

Σύστημα Στήριξης Αποφάσεων για την Αξιολόγηση της Απόδοσης των Γραμμών της ΟΣΥ Α.Ε.

Άγγελος Γκιόκας¹, Δήμητρα Κατσαμπή², Ελένη Βλαχογιάννη³, Κωνσταντίνος Κεπατσόγλου⁴, Ματθαίος Καρλαύτης⁵

¹Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών
E-mail: a.gkiokas@hotmail.com

²Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
E-mail: diakats@yahoo.gr

³Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
E-mail: elenivl@central.ntua.gr

⁴Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
E-mail: kkepar@central.ntua.gr

⁵Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
E-mail: mgk@central.ntua.gr

Περίληψη

Η παρακολούθηση της απόδοσης ενός συστήματος αστικών συγκοινωνιών είναι κρίσιμη για τον επανασχεδιασμό και την βελτίωση των υπηρεσιών που παρέχονται από το σύστημα. Δεδομένης της πληθώρας εναλλακτικών δεικτών αλλά και της ανάγκης διαχείρισης των απαραίτητων δεδομένων για τον υπολογισμό τους, η χρήση σύγχρονων τεχνολογιών διαχείρισης δεδομένων είναι αναγκαία για το σκοπό αυτό. Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η περιγραφή συστήματος διαχείρισης δεδομένων και δεικτών απόδοσης, μέσω του οποίου είναι δυνατή η στήριξη αποφάσεων για τον επανασχεδιασμό και τη βελτίωση των υπηρεσιών των ΟΣΥ Α.Ε. Το σύστημα βασίζεται σε βάση δεδομένων και γραφικό περιβάλλον μέσω του οποίου είναι δυνατή η ανάλυση της απόδοσης των γραμμών των ΟΣΥ Α.Ε.

Λέξεις κλειδιά: Απόδοση, Δείκτες απόδοσης, Αναλυτική Διαδικασία Ιεράρχησης, Σύστημα στήριξης αποφάσεων.

Abstract

Performance monitoring of transit systems is critical both for system re-design and improvement of provided services. Performance can be described through various indicators, while excessive amount of data is often required for that purpose. As such, modern data management technologies are necessary for handling performance measurement information. This paper presents a decision support system (DSS), tailor made for managing performance data and measures for the Athens bus operator (OSY). The DSS is based on a database and a graphical user interface, through which performance information can be analyzed for individual bus lines.

Keywords: Performance, Performance Indicators, Analytical Hierarchy Process, Decision Support System

1. Εισαγωγή

Η παρακολούθηση και αξιολόγηση της απόδοσης ενός συστήματος αστικών συγκοινωνιών είναι αναμφισβήτητα αναγκαία για την αποτίμηση των υπηρεσιών και συνθηκών λειτουργίας του, αλλά και για τη λήψη αποφάσεων ως προς την τροποποίηση, κατάργηση ή βελτίωση των υπηρεσιών και χαρακτηριστικών του. Η απόδοση εν γένει αφορά στην οπτική του φορέα διαχείρισης του συστήματος και ιδιαίτερα στην αποδοτικότητα και στην αποτελεσματικότητα του συστήματος (Fielding, 1987). Η αποδοτικότητα εστιάζει στο μέγεθος των παρεχόμενων υπηρεσιών (εκροές) από το σύστημα αστικών συγκοινωνιών, σε σχέση με τους πόρους (εισροές) του. Οι επιπτώσεις (αποτελέσματα) του συστήματος αστικών συγκοινωνιών σε ό,τι αφορά στον επιβάτη – καταναλωτή χαρακτηρίζονται από την αποτελεσματικότητα του συστήματος (Fielding, 1987). Τόσο η αποδοτικότητα, όσο και η αποτελεσματικότητα μπορούν να εκφραστούν τόσο μέσω οικονομικών (economic) όσο και τεχνικών (technical) μεγεθών.

Στα πλαίσια της ποσοτικοποίησης της απόδοσης, συνήθως χρησιμοποιούνται οι λεγόμενοι δείκτες απόδοσης, μέσω των οποίων επιδιώκεται η ποσοτικοποίηση των εκροών και αποτελεσμάτων του συστήματος αστικών συγκοινωνιών, συνήθως ως συνάρτηση και των μεγεθών εισροών αυτού (Fielding, 1987). Δεδομένης της πολυπλοκότητας των συστημάτων αστικών συγκοινωνιών, τα οποία αφενός παρέχουν υπηρεσίες και αφετέρου λειτουργούν ως επιχειρήσεις, είναι δυνατή η διαμόρφωση πληθώρας δεικτών, οι οποίοι να άπτονται των διαφόρων πτυχών του συστήματος (Eboli και Mazzulla, 2012). Παρόλα αυτά, συνήθως είναι επαρκές ένα υποσύνολο αυτών για να απεικονιστεί ικανοποιητικά η απόδοση του συστήματος αστικών συγκοινωνιών (Kittelsson κ.α., 2003). Παρόλα αυτά, η πληθώρα δεδομένων που απαιτούνται για την διαμόρφωση και υπολογισμό αυτών των δεικτών σε συστηματική βάση, απαιτεί την υλοποίηση συστημάτων διαχείρισης δεδομένων για το σκοπό αυτό (Kittelsson κ.α., 2003).

Στο παραπάνω πλαίσιο, η παρούσα εργασία πραγματεύεται την ανάπτυξη συστήματος στήριξης αποφάσεων, μέσω του οποίου μπορεί να αναλυθεί η απόδοση των παρεχόμενων υπηρεσιών των γραμμών των ΟΣΥ Α.Ε. Το εν λόγω σύστημα διαχείρισης δεδομένων και πληροφοριών βασίζεται σε περιορισμένο αριθμό δεικτών απόδοσης, οι οποίοι διαμορφώθηκαν σε συνεργασία με τις ΟΣΥ Α.Ε. Η δομή της εργασίας έχει ως εξής: στη δεύτερη ενότητα παρέχεται σύντομη ανασκόπηση του υπόβαθρου της εργασίας, η οποία εστιάζει (α) στα χαρακτηριστικά της απόδοσης, όπως αυτή εξετάζεται στις αστικές συγκοινωνίες και (β) στις βάσεις και στα συστήματα διαχείρισης δεδομένων των συστημάτων αστικών συγκοινωνιών. Στην τρίτη ενότητα περιγράφονται οι δείκτες που χρησιμοποιούνται στο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων, ενώ στην τέταρτη και πέμπτη ενότητα περιγράφεται η δομή και τα χαρακτηριστικά του συστήματος. Τα συμπεράσματα της εργασίας περιγράφονται στην τελευταία ενότητα αυτής.

2. Υπόβαθρο

2.1 Απόδοση Συστημάτων Αστικών Συγκοινωνιών

Ο όρος «απόδοση εκφράζει το βαθμό επίτευξης του στόχου μιας διαδικασίας ή λειτουργίας. Στις αστικές συγκοινωνίες, η απόδοση συνήθως διαμορφώνεται από δύο βασικές συνιστώσες: την αποδοτικότητα (efficiency) και την αποτελεσματικότητα (effectiveness) (Eboli και Mazzulla, 2012). Ως αποδοτικότητα νοείται ο «όγκος» των προσφερόμενων - παρεχόμενων

υπηρεσιών σε σχέση με τα χαρακτηριστικά (ή πόρους) του συστήματος αστικών συγκοινωνιών (Fielding, 1987). Η αποτελεσματικότητα πάλι αφορά στην επίπτωση (αποτέλεσμα) που επιτυγχάνει ένα σύστημα αστικών συγκοινωνιών σε σχέση με το εξυπηρετούμενο κοινό, όπως λόγου χάρη ο αριθμός μετακινούμενων επιβατών για τα δεδομένα χαρακτηριστικά του συστήματος (Fielding, 1987). Έτσι, η αποδοτικότητα αναφέρεται στις προσφερόμενες υπηρεσίες ενώ η αποτελεσματικότητα στην επίπτωσή τους. Η μέτρηση της απόδοσης ενός συστήματος (ή οργανισμού) αστικών συγκοινωνιών είναι αναμφισβήτητα απαραίτητη στα πλαίσια τόσο του σχεδιασμού όσο και της λειτουργίας του και αφορά σε αριθμό λειτουργικών, οικονομικών και διαχειριστικών χαρακτηριστικών του συστήματος. Σύμφωνα με τους Kittelson κ.α. (2003), η μέτρηση της απόδοσης περιλαμβάνει τη συλλογή, επεξεργασία και αξιολόγηση δεδομένων ενός συστήματος αστικών συγκοινωνιών, τα οποία σχετίζονται με τη λειτουργία του συστήματος και μπορούν να αξιοποιηθούν για την αξιολόγηση των παρεχόμενων υπηρεσιών του. Για την περιγραφή και ποσοτικοποίησης της απόδοσης των επιμέρους χαρακτηριστικών ενός συστήματος αστικών συγκοινωνιών χρησιμοποιούνται οι λεγόμενοι «δείκτες απόδοσης», οι οποίοι αποτελούν τα βασικά εργαλεία για το σκοπό αυτό. Οι δείκτες υπολογίζονται ως συνάρτηση ή συνδυασμός των διαφορετικών μεγεθών που χαρακτηρίζουν τις εισροές (προσωπικό, οχήματα κλπ), τις εκροές (πχ παραγόμενα οχηματοχιλιόμετρα) και την κατανάλωση (πχ επιβατική κίνηση) ενός συστήματος αστικών συγκοινωνιών (όπως αυτές παρουσιάζονται στην προηγούμενη ενότητα) (Fielding, 1987).

2.2 Συστήματα Διαχείρισης Δεδομένων στις Αστικές Συγκοινωνίες

Σύμφωνα με τον Boldt (1994), τα συστήματα διαχείρισης δεδομένων (information management systems) αποτελούν ήδη από τη δεκαετία του 1990, βασικά εργαλεία στήριξης του σχεδιασμού και της λειτουργίας συστημάτων αστικών συγκοινωνιών στις ΗΠΑ. Πρόκειται για πληροφοριακά συστήματα, μέσω των οποίων γίνεται η αποθήκευση και διαχείριση των δεδομένων, στοιχείων και πληροφοριών που αφορούν στη λειτουργία και στη συντήρηση των υποδομών και υπηρεσιών των συστημάτων αστικών συγκοινωνιών. Όπως αναφέρει ο Boldt (1994), τα συστήματα αυτά διαφοροποιούνται ως προς την πολυπλοκότητα, τα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητές τους, ως προς την αποθήκευση, ανάλυση και διαχείριση δεδομένων. Οι Kittelson κ.α. (2003) αναφέρουν ότι η παρακολούθηση της απόδοσης αστικών συγκοινωνιών είναι αναγκαίο να βασίζεται σε συστήματα διαχείρισης δεδομένων, λόγω του όγκου και της πολυπλοκότητας των διαθέσιμων και απαιτούμενων πληροφοριών. Ο Herrscher (2006) υπογραμμίζει τα πλεονεκτήματα των συστημάτων διαχείρισης δεδομένων στην παρακολούθηση και αξιολόγηση της λειτουργίας αστικών συγκοινωνιών. Πρόσφατα χαρακτηριστικά συστήματα διαχείρισης δεδομένων αστικών συγκοινωνιών έχουν προταθεί από τους Park και Ryu (2010) και Srirar κ.α. (2010). Οι Park και Ryu (2010) περιγράφουν το σύστημα διαχείρισης πληροφοριών λεωφορειακών γραμμών της πόλης του Busan, στην Κίνα. Το σύστημα έχει τη δυνατότητα αξιολόγησης της απόδοσης σε επίπεδο τόσο γραμμής όσο και συστήματος. Αντίστοιχα, το σύστημα διαχείρισης πληροφοριών των φορέων παροχής αστικών συγκοινωνιών για την πολιτεία του Illinois στις ΗΠΑ περιγράφεται από τους Srirar κ.α. (2010). Το εν λόγω σύστημα είναι διαδικτυακό και παρέχει εξειδικευμένες πληροφορίες που αφορούν σε όλους τους φορείς της πολιτείας και άλλα εμπλεκόμενα μέρη στην παροχή έργου αστικών συγκοινωνιών.

3. Δείκτες Απόδοσης

Σε συνεργασία με τις ΟΣΥ και έπειτα από ενδελεχή ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας επιλέχθηκαν οι πλέον αντιπροσωπευτικοί δείκτες, οι οποίοι παράλληλα μπορούν να υπολογιστούν από τα διαθέσιμα, καταγεγραμμένα στοιχεία των ΟΣΥ. Οι εν λόγω δείκτες είναι:

- Πλήθος επιβατών ανά βάρδια (Δ_1)
- Πλήθος επιβατών ανά εκτελεσμένο οχηματοχιλιόμετρο (Δ_2)
- Πλήθος επιβατών ανά εκτελεσμένο δρομολόγιο (Δ_3)
- Κόστος ανά επιβάτη (Δ_4)
- Αριθμός ατυχημάτων ανά 1000 χιλιόμετρα (Δ_5)
- Ποσοστό εκτελεσμένων προς προγραμματισμένα δρομολόγια (Δ_6)
- Αριθμός παραπόνων ανά γραμμή λεωφορείου (Δ_7)
- Ποσοστό μέγιστης αλληλοεπικάλυψης γραμμών (Δ_8)
- Ευθύτητα λεωφορειακής γραμμής (λόγος μήκους γραμμής προς αεροπορική διαδρομή ανάμεσα στα άκρα της γραμμής). (Δ_9)
- Μήκος διαδρομής (σύνολο δύο κατευθύνσεων) (Δ_{10})

Οι παραπάνω δείκτες κρίθηκαν ως οι πιο χαρακτηριστικοί και ομαδοποιήθηκαν ως δείκτες που αφορούν στην αποτελεσματικότητα και αποδοτικότητα (δείκτες Δ_1 - Δ_5), στην εξυπηρέτηση (Δ_6 , Δ_7) και στον σχεδιασμό των γραμμών (Δ_9 , Δ_{10}). Η ομαδοποίηση είναι συμβατή με τις προτάσεις του αντιστοίχου εγχειριδίου απόδοσης αστικών συγκοινωνιών του Transportation Research Board (Kittelsson κ.α., 2003).

Στη συνέχεια εφαρμόστηκε τεχνική ανάπτυξης μοντέλων πολυκριτηριακής αξιολόγησης με στόχο τη διαμόρφωση συνολικών δεικτών αξιολόγησης και ταξινόμησης των γραμμών, με βάση την απόδοσή τους. Οι συνολικοί δείκτες $\Delta_{c,j}$ ($j=1,2,3$) αφορούσαν στις επιμέρους ομάδες της αποτελεσματικότητας / αποδοτικότητας ($j=1$), εξυπηρέτησης ($j=2$) και σχεδιασμού ($j=3$) των γραμμών, ο δε υπολογισμός τους προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση:

$$\Delta_{c,j} = \sum_i w_i \Delta_i \quad (1)$$

όπου

i : Δείκτης i (1-10)

w_i : Βάρος Δείκτη i

Δ_i : Κανονικοποιημένη μορφή δείκτη (κανονικοποίηση ως προς τη μέγιστη ή ελάχιστη τιμή του κάθε δείκτη κατά περίπτωση)

Αντίστοιχα, υπολογίστηκε και συνολικός δείκτης απόδοσης $\Delta_{c,tot}$, χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση:

$$\Delta_{c,tot} = \sum_j w_j \Delta_{c,j} \quad (2)$$

όπου

j : Ομάδα Δεικτών j

w_j : Βάρος Ομάδας Δεικτών j

$\Delta_{c,j}$: Τιμή συνολικού δείκτη ομάδας j

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των βαρών w_i και $w_{c,j}$ είναι η αναλυτική διαδικασία ιεράρχησης (Analytical Hierarchy Process - AHP) (Saaty and Vargas, 2006), η οποία απαιτεί τη συμμετοχή ειδικών για την καταγραφή και εξαγωγή της βαρύτητας κάθε δείκτη και ομάδας δεικτών στην αξιολόγηση των γραμμών. Στο πλαίσιο αυτό, καταγράφηκε η εμπειρία του προσωπικού της ΟΣΥ Α.Ε., η οποία αξιοποιήθηκε στον υπολογισμό των επιμέρους βαρών (Katsampri κ.α., 2015). Σημειώνεται ότι η επιμέρους ανάλυση των βαρών έδειξε ότι ο δείκτης της αποτελεσματικότητας επηρεάζεται σε μεγαλύτερο βαθμό από τον δείκτη του κόστους/επιβάτη και του επιβάτη/οχηματοχιλιόμετρο και σε μικρότερο βαθμό από τον δείκτη των ατυχημάτων/1000 χιλιόμετρα (Katsampri κ.α., 2015). Για τον δείκτη εξυπηρέτησης, η βαρύτητα του ποσοστού εκτελεσμένων δρομολογίων είναι σημαντικά μεγαλύτερη σε σχέση με τη βαρύτητα των παραπόνων/γραμμή. Επιπλέον, το βάρος της ευθύτητας κρίνεται πιο κρίσιμο για την εξαγωγή του δείκτη σχεδιασμού, σε αντίθεση με το βάρος του μήκους γραμμής που έχει μικρότερη επίδραση (Katsampri κ.α., 2015).

4. Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων

Στα πλαίσια της ανάγκης υπολογισμού και ανάλυσης των παραπάνω δεικτών και στοιχείων απόδοσης, αναπτύχθηκε κατάλληλο υπολογιστικό εργαλείο (σύστημα υποστήριξης αποφάσεων) για το σκοπό αυτό. Το σύστημα αναπτύχθηκε με τέτοιο τρόπο ώστε συνδυάζοντας τους δείκτες και τα κριτήρια, να παρέχεται κατά το δυνατόν πληρέστερη εικόνα του κάθε επιμέρους στοιχείου του συστήματος αστικών συγκοινωνιών που τίθεται προς αξιολόγηση, ώστε συγκριτικά να διαθέτει τις πληροφορίες για να καταλήξει σε λήψη απόφασης. Το λογισμικό ανάλυσης αποτελεσμάτων και λήψης αποφάσεων δημιουργεί ένα απλό και εύχρηστο γραφικό περιβάλλον που παρέχει τις παρακάτω δυνατότητες στον χρήστη:

- Συνοπτικά στοιχεία των δεικτών απόδοσης κάθε γραμμής και βασικών στατιστικών στοιχείων.
- Προσθήκη/διαγραφή/αλλαγή των στατιστικών στοιχείων ανά γραμμή.
- Προσθήκη νέων γραμμών, διαγραφή των υπαρχόντων και τροποποίησή τους.
- Τροποποίηση των βαρών και επανυπολογισμό των αντίστοιχων δεικτών.
- Δημιουργία γραφημάτων.
- Εξαγωγή των αποτελεσμάτων σε αρχεία αναγνώσιμα από άλλα λογισμικά (πχ MS-EXCEL)

Τα στατιστικά στοιχεία που αξιοποιούνται από το σύστημα για τους υπολογισμούς δεικτών είναι αποθηκευμένα τοπικά σε Βάση Δεδομένων MS-Access με την οποία επικοινωνεί το σύστημα. Η επικοινωνία με την Βάση Δεδομένων επιτυγχάνεται με το πρωτόκολλο OLEDB, ώστε να είναι δυνατή η χρησιμοποίηση και άλλων βάσεων δεδομένων (π.χ. MySQL). Έτσι μπορεί να υποστηρίζεται αρχιτεκτονική Server-Client, όπου ο Server είναι ένας κεντρικός υπολογιστής στον οποίο είναι αποθηκευμένη η Βάση Δεδομένων και Clients είναι οι τερματικοί υπολογιστές των χρηστών. Με αυτόν τον τρόπο θα επιτυγχάνεται η ταυτόχρονη χρήση της ίδιας βάσης από διαφορετικούς χρήστες. Η Βάση Δεδομένων, όπως αυτή χρησιμοποιείται από το λογισμικό, απαρτίζεται από τέσσερις βασικούς πίνακες, οι οποίοι περιλαμβάνουν πρωτογενή στοιχεία που συλλέχτηκαν και χρησιμοποιήθηκαν είτε απευθείας, είτε ύστερα από επεξεργασία για την εξαγωγή συνδυαστικών μεγεθών.

Ο πρώτος πίνακας (Πίνακας 4.1) περιλαμβάνει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της κάθε γραμμής, όπως η ονομασία και ο αριθμός κάθε γραμμής, ο τύπος του μέσου, αν δηλαδή πρόκειται για λεωφορείο ή για τρόλεϊ, οι συντεταγμένες της αφετηρίας και του τέρματος, αν η γραμμή είναι κυκλική ή όχι καθώς και ο τύπος της γραμμής αν δηλαδή είναι διαμετρική, κεντρική ή τοπική, ο τύπος του λεωφορείου που χρησιμοποιείται, η χωρητικότητά του, η συχνότητα λειτουργίας κατά την αιχμή και ο χρόνος διαδρομής της γραμμής.

Πίνακας 4.1: Βασικά Στοιχεία Βάσης Δεδομένων

Ονομασία Πεδίου	Τύπος	Περιγραφή
line_id	Ακέραιος	Μοναδικό χαρακτηριστικό γραμμής
line_name	Κείμενο	Γενική ονομασία γραμμής
line_number	Κείμενο	Αριθμός Γραμμής, π.χ. X95
line_type	Κείμενο	Τύπος γραμμής, π.χ. ΤΡΟΛΕΥ
start_position	Κείμενο	Θέση Αφετηρίας
end_position	Κείμενο	Θέση Τέρματος
length_to_end	Πραγματικός αριθμός	Μήκος γραμμής Αφετηρία - Τέρμα
length_to_start	Πραγματικός αριθμός	Μήκος γραμμής Τέρμα - Αφετηρία
Circular	ΝΑΙ / ΟΧΙ	Αν είναι κυκλική διαδρομή
name_fw	Κείμενο	Ονομασία γραμμής από αφετηρία-τέρμα
name_back	Κείμενο	Ονομασία γραμμής από τέρμα - αφετηρία
Acode	Κείμενο	Κωδικός Κλάδου Αφετηρία-Τέρμα
Tcode	Κείμενο	Κωδικός κλάδου Τέρμα-Αφετηρία
fw_type	Κείμενο	Κατηγορία γραμμής Αφετηρία - Τέρμα
back_type	Κείμενο	Κατηγορία γραμμής Τέρμα - Αφετηρία
fw_vehicle_type	Κείμενο	Τύπος οχήματος Αφετηρία - Τέρμα
back_vehicle_type	Κείμενο	Τύπος οχήματος Τέρμα - Αφετηρία
fw_capacity	Πραγματικός αριθμός	Χωρητικότητα οχήματος Αφετηρία - Τέρμα
back_capacity	Πραγματικός αριθμός	Χωρητικότητα οχήματος Τέρμα -> Αφετηρία
fw_time_headway	Κείμενο	Ελάχιστη χρονοαπόσταση διαδρομής Αφετηρία-Τέρμα
back_time_headway	Κείμενο	Ελάχιστη χρονοαπόσταση διαδρομής Τέρμα-Αφετηρία
travel_time	Πραγματικός αριθμός	Χρόνος διαδρομής

Στον δεύτερο πίνακα (Πίνακας 4.2) περιλαμβάνονται αναγκαία στατιστικά στοιχεία (σε μηνιαία βάση) για τον υπολογισμό των αντίστοιχων δεικτών, όπως τα παραγόμενα οχηματοχιλιόμετρα και οχηματοώρες, τα προγραμματισμένα και εκτελεσμένα δρομολόγια και οι προγραμματισμένες βάρδιες. Επιπλέον, στον ίδιο πίνακα περιλαμβάνονται στοιχεία που σχετίζονται με τη λειτουργία των γραμμών των ΟΣΥ όπως η επιβατική κίνηση, το κόστος ανά γραμμή, τα παράπονα και τα ατυχήματα ανά γραμμή. Η εκτίμηση του κόστους βασίστηκε στο μοντέλο κοστολόγησης των ΟΣΥ ΑΕ. Το κόστος ανά γραμμή, όπως αυτό υπολογίζεται από το μοντέλο, υπολογίζεται ως το σύνολο των επιμέρους δαπανών κάθε λεωφορειακής γραμμής, που περιλαμβάνει τη μισθοδοσία των οδηγών, τεχνικών και λοιπών εργαζομένων, τις παρεπόμενες παροχές, το κόστος καυσίμων, ανταλλακτικών, αναλωσίμων, λιπαντικών και ελαστικών, το κόστος ασφαλιστρών, τον καθαρισμό στόλου και κτιρίων ανά γραμμή, τα τέλη κυκλοφορίας, τα έξοδα διοδίων, τα λοιπά έξοδα ανά αμαξοστάσιο (ύδρευση, φύλαξη και ρεύμα) και το κόστος των διοικητικών επισκευαστικής βάσης. Για τις λεωφορειακές γραμμές που ξεκινούν από δύο ή περισσότερα αμαξοστάσια το συνολικό κόστος μετρήθηκε ως άθροισμα των επιμέρους εξόδων των αμαξοστασίων. Ολοκληρώνοντας στον πίνακα περιλαμβάνονται στοιχεία αλληλεπικάλυψης και ευθύτητας των γραμμών. Συγκεκριμένα, με τη βοήθεια γεωπληροφοριακών συστημάτων υπολογίστηκε το ποσοστό αλληλοεπικάλυψης της κάθε λεωφορειακής γραμμής με τις υπόλοιπες που διέρχονται από κοινούς οδικούς άξονες. Στη βάση δεδομένων του συστήματος χρησιμοποιήθηκε το μεγαλύτερο ποσοστό

αλληλοεπικάλυψης (μέγιστη αλληλοεπικάλυψη) που παρουσιάζει η κάθε λεωφορειακή γραμμή και ο συνολικός αριθμός των λεωφορειακών γραμμών με τις οποίες αλληλεπικαλύπτεται. Τέλος, για να εκτιμηθεί η ευθύτητα απαιτείται ο υπολογισμός της απόκλισης της υφιστάμενης λεωφορειακής διαδρομής από μια υποτιθέμενη ευθύγραμμη διαδρομή. Τέλος, το μήκος της αεροπορικής διαδρομής από την αφετηρία ως το τέρμα κάθε λεωφορειακής γραμμής προσδιορίστηκε με τη βοήθεια γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών.

Πίνακας 4.2: Στατιστικά Στοιχεία Βάσης Δεδομένων

Ονομασία Πεδίου	Τύπος	Περιγραφή
line_id	Ακέραιος	Μοναδικό χαρακτηριστικό γραμμής.
record_month	Ημερομηνία	Καταχώρηση του μήνα περιγραφής
sched_bus_kilometers	Πραγματικός αριθμός	Προγραμματισμένα οχηματοχιλιόμετρα
exec_bus_kilometers	Πραγματικός αριθμός	Εκτελεσθέντα οχηματοχιλιόμετρα
sched_itinerary	Πραγματικός αριθμός	Προγραμματισμένα δρομολόγια
exec_itinerary	Πραγματικός αριθμός	Εκτελεσθέντα δρομολόγια
itinerary_not_driver	Πραγματικός αριθμός	Δρομολόγια μη εκτελεσθέντα λόγω οδηγού
itinerary_not_traffic	Πραγματικός αριθμός	Δρομολόγια μη εκτελεσθέντα λόγω κυκλοφορίας
itinerary_not_damage	Πραγματικός αριθμός	Δρομολόγια μη εκτελεσθέντα λόγω βλάβης
shift_month	Πραγματικός αριθμός	Βάρδιες / μήνα
shift_day	Πραγματικός αριθμός	Βάρδιες / ημέρα
total_cost	Πραγματικός αριθμός	Συνολικό κόστος
cost_shift	Πραγματικός αριθμός	Κόστος / βάρδια
pass_shift	Πραγματικός αριθμός	Επιβάτες / βάρδια
pass_day	Πραγματικός αριθμός	Επιβάτες / ημέρα
pass_sched_buskm	Πραγματικός αριθμός	Επιβάτες / προγραμματισμένο οχηματοχιλιόμετρο
pass_exec_buskm	Πραγματικός αριθμός	Επιβάτες / εκτελεσθέν οχηματοχιλιόμετρο
pass_sched_itiner	Πραγματικός αριθμός	Επιβάτες / προγραμματισμένο δρομολόγιο
pass_exec_itiner	Πραγματικός αριθμός	Επιβάτες / εκτελεσθέν δρομολόγιο
cost_passenger	Πραγματικός αριθμός	Κόστος / επιβάτη
Accidents	Πραγματικός αριθμός	Αριθμός ατυχημάτων
accidents_1000km	Πραγματικός αριθμός	Ατυχήματα ανά 1000 km
Complaints	Πραγματικός αριθμός	Παράπονα
max_overlap	Πραγματικός αριθμός	Μέγιστη αλληλοεπικάλυψη
number_overlaps	Πραγματικός αριθμός	Πλήθος αλληλοεπικαλυπτόμενων γραμμών.
best_route	Πραγματικός αριθμός	Μήκος βέλτιστης διαδρομής
Straightness	Πραγματικός αριθμός	Ευθύτητα

Οι υπολογιζόμενοι επιμέρους δείκτες και τα αντίστοιχα βάρη αποθηκεύονται στον τρίτο και τέταρτο πίνακα της βάσης δεδομένων αντίστοιχα (Πίνακας 4.3 και 4.4)

Πίνακας 4.2: Πίνακας Υπολογιζόμενων Δεικτών Βάσης Δεδομένων

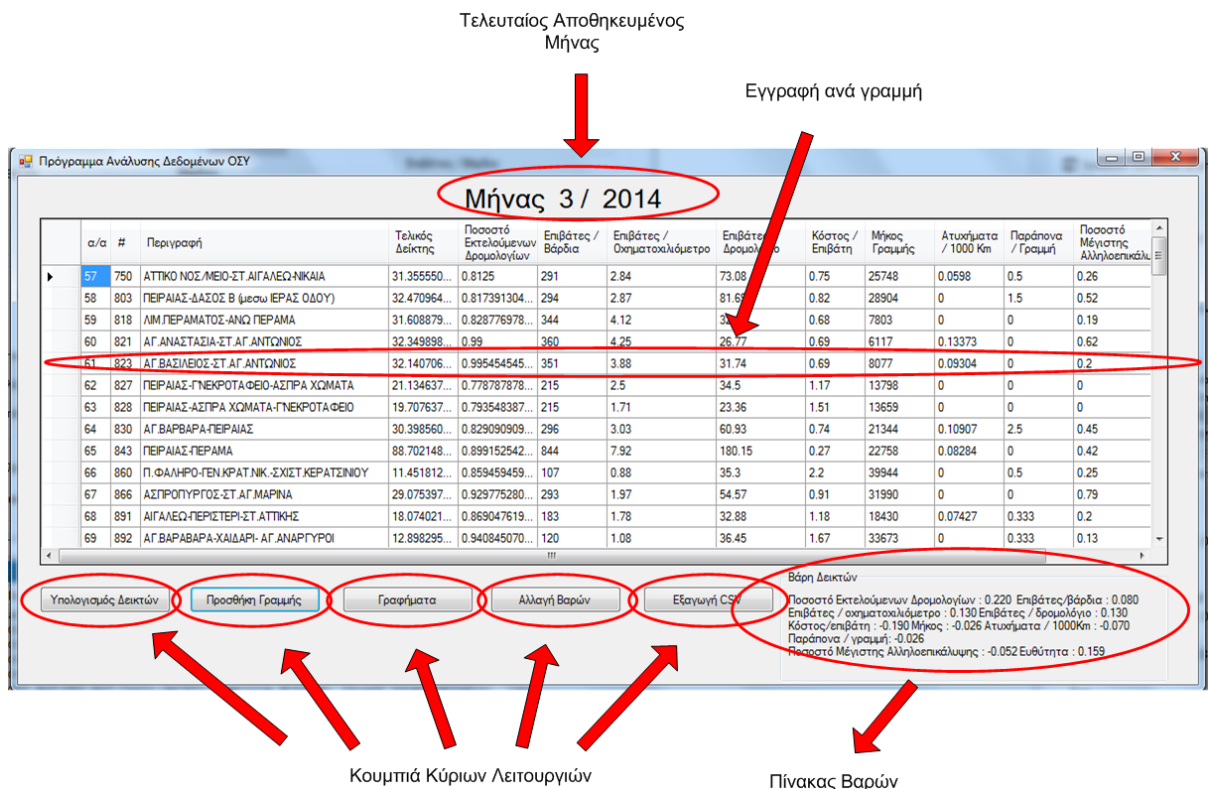
Ονομασία Πεδίου	Τύπος	Περιγραφή
line_id	Ακέραιος	Μοναδικό χαρακτηριστικό γραμμής.
record_month	Ημερομηνία	Καταχώρηση του μήνα περιγραφής
i_exec_itinerary	Πραγματικός αριθμός	Δείκτης ποσοστού εκτελεσθέντων δρομολογίων
i_passenger_per_shift	Πραγματικός αριθμός	Δείκτης επιβατών/βάρδια
i_passenger_per_buskm	Πραγματικός αριθμός	Δείκτης επιβατών/ οχηματοχιλιόμετρο
i_passenger_itinerary	Πραγματικός αριθμός	Δείκτης επιβατών/δρομολόγιο
i_cost_per_passenger	Πραγματικός αριθμός	Δείκτης συνολικού κόστους/ επιβάτη
i_length	Πραγματικός αριθμός	Δείκτης μήκους γραμμής
i_accidents	Πραγματικός αριθμός	Δείκτης ατυχημάτων
i_complaints	Πραγματικός αριθμός	Δείκτης παραπόνων
i_overlaps	Πραγματικός αριθμός	Δείκτης αλληλοεπικάλυψης
i_straightness	Πραγματικός αριθμός	Δείκτης ευθύτητας
i_final	Πραγματικός αριθμός	Συνολικός δείκτης

Πίνακας 4.4: Πίνακας Υπολογιζόμενων Δεικτών Βάσης Δεδομένων

Ονομασία Πεδίου	Τύπος	Περιγραφή
w_exec_itinerary	Πραγματικός αριθμός	Βάρος ποσοστού εκτελεσθέντων δρομολογίων
w_passenger_per_shift	Πραγματικός αριθμός	Βάρος επιβατών/βάρδια
w_passenger_per_busKm	Πραγματικός αριθμός	Βάρος επιβατών/οχηματοχιλιόμετρο
w_passenger_per_itinerary	Πραγματικός αριθμός	Βάρος επιβατών/ δρομολόγιο
w_cost_per_passenger	Πραγματικός αριθμός	Βάρος συνολικού κόστους/επιβάτη
w_length	Πραγματικός αριθμός	Βάρος μήκους γραμμής
w_accidents	Πραγματικός αριθμός	Βάρος ατυχημάτων
w_complaints	Πραγματικός αριθμός	Βάρος παραπόνων
w_overlaps	Πραγματικός αριθμός	Βάρος αλληλοεπικάλυψης
w_straightness	Πραγματικός αριθμός	Βάρος ευθύτητας

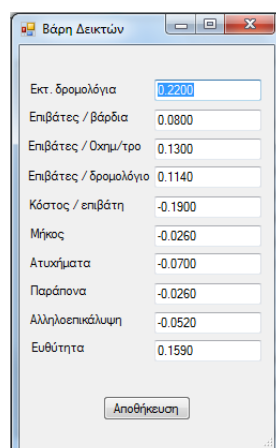
5. Λειτουργία Συστήματος

Το γραφικό περιβάλλον του συστήματος παρέχει δυνατότητες πρόσβασης και τροποποίησης της βάσης δεδομένων, πραγματοποίησης αναλύσεων και εξαγωγής αναφορών. Η κεντρική οθόνη του συστήματος φαίνεται στο Σχήμα 5.1. Στην κεντρική οθόνη τα δεδομένα παρουσιάζονται σε μηνιαία βάση:



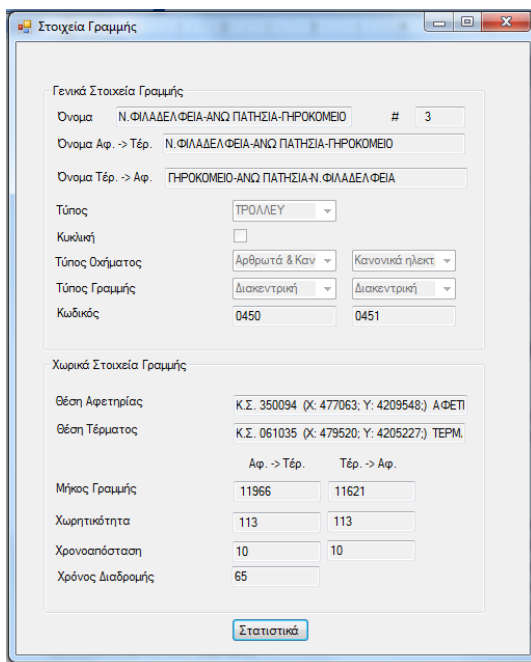
Σχήμα 5.1: Κεντρική Οθόνη Συστήματος

Μέσω της κεντρικής οθόνης είναι δυνατή η εποπτεία των βασικών στοιχείων ανά γραμμή, όπως αυτές έχουν καταχωρηθεί στη βάση δεδομένων, ο υπολογισμός των επιμέρους δεικτών, η προσθήκη ή τροποποίηση στοιχείων γραμμής, η δημιουργία γραφημάτων, η τροποποίηση των βαρών υπολογισμού (Σχήμα 5.2) καθώς και η εξαγωγή των στοιχείων σε αρχείο αναγνώσιμο από άλλα λογισμικά. Μέσω της κεντρικής οθόνης είναι επίσης δυνατή η εφαρμογή φίλτρων με στόχο τη εξέταση γραμμών συγκεκριμένων χαρακτηριστικών.

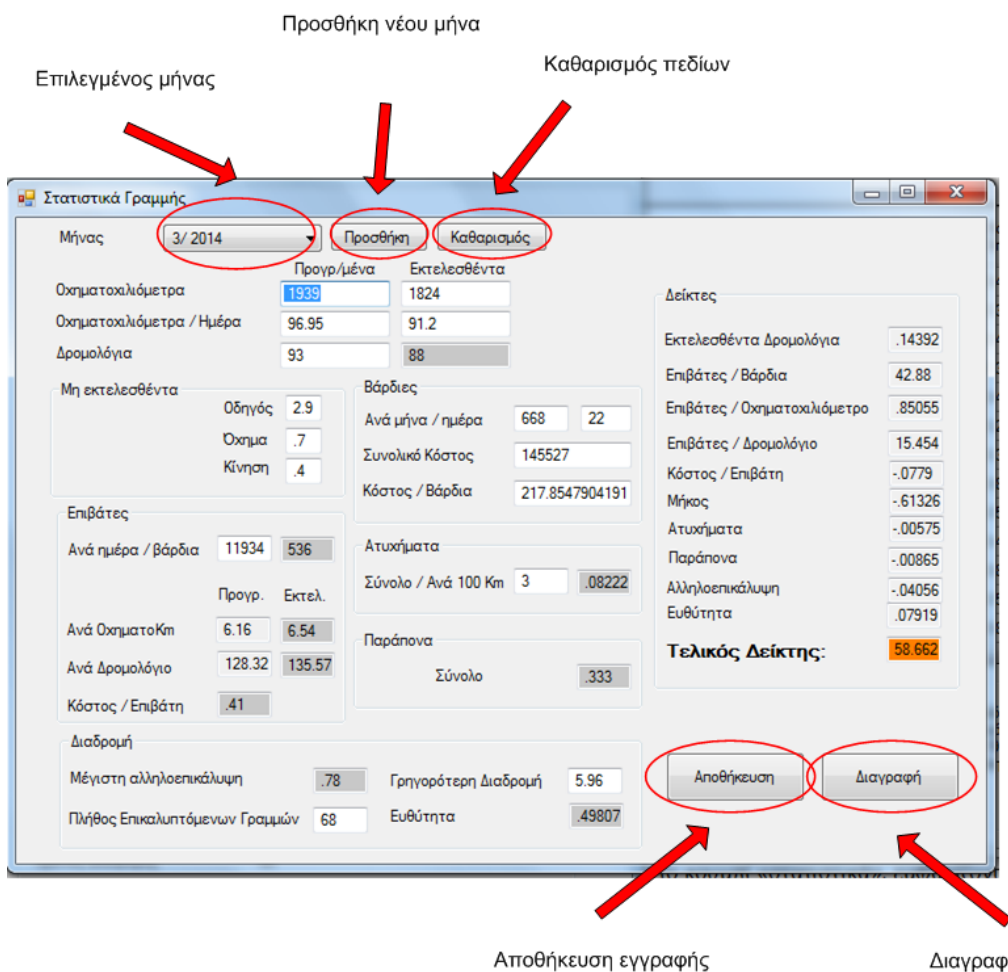


Σχήμα 5.2: Παράθυρο αλλαγής βαρών

Η προσθήκη νέας γραμμής ή η τροποποίηση στοιχείων υπάρχουσας γραμμής φαίνεται στα Σχήματα 5.3 και 5.4. Για κάποια από τα δεδομένα (πχ Τύπος οχήματος) υπάρχουν προεπιλογές, οι οποίες είναι συμβατές με τα χαρακτηριστικά των ΟΣΥ Α.Ε. Παρόλα αυτά είναι δυνατή και η δημιουργία νέων τύπων δεδομένων αν αυτό απαιτείται.

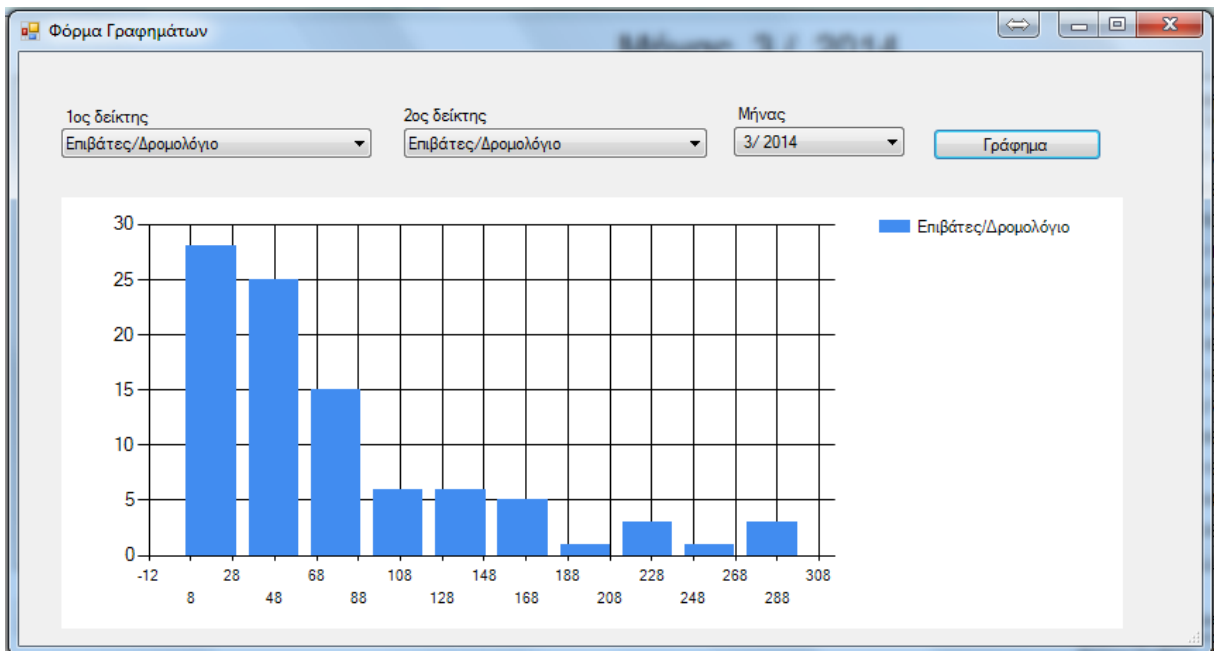


Σχήμα 5.3: Παράθυρο Εισαγωγής / Τροποποίηση Βασικών Στοιχείων Γραμμής

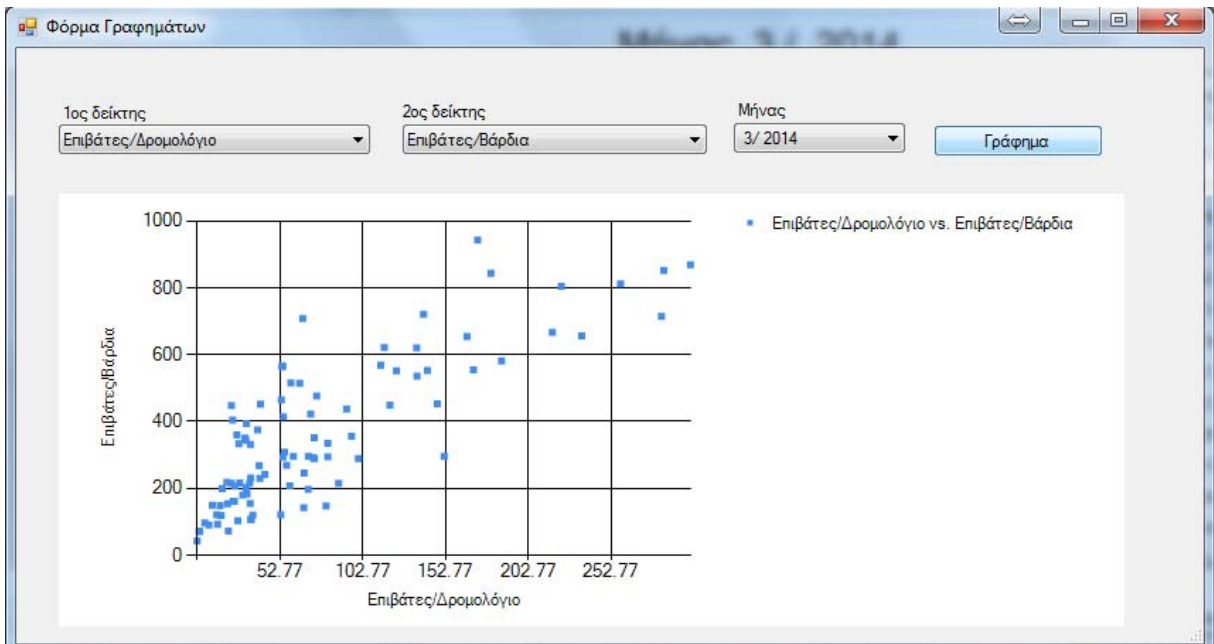


Σχήμα 5.4: Παράθυρο Εισαγωγής / Τροποποίηση Στατιστικών Στοιχείων Γραμμής

Σημειώνεται ότι σε κάθε αλλαγή στοιχείων γραμμής (Σχήμα 5.4), υπολογίζονται αυτόματα και οι επιμέρους δείκτες απόδοσης της γραμμής. Ολοκληρώνοντας, η δυνατότητα παραγωγής γραφημάτων περιλαμβάνει ιστογράμματα μηνιαίας μεταβολής δεικτών (Σχήμα 5.5) αλλά και γραφήματα συσχέτισης δεικτών ανά δύο (scatter plots) (Σχήμα 5.6).



Σχήμα 5.5: Παράθυρο Δημιουργίας Ιστογραμμάτων Δεικτών Γραμμής



Σχήμα 5.6: Παράθυρο Δημιουργίας Συσχέτισης Δεικτών Γραμμών

6. Συμπεράσματα

Η παρακολούθηση της απόδοσης συστημάτων αστικών συγκοινωνιών είναι απαραίτητο να υποστηρίζεται από κατάλληλα εργαλεία, μέσω των οποίων είναι δυνατή η στήριξη αποφάσεων που αφορούν στο σχεδιασμό και στη λειτουργία τους. Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκε σύστημα διαχείρισης των δεδομένων και δεικτών απόδοσης των ΟΣΥ Α.Ε., μέσω του οποίου είναι δυνατή η ανάλυση και αξιολόγηση της αποδοτικότητας και αποτελεσματικότητας των γραμμών του φορέα. Το σύστημα βασίστηκε σε αριθμό δεικτών, οι οποίοι προσδιορίστηκαν σε συνεργασία με τις ΟΣΥ Α.Ε., η δε εκτίμησή τους είναι δυνατή από τα συλλεγόμενα δεδομένα του οργανισμού. Το σύστημα έχει τη δυνατότητα καταχώρησης και διαχείρισης των αναγκαίων στοιχείων για την εκτίμηση των επιμέρους και συνολικών δεικτών, καθώς και την παραγωγή και εποπτική απεικόνιση τόσο των δεικτών όσο και λοιπών συγκεντρωτικών αποτελεσμάτων και αναλύσεων. Θεωρείται ότι θα αποτελέσει χρήσιμο εργαλείο, με το οποίο οι ΟΣΥ Α.Ε. θα μπορούν να παρακολουθούν την απόδοση τόσο των επιμέρους γραμμών όσο και συνολικά του συστήματος των γραμμών. Περαιτέρω βελτιώσεις μπορούν να εστιάσουν στη διασύνδεση του συστήματος με γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών, στην δικτυακή λειτουργία του συστήματος και στη σύνδεση του με το σύστημα τηλεματικής του ΟΑΣΑ ώστε να είναι δυνατή η συστηματική ανανέωση δεδομένων, στην επέκταση των δυνατοτήτων παραγωγής αναλύσεων και αναφορών αλλά και στην επέκταση των δεδομένων του συστήματος για επιπλέον γραμμές λεωφορείων και τρόλεϊ..

7. Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία βασίζεται στα αποτελέσματα του ερευνητικού έργου «Μεθοδολογία Οικονομικής Αξιολόγησης και Αναδιάρθρωσης των Γραμμών των ΟΣΥ Α.Ε.», το οποίο χρηματοδοτήθηκε από τις ΟΣΥ Α.Ε.

8. Αναφορές

- Boldt, R. (1994), *Management Information Systems, TCRP Synthesis of Transit Practice 5*, National Academy Press, Washington, DC.
- Eboli, L. and Mazzulla, G. (2012). Performance indicators for an objective measure of public transport service quality. *European Transport*, 51(3), 1-21.
- Fielding, G.J. (1987). *Managing Public Transit Strategically*. Jossey-Bass, San Francisco.
- Herrscher, K. (2006). How Data Warehouse Technology Enables Transit Agencies to Make Informed Decisions with Superior Data. *Bus & Paratransit Conference Proceedings*, April 29-May 3, 2006, Orange County, CA.
- Katsampi, D., Kepaptsoglou, K., Vlahogianni, E.I., Psallidaki, T., Karlaftis, M.G. (2015). A bus line performance index for the Athens transit system. *Advances in Transportation Studies: An International Journal*. XXXVII.
- Kittelton and Associates, Urbitran, Inc., LKC Consulting Services, Morpace International, Queensland University of Technology, Nakanishi, Y. (2003). *A Guidebook for Developing a Transit Performance-Measurement System. TCRP Report 88*, Transportation Research Board, National Academy Press, Washington DC.

- Park, S-G., Ryu, G-H. (2010). The Effectiveness Analysis of Bus Information and Management Deployment in Busan Metropolitan City. *Proceedings of the 17th ITS World Congress*, Busan, China.
- Saaty T. and Vargas L. (2006). Decision making with the analytic network process: Economic, political, social and technological applications with benefits, opportunities, costs and risks, *Operations Research & Management Science*, Springer, New York.
- Sriraj, P.S., Dirks, L., Singh, H. (2010). Developing an Information Management System for Public and Specialized Transportation Providers of Illinois: A Web-Based, Interactive System. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2145, pp. 91-99.