάδα είναι μη αποδοτική στο μοντέλο με προσανατολισμό στις εισροές, τότε θα είναι μη αποδοτική και στο μοντέλο με προσανατολισμό στις εκροές.

Η επιλογή της αποδοτικότητας με προσανατολισμό στις εκροές ταιριάζει περισσότερο σε κρατικούς φορείς που παρέχουν υπηρεσίες και το ζητούμενο είναι η αύξηση της απόδοσης, ενώ ταυτόχρονα τίθενται περιορισμού (π.χ. προϋπολογισμός).

Όσον αφορά ποιος από τους δύο προσανατολισμούς είναι καλύτερος κάθε φορά, ισχύει ότι στα μοντέλα σταθερών αποδόσεων κλίμακας (CRS) δεν παίζει ρόλο, εφόσον και οι δύο προσανατολισμοί δίνουν το ίδιο αποτέλεσμα. Όμως, στην περίπτωση των μεταβαλλόμενων αποδόσεων κλίμακας (VRS) επιλέγεται το είδος τη τεχνικής αποδοτικότητας με βάση το εάν μια παραγωγική μονάδα επηρεάζει πρωτίστως τις εισροές ή τις εκροές.

### 3.1.6 Τεχνική Αποδοτικότητα

Ο όρος της τεχνικής αποδοτικότητας συναντάται πολύ συχνά στη μέθοδο DEA. Η Τεχνική Αποδοτικότητα (technical efficiency) μπορεί να αναλυθεί περαιτέρω στην Μεταβολή Καθαρά Τεχνικής Αποδοτικότητας και στην Μεταβολή της Αποδοτικότητας Κλίμακας (Scale efficiency). Η Μεταβολή της Αποδοτικότητας Κλίμακας περιγράφει την διακύμανση της Αποδοτικότητας Κλίμακας από περίοδο σε περίοδο, ενώ η Μεταβολή Καθαρά Τεχνικής Αποδοτικότητας μετρά την διακύμανση της Τεχνικής Αποδοτικότητας στο χρόνο, λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση της οικονομίας κλίμακας.

Αναλυτικότερα, η αποδοτικότητα χωρίζεται σε δύο σκέλη με το ένα να δίνει έμφαση στα δεδομένα εισόδου και το άλλο στα δεδομένα εξόδου, με σκοπό την εμφάνιση σαφέστερων αποτελεσμάτων.

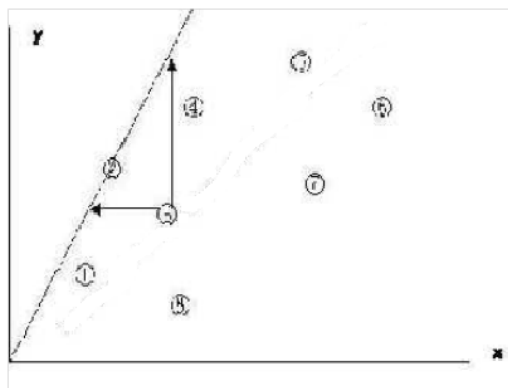


- Τεχνική Αποδοτικότητα Εκροών: Η τεχνική αποδοτικότητα εκροών μιας Παραγωγικής Μονάδας είναι η μέγιστη αναλογία των παρατηρηθέντων εκροών όταν όλοι οι εισροές είναι όσο το δυνατό περισσότερο καταναμημένες, χωρίς οποιαδήποτε φθορά στα επίπεδα εκροών. Η μέτρηση της αποδοτικότητας εκροών απεικονίζει κατά πόσο μια DMU είναι σε θέση να αυξήσει την παραγωγής-εισροές της επιτυγχάνοντας την καλύτερη δυνατή αποδοτικότητα, χωρίς επιπρόσθετη κατανάλωση πόρων.
- Τεχνική Αποδοτικότητα Εισροών: Γίνεται η υπόθεση ότι όλες οι εισροές μιας Παραγωγικής Μονάδας έχουν συρρικνωθεί όσο το δυνατό περισσότερο χωρίς κάποια φθορά στα επίπεδα παραγωγής των εκροών της. Η τεχνική αποδοτικότητα εισροών αναφέρεται ως η μέγιστη αναλογία ανάμεσα στα προκαθορισμένα επίπεδα εισροών με τα παρατηρηθέντα επίπεδα αυτής της εισροής.

Άρα η μέτρηση της αποδοτικότητας μέσω της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων στηρίζεται στην εκτίμηση της μέγιστης παραγωγής εκροών για δεδομένο αριθμό εισροών ή ανάποδα στην εκτίμηση του ελαχίστου αριθμού εισροών για την επίτευξη μιας δεδομένης παραγωγής εκροών.

### 3.1.7 Γραφική Εξήγηση Μεθόδου DEA

Στο Διάγραμμα 2 που ακολουθεί παρουσιάζονται έξι (6) Παραγωγικές Μονάδες (DMUs), οι οποίες χρησιμοποιούν μία εισροή  $x$ , για να παράγουν μία εκροή  $y$  (single-input, single-output). Επίσης σκιαγραφείται το όριο αποδοτικότητας των μονάδων, υπό σταθερές αποδόσεις κλίμακας, όρος που θα αναλυθεί στη συνέχεια της παρούσας εργασίας.



Διάγραμμα 2: Όριο αποδοτικότητας υπό σταθερές αποδόσεις κλίμακας

Το διάγραμμα αποτελείται από μία συνεχή ευθεία, που διέρχεται από την αρχή των αξόνων και από το σημείο 2. Η κλίση της ευθείας αυτής παριστάνει τον λόγο εκροή/εισροή ( $y/x$ ) και στην ουσία προσδιορίζει

την αποδοτικότητα της κάθε μονάδας. Όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση, τόσο μεγαλύτερη είναι και η αποδοτικότητα. Παρατηρείται ότι η μονάδα 2 έχει την υψηλότερη αποδοτικότητα εφόσον βρίσκεται πάνω στην καμπύλη αποδοτικότητας.

Η καμπύλη αποδοτικότητας αποτελεί σύνορο ή όριο της μέγιστης απόδοσης που μπορούν να φτάσουν οι Παραγωγικές Μονάδες, το λεγόμενο “efficient frontier”. Κάτω του ορίου αυτού εμφανίζονται όλες οι υπόλοιπες μονάδες, διότι έχουν απόδοση μικρότερη της μονάδας και ο χώρος των σημείων που περιβάλλεται από το σύνορο αποδοτικότητας ονομάζεται σύνολο παραγωγικών δυνατοτήτων (production possibility set).

Στην ουσία η καμπύλη αποδοτικότητας εκφράζει την επίδοση της αποδοτικότερης παρατήρησης, με συνέπεια η αποδοτικότητα των υπολοίπων να καθορίζεται βάσει της απόκλισης, της κάθε μίας παρατήρησης από αυτήν. Το σύνορο αποδοτικότητας από το οποίο χαρακτηρίζεται η μέθοδος DEA, εξυπηρετεί την οριοθέτηση των στόχων και χαρακτηρίζεται ως σημείο αναφοράς (benchmark) για τις άλλες παρατηρήσεις.

Σύμφωνα λοιπόν με την μέθοδο DEA, τα σημεία κάτω και δεξιά του σημείου 2, θεωρούνται ως μη αποδοτικές Παραγωγικές Μονάδες. Σημειώνεται ότι κάθε μη αποδοτική μονάδα μπορεί να γίνει αποδοτική είτε με μείωση των εισροών της, είτε με αύξηση των εκροών της. Η βελτίωση της κατάστασης μίας μονάδας δεν συνεπάγεται βελτίωση της αποδοτικότητας και των υπολοίπων μονάδων.

### 3.2 Μαθηματικά Μοντέλα Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων

Η Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων αποτελεί εφαρμογή του γραμμικού προγραμματισμού και έχει ως στόχο τον προσδιορισμό των συνόλων παραγωγής, τα οποία χρησιμοποιούνται στην αξιολόγηση της αποδοτικότητας των Παραγωγικών Μονάδων που χρησιμοποιούν ίδιες εισροές και παράγουν ίδιες εκροές, σε διαφορετικές, όμως ποσότητες. Πολλαπλές εισροές και εκροές μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων ακόμα και με διαφορετικές μονάδες μέτρησης στην κάθε μία. Όπως είχαμε αναφέρει και πιο πάνω, η μέθοδος χρησιμοποιείται περισσότερο:

- Για εντοπισμό των μη αποδοτικών DMUs
- Για τον προσδιορισμό των πηγών και τις ποσότητες μη αποδοτικότητας τους, για κάθε εισροή και εκροή.

### 3.2.1 Μοντέλο Σταθερών Επιδόσεων Κλίμακας (CCR)

Έστω μία μονάδα  $j$ . Κάθε μονάδα προσπαθεί να υπολογίσει τις εισροές και τις εκροές που θα χρησιμοποιήσει, με διαφορετικό τρόπο, με αποτέλεσμα οι εισροές-εκροές της κάθε μίας μονάδας, να λαμβάνουν διαφορετικά βάρη. Κάθε μία μονάδα χωριστά, θα πρέπει να αποφασίζει ένα σύνολο βαρών τα οποία θα εμφανίζονται με τον πιο ευνοϊκό τρόπο, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μονάδες.

Ο προσδιορισμός της αποδοτικότητας, της μονάδας στόχου  $j_0$ , έστω  $r_0$ , με την προϋπόθεση ότι ισχύουν σταθερές αποδόσεις κλίμακας, υπολογίζεται από την παρακάτω μαθηματική σχέση.

$$\max \theta = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{i0}} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, \quad j=1, \dots, n \text{ και } r=1, \dots, s \quad (2)$$

$$u_r, v_i \geq 0, \quad i=1, \dots, m \quad r=1, \dots, s \quad (3)$$

Όπου  $\theta$  = η μονάδα προς αξιολόγηση

$j = 1, \dots, n$  πλήθος παραγωγικών μονάδων

$r = 1, \dots, s$  αριθμός εκροών

$i = 1, \dots, m$  αριθμός εισροών

$y_{ij}$  = εκροή  $r$  της μονάδας  $j$

$x_{ij}$  = εισροή  $i$  της μονάδας  $j$

$u_i, v_i$  συντελεστές για την εισροή  $i$  και την εκροή  $j$  που μεγιστοποιούν την αντικειμενική συνάρτηση της μονάδας προς αξιολόγηση

Το ζήτημα λοιπόν είναι να εκτιμηθούν οι δύο συντελεστές στάθμισης, ώστε να μεγιστοποιούν την τιμή της αποδοτικότητας της μονάδας  $j_0$ . Οι  $u$  και  $v$ , είναι οι μεταβλητές του προβλήματος, και οι τιμές τους θα πρέπει να είναι μεγαλύτερες ή ίσες του μηδενός, ώστε να εξασφαλίζεται η θετική τιμή της αποδοτικότητας (όπου  $\epsilon = 0$ ).

Αν επιλύοντας το παραπάνω πρόβλημα, η αποδοτικότητα της συγκεκριμένης μονάδας βρεθεί ίση με 1, τότε η μονάδα  $j_0$  είναι αποτελεσματική σε σχέση με κάποιες άλλες μονάδες του δείγματος. Εάν η αποδοτικότητα υπολογιστεί

Αλλαγή κωδικού πεδίου

Αλλαγή κωδικού πεδίου

Αλλαγή κωδικού πεδίου

Αλλαγή κωδικού πεδίου

Αλλαγή κωδικού πεδίου

Αλλαγή κωδικού πεδίου

μικρότερη του 1, τότε κάποια άλλη μονάδα θα είναι πιο αποτελεσματική από την υπό εξεταζόμενη.

Το μοντέλο όμως που αναφέρθηκε παραπάνω, αποτελεί ένα μοντέλο κλασματικού προγραμματισμού. Για την επίλυση του μοντέλου DEA, είναι αρχικά απαραίτητο να μετατραπεί η αρχική σχέση σε γραμμική, με σκοπό οι μέθοδοι του γραμμικού προγραμματισμού, να μπορούν να εφαρμοστούν.

Η διαδικασία αυτής της μετατροπής είναι σχετικά απλή. Στην γραμμική σχέση, μπορεί να επιτευχθεί το ίδιο αποτέλεσμα, που θα προέκυπτε από την κλασματική σχέση, με την ρύθμιση του παρανομαστή, έτσι ώστε να ισούται με μία σταθερή τιμή, με στόχο την μεγιστοποίηση του αριθμητή. Η τελική γραμμική πλέον εξίσωση θα είχε την παρακάτω μορφή:

$$efficiency = \underset{u,v}{Max} \sum_{i=1}^m u_i y_{i,j_0} \quad (4)$$

$$s.t. \quad - \sum_{i=1}^s v_i \cdot x_{ij} + \sum_{i=1}^m u_i \cdot y_{ij} \leq 0 \quad \forall j = 1, \dots, j_0, \dots, N \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^s v_i \cdot x_{i,j_0} = 1 \quad (6)$$

$$u_i \geq 0 \quad \forall i = 1, m$$

$$v_i \geq 0 \quad \forall i = 1, s$$

Η σχετική απόδοση υπολογίζεται ακόμα με ελαχιστοποίηση των εισροών και διατήρηση των εκροών στο ίδιο επίπεδο, δηλαδή με προσανατολισμό στις εισροές, ο τύπος παρουσιάζεται παρακάτω.

**Min** $\theta$

$$s.t. \quad \theta x_{io} \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}, \quad i = 1, \dots, m \quad (7)$$

$$y_{ro} \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \quad r = 1, \dots, s \quad (8)$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad (9)$$

Αλλαγή κωδικού πεδίου

Αλλαγή κωδικού πεδίου

Αλλαγή κωδικού πεδίου

Αλλαγή κωδικού πεδίου

Αλλαγή κωδικού πεδίου

Αλλαγή κωδικού πεδίου

Αλλαγή κωδικού πεδίου

Αλλαγή κωδικού πεδίου

Αλλαγή κωδικού πεδίου

Αλλαγή κωδικού πεδίου

Αλλαγή κωδικού πεδίου

Αλλαγή κωδικού πεδίου

Το αντίστοιχο μοντέλο με προσανατολισμό στις εκροές είναι το εξής.

**Max** $\theta$

$$\text{s.t. } x_{io} \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij}, \quad i = 1, \dots, m \quad (10)$$

$$\theta y_{ro} \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \quad r = 1, \dots, s \quad (11)$$

$$\lambda_j \geq 0$$

Αλλαγή κωδικού πεδίου

Αλλαγή κωδικού πεδίου

Αλλαγή κωδικού πεδίου

Αλλαγή κωδικού πεδίου

Αλλαγή κωδικού πεδίου

Λύνοντας κάθε γραμμική εξίσωση, η τεχνική λύση της μεθόδου DEA, θα προσπαθήσει να κάνει την αποδοτικότητα της υπό εξέτασης μονάδας, όσο το δυνατόν μεγαλύτερη. Η διαδικασία της αναζήτησης της βέλτιστης αποδοτικότητας, θα σταματήσει όταν είτε η αποδοτικότητα της μονάδας-στόχου, είτε η αποδοτικότητα μίας ή περισσοτέρων μονάδων φτάσει το ανώτατο όριο (δηλαδή το 1).

Έτσι για μία μη αποτελεσματική μονάδα, σύμφωνα με την μέθοδο DEA, θα υπάρχει τουλάχιστον άλλη μία μονάδα η οποία θα είναι αποτελεσματική με το ίδιο σύνολο των βαρών της μη αποτελεσματικής μονάδας. Όσον αφορά λοιπόν, τις αναποτελεσματικές μονάδες, της γραμμικής λύσης προγραμματισμού, προσφέρεται σε αυτές ένα σύνολο εισροών και εκροών και πλέον η κάθε αναποτελεσματική μονάδα έχει ως στόχο την αναλογική, μείωση των εισροών ή αύξηση των εκροών της.

### Ιδιότητες του μοντέλου CCR

Οι αξιολογήσεις οι οποίες προκύπτουν από τα προηγούμενα μοντέλα υπόκεινται στις ακόλουθες σημαντικές παρατηρήσεις:

1. Το μοντέλο CCR παράγει έναν απεριόριστο αριθμό λύσεων. Εάν  $(\mathbf{u}^*, \mathbf{v}^*)$  είναι βέλτιστη λύση, τότε  $(a\mathbf{u}^*, a\mathbf{v}^*)$  είναι επίσης μια βέλτιστη λύση για  $a > 0$ .

2. Μία άλλη ιδιότητα των μοντέλων είναι ότι παραμένουν αμετάβλητα ως προς τις μονάδες μέτρησης των DMUs. Αυτό σημαίνει ότι οι βαθμοί αποδοτικότητας τους είναι ανεξάρτητοι από τις μονάδες μέτρησης κάθε εισροής και εκροής, αρκεί να χρησιμοποιούνται οι ίδιες μονάδες μέτρησης για κάθε DMU. Αυτό οφείλεται στο απειροστό  $\epsilon$  της αντικειμενικής συνάρτησης το οποίο καταστέλλει τις μη μηδενικές μεταβλητές χαλαρότητας επειδή:  $\epsilon(\sum s_i - j + \sum s_r + j) \approx \epsilon$

### 3.2.2 Μοντέλο Μεταβαλλόμενων Αποδόσεων Κλίμακας (BCC)

#### Μεταβλητές Αποδόσεις Κλίμακας

Στο διάγραμμα που παραοσιάστηκε στην γραφική εξήγηση της μεθόδου DEA στηρίχθηκε στην υπόθεση περί **σταθερών αποδόσεων κλίμακας (CRS)**. Αρχικά

στην ανάπτυξη του μοντέλου της DEA βοήθησαν οι σταθερές οικονομίες κλίμακας.

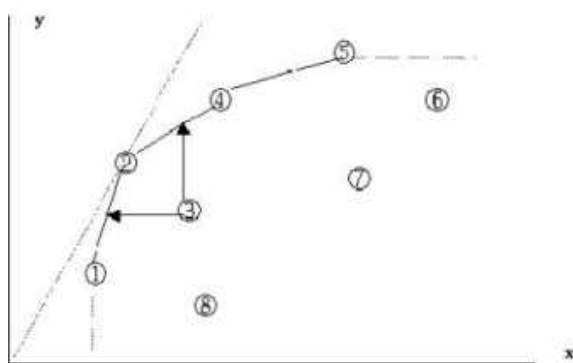
Η οικονομική θεωρία, όμως διαθέτει τρία είδη αποδόσεων κλίμακας και είναι τα εξής.

- Σταθερές αποδόσεις κλίμακας (CRS): μία αύξηση στην ποσότητα των εισροών, που χρησιμοποιείται, οδηγεί σε μία αναλογική αύξηση εκροών που παράγονται.
- Αυξανόμενες αποδόσεις κλίμακας (IRS): δηλαδή μεταβλητές αποδόσεις, κατά τις οποίες σε μία αύξηση στην ποσότητα των εισροών, συνεπάγεται μία μεγαλύτερη αύξηση στην ποσότητα των εκροών που παράγεται.
- Μειούμενες αποδόσεις κλίμακας (DRS): όπου μεταβλητές αποδόσεις, κατά τις οποίες μία αύξηση των εισροών, στην παραγωγική διαδικασία, οδηγεί σε μία μικρότερη αύξηση των εκροών από την ήδη υφιστάμενη στις εισροές.

Πιο συγκεκριμένα, η θεωρία των σταθερών οικονομιών κλίμακας αναφέρει πως κατά την μεταβολή μιας εισροής  $x$ , κατά ένα σταθερό ποσό  $\lambda$ , συνεπάγεται και η ταυτόχρονη μεταβολή της εκροής  $y$  κατά το σταθερό αυτό ποσό  $\lambda$ .

Εάν όμως, η υπόθεση στηρίζονταν εξ αρχής στην **κλίμακα μεταβλητών αποδόσεων (VRS)**, τότε το σύνορο της αποδοτικότητας θα ήταν πλέον μία κυρτή τεθλασμένη γραμμή, όπως αυτή του Διαγράμματος 3. Στη συγκεκριμένη περίπτωση όλες οι Παραγωγικές Μονάδες ανήκουν πάνω στην κυρτή τεθλασμένη γραμμή, διότι χαρακτηρίζονται ως αποδοτικές.

Ως παράδειγμα στο παρακάτω Διάγραμμα, παρατηρείται ότι εάν στην μονάδα 3, χαραχθούν δύο ευθείες, οι οποίες αποτελούν γραμμικές συνθέσεις της μονάδας, συμπεραίνεται ότι η μονάδα 3 δεν είναι αποδοτική, διότι είτε θα μπορούσε να παράγει την ίδια έξοδο, αλλά με λιγότερη χρήση εισροών, είτε θα μπορούσε να παράγει με την ίδια ποσότητα εισροών, μεγαλύτερη ποσότητα εκροών, μέχρις ότου να ενωθεί με την καμπύλη παραγωγικών δυνατοτήτων. Άρα, η Παραγωγική Μονάδα 3 κρίνεται από την μέθοδο DEA, ως μη αποδοτική.

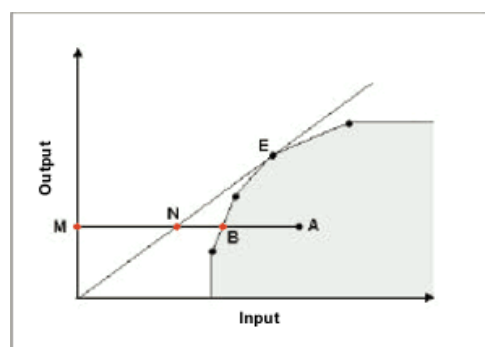


Διάγραμμα 3: Όριο αποδοτικότητας υπό μεταβλητές μονάδες κλίμακας(Πηγή: Κατσιγάρκη Χ. 2015)

Κάθε μοντέλο της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων αναζητά εκείνες τις Παραγωγικές Μονάδες (DMUs) που ορίζουν το σύνολο αποδοτικότητας. Η καταλληλότητα ενός συγκεκριμένου συνόρου υπαγορεύεται από προϋποθέσεις, κυρίως οικονομικές, που αφορούν στο σύνολο δεδομένων το οποίο υπεισέρχεται στην ανάλυση.

#### Ανάλυση Μοντέλου BCC

Το μοντέλο BCC είναι από τις πρώτες παραλλαγές του βασικού μοντέλου CCR και κύρια διαφορά βρίσκεται στην οικονομία κλίμακας που χρησιμοποιεί το μοντέλο. Το μοντέλο CCR χρησιμοποιεί μόνο σταθερές οικονομίες κλίμακας ενώ το μοντέλο BCC μεταβλητές οικονομίες κλίμακας οδηγώντας με αυτό τον τρόπο σε διαφορετικό σύνολο αποδοτικότητας. Το σύνολο της BCC αποτελείται από την κυρτή θήκη των μονάδων απόφασης σε αντίθεση με το σύνολο της CCR που είναι ένα ευθύγραμμο τμήμα με ακμές τις αποδοτικές μονάδες. Στο πιο κάτω Διάγραμμα δίνουμε ένα απλό σχήμα στο οποίο γίνεται προφανής η διαφορά του συνόρου αποδοτικότητας.



Διάγραμμα 4: Διαφορά μεταξύ συνόρων αποδοτικότητας BCC και CCR (Πηγή: Σαΐτης 2014)

Γενικότερα το μοντέλο BCC αποτελεί και αυτό ένα βασικό μοντέλο της εφαρμογής DEA. Ονομάστηκε BCC, βάσει των αρχικών των επιστημόνων που πρώτοι το ανέπτυξαν Banker, Charnes και Cooper το 1984. Το συγκεκριμένο μοντέλο εισάγει τον παρακάτω περιορισμό:

$$\sum \lambda_j = 1 \text{ με } j = 1, 2, 3, \dots, n$$

Η ενσωμάτωση του παραπάνω τύπου, μπορεί να θεωρηθεί ως ένας τρόπος περιορισμού των δυνατών πιθανοτήτων παραγωγής. Ο δείκτης  $\lambda$ , είναι υπεύθυνος για την κυρτότητα της καμπύλης των παραγωγικών δυνατοτήτων. Τονίζεται ότι το μοντέλο BCC, με τον περιορισμό που εισάγει, λαμβάνει υπ' όψιν του και τις σταθερές καθώς και τις μεταβλητές αποδόσεις.

Πιο συγκεκριμένα, αν το  $\sum \lambda_j = 1$  τότε στο γραμμικό πρόγραμμα εξετάζονται σταθερές αποδόσεις κλίμακας, ενώ αν ισχύει ότι  $\sum \lambda_j \neq 1$  τότε έχουμε μεταβλητές αποδόσεις κλίμακας. Το μοντέλο με προσανατολισμό στις εισροές παρατίθεται στη συνέχεια.

$$efficiency = Min\theta$$

$$s.t. \theta x_{io} \geq \sum_{j=1}^N \lambda_j x_j \quad (12)$$

Αλλαγή κωδικού πεδίου

$$y_{jo} \leq \sum_{j=1}^N \lambda_j y_j \quad (13)$$

Αλλαγή κωδικού πεδίου

$$\sum_{j=1}^N \lambda_j = 1 \quad (14)$$

Αλλαγή κωδικού πεδίου

$$\lambda_j \geq 0 \quad \forall j = 1, \dots, j_0, \dots, N \quad (15)$$

Αλλαγή κωδικού πεδίου

$$\theta \geq 0 \quad (16)$$

Αλλαγή κωδικού πεδίου

Αλλαγή κωδικού πεδίου

Ενώ το αντίστοιχο μοντέλο προσανατολισμένο στις εκροές έχει την εξής μορφή.

$$efficiency = Max\theta$$

$$x_{io} \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \quad i = 1, \dots, m \quad (17)$$

$$\theta y_{jo} \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \quad r = 1, \dots, s \quad (18)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, \dots, n$$

Αλλαγή κωδικού πεδίου

Αλλαγή κωδικού πεδίου



Συμπεραίνεται ότι η απόφαση που έχει να κάνει με το εάν θα χρησιμοποιηθεί συνεχής ή μεταβαλλόμενη επιστροφή κλίμακας (CSR ή VRS) χρήζει ιδιαίτερης προσοχής. Εάν ένας διπλασιασμός σε όλες τις εισροές οδηγήσει σε ένα διπλασιασμό σε όλες τις εκροές, τότε οι μονάδες, είναι γνωστό ότι λειτουργούν με συνεχή επιστροφή κλίμακας (constant returns to scale). Το παραπάνω σημαίνει ότι δεν έχει σημασία με τι κλίμακα λειτουργούν οι μονάδες, εφόσον η αποδοτικότητά τους παραμένει σταθερή-αμετάβλητη.

Ωστόσο εάν ένας διπλασιασμός σε όλες τις εισροές οδηγεί σε παραπάνω από έναν διπλασιασμό σε όλες τις εκροές (ή εναλλακτικά ένας διπλασιασμός στις εισροές οδηγεί σε μία μικρότερη από διπλασιασμό, στις εκροές), τότε συνεπάγεται ότι οι μονάδες λειτουργούν με μεταβαλλόμενη επιστροφή κλίμακας (variable returns to scale).

Η απόφαση λοιπόν, της επιλογής του κατάλληλου μαθηματικού μοντέλου της μεθόδου DEA (συνεχές CCR ή μεταβλητό BCC), θεωρείται καθοριστική. Η συγκεκριμένη απόφαση εξαρτάται από την διαδικασία που αναλύθηκε. Αν δηλαδή οι πόροι (εισροές) καθώς αυξάνονται κατά την ποσότητα  $x$ , θα αυξηθούν κατά την ίδια ποσότητα και τις εκροές, ή θα υπάρχει μία μεγαλύτερη ή μικρότερη αύξηση των εισροών.

### 3.2.3 Στάδια Εφαρμογής

Τα βασικά στάδια εφαρμογής της Μεθόδου DEA είναι τα εξής:

- Επιλογή των DMUs προς ανάλυση-αξιολόγηση.
- Καθορισμός των μεταβλητών εισόδου και εξόδου που είναι κατάλληλες για την αξιολόγηση της σχετικής αποδοτικότητας των DMUs.

## 3.3 Γλώσσα Προγραμματισμού R

Η R είναι μια γλώσσα προγραμματισμού και ένα περιβάλλον λογισμικού για στατιστικούς υπολογισμούς και γραφικά που υποστηρίζονται από το Ίδρυμα R για στατιστικούς υπολογισμούς. Η γλώσσα R χρησιμοποιείται ευρέως μεταξύ των στατιστικολόγων και μελετητών δεδομένων προκειμένου να αναπτύξουν διάφορα λογισμικά στατιστικής, καθώς και για την ανάλυση δεδομένων. Διάφορες δημοσκοπήσεις, έρευνες των μελετητών δεδομένων, καθώς και μελέτες επιστημονικών βάσεων δεδομένων συμπέραναν ότι η δημοτικότητα της γλώσσας R έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια.

Η γλώσσα προγραμματισμού R αποτελεί μια εξέλιξη της γλώσσας προγραμματισμού S σε συνδυασμό με λεξιλογικές σημασιολογίες οριοθέτησης εμπνευσμένες από την γλώσσα Scheme. Η γλώσσα S δημιουργήθηκε από τον John Chambers το 1976, ενώ εργαζόταν στην εταιρεία Bell Labs, με βάση την γλώσσα Fortran, ενώ το 1988 ξαναγράφηκε σε γλώσσα C. Υπάρχουν μερικές σημαντικές διαφορές, αλλά ένα μεγάλο μέρος του κώδικα που γράφεται για την S τρέχει αμετάβλητα, χωρίς κανένα πρόβλημα και στην R.

Οι δημιουργοί της γλώσσας R είναι οι Ross Ihaka και Robert Gentleman, οι οποίοι εργάζονταν στο Πανεπιστήμιο του Όκλαντ στη Νέα Ζηλανδία το 1991 και η ανακοίνωση έγινε το 1993. Πλέον η R αναπτύσσεται από την Κεντρική Ομάδα Ανάπτυξης της R (R Development Core Team), του οποίου ο Chambers είναι μέλος. Ονομάστηκε με αυτό το γράμμα της αγγλικής αλφαβήτου επειδή το R είναι το πρώτο γράμμα των ονομάτων των δημιουργών της και ταυτόχρονα ως ένα λογοπαίγνιο σχετικά με το όνομα της γλώσσας προγραμματισμού S.

Η γλώσσα R αποτελεί μια ανοιχτή πηγή γλώσσας προγραμματισμού για στατιστικούς υπολογισμούς και γραφικά πολύ πιο εξελιγμένα από τα περισσότερα στατιστικά προγράμματα, με σκοπό να έχουν νόημα ο μεγάλος όγκος δεδομένων ενός χρήστη που του είναι δύσκολο να μελετήσει. Ο πηγαίος κώδικας για το λογισμικό περιβάλλον της R είναι γραμμένος κυρίως σε γλώσσα C, Fortran, και R.

Επίσης η γλώσσα προγραμματισμού R είναι ένα έργο GNU, άρα είναι ελεύθερα διαθέσιμη υπό την GNU (General Public License), και οι δυαδικές εκδόσεις παρέχονται για διάφορα λειτουργικά συστήματα δωρεάν. Το GNU είναι ένα λειτουργικό σύστημα το οποίο είναι ελεύθερο λογισμικό, δηλαδή σέβεται την ελευθερία των χρηστών. Το ελεύθερο λογισμικό σημαίνει ότι οι χρήστες έχουν την ελευθερία να εκτελούν, αντιγράφουν, διανέμουν, μελετούν, αλλάζουν και βελτιώνουν το λογισμικό. Η ανάπτυξη του GNU έκανε δυνατή τη χρήση ενός υπολογιστή χωρίς λογισμικό που θα καταπατούσε την ελευθερία των χρηστών.

### 3.3.1 Υπολογιστικό Πρόγραμμα Rstudio

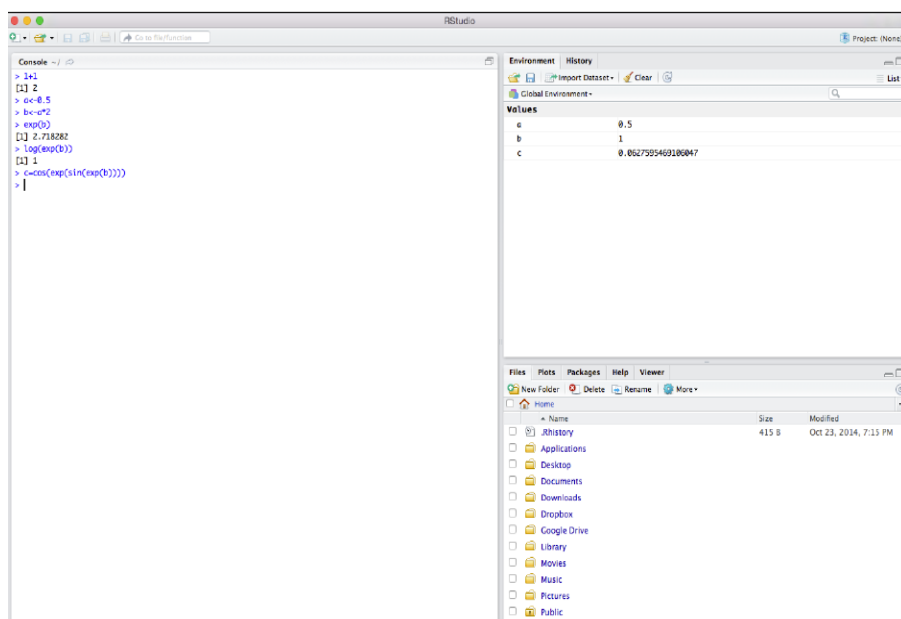
Το RStudio είναι ένα δωρεάν και ανοιχτού κώδικα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) για το R. Ιδρύθηκε από τον JJ Allaire δημιουργό της γλώσσας προγραμματισμού ColdFusion. Ο Hadley Wickham είναι ο επικεφαλής επιστήμονας στο RStudio. Το RStudio είναι γραμμένο στη γλώσσα προγραμματισμού C++ και χρησιμοποιεί το πλαίσιο Qt για γραφική διεπαφή του χρήστη.

Οι εργασίες για RStudio ξεκίνησε γύρω Δεκέμβριο του 2010, και η πρώτη δημόσια έκδοση (v0.92) ανακοινώθηκε επίσημα το Φεβρουάριο του 2011. Χρησιμοποιείται εκτενώς στην επιστήμη, την εκπαίδευση και τη βιομηχανία, το

RStudio αναπτύσσει ελεύθερα και ανοικτά εργαλεία για την R και προσφέρει στις επιχειρήσεις έτοιμα επαγγελματικά προϊόντα, ώστε να αναβαθμίσουν την εργασία τους.

Πλέον, το πρόγραμμα RStudio είναι διαθέσιμο σε δύο εκδόσεις. Το RStudio Desktop με το πρόγραμμα να εκτελείται τοπικά ως μια εφαρμογή στον υπολογιστή και το RStudio Server, το οποίο επιτρέπει στον χρήστη να έχει πρόσβαση στο RStudio χρησιμοποιώντας ένα πρόγραμμα περιήγησης στο διαδίκτυο (web browser), ενώ ταυτόχρονα τρέχει σε έναν απομακρυσμένο διακομιστή Linux. Η έκδοση του RStudio Desktop είναι διαθέσιμη για Windows, OS X και Linux.

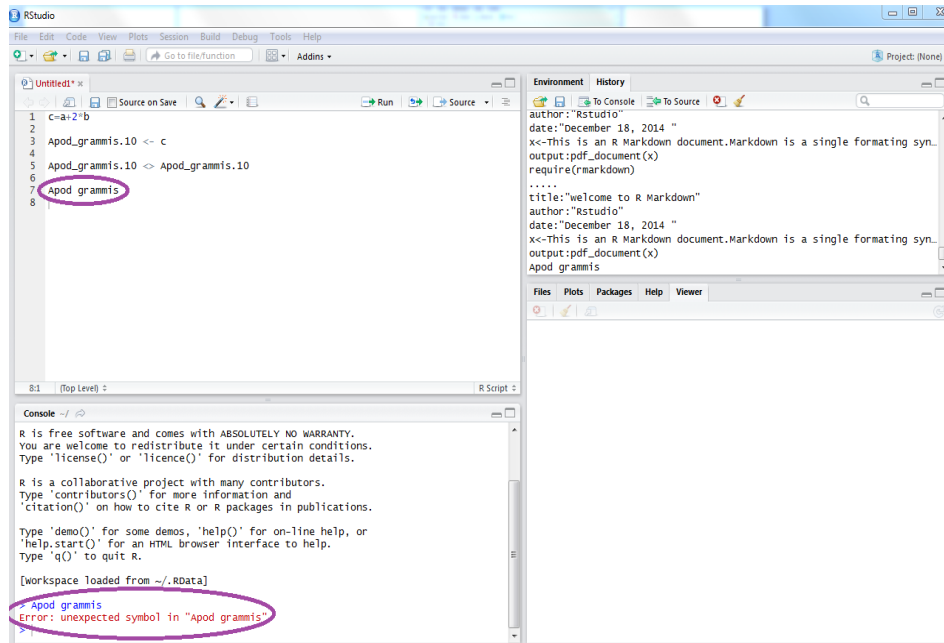
Επίσης το πρόγραμμα RStudio είναι διαθέσιμο δωρεάν και σε εμπορικές εκδόσεις και λειτουργεί στην επιφάνεια εργασίας (Windows, OS X και Linux) ή σε ένα πρόγραμμα περιήγησης που συνδέεται με RStudio Server ή RStudio διακομιστή Pro (Debian, Ubuntu, Red Hat Linux, CentOS, openSUSE και SLES). Η μορφή του Rstudio από μεριάς του χρήστη παρουσιάζεται στην παρακάτω Εικόνα 6.



Εικόνα 6: Αρχική μορφή του προγράμματος Rstudio

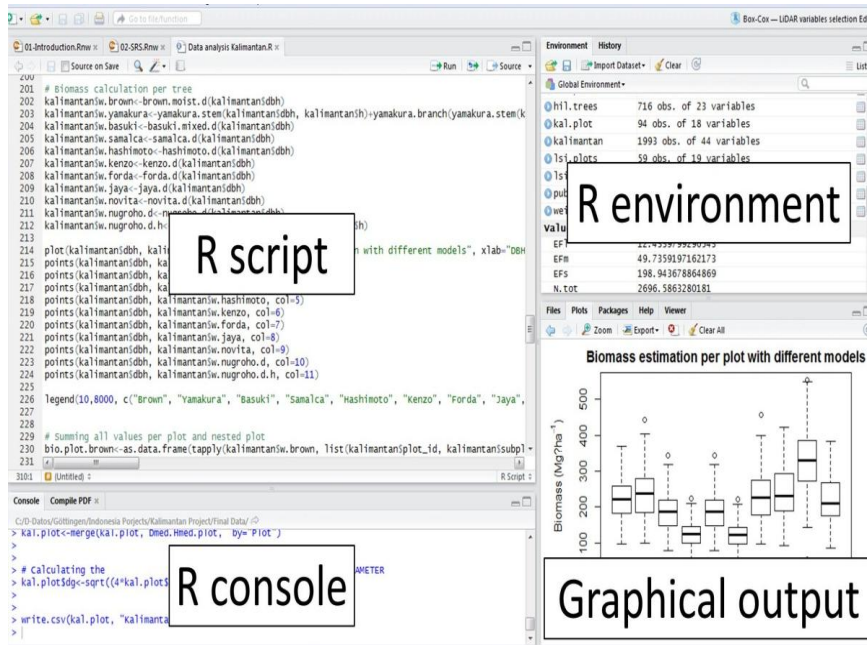
Κάθε πράξη μπορεί να γραφτεί σαν μία μεταβλητή ( $c=a+b*2$ ), οι οποίες μεταβλητές μπορούν να γραφούν σαν ένας οποιοσδήποτε συνδυασμός γραμμάτων, αριθμών, τελειών και κάτω παύλας (Κυκλ\_Fortos.1). Τα ονόματα των μεταβλητών δεν θα πρέπει να ξεκινούν με αριθμούς ή σύμβολα (1Κυκλ\_Fortos, \_ΚυκλFortos1), ενώ δεν θα πρέπει να περιέχουν κενά οι λέξεις μεταξύ τους (Κυκλ Fortos 1). Ένα χαρακτηριστικό της R είναι ότι αντιλαμβάνεται τα κεφαλαία ως διαφορετικούς χαρακτήρες [case sensitive] (ΚυκλFortos  $\neq$

κυκλφορτος). Στην Εικόνα 7 παρατίθενται όλες οι ιδιότητες του Rstudio που περιγράφηκαν προηγουμένως.



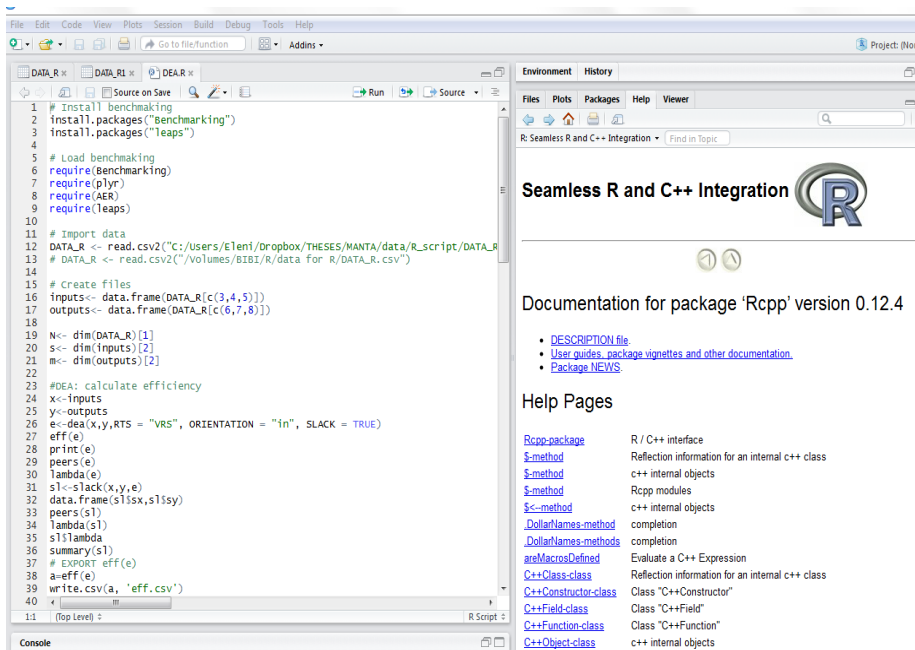
Εικόνα 7: Ιδιότητες σχετικά με τον τρόπο γραφής στο πρόγραμμα Rstudio

Σύμφωνα με την Εικόνα 8 περιλαμβάνει κονσόλα, επεξεργαστή σύνταξης κώδικα που υποστηρίζει την άμεση εκτέλεση του, μεταβαίνοντας γρήγορα σε ορισμούς συναρτήσεων, καθώς και εργαλεία για τη χάραξη, την ιστορία, τον εντοπισμό σφαλμάτων και την άμεση διόρθωση τους και τη διαχείριση του χώρου εργασίας. Διαχειρίζεται εύκολα πολλαπλούς καταλόγους εργασίας αξιοποιώντας παλιότερες εργασίες (project) και υποστηρίζει συγγραφή για HTML, PDF, έγγραφα του Word, παρουσιάσεις και διαδραστικές γραφικές απεικονίσεις.



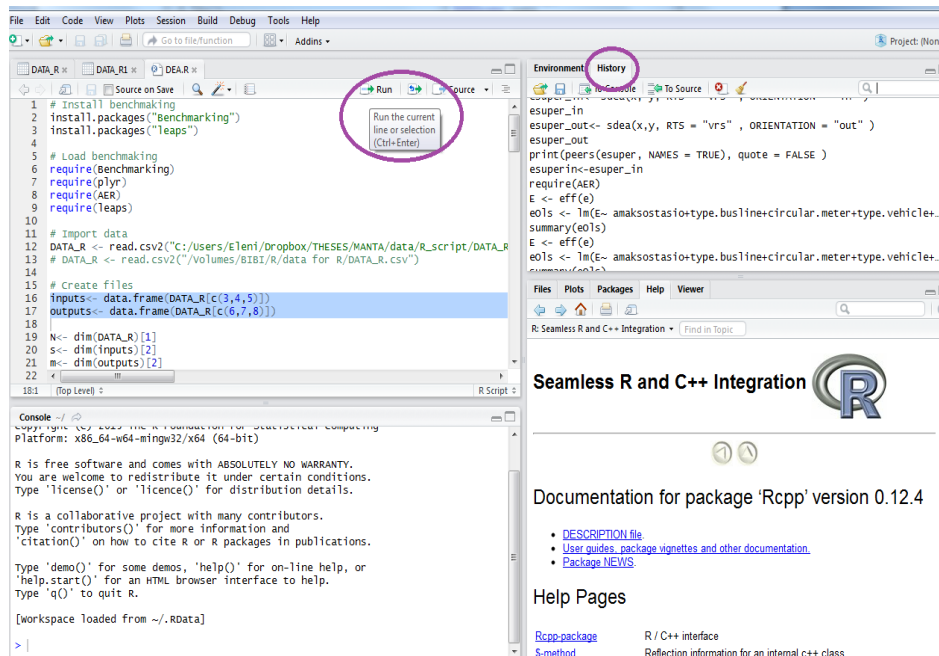
Εικόνα 8: Βασικά χαρακτηριστικά του προγράμματος Rstudio

Το RStudio ενσωματώνει τα εργαλεία που χρησιμοποιείτε με το πρόγραμμα R σε ένα ενιαίο περιβάλλον, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 9



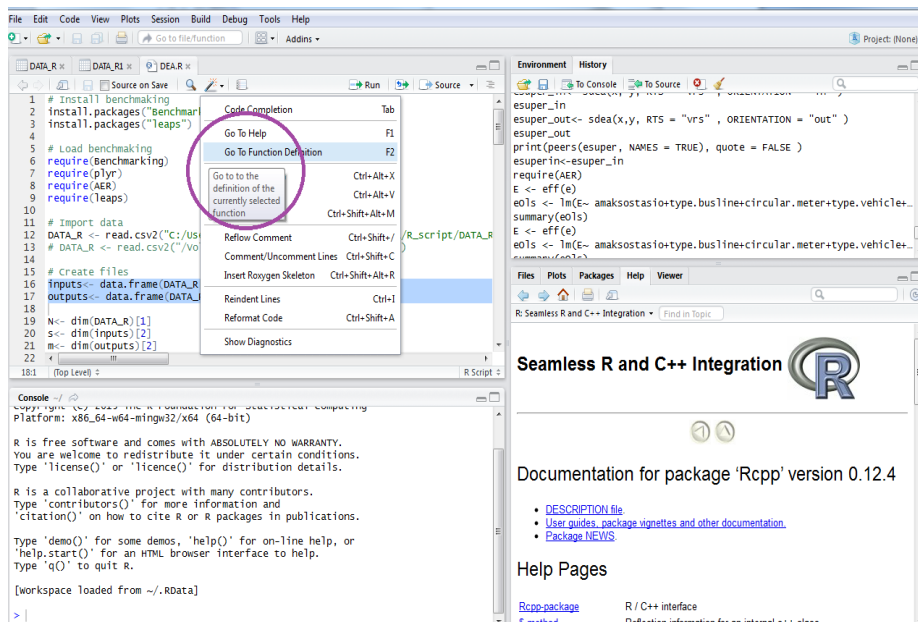
Εικόνα 9: Ενσωμάτωση εργαλείων απαραίτητων για το πρόγραμμα

Περιλαμβάνει ισχυρά εργαλεία κωδικοποίησης σχεδιασμένα να ενισχύσουν την παραγωγικότητα των χρηστών, όπως το ιστορικό πάνω δεξιά στην Εικόνα 10, η άμεση εκτέλεση του κώδικα, καθώς και επεξηγήσεις των συναρτήσεων.

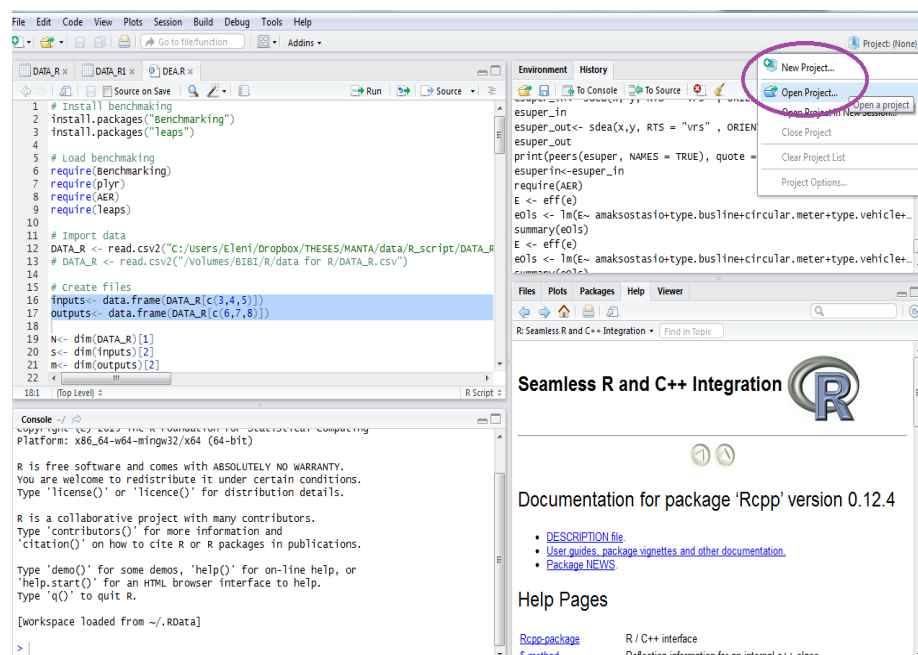


Εικόνα 10: Κωδικοποίηση βασικών εργαλείων

Ακόμα, το πρόγραμμα RStudio επιτρέπει την γρήγορη πλοήγηση σε αρχεία και λειτουργίες, είναι εύκολο να ξεκινήσει νέες εργασίες ή να αναζητήσει παλαιότερες, όπως εμφανίζονται στις Εικόνες 11 και 12.



Εικόνα 11: Πλοήγηση σε προϋπάρχοντα αρχεία



Εικόνα 12: Άμεση δημιουργία νέων αρχείων

## Πακέτο Benchmarking

Το πακέτο benchmarking περιλαμβάνει μεθόδους για την εκτίμηση του μέτρου της αποτελεσματικότητας ή αποδοτικότητας χρησιμοποιώντας τις μεθόδους DEA και SFA. Η μέθοδος Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων υποστηρίζεται

κάτω από διαφορετικές παραδοχές τεχνολογίας (FDH, VRS, DRS, CRS, IRS, προσθέστε), και χρησιμοποιεί διάφορα μέτρα απόδοσης (προσανατολισμός στις εισροές, προσανατολισμός στις εκροές, υπεραποδοτικότητα).

Επίσης, είναι διαθέσιμες ομότιμες τιμές των μονάδων που συγκρίνονται, οπότε μπορούν να προσφέρουν πληροφορίες για τις τιμές και βέλτιστο κόστος, καθώς και να υπολογίσουν τα έσοδα και το κέρδος. Το πακέτο υποστηρίζει επίσης απλά επίπεδα των τεχνολογιών της μεθόδου DEA με δύο τρόπους, είτε ως καμπύλη μετασχηματισμού (2 εκροές) και μια καμπύλη ισοπαραγωγής (2 εκροές), είτε ως μια συνάρτηση παραγωγής (1 εισροή και 1 εκροή). Όταν είναι διαθέσιμες περισσότερες εισροές και εκροές, συγκεντρώνονται μέσω της χρήσης των βαρών, όπως είναι τα κόστη.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

## ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται μια πρώτη ανάλυση των δεδομένων που δόθηκαν από τον Ο.Α.Σ.Α. και αμέσως μετά ο τρόπος που εφαρμόστηκε η μέθοδος DEA στο πρόγραμμα Rstudio, καθώς και οι εντολές που απαιτήθηκαν για την εύρεση της αποδοτικότητας και των λοιπών απαιτούμενων μεγεθών.

### 4.1 Περιγραφή δικτύου

Η ΟΣΥ Α.Ε. αποτελεί την μοναδική δημόσια εταιρεία οδικών συγκοινωνιών του Λεκανοπεδίου της Αττικής. Ο αριθμός των γραμμών της πλησιάζει τις 300 γραμμές, εκ των οποίων οι 22 είναι τρόλεϊ. Ο στόλος της διαθέτει 2.142 οχήματα λεωφορεία μέσης ηλικίας 12 έτη εκ των οποίων το 29% κινούνται με φυσικό αέριο και το υπόλοιπο 71% με diesel. Επίσης διαθέτει 336 ηλεκτροκίνητα οχήματα (τρόλεϊ) μέσης ηλικίας 13 ετών. Τα διαθέσιμα αμαξοστάσια της ΟΣΥ είναι 13 στον αριθμό και εκτείνονται σε όλο το λεκανοπέδιο.

Η συνολική έκταση του συγκοινωνιακού δικτύου των λεωφορείων φτάνει τα 8.500 χιλιόμετρα και των τρόλεϊ τα 392 χιλιόμετρα, με 8.000 στάσεις, αποτελώντας ένα από τα μεγαλύτερα δίκτυα της Ευρώπης. Οι ώρες εξυπηρέτησης του επιβατικού κοινού με τις οδικές συγκοινωνίες είναι από τις 5 το πρωί έως και τα μεσάνυχτα όλες τις μέρες του χρόνου, ενώ λειτουργούν και 3 νυχτερινές γραμμές. Τέλος, υπάρχουν κάποιες ειδικές γραμμές οι οποίες εξυπηρετούν σε 24ωρη βάση τον Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών (4 λεωφορειακές γραμμές express) και άλλες δυο που πραγματοποιούν την διαδρομή Πειραιάς-Σύνταγμα και Σύνταγμα-Κηφισιά συνεχόμενα εντός του 24ώρου.

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί επιτυχώς η συγκοινωνιακή εξυπηρέτηση, ο τομέας συντήρησης-επισκευής των οχημάτων της ΟΣΥ λειτουργεί όλο τον χρόνο. Το σύνολο του προσωπικού που απασχολεί η εταιρεία οδικών συγκοινωνιών ανέρχεται στους 6.183 εργαζόμενους με το 80% αυτών να αποτελούν το προσωπικό κίνησης.

### 4.2 Διαθέσιμα Δεδομένα

Τα δεδομένα που παρείχαν οι Οδικές Συγκοινωνίες Αθηνών στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο αφορούν 93 λεωφορειακές γραμμές. Οι συγκεκριμένες γραμμές θεωρούνται από μεριάς της διοίκησης της Ο.Σ.Υ. Α.Ε. ως οι πιο σημαντικές του οδικού τους δικτύου, λόγω του συγκοινωνιακού έργου που εκτελούν.

Τα στοιχεία που δόθηκαν και στην συνέχεια αναλύθηκαν στην επόμενη παράγραφο είναι τα εξής:

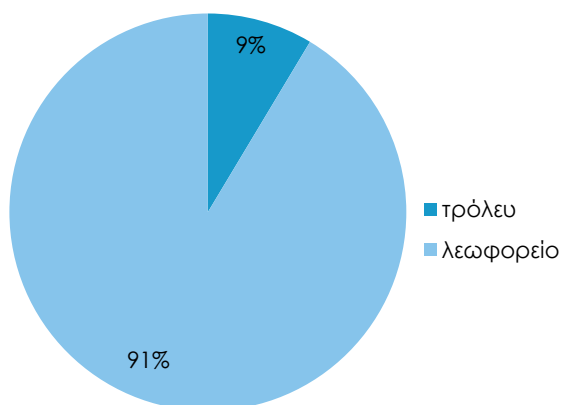
- Οι γραμμές που κινούνται με λεωφορεία και τρόλεϊ.
- Οι γραμμές που εκτελούν κυκλική διαδρομή, καθώς και αυτών που η διαδρομή τους διαθέτει αφετηρία και τέρμα.
- Το αμαξοστάσιο στο οποίο σταθμεύουν τα οχήματα της εκάστοτε γραμμής.
- Πληροφορίες σχετικά με τον τύπο της διαδρομής που εκτελεί η κάθε γραμμή, δηλαδή διαδημοτική, τοπική, express κτλ.
- Πληροφορίες για τον τύπο του οχήματος που χρησιμοποιεί η κάθε γραμμή, όπως αρθρωτά, ηλεκτρικά κτλ.
- Διανυθέντα οχηματοχιλιόμετρα το μήνα: Αφορά τον αριθμό των οχηματοχιλιομέτρων που διένυσε σε ένα μήνα η γραμμή.
- Αριθμός εκτελεσμένων δρομολογίων: Περιλαμβάνει όλα τα εκτελεσμένα δρομολόγια της εκάστοτε γραμμής.
- Αριθμός προγραμματισμένων δρομολογίων: Ο αριθμός των δρομολογίων που προγραμματίστηκαν να εκτελεστούν από την διοίκηση της Ο.ΣΥ. Α.Ε.
- Αριθμός μηνιαίων βαρδιών: Εκφράζει το σύνολο των βαρδιών που πραγματοποιούνται κάθε μήνα για την λειτουργία μιας γραμμής.
- Μέσο μηνιαίο κόστος: Αναφέρεται στο σύνολο των εξόδων που πραγματοποιούνται μέσα σε ένα μήνα και σχετίζονται με την λειτουργία της εκάστοτε γραμμής.
- Αριθμός επιβατών ανά βάρδια: Ο λόγος του αριθμού επιβατών ανά ημέρα προς τον αριθμό των βαρδιών ανά ημέρα.
- Αριθμός επιβατών ανά οχηματοχιλιόμετρο: Ο λόγος του αριθμού των επιβατών ανά ημέρα προς τον αριθμό των εκτελεσμένων οχηματοχιλιομέτρων ανά ημέρα.
- Αριθμός επιβατών ανά δρομολόγιο: Ο λόγος του αριθμού των επιβατών ανά ημέρα προς τον αριθμό των εκτελεσμένων δρομολογίων ανά ημέρα.
- Κόστος επιβάτη: Το συνολικό κόστος ανά μήνα, για τον υπολογισμό του οποίου προστίθενται όλα τα επιμέρους κόστη της κάθε γραμμής και το οποίο διαιρείται με τις 30 μέρες του μήνα επί των αριθμό των επιβατών ανά ημέρα.
- Μήκος διαδρομής: Το άθροισμα του μήκους της διαδρομής που εκτελεί το λεωφορείο από την αφετηρία προς το τέρμα συν το μήκος της διαδρομής από το τέρμα προς την αφετηρία.
- Αριθμός ατυχημάτων ανά 1000 χιλιόμετρα: Ο λόγος του αριθμού των ατυχημάτων ανά μήνα πολλαπλασιασμένα επί 1000 προς τον αριθμό των εκτελεσμένων οχηματοχιλιομέτρων.
- Αριθμός παραπόνων ανά γραμμή: Ο μέσος όρος των παραπόνων ανά μήνα για τους οποίους υπάρχουν καταγεγραμμένα στοιχεία.

- Ποσοστό μέγιστης αλληλοεπικάλυψης: Το μέγιστο ποσοστό του μήκους της γραμμής που επικαλύπτεται από άλλη γραμμή.
- Ευθύτητα λεωφορειακής γραμμής: Αναφέρεται στο πόσο ευθύγραμμη είναι η διαδρομή που κάνει κάθε λεωφορειακή γραμμή και υπολογίζεται ως το ποσοστό της συντομότερης διαδρομής προς το πραγματικό μήκος της διαδρομής που διανύει το λεωφορείο.

### 4. 3 Προκαταρκτική Ανάλυση Δεδομένων

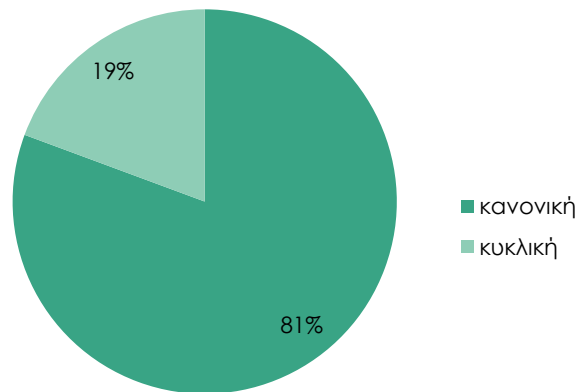
Προτού πραγματοποιηθεί η εκτενής αξιολόγηση των λεωφορειακών γραμμών απαιτείται μια προκαταρκτική ανάλυση των δοθέντων στοιχείων ώστε να αποκτήσουμε μια πρώτη απεικόνιση της έρευνας. Η ΟΣΥ διέθεσε όλα τα απαραίτητα στοιχεία σχετικά με την καταγεγραμμένη επιβατική κίνηση για 93 λεωφορειακές γραμμές, τα οποία θα αξιοποιηθούν καθόλη την διάρκεια της έρευνας.

Στο παρακάτω Διάγραμμα 5 παρουσιάζεται το ποσοστό των λεωφορείων και των τρόλεϊ στις γραμμές που δόθηκαν, με τα λεωφορεία να υπερτερούν σε μεγάλο βαθμό έναντι των τρόλεϊ.

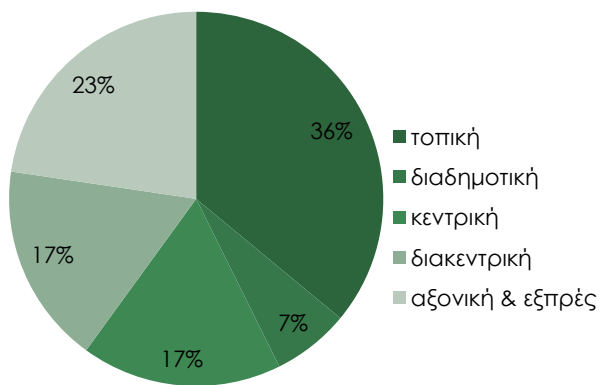


*Διάγραμμα 5: Ποσοστό συμμετοχής λεωφορείων-τρόλεϊ*

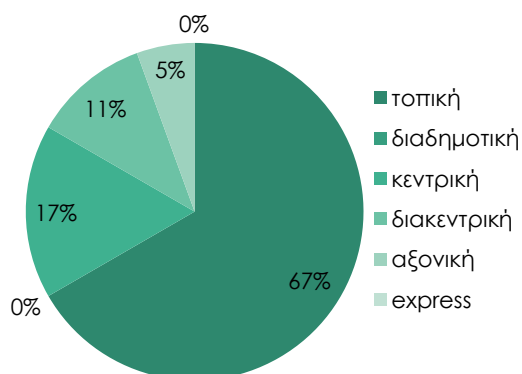
Στο Διάγραμμα 6 παρατίθεται το ποσοστό των γραμμών που πραγματοποιούν κανονική και κυκλική διαδρομή, στο Διάγραμμα 7 η κατανομή των γραμμών με βάση τον τύπο της γραμμής για κανονική διαδρομή και στο Διάγραμμα 8 η κατανομή των γραμμών με βάση τον τύπο της γραμμής για κυκλική διαδρομή. Τα Διαγράμματα 7 και 8 μαρτυρούν ότι οι τοπικές γραμμές αποτελούν την πλειοψηφία των γραμμών, ενώ δεν υπάρχουν κυκλικές διαδημοτικές και express λεωφορειακές γραμμές.



Διάγραμμα 6: Ποσοστό κυκλικών-κανονικών διαδρομών

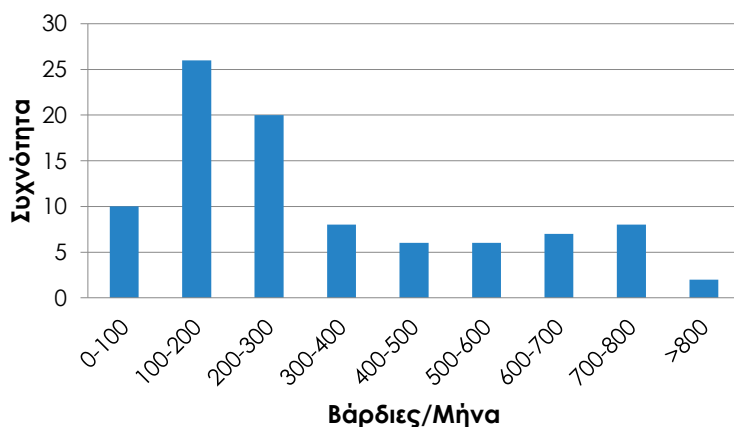


Διάγραμμα 7: Κατανομή των γραμμών με βάση τον τύπο της γραμμής για κανονική διαδρομή



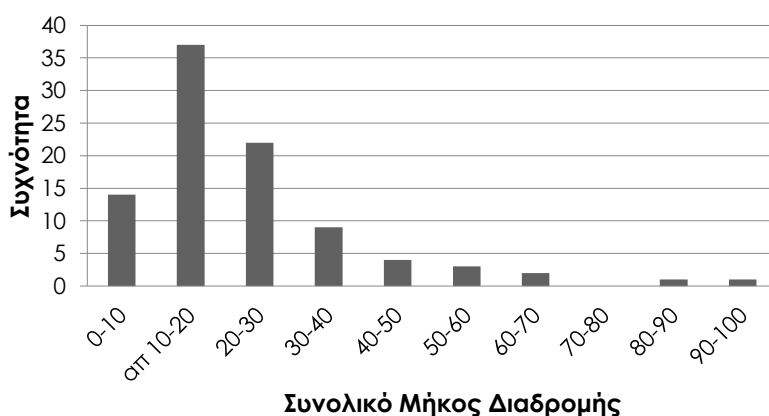
Διάγραμμα 8: η κατανομή των γραμμών με βάση τον τύπο της γραμμής για κυκλική διαδρομή

Στο Διάγραμμα 9 φαίνεται πως κατανέμονται οι βάρδιες των οδηγών ανά μήνα. Ο μέσος όρος είναι 329 βάρδιες ανά μήνα, ενώ η συχνότερη τιμή εμφανίζεται ανάμεσα στις 100 με 200 βάρδιες το μήνα.



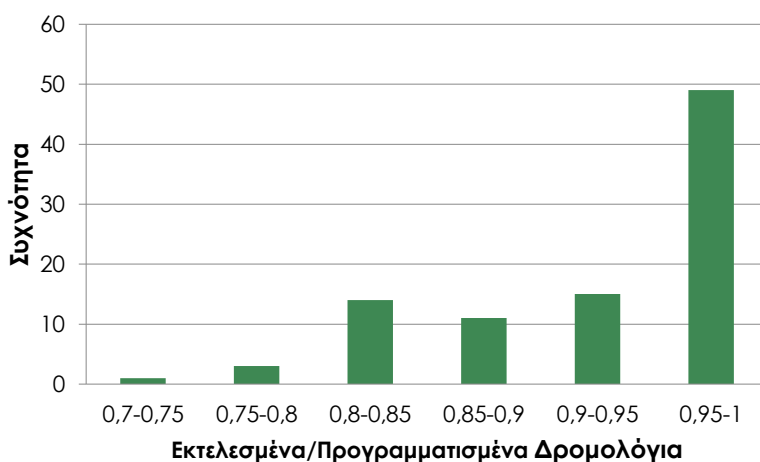
Διάγραμμα 9 : κατανομή βάρδιας ανά μήνα

Η κατανομή των γραμμών με βάση το συνολικό μήκος των διαδρομών παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 10 και παρατηρείται ότι η πλειοψηφία των γραμμών έχουν μήκος 10 με 20 χιλιόμετρα και μέσο μήκος τα 23,21χιλιόμετρα.



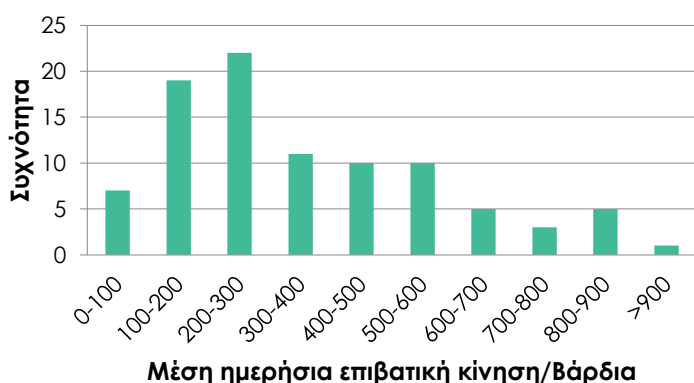
Διάγραμμα 10: κατανομή γραμμών με βάση το συνολικό μήκος

Στο Διάγραμμα 11 παρουσιάζεται η κατανομή των πραγματοποιημένων προς τα προγραμματισμένα δρομολόγια. Παρατηρείται ότι το 53% των γραμμών πραγματοποιούνται κανονικά με βάση τα προγραμματισμένα δρομολόγια, ενώ στο εναπομένον 47% των γραμμών υπάρχουν αποκλίσεις ανάμεσα στα δρομολόγια που έχουν προγραμματιστεί και σε αυτά που τελικώς εκτελούνται.



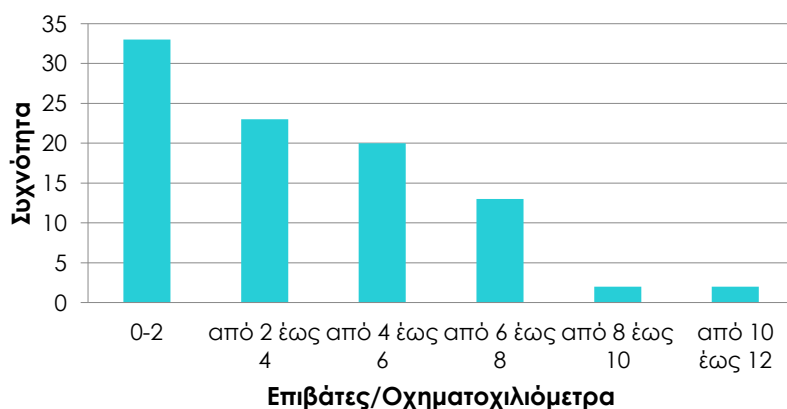
Διάγραμμα 11: κατανομή εκτελεσμένων προς προγραμματισμένων δρομολογίων

Η επιβατική κίνηση των γραμμών δόθηκε σε επιβάτες ανά ημέρα ανά βάρδια και εμφανίζεται στο Διάγραμμα 12. Η μέση επιβατική κίνηση είναι 356 άτομα ανά βάρδια, η μέγιστη φτάνει τους 943 επιβάτες ανά βάρδια κυρίως τις ώρες αιχμής, ενώ η συχνότερη τιμή της ημερήσιας επιβατικής κίνησης κυμαίνεται στα 250 άτομα ανά βάρδια.



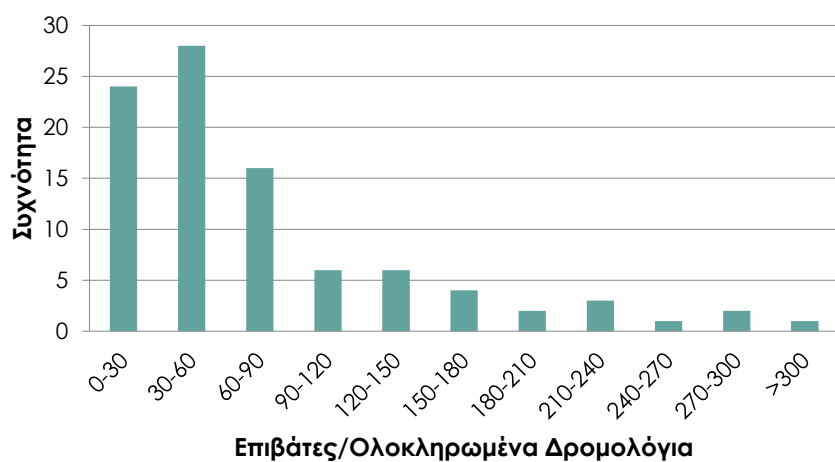
Διάγραμμα 12: Κατανομή ημερήσιας επιβατικής κίνησης ανά βάρδια

Η επιβατική κίνηση ανά εκτελεσμένα οχηματοχιλιόμετρα παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 13 με μέγιστη επιβίβαση τα 12 άτομα ανά οχηματοχιλιόμετρο και μέση επιβίβαση τα 4 άτομα ανά οχηματοχιλιόμετρο. Η συνηθέστερη τιμή είναι έως 2 επιβάτες ανά οχηματοχιλιόμετρο.



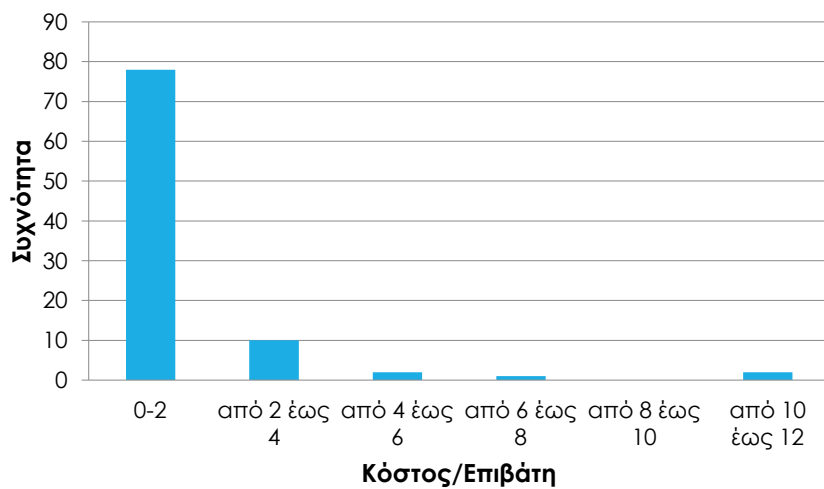
Διάγραμμα 13: κατανομή επιβατικής κίνησης ανά οχηματοχιλιόμετρο

Στο Διάγραμμα 14 εμφανίζεται η κατανομή της επιβατικής κίνησης ανά εκτελεσμένο δρομολόγιο για κάθε γραμμή. Παρατηρείται ότι ο μέσος όρος επιβατών ανά εκτελεσμένο δρομολόγιο ανέρχεται στους 76, ενώ μεγαλύτερη συχνότητα παρουσιάζουν οι γραμμές με 30 έως 60 επιβάτες ανά εκτελεσμένο δρομολόγιο.



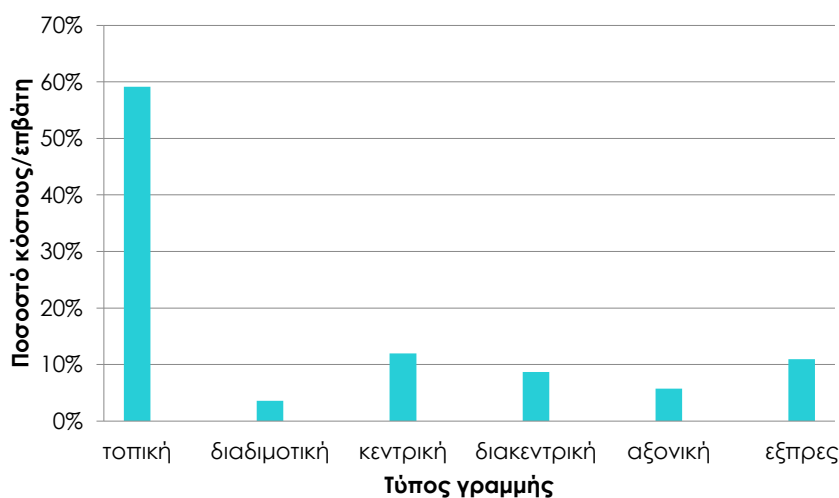
Διάγραμμα 14: κατανομή επιβατικής κίνησης ανά ολοκληρωμένο δρομολόγιο

Στο Διάγραμμα 15 παρατίθεται η κατανομή του κόστους ανά επιβάτη με το μέσο κόστος να φθάνει στα 2 ευρώ. Το κόστος ανά επιβάτη μελετάται και με βάση τον τύπο των γραμμών στο Διάγραμμα 16, με την τοπική γραμμή να παρουσιάζει το υψηλότερο κόστος ανά επιβάτη.



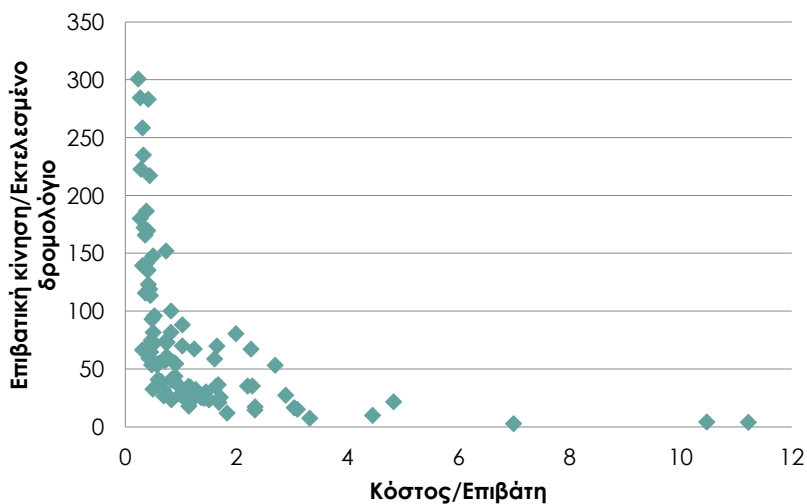
Διάγραμμα 15: κατανομή κόστους ανά επιβάτη



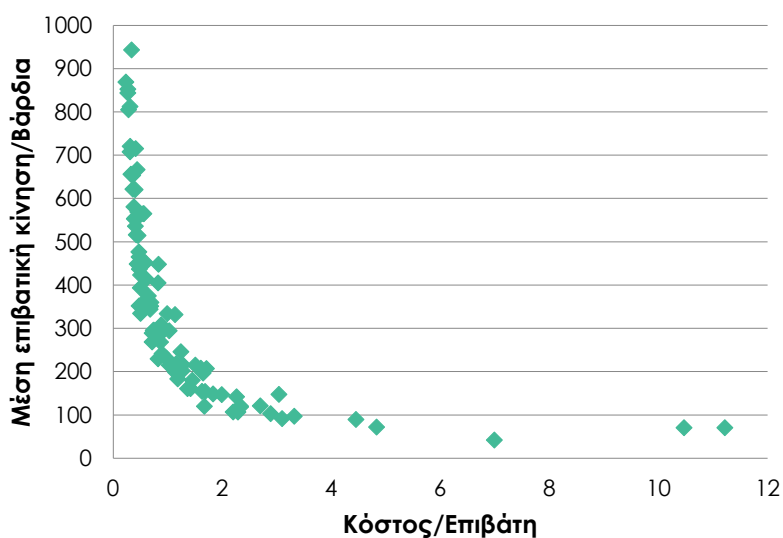


Διάγραμμα 16: ποσοστό κόστους ανά επιβάτη με βάση τον τύπο της γραμμής

Στη συνέχεια το Διάγραμμα 17 απεικονίζει τη σχέση ανάμεσα στο κόστος ανά επιβάτη και στην επιβατική κίνηση ανά εκτελεσμένα δρομολόγια, ενώ το Διάγραμμα 18 παρουσιάζει τη σχέση ανάμεσα στο κόστος ανά επιβάτη και στην επιβατική κίνηση ανά βάρδια. Και στις δύο περιπτώσεις παρατηρείται πως όσο μειώνεται ο αριθμός των εκτελεσμένων δρομολογίων ή της επιβατικής κίνησης, τόσο το κόστος αυξάνεται.

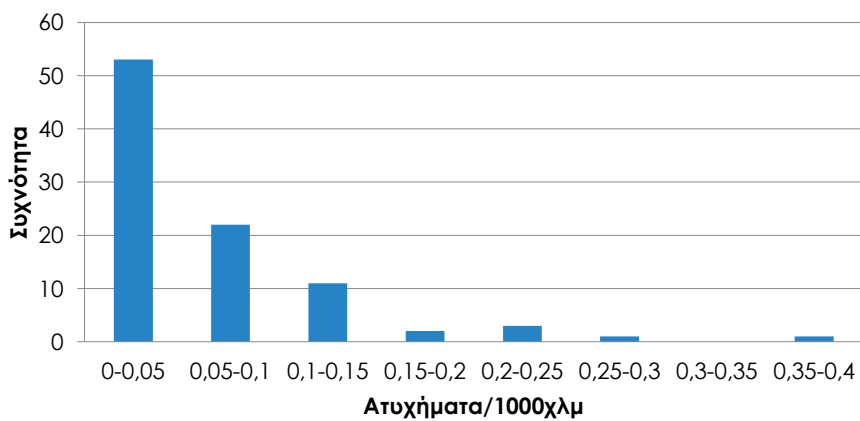


Διάγραμμα 17: κατανομή κόστους/επιβάτη με βάση την επιβατική κίνηση/εκτελεσμένα δρομολόγια

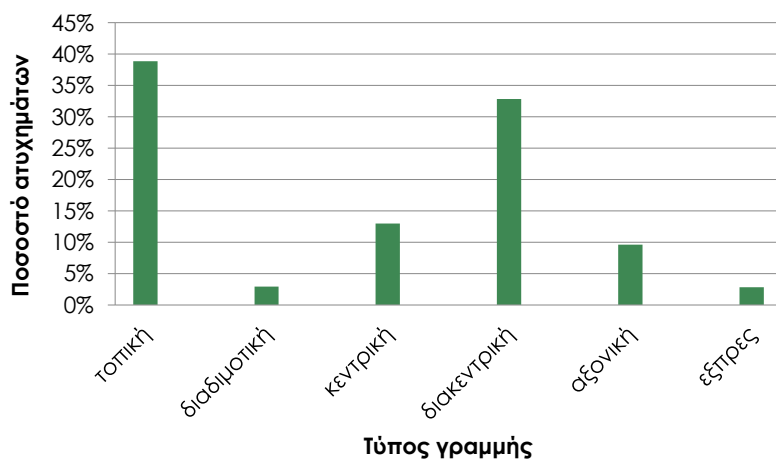


Διάγραμμα 18: κατανομή κόστους σε σχέση με την επιβατική κίνηση ανά βάρδια

Όσον αφορά τα ατυχήματα ανά 100χλμ στο Διάγραμμα 19 και στο Διάγραμμα 20 εμφανίζονται οι κατανομές εμφάνισης ατυχημάτων και το ποσοστό των ατυχημάτων με βάση τον τύπο της γραμμής αντίστοιχα. Διαπιστώνεται ότι τα περισσότερα ατυχήματα εμφανίζονται στις τοπικές και στις διακεντρικές γραμμές, ενώ η συχνότητα εμφάνισης ατυχήματος είναι αρκετά μειωμένη.

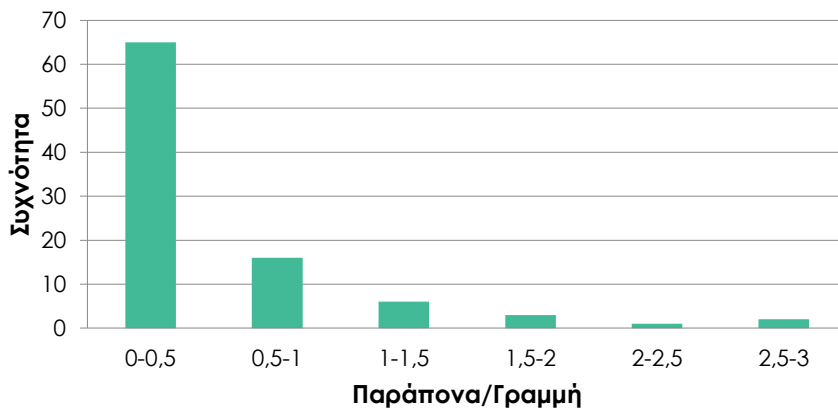


Διάγραμμα 19: κατανομή ατυχημάτων/1000χλμ

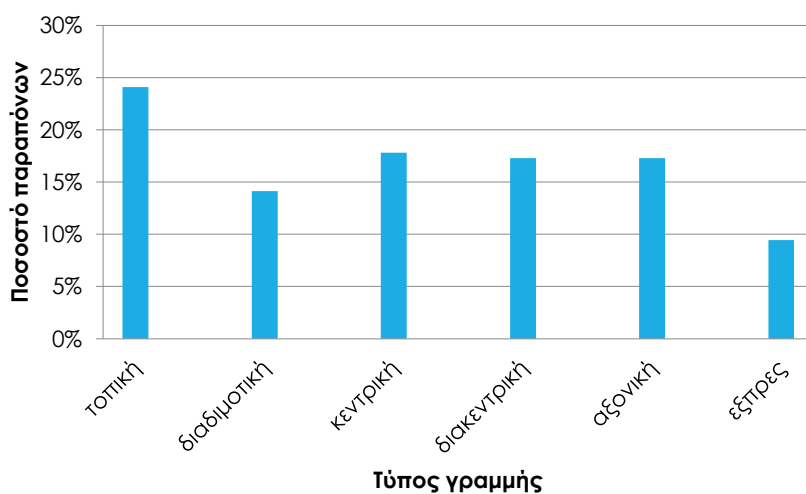


Διάγραμμα 20: ποσοστό ατυχημάτων/1000χλμ με βάση τον τύπο της γραμμής

Στο Διάγραμμα 21 παρουσιάζεται η κατανομή των παραπόνων ανά γραμμή, ενώ στο Διάγραμμα 22 το ποσοστό των παραπόνων ανά γραμμή με βάση το τύπο της γραμμής.

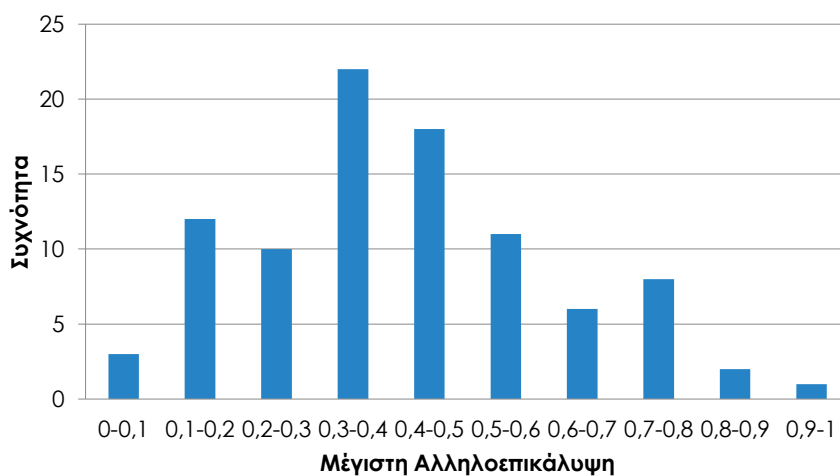


Διάγραμμα 21: κατανομή παραπόνων ανά γραμμή



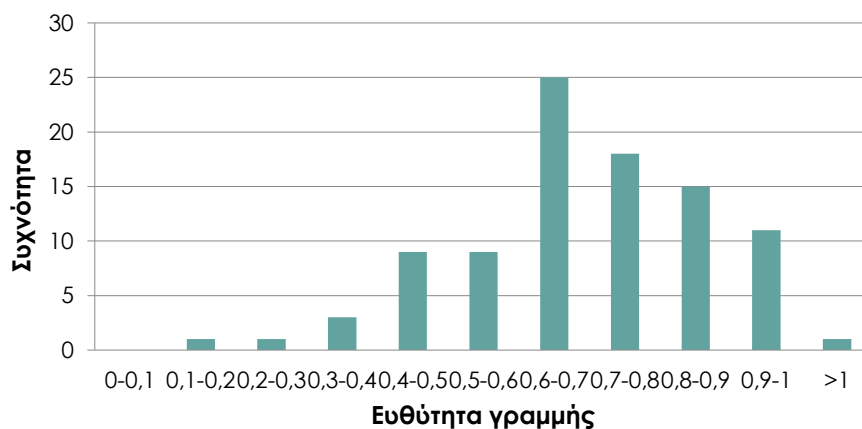
Διάγραμμα 22: ποσοστό των παραπόνων ανά γραμμή με βάση το τύπο της γραμμής

Στο Διάγραμμα 23 παρουσιάζεται η κατανομή της αλληλοεπικάλυψης ανά γραμμή. Παρατηρείται ότι κατά μέσο όρο οι γραμμές αλληλοεπικαλύπτονται σε ποσοστό 42%, ενώ οι περισσότερες γραμμές παρουσιάζουν αλληλοεπικάλυψη μεταξύ 30% και 40%.



Διάγραμμα 23: κατανομή αλληλοεπικάλυψης γραμμών

Τέλος, στο Διάγραμμα 24 φαίνεται η κατανομή της ευθύτητας της γραμμής. Ο μέσος όρος ευθύτητας φθάνει το 70%, ενώ η συχνότητα ευθύτητας της γραμμής ανάμεσα στο 60% με 70%.



Διάγραμμα 24: κατανομή ευθύτητας γραμμών

#### 4. Αξιολόγηση δεδομένων

Το σύνολο των γραμμών που διατέθηκαν από την ΟΣΥ Α.Ε. ήταν 93 γραμμές. Το σύνολο του στόλου της εταιρείας όμως αποτελείται σχεδόν από 300 γραμμές. Δεν δόθηκε μεγαλύτερος αριθμός λεωφορειακών γραμμών λόγω της έλλειψης επαρκών στοιχείων σχετικά με την επιβατική κίνηση. Συνεπώς, ένας βασικός προβληματισμός της έρευνας είναι η έλλειψη αυτή των στοιχείων σχετικά με τις λεωφορειακές γραμμές, διότι το δείγμα των δεδομένων δεν μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό, όσον αφορά στην απόδοση του γενικού συστήματος των οδικών συγκοινωνιών. Παρόλα αυτά, είναι σε θέση να εκφράσει αποτελεσματικά την μεθοδολογία σχετικά με την αξιολόγηση των γραμμών και να καταλήξει σε συμπεράσματα αποκλειστικά για τις δοθέντες γραμμές.

Επιπροσθέτως, πρέπει να σημειωθεί ότι ανάμεσα στις λεωφορειακές γραμμές που θα μελετηθούν υπάρχουν 2 λεωφορειακές γραμμές οι οποίες εξυπηρετούν συγκεκριμένους κοινωνικούς σκοπούς και ακόμα 2 που λειτουργούν επί 24ωρης βάσης. Οι λεωφορειακές αυτές γραμμές είναι οι εξής:

Λεωφορειακή γραμμή 418: Σταθμός Εθνική Άμυνα- Σχολική Χολαργού. Η συγκεκριμένη γραμμή έχει την ιδιαιτερότητα ότι εξυπηρετεί αποκλειστικά μαθητές που φοιτούν στα σχολεία του δήμου Χολαργού, λόγω της απόστασης τους από τις οικίες των μαθητών. Λεωφορειακή γραμμή 750: Αττικό Νοσοκομείο-Σταθμός Αιγάλεω-Νίκαια. Η τοποθεσία του συγκεκριμένου νοσοκομείου είναι στα όρια της κατοικημένης περιοχής του Χαϊδαρίου και είναι εύκολα προσβάσιμη για τα οχήματα, όχι όμως για τα άτομα που κινούνται με τα μέσα μαζικής μεταφοράς. Έτσι ήταν αναγκαία η λειτουργία ενός

λεωφορείου για την άμεση εξυπηρέτηση των ατόμων που είχαν ως προορισμό το Αττικό νοσοκομείο.

Λεωφορειακή γραμμή 11: Άνω Πατήσια-Παγκράτι-Νέα Ελβετία. Το τρόλεϊ αυτό λειτουργεί επί εικοσιτετραώρου βάσεως εξυπηρετώντας τις περιοχές δίπλα στο Βύρωνα ενώνοντας αυτές με το κέντρο της Αθήνας και στη συνέχεια καταλήγοντας στις γειτονιές του Γαλασίου.

Λεωφορειακή γραμμή Χ14: Σύνταγμα-Κηφισιά. Αποτελεί μια καθαρά νυχτερινή γραμμή που ξεκινά μετά τα μεσάνυχτα ως τις πρώτες πρωινές ώρες ενώνοντας τον δήμο Κηφισιάς και τα Βόρεια Προάστια με το κέντρο της Αθήνας.

Οι συγκεκριμένες γραμμές θα μελετηθούν όπως και όλες οι υπόλοιπες, αλλά παρόλα αυτά θα πρέπει να επανεξετασθούν όσον αφορά τους κοινωνικούς σκοπού που εξυπηρετούν κατά την λειτουργία τους.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΛΕΩΦΟΡΕΙΑΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΟΣΥ

## 5.1 Καθορισμός Δεδομένων Μοντέλου

Η αξιολόγηση σχετικά με την απόδοση των λεωφορειακών γραμμών της ΟΣΥ Α.Ε. πραγματοποιήθηκε μέσω της εφαρμογής της μη παραμετρικής μεθόδου DEA, η οποία προσαρμόστηκε στο πρόγραμμα Rstudio και αναλύεται στην συγκεκριμένη ενότητα.

Η βάση δεδομένων, που δόθηκε, περιέχει μεγάλο αριθμό πληροφοριών σχετικά με την κάθε λεωφορειακή γραμμή, με την βοήθεια των οποίων πραγματοποιήθηκε μια πρώτη ανάλυση των γραμμών στην προηγούμενη ενότητα.

Για την εφαρμογή της μεθόδου Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων επιλέχθηκαν τρία στοιχεία ως δεδομένα εισόδου (inputs) και άλλα τρία στοιχεία ως δεδομένα εξόδου (outputs), τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω. Η απόφαση για την επιλογή των συγκεκριμένων στοιχείων στηρίχθηκε στον ρόλο που διαδραματίζουν για την αποτύπωση της αποδοτικότητας με βάση την βιβλιογραφία.

Δεδομένα Εισόδου:

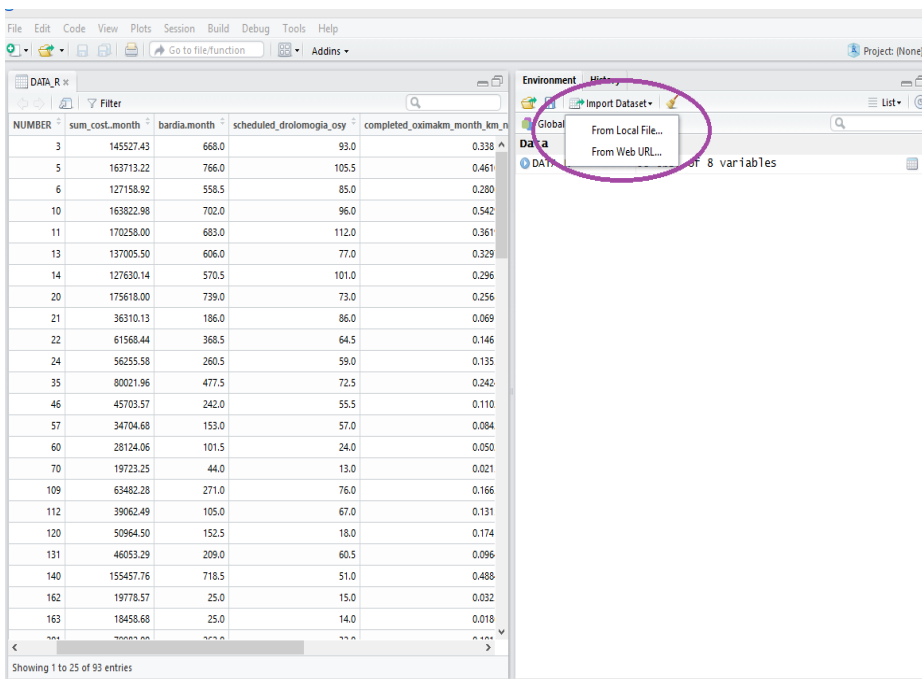
- Συνολικό κόστος/ Μήνα: Αποτελεί το σύνολο των δαπανών που απαιτούνται για την ορθή λειτουργία των λεωφορειακών γραμμών. Αναλυτική περιγραφή του κόστους παρατίθεται στο κεφάλαιο 2.
- Βάρδια/Μήνα: Εκφράζει τον αριθμό των εργαζόμενων που απασχολούνται κατά την διάρκεια ενός μήνα για κάθε λεωφορειακή γραμμή.
- Προγραμματισμένα δρομολόγια: Αφορά τον αριθμό των δρομολογίων που πρέπει να πραγματοποιηθούν κάθε μέρα σε συγκεκριμένες ώρες, έχουν σχεδιάσει από τα άτομα της διοίκηση των μέσων μαζικής μεταφοράς και είναι γνωστά στο επιβατικό κοινό για την διευκόλυνση τους.

Δεδομένα Εξόδου:

- Εκτελεσμένα οχηματοχιλιόμετρα/Μήνα: Είναι ο αριθμός των οχηματοχιλιομέτρων που διένυσαν στην διάρκεια ενός μήνα τα οχήματα που εκτέλεσαν την διαδρομή της κάθε γραμμής.
- Επιβάτες/ Εκτελεσμένα δρομολόγια: Αναφέρεται στο σύνολο των επιβατών που χρησιμοποίησαν την εκάστοτε λεωφορειακή γραμμή για την μετακίνησή τους, διαιρεμένο με τα δρομολόγια της γραμμής, τα οποία εκτελέστηκαν.
- Εκτελεσμένα δρομολόγια: Αποτελεί το σύνολο των προγραμματισμένων δρομολογίων, τα οποία πραγματοποιήθηκαν σε ένα μήνα. Πολλές φορές τα προγραμματισμένα και τα εκτελεσμένα δρομολόγια μιας γραμμής δεν συμπίπτουν επειδή, είτε υπήρχε έλλειψη προσωπικού είτε για άλλους λόγους, και έτσι δεν εκτελέστηκε κάποιο δρομολόγιο.

## 5.2 Μεθοδολογία

Αφού επιλέχθηκαν τα δεδομένα εισόδου και εξόδου, καταχωρήθηκαν σε ένα φύλλο εργασίας του Microsoft Excel με όνομα "DATA\_R" και αποθηκεύτηκαν σε μορφή .csv (αρχείο τιμών διαχωρισμένο με κόμμα), ώστε να μπορούν να είναι συμβατά με το Rstudio. Στη συνέχεια μέσω της εντολής Import Dataset πραγματοποιήθηκε όπως φαίνεται στην Εικόνα 13 εισαγωγή των δεδομένων στο πρόγραμμα.



Εικόνα 13: Εισαγωγή δεδομένων στο πρόγραμμα Rstudio



Η συγγραφή του κώδικα ξεκίνησε με τον διαχωρισμό των δεδομένων σε εισροές και εκροές και την τοποθέτησή τους σε δυο ξεχωριστούς πίνακες με την βοήθεια των εντολών που παρουσιάζονται στην Εικόνα 14.

```
1 # Import data-Εισαγωγή δεδομένων
2 #Με την εντολή Import Dataset στη θέση Environment δεξιά του παραθύρου
3
4 # Create files-Δημιουργία Αρχείων
5 inputs<- data.frame(DATA_R[c(3,4,5)])
6 outputs<- data.frame(DATA_R[c(6,7,8)])
7
8 N<- dim(DATA_R)[1] #ρυθμίζει της διαστάσης των 93 λεωφορειακών γραμμών
9 s<- dim(inputs)[2]# ρυθμίζει της διαστάσης των 3 εισροών
10 m<- dim(outputs)[2]#ρυθμίζει της διαστάσης των 3 εκροών
11
```

Environment History

Global Environment	
DATA_R	93 obs. of 8 variables
inputs	93 obs. of 3 variables
outputs	93 obs. of 3 variables

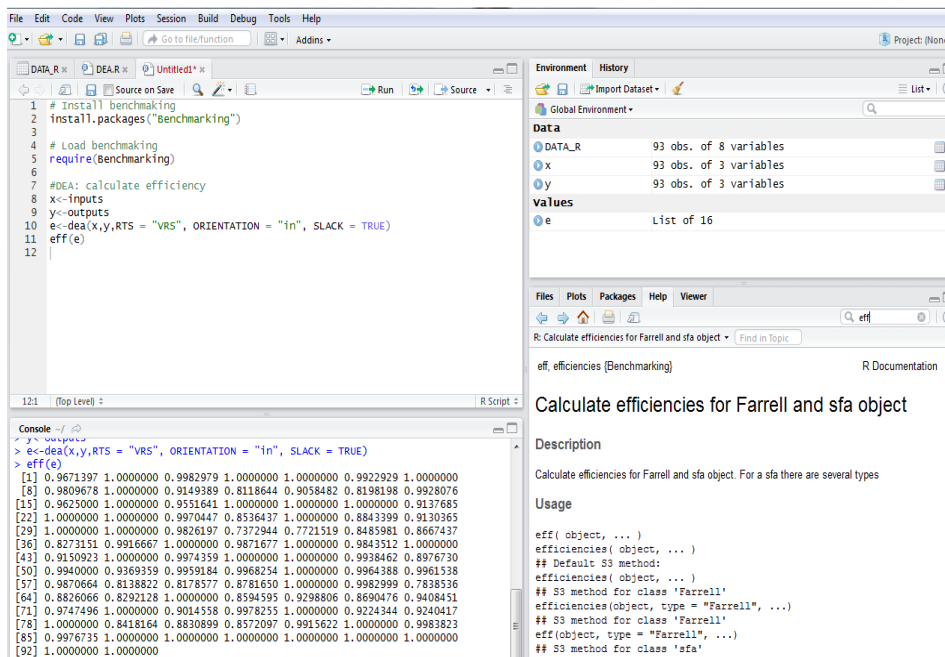
Values

m	3L
N	93L
s	3L

```
> DATA_R <- read.csv2("E:/R/data for R/DATA_R.csv")
> view(DATA_R)
> inputs<- data.frame(DATA_R[c(3,4,5)])
> outputs<- data.frame(DATA_R[c(6,7,8)])
> N<- dim(DATA_R)[1]
> s<- dim(inputs)[2]
> m<- dim(outputs)[2]
> view(inputs)
```

Εικόνα 14: Διαχωρισμός δεδομένων σε εισροές και εκροές

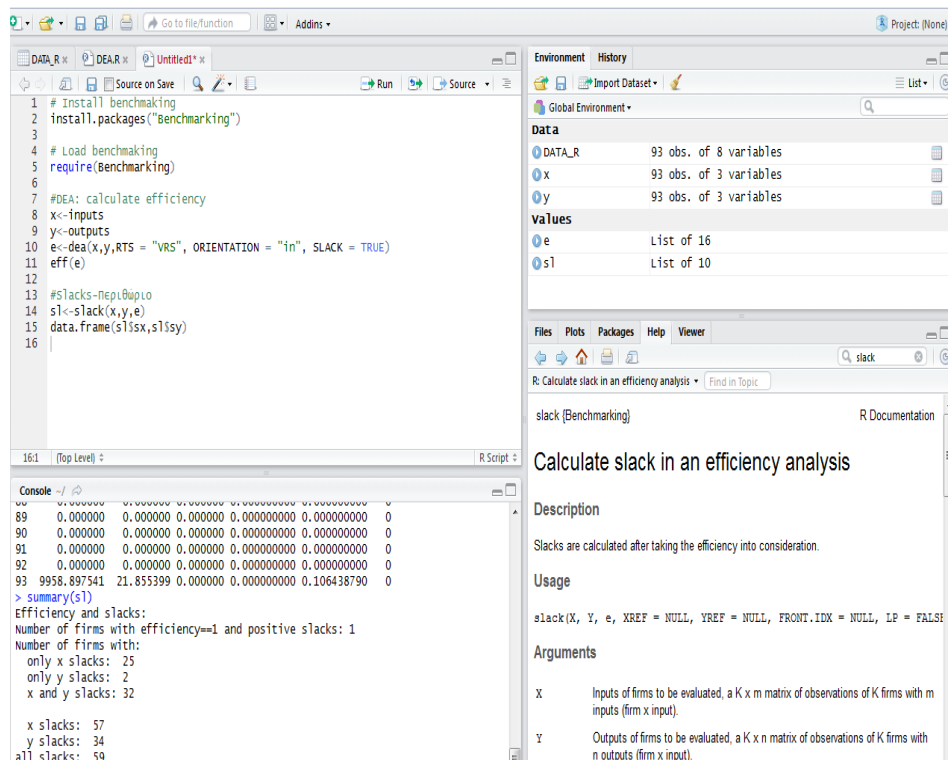
Έπειτα, απαιτείται η εγκατάσταση και η φόρτωση του πακέτου benchmarking, με την βοήθεια του οποίου υπολογίζεται η αποδοτικότητα των δοθέντων λεωφορειακών γραμμών μέσω των παρακάτω εντολών της Εικόνας 15.



Εικόνα 15: Υπολογισμός αποδοτικότητας

Ο υπολογισμός της αποδοτικότητας πραγματοποιήθηκε με προσανατολισμό τις εισροές, διότι απαιτείται η χρήση όσο των λιγότερων δυνατών πόρων-εισροών για ένα συγκεκριμένο επίπεδο παραγωγής- εκροών. Επίσης επιλέχθηκε Κλίμακα Μεταβλητών Αποδόσεων (VRS), διότι το μοντέλο αυτό επιτρέπει την μη ανάλογη μεταβολή στις εκροές από ότι συμβαίνει στις εισροές.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει ο υπολογισμός του βαθμού μεταβολής των τιμών των δεδομένων εισόδου ή εξόδου που απαιτούνται με σκοπό μια παραγωγική μονάδα να μετατραπεί σε αποδοτική ή να παραμείνει αποδοτική, εκμεταλλευόμενη ταυτόχρονα τον βέλτιστο συνδυασμό εισροών-εκροών. Σύμφωνα με την Εικόνα 16 ο υπολογισμός αυτός πραγματοποιείται με την βοήθεια της εντολής `slack` στο πρόγραμμα Rstudio.



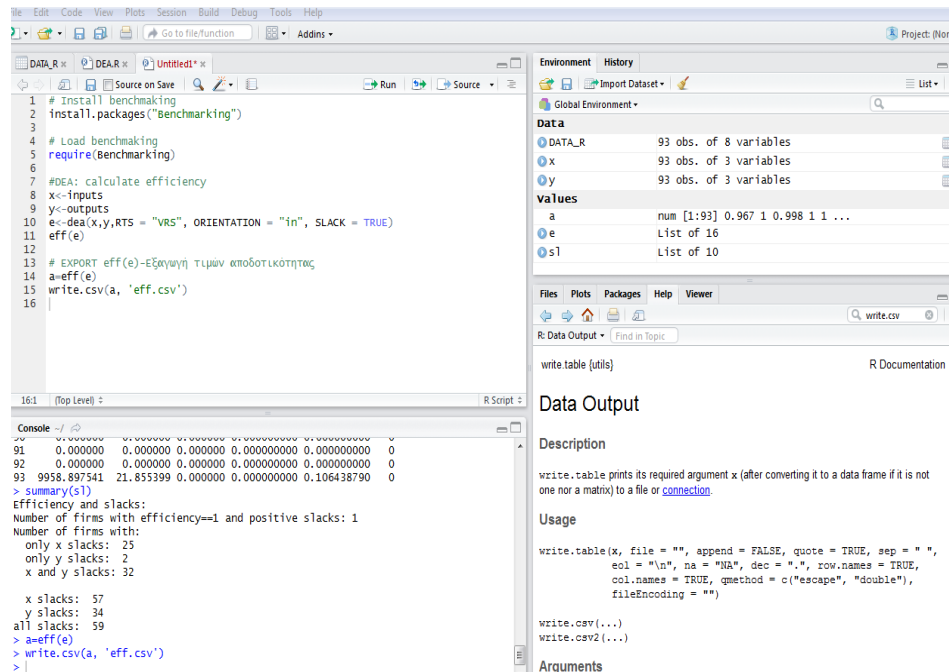
Εικόνα 16: Εντολή slack

Ο όρος slack ή αλλιώς Περιθώριο εμφανίστηκε λόγω του μειονεκτήματος της προσέγγισης Farrell στη μέθοδο DEA που επικεντρώνεται στο γεγονός ότι μια Παραγωγική Μονάδα ενώ έχει τιμή απόδοσης ίση με την μονάδα, να εξακολουθεί να είναι αναποτελεσματική, με την έννοια ότι ορισμένες τιμές των δεδομένων εισόδου θα μπορούσαν να μειωθούν ή κάποιες τιμές των δεδομένων εξόδου να επεκταθούν χωρίς να επηρεάζεται η ανάγκη για επιπλέον εισροές ή παραγωγή άλλων εξόδων. Τα Περιθώρια, βέβαια δεν αναφέρονται αποκλειστικά στις αποδοτικές παραγωγικές μονάδες, αλλά περιλαμβάνουν και τις μη αποδοτικές.

Το πρόβλημα των Περιθωρίων επιλύεται με δύο τρόπους. Πρώτον με την εφαρμογή ενός παράγοντα που είναι σε θέση να εντοπίσει το περιθώριο κατά την εφαρμογή της μεθόδου DEA, χωρίς όμως να επηρεάσει τα αποτελέσματα της μεθόδου. Ο δεύτερος τρόπος είναι η επίλυση ενός διπλού προβλήματος (dual problem), που έχει ως αρχή ότι τα προβλήματα βελτιστοποίησης μπορούν να θεωρηθούν από δύο οπτικές γωνίες. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε ο πρώτος τρόπος υπολογισμού των Περιθωρίων, αφού για αρχή υπολογίστηκε η τιμή της αποδοτικότητας των λεωφορειακών γραμμών.

Προκειμένου να μελετηθούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις ανωτέρω εντολές του κώδικα στο Rstudio, αναγκαία είναι η εξαγωγή των

δεδομένων σε αρχεία του Microsoft Excel, που πραγματοποιήθηκε με τις εντολές που παρουσιάζονται στην παρακάτω Εικόνα....



Εικόνα 17: Εξαγωγή αποτελεσμάτων σε αρχείο μορφής excel

## 5.3 Αποτελέσματα

### 5.3.1 Απόδοση

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4 του Παραρτήματος, στο οποίο παρουσιάζονται οι τιμές της αποδοτικότητας των λεωφορειακών γραμμών (efficiencies scores) προκύπτει ότι η πλειοψηφία των γραμμών κρίθηκαν ως μη αποδοτικές. Αναλυτικότερα, στη συγκεκριμένη μελέτη από το σύνολο των 93 λεωφορειακών γραμμών οι 35 (38%) αποδεικνύεται ότι είναι αποδοτικές εφόσον η τιμή της απόδοσης τους ήταν ίση με 1, ενώ οι υπόλοιπες 58 (62%) μη αποδοτικές με τιμής απόδοσης μικρότερη της μονάδας. Οι αποδοτικές γραμμές παρατίθενται στον Πίνακα 2 και οι 10 μη αποδοτικές γραμμές με την μικρότερη τιμή απόδοσης στον Πίνακα 3.

Πίνακας 2: Αποδοτικές λεωφορειακές γραμμές

Αριθμός λεωφορειακής γραμμής	Αποδοτικότητα
5	1,000
10	1,000
11	1,000
14	1,000
021	1,000
070	1,000
112	1,000
120	1,000
131	1,000
162	1,000
163	1,000
219	1,000
302	1,000
306	1,000
501	1,000
527	1,000
604	1,000
608	1,000
640	1,000
651	1,000
721	1,000
821	1,000
843	1,000
906	1,000
914	1,000
A7	1,000
B9	1,000
Γ18	1,000
Γ9	1,000
E22	1,000
X14	1,000
X93	1,000
X95	1,000
X96	1,000
X97	1,000

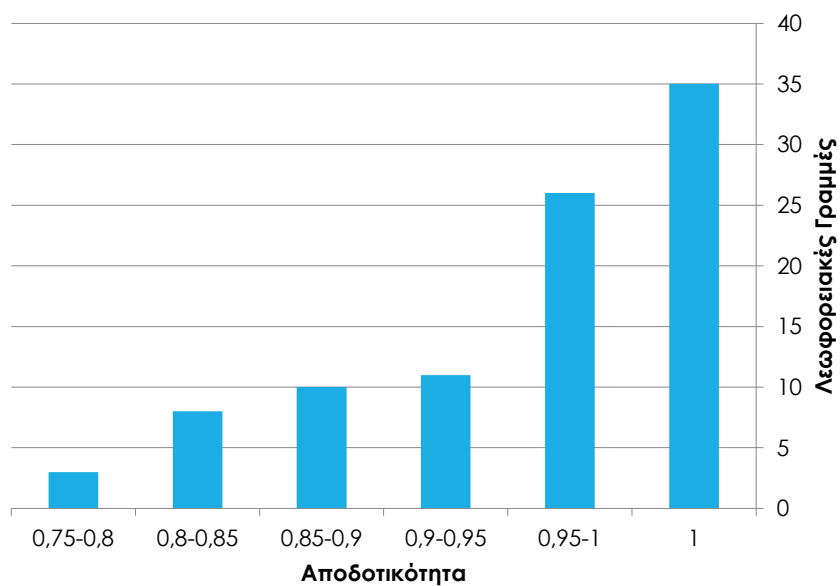
Πίνακας 3: Αποδοτικότητα των 10 λεωφορειακών γραμμών με την μικρότερη απόδοση

Αριθμός λεωφορειακής γραμμής	Αποδοτικότητα
<b>B1</b>	0,842
<b>830</b>	0,829
<b>421</b>	0,827
<b>046</b>	0,820
<b>803</b>	0,818
<b>750</b>	0,814
<b>024</b>	0,812
<b>827</b>	0,784
<b>406</b>	0,772
<b>404</b>	0,737

Η πλειοψηφία των μη αποδοτικών λεωφορειακών γραμμών δεν απέχουν πολύ από την μονάδα, με ελάχιστες γραμμές να βρίσκονται κάτω από το 0,8. Η μειωμένη αυτή διασπορά των αποτελεσμάτων, στην παρούσα εργασία, με το συγκεκριμένο αριθμό λεωφορειακών γραμμών και δεδομένων, δείχνει ότι οι μη αποδοτικές λεωφορειακές γραμμές λειτουργούν σχεδόν αποδοτικά σε σχέση με τις αποδοτικές γραμμές και με μικρές αλλαγές των χαρακτηριστικών τους θα αγγίξουν όλες την αποδοτικότητα.

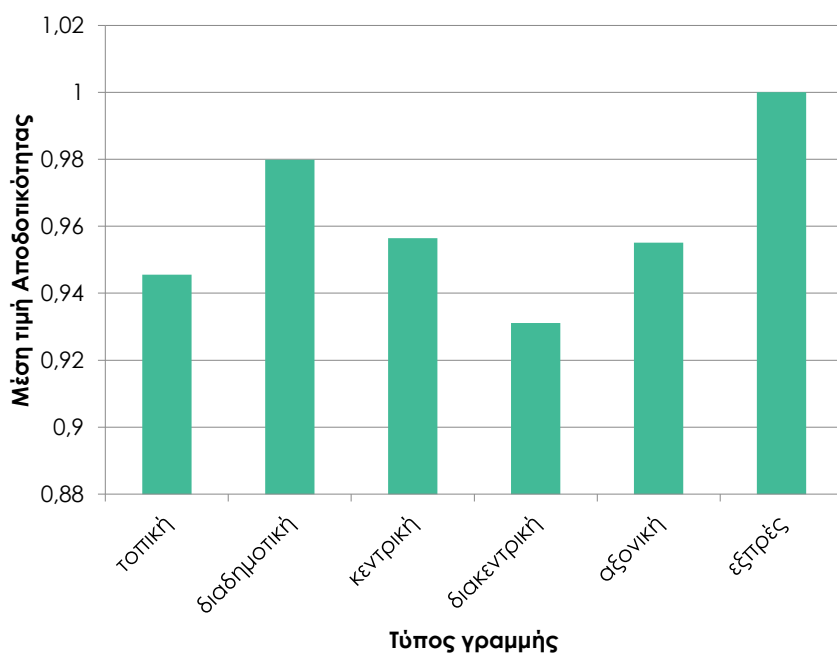
Την μικρότερη απόδοση της μελέτης παρουσιάζουν οι λεωφορειακές γραμμές "404: Σταθμός Εθνική Άμυνα-Σταθμός Χαλανδρίου", "406: Σταθμός Νομισματοκοπείο-Αγία Παρασκευή-Σταθμός Πλακεντίας" που εκτελούν τοπική διαδρομή και η κυκλική γραμμή "827: Πειραιάς-Γ' Νεκροταφείο-Άσπρα Χώματα". Όλες οι υπόλοιπες γραμμές έχουν απόδοση άνω της τιμής του 0,8.

Επιπροσθέτως, καμία από τις γραμμές που αξιολογήθηκαν δεν έχει τιμή απόδοσης κοντά στο 0, οπότε καμία δεν θεωρείται τελείως μη αποδοτική. Εάν εμφανιζόταν αυτή η περίπτωση, είναι πιθανόν να απαιτούνταν ανασχεδιασμός της γραμμής ή και κατάργηση αυτής με ταυτόχρονο σχεδιασμό μιας νέας γραμμής ή αλληλοεπικάλυψης της από άλλες προϋπάρχουσες γραμμές. Η διασπορά των αποτελεσμάτων της απόδοσης των μελετηθέντων γραμμών παρουσιάζεται στον Διάγραμμα 25.



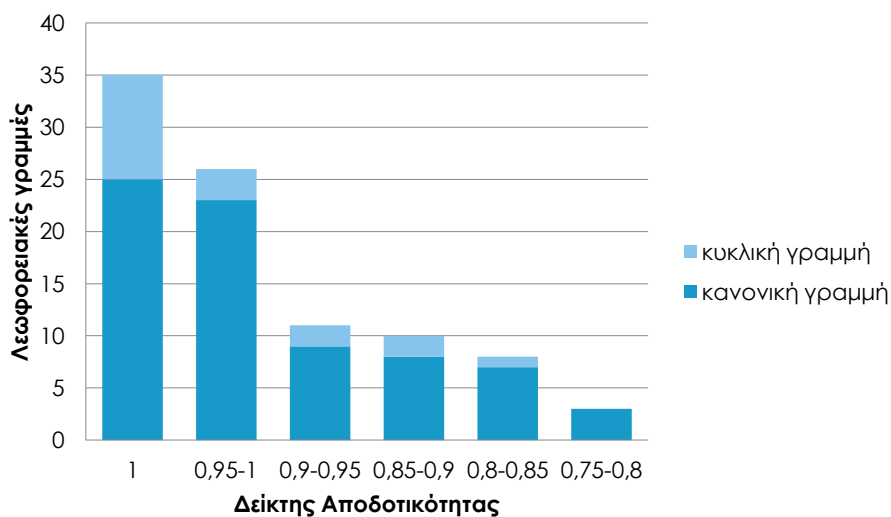
*Διάγραμμα 25: Κατανομή αποδοτικότητας στις λεωφορειακών γραμμών*

Αναλύοντας τα αποτελέσματα του βαθμού αποδοτικότητας σε σχέση με το είδος της εκάστοτε γραμμής, προέκυψε πως και οι πέντε διαδημοτικές λεωφορειακές γραμμές είναι μη αποδοτικές, ενώ όσες λειτουργούν ως γραμμές express είναι αποδοτικές. Έπονται οι κεντρικές γραμμές με το 31% αυτών να θεωρούνται αποδοτικές, οι τοπικές λεωφορειακές γραμμές αποτελούνται από 26 μη αποδοτικές γραμμές (67%), το 53% των διακεντρικών γραμμών είναι μη αποδοτικό και το 62% των αξονικών γραμμών είναι επίσης μη αποδοτικό. Τα ανωτέρω συμπεράσματα παρατίθενται στο Διάγραμμα 26.



Διάγραμμα 26: Κατανομή αποδοτικότητας με βάση το είδος της λεωφορειακής γραμμής

Στο Διάγραμμα 27 παρουσιάζεται η κατανομή των λεωφορειακών γραμμών που εκτελούν κυκλική και κανονική διαδρομή σε συνδυασμό με την απόδοση τους. Προκύπτει ότι μεγάλο ποσοστό των κυκλικών λεωφορειακών γραμμών είναι αποδοτικές.



Διάγραμμα 27: Κατανομή αποδοτικότητας λεωφορειακών γραμμών ανάλογα με τον τύπο της γραμμής



Η σχέση μεταξύ της απόδοσης και των αμαξοστασίων στα οποία είναι σταθμευμένα τα οχήματα της εκάστοτε γραμμής είναι δύσκολο να υπολογιστεί πλήρως. Αυτό οφείλετε στο γεγονός ότι στη συγκεκριμένη εργασία δεν μελετώνται όλες οι λεωφορειακές γραμμές του κάθε αμαξοστασίου ώστε να προκύψουν σαφή και εμπειριστατωμένα συμπεράσματα.

### 5.3.2 Slacks (Περιθώρια)

Τα Περιθώρια εκφράζουν την πρόσθετη μεταβολή που απαιτείται ώστε μια παραγωγική μονάδα για να γίνει αποδοτική. Η προαναφερθείσα μεταβολή επιτυγχάνεται είτε με αύξηση των εισροών ή μείωση των εισροών. Επίσης εκφράζει την μεταβολή των δεδομένων εισόδου ή εξόδου των Παραγωγικών Μονάδων ώστε οι αποδοτικές μονάδες που είναι αναποτελεσματικές να αποκτήσουν τον βέλτιστο ζευγάρι εισροών- εκροών, παραμένοντας αποδοτικές.

Τα αποτελέσματα από τον υπολογισμό των Περιθωρίων, παρουσιάζονται στον Πίνακα 5 του παραρτήματος στο τέλος της εργασίας. Στην περίπτωση που εμφανίζεται ο αριθμός 0 σημαίνει πως δεν υπάρχει σπατάλη σε αυτή την μεταβλητή.

Αρχικά, παρατηρείται ότι όλες οι λεωφορειακές γραμμές με βαθμό αποδοτικότητας 1 έχουν όλες τις τιμές των Περιθωρίων τους μηδενικές εκτός από μία. Όσον αφορά τις γραμμές με μηδενική τιμή Περιθωρίου γίνεται αντιληπτό ότι δεν απαιτείται καμία μεταβολή στα δεδομένα εισόδου ή εξόδου. Άρα ο συνδυασμός εισροών και εκροών ήταν ο καλύτερος δυνατός.

Η express λεωφορειακή γραμμή "Χ97: Σταθμός Μετρό Ελληνικό-Αερολιμένας Αθηνών", παρόλο που είναι αποδοτική, βρέθηκε να έχει τιμές Περιθωρίων διαφορετικές το μηδέν. Συνεπάγεται ότι η ανωτέρω γραμμή έχει την δυνατότητα να μειώσει το μέσο μηνιαίο κόστος κατά 9.959 μονάδες και τα προγραμματισμένα δρομολόγια κατά 22 μονάδες ή να αυξήσει τον αριθμό των επιβατών ανά εκτελεσμένο δρομολόγιο και να συνεχίσει να έχει βαθμό απόδοσης ίσο με 1.

Όσον αφορά τις μη αποδοτικές λεωφορειακές γραμμές εμφανίζεται πληθώρα αποτελεσμάτων. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα εξόδου έχουν μηδαμινές μεταβολές, πολύ μικρότερες της μονάδας, με τα εκτελεσμένα δρομολόγια να απαιτούν μηδενική αύξηση για την επίτευξη της αποδοτικότητας. Ακολουθούν ο αριθμός των επιβατών ανά εκτελεσμένο δρομολόγιο με εξίσου μηδενική απαίτηση μεταβολής των μονάδων τους.

Έπεται ο αριθμός των μηνιαίων εκτελεσμένων δρομολογίων παρουσιάζει μέγιστη τιμή στη γραμμή τρόλεϊ "20: Ν.Φάληρο- Καστέλλα- Δραπετσώνα" επιτρέποντας την αύξηση του μεγέθους αυτού κατά 0,24 μονάδες. Ακόμα και η μέγιστη τιμή Περιθωρίου των μηνιαίων εκτελεσμένων δρομολογίων είναι πολύ

μικρή, άρα στα δεδομένα εξόδου δεν είναι αναγκαία κάποια σημαντική αλλαγή με σκοπό οι μη αποδοτικές γραμμές να αγγίξουν την αποδοτικότητα της παρούσας μελέτης.

Αντίθετα από τις εκροές, στα δεδομένα εισόδου εντοπίζεται η υψηλότερη μεταβολή των τιμών τους. Ο αριθμός των μηνιαίων βαρδιών διαθέτει το περιθώριο να μειώσει τις μονάδες του στην πλειοψηφία των μη αποδοτικών λεωφορειακών γραμμών, με την γραμμή "035: Άνω Κυψέλη- Πετράλωνα-Ταύρος" να επιτρέπει την μέγιστη μείωση των μηνιαίων βαρδιών, αλλά ταυτόχρονα μηδενική μεταβολή όλων των υπόλοιπων δεδομένων εισόδου και εξόδου.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το μέσο μηνιαίο κόστος, λόγω της έντονης μεταβολής των τιμών των Περιθωρίων του. Αναλυτικότερα, το μεγαλύτερο μέρος των μη αποδοτικών λεωφορειακών γραμμών έχει μηδενική δυνατότητα μεταβολής των μονάδων του μέσου μηνιαίου κόστους, ενώ ένα υπόλοιπο μέρος τους έχει το περιθώριο υψηλής μείωσης των μονάδων του.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 6.1 Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αξιολόγηση των λεωφορειακών γραμμών της εταιρείας Οδικών Αστικών Συγκοινωνιών της Αθήνας, ως προς την απόδοση και την ορθή τους λειτουργία. Οι βάρδιες, τα κόστη, τα προγραμματισμένα με τα εκτελεσμένα δρομολόγια, ο αριθμός των επιβατών διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην επίτευξη του συγκοινωνιακού έργου, οπότε και λήφθηκαν υπόψη στην μελέτη αξιολόγησης των λεωφορειακών γραμμών.

Η αξιολόγηση που αναφέρθηκε προηγουμένως επιτεύχθηκε μέσω της εκτέλεσης της μεθόδου DEA. Η μέθοδος Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων είναι ένας αξιόπιστος τρόπος αξιολόγησης της λειτουργίας της κάθε λεωφορειακής γραμμής μεμονωμένα σε σχέση με τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά.

Πιο συγκεκριμένα, στην μέθοδο DEA όταν η τιμή της απόδοσης μιας γραμμής από την εφαρμογή της μεθόδου είναι ίση με την μονάδα, τότε η γραμμή θεωρείται αποδοτική σε σχέση με τις υπόλοιπες, διαφορετικά θεωρείται μη αποδοτική και είναι αναγκαία η εύρεση τρόπων για την μετατροπή της από μη αποδοτική σε αποδοτική. Άρα ορίζεται ένα σύνορο, κάτω από το οποίο βρίσκονται όλες οι παραγωγικές μονάδες- λεωφορειακές γραμμές. Οι αποδοτικές γραμμές εφάπτονται πάνω στο σύνορο αυτό, ενώ οι μη αποδοτικές βρίσκονται κάτω από αυτό και ταυτόχρονα παρουσιάζεται ο βέλτιστος συνδυασμός εισροών και εκροών της εκάστοτε μη αποδοτικής παραγωγικής μονάδας.

Η εφαρμογή της μεθόδου DEA παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στα άτομα που διοικούν την εταιρεία των Οδικών Συγκοινωνιών διότι αποτελεί σημαντική βοήθεια για την αξιολόγηση κάθε γραμμής ξεχωριστά, αλλά και του συστήματος των λεωφορειακών γραμμών ως ένα σύνολο. Μέσω της αξιολόγησης, τα άτομα θα είναι σε θέση να κατανοήσουν πλήρως τα μειονεκτήματα και τα πλεονεκτήματα της κάθε γραμμής, τις ελλείψεις που παρουσιάζει, καθώς και την σημασία της στο σύνολο του συγκοινωνιακού έργου. Τέλος θα αποφανθούν σχετικά με την πλήρη αλλαγή των χαρακτηριστικών και της λειτουργίας κάποιων γραμμών με σκοπό την βελτίωση της απόδοσης τους, καθώς και την κατάργηση κάποιων άλλων.

Η επιτυχής εφαρμογή της μεθόδου Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων πραγματοποιήθηκε μέσω του υπολογιστικού προγράμματος Rstudio, ένα περιβάλλον λογισμικού για στατιστικούς υπολογισμούς και γραφικά. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα ήταν πολύ εύχρηστο στην παρούσα μελέτη.

## 6.2 Βασικά Συμπεράσματα

Το κυριότερο μέγεθος που υπολογίστηκε, μέσω της ενσωμάτωσης της μεθόδου DEA στο πρόγραμμα Rstudio είναι η αποδοτικότητα των λεωφορειακών γραμμών. Οι πλειοψηφία των γραμμών ήταν μη αποδοτικές σε ποσοστό 62%. Συνεπώς, απαιτείται βελτίωση των χαρακτηριστικών των λεωφορειακών γραμμών ώστε να γίνουν αποδοτικές και να μειωθούν τυχόν προβλήματα που παρουσιάζουν.

Το γεγονός, όμως, ότι οι περισσότερες από τις μη αποδοτικές γραμμές κυμαίνονται από 0,85 και άνω, φανερώνει πως οι γραμμές αυτές είναι σε θέση να αγγίξουν την πλήρη αποδοτικότητα με μικρές βελτιώσεις. Άρα, απορρίπτεται η περίπτωση κατάργησης ή ανασχεδιασμού τους, κάτι που κοστίζει περισσότερο, διότι για την κατάργηση μιας γραμμής, κάποιες άλλες θα πρέπει να την αντικαταστήσουν, οπότε θα αυξηθεί η ζήτηση τους ως προς την επιβατική κίνηση, τα κόστη λειτουργίας κτλ.

Στη συνέχεια, στο πρόγραμμα Rstudio υπολογίστηκαν τα Περιθώρια των μη αποδοτικών γραμμών, δηλαδή το πόσο απαιτείται να μεταβληθούν οι τιμές των εισροών και των εκροών τους, ώστε να θεωρηθούν αποδοτικές οι γραμμές.

Συμπεράσματα σχετικά με την αποδοτικότητα του συστήματος των Οδικών Συγκοινωνιών ως σύνολο δεν είναι δυνατόν να διατυπωθούν, εφόσον μελετήθηκαν μόνο 93 λεωφορειακές γραμμές από τις που διαθέτει το σύστημα. Όπως έχει ήδη ειπωθεί και στο κεφάλαιο 4 η εκτέλεση του συγκοινωνιακού έργου πραγματοποιείται σχεδόν με 300 λεωφορειακές γραμμές, άρα οι γραμμές που μελετήθηκαν αποτελούν το ένα τρίτο (1/3) του συνόλου και δεν μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικό δείγμα.

Η έλλειψη λεπτομερέστερων στοιχείων σχετικά με την λειτουργία των λεωφορειακών γραμμών, καθώς και ο περιορισμένος αριθμός των γραμμών που δόθηκαν από την Ο.ΣΥ. Α.Ε. εμποδίζει στην απόκτηση μιας πλήρους εικόνας του συστήματος και στην εφαρμογή μιας ολοκληρωμένης μελέτης σχετικά με την απόδοση της κάθε λεωφορειακή γραμμής. Είναι πολύ πιθανόν ένα μέρος των αποτελεσμάτων των εντολών που εκτελέστηκαν να μην είναι πλήρως αξιόπιστα λόγω της έλλειψης δεδομένων.

### 6.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Αναφέρθηκε προηγουμένως πως η αξιολόγηση των λεωφορειακών γραμμών είναι αναγκαία για την ορθή εκτέλεση του συγκοινωνιακού έργου. Παρόλα αυτά, δεν είναι μόνο η αποδοτικότητα των γραμμών που προσφέρει βοήθεια προς αυτή την κατεύθυνση. Απαιτείται περαιτέρω έρευνα και μεμονωμένα για κάθε λεωφορειακή γραμμή, καθώς και για το σύνολο τους. Ως εκ τούτου, κρίνεται σημαντικό να επισημανθούν προτάσεις για περαιτέρω έρευνα στο συγκεκριμένο θέμα:

Όσον αφορά την κάθε λεωφορειακή γραμμή ξεχωριστά, προκειμένου να σχηματιστεί μια πλήρης εικόνα της λειτουργίας της εκτός από την απόδοση, μείζονα ρόλο διαδραματίζει και η αποτελεσματικότητα της. Με τον όρο αποτελεσματικότητα αναφερόμαστε στον κοινωνικό ρόλο που διαδραματίζει το εκάστοτε αστικό συγκοινωνιακό σύστημα σχετικά με τις σχεδιαζόμενες-προγραμματισμένες και τις προσφερόμενες υπηρεσίες.

Πέραν της αποτελεσματικότητας, ενδιαφέρον παρουσιάζει και ο δείκτης εξυπηρέτησης που επηρεάζει την εικόνα μιας λεωφορειακής γραμμής. Η εξυπηρέτηση εκφράζει την αξιοπιστία της εκάστοτε λεωφορειακής γραμμής απέναντι στους επιβάτες, δηλαδή κατά πόσο λειτουργεί καλά ή όχι μια λεωφορειακή γραμμή μέσα από την ματιά των επιβατών.

Συνεπώς λαμβάνοντας υπόψη τον συνδυασμό της αποδοτικότητας και της αποτελεσματικότητας, καθώς και του δείκτη εξυπηρέτησης της μελετώμενης λεωφορειακής γραμμής προκύπτουν σαφή και αξιόπιστα συμπεράσματα σχετικά με την λειτουργία της και τον βαθμό επίτευξης του απαιτούμενου έργου.

Εκτός της αξιολόγησης των λεωφορειακών γραμμών ως Παραγωγικές Μονάδες, ιδιαίτερη σημασία έχει και η μελέτη της ορθής λειτουργίας του συνόλου των Οδικών Συγκοινωνιών, ώστε να προκύψει το συμπέρασμα αν είναι ή όχι αποδοτικό ως σύστημα. Είναι πιθανόν ένα μέρος των λεωφορειακών γραμμών του συστήματος των Οδικών Συγκοινωνιών να είναι μη αποδοτικές και ταυτόχρονα ως σύστημα να υπολογιστεί πως είναι αποδοτικό, οπότε καθίσταται απαραίτητη η μελέτη της αξιολόγησης των Οδικών Συγκοινωνιών ως σύστημα. Σε αυτή την περίπτωση ακολουθείται η ίδια διαδικασία αξιολόγησης του δείκτη αποδοτικότητας με την βοήθεια της μεθόδου DEA, της αποτελεσματικότητας και της εξυπηρέτησης.

Η αξιολόγηση των λεωφορειακών γραμμών μέσω της μεθόδου DEA στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία χρησιμοποίησε ως δεδομένα εισόδου τις μηνιαίες βάρδιες, το μέσο μηνιαίο κόστος και τον αριθμό των προγραμματισμένων δρομολογίων. Ως δεδομένα εξόδου επιλέχθηκαν ο αριθμός των εκτελεσμένων δρομολογίων, των εκτελεσμένων οχηματοχιλιομέτρων και των επιβατών σε κάθε βάρδια. Είναι στη ευχέρεια του

εκάστοτε μελετητή τα δεδομένα που θα επιλέξει να εισάγει στο μέθοδο DEA, ανάλογα με το τι δεδομένα διαθέτει και σε ποια στοιχεία θέλει να επικεντρωθεί.

Τέλος, στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν 4 λεωφορειακές γραμμές που διέφεραν από τις υπόλοιπες. Οι δύο από αυτές εκτελούν νυχτερινά δρομολόγια, ενώ εκ των υπολοίπων η μία συνδέει το Αττικό Νοσοκομείο με το μετρό και η άλλη είναι σχολική γραμμή. Η αξιολόγηση τους πραγματοποιήθηκε με τον ίδιο τρόπο όπως και οι υπόλοιπες γραμμές, καλό είναι όμως να μελετηθούν και οι κοινωνικοί ρόλοι που διαδραματίζουν οι ανωτέρω γραμμές.

# Βιβλιογραφία

Boame, A. K. (2004). The technical efficiency of Canadian urban transit systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 40(5), pp. 401-416.

Bogetoft, P., Otto, L. Benchmarking with DEA, SFA and R

Cowie, J., Asenova, D. (1999). Organisational form, scale effects and efficiency in the British bus industry. *Transportation*, 26(3), pp. 231–248.

Hassan, M. N., Hawas, Y. E., and Ahmed, K. (2013). A multi-dimensional framework for evaluating the transit service performance. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 50(1), pp. 47-61.

Karlaftis, M.G., McCarthy, P.S., 1997. Subsidy and public transit performance: A factor analytic approach. *Transportation* 24, 253–270.

Karlaftis, M.G. (2004). A DEA approach for evaluating the efficiency and effectiveness of urban transit systems. *European Journal of Operational Research*, 152(2), pp. 154–164.

Karlaftis, M.G. (2003). Investigating transit production and performance: a programming approach. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 37(3), pp. 225–240.

Karlaftis, M.G., Tsamboulas, D. (2012). Efficiency measurement in public transport: are findings specification sensitive? *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(2), pp. 392–402.

Lao, Y., Liu, L. (2009). Performance evaluation of bus lines with data envelopment analysis and geographic information systems. *Computers Environment and Urban Systems*, 33(3), pp. 247–255.

Pina, V. and Torres, L (2001). ., Analysis of the efficiency of local government service delivery. An application to urban public transport

Sanchez, G., 2009. Technical and scale efficiency in Spanish urban transport: estimating with data envelopment analysis. *Advances in Operations Research* 2009.

Sheth, C., Triantis, K., Teodorovic', D., 2007. Performance evaluation of bus routes: a provider and passenger perspective. *Transportation Research Part E* 43, 453–478.

Tyrinopoulos, Y., Antoniou, C., 2008. Public transit user satisfaction: variability and policy implications. *Transport Policy* 15, 260–272.

Vlahogianni, E. I., Keraptsoglou K. and Karlaftis, M. G. (2015). Bus depot and line performance evaluation: a Data Envelopment Analysis and Neural Network regression based approach.

Yeh, C.H., Deng, H., Chang, Y.H., 2000. Perspectives for practice fuzzy multicriteria analysis for performance evaluation of bus companies. *European Journal of Operational Research* 126, 459–473.

Μεθοδολογία οικονομικής αξιολόγησης και αναδιάρθρωσης των γραμμών των ΟΣΥ Α.Ε. (2014)

#### Διαδικτυακές πηγές

<https://www.rstudio.com/>

<http://www.osy.gr/>

<http://telematics.oasa.gr/#main>

#### Διπλωματικές εργασίες

Πυριαλάκου Β. Δ. (2011). Εκτίμηση της λειτουργικής αποδοτικότητας αεροδρομίων με έντονη εποχικότητα, Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ.

Τσαλιάνης Α. (2015). Αξιολόγηση θερμοηλεκτρικών σταθμών με την μέθοδο DEA

Σαίτης Κ. (2015). Περιβάλλουσα ανάλυση δεδομένων

Κατσιγαράκης Χ. (2014). Εκτίμηση αποδοτικότητας και αποτελεσματικότητας των Ελληνικών περιφερειών με την χρήση της περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων.



# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 4: Αποτελέσματα αποδοτικότητας λεωφορειακών γραμμών

Αριθμός λεωφορειακής γραμμής	Αποδοτικότητα
3	0,967
5	1,000
6	0,998
10	1,000
11	1,000
13	0,992
14	1,000
20	0,981
021	1,000
022	0,915
024	0,812
035	0,906
046	0,820
057	0,993
060	0,963
070	1,000
109	0,955
112	1,000
120	1,000
131	1,000
140	0,914
162	1,000
163	1,000
201	0,997
206	0,854
219	1,000
227	0,884
230	0,913
302	1,000
306	1,000
309	0,983
404	0,737
406	0,772
410	0,849
418	0,867
421	0,827
447	0,992
501	1,000
504	0,987
527	1,000
560	0,984
604	1,000
605	0,915
608	1,000
610	0,997
640	1,000
651	1,000
653	0,994

700	0,898
701	0,994
703	0,937
704	0,996
712	0,997
721	1,000
723	0,996
730	0,996
740	0,987
750	0,814
803	0,818
818	0,878
821	1,000
823	0,998
827	0,784
828	0,883
830	0,829
843	1,000
860	0,860
866	0,930
891	0,869
892	0,941
904	0,975
906	1,000
909	0,902
910	0,998
914	1,000
A1	0,922
A5	0,924
A7	1,000
B1	0,842
B2	0,883
B5	0,857
B8	0,992
B9	1,000
Г10	0,998
Г16	0,998
Г18	1,000
Г9	1,000
E22	1,000
X14	1,000
X93	1,000
X95	1,000
X96	1,000
X97	1,000

Πίνακας 5: Αποτελέσματα Περιθωρίων (Slacks)

Αριθμός λεωφορειακής γραμμής	Μέσο μηνιαίο κόστος	Μηνιαίες βάρδιες	Προγραμματισμένα δρομολόγια	Μηνιαία εκτελεσμένα οχηματοχιλιόμετρα	Επιβάτες ανά εκτελεσμένο δρομολόγιο	Εκτελεσμένα δρομολόγια
3	0,00	71,78	0,00	0,04	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	34,36	0,00	0,07	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,00	34,44	0,00	0,03	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	19072,48	179,95	0,00	0,24	0,00	0,00
021	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
022	0,00	104,47	0,00	0,00	0,00	0,00
024	1676,35	44,07	0,00	0,02	0,00	0,00
035	0,00	195,01	0,00	0,00	0,00	0,00
046	0,00	57,12	0,00	0,02	0,01	0,00
057	0,00	58,59	0,00	0,02	0,01	0,00
060	0,00	17,04	0,00	0,02	0,07	0,00
070	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
109	0,00	22,62	0,00	0,00	0,00	0,00
112	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
131	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
140	4106,85	190,98	0,00	0,00	0,00	0,00
162	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
163	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
201	0,00	12,91	0,00	0,17	0,00	0,00
206	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,00
219	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Αριθμός Λεωφορειακής γραμμής	Μέσο μηνιαίο κόστος	Μηνιαίες βάρδιες	Προγραμματισμένα δρομολόγια	Μηνιαία εκτελεσμένα οχηματοχιλιόμετρα	Επιβάτες ανά εκτελεσμένο δρομολόγιο	Εκτελεσμένα δρομολόγια
227	13255,10	124,88	0,00	0,00	0,00	0,00
230	13250,07	161,32	0,00	0,00	0,00	0,00
302	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
306	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
309	3349,90	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00
404	0,00	18,77	0,00	0,00	0,00	0,00
406	0,00	47,33	0,00	0,04	0,03	0,00
410	6374,93	41,90	0,00	0,00	0,02	0,00
418	0,00	9,50	0,00	0,00	0,04	0,00
421	8345,57	74,93	0,00	0,00	0,00	0,00
447	5170,33	48,07	0,00	0,00	0,00	0,00
501	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
504	8,99	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00
527	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
560	0,00	6,61	0,00	0,00	0,00	0,00
604	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
605	0,00	41,99	0,00	0,00	0,00	0,00
608	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
610	0,00	54,30	0,00	0,05	0,01	0,00
640	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
651	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
653	0,00	33,20	0,00	0,05	0,08	0,00
700	0,00	63,98	0,00	0,00	0,00	0,00
701	4962,04	61,97	0,00	0,00	0,04	0,00
703	0,00	88,00	0,00	0,00	0,00	0,00
704	2756,03	48,50	0,00	0,00	0,05	0,00
712	0,00	25,11	0,00	0,03	0,06	0,00

Αριθμός Λεωφορειακής γραμμής	Μέσο μηνιαίο κόστος	Μηνιαίες βάρδιες	Προγραμματισμένα δρομολόγια	Μηνιαία εκτελεσμένα οχηματοχιλιόμετρα	Επιβάτες ανά εκτελεσμένο δρομολόγιο	Εκτελεσμένα δρομολόγια
721	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
723	636,40	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
730	2431484,55	89,95	0,00	0,00	0,03	0,00
740	0,00	14,99	0,00	0,00	0,00	0,00
750	0,00	59,89	0,00	0,00	0,00	0,00
803	0,00	44,97	0,00	0,00	0,00	0,00
818	0,00	11,15	0,00	0,00	0,00	0,00
821	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
823	1198,79	46,49	0,00	0,03	0,00	0,00
827	0,00	23,77	0,00	0,00	0,00	0,00
828	0,00	5,05	2,62	0,00	0,00	0,00
830	0,00	45,63	0,00	0,01	0,00	0,00
843	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
860	4511,10	101,30	0,00	0,00	0,02	0,00
866	0,00	27,20	0,00	0,00	0,00	0,00
891	0,00	57,59	0,00	0,02	0,03	0,00
892	7596,35	148,01	0,00	0,00	0,00	0,00
904	0,00	6,84	0,00	0,00	0,00	0,00
906	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
909	0,00	149,11	0,00	0,00	0,00	0,00
910	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
914	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A1	13978,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A5	0,00	94,79	0,00	0,00	0,00	0,00
A7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B1	0,00	74,08	0,00	0,00	0,03	0,00
B2	0,00	11,25	2,46	0,00	0,00	0,00

Αριθμός λεωφορειακής γραμμής	Μέσο μηνιαίο κόστος	Μηνιαίες βάρδιες	Προγραμματισμένα δρομολόγια	Μηνιαία εκτελεσμένα οχηματοχιλιόμετρα	Επιβάτες ανά εκτελεσμένο δρομολόγιο	Εκτελεσμένα δρομολόγια
B5	1798,47	68,01	0,00	0,00	0,00	0,00
B8	0,00	67,96	0,00	0,05	0,00	0,00
B9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Γ10	0,00	32,28	0,00	0,04	0,00	0,00
Γ16	0,00	134,32	0,00	0,06	0,00	0,00
Γ18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Γ9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
E22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
X14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
X93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
X95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
X96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
X97	9958,90	21,86	0,00	0,00	0,11	0,00

