

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ
ΥΠΟΔΟΜΗΣ



ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ
ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

ΕΥΓΕΝΙΑ ΤΡΙΨΙΓΑΛΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΜΠΑΛΛΗΣ,
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2013

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά:

Την οικογένεια μου για τη στήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια.

Τον κύριο Αθανάσιο Μπαλλή, Αναπληρωτή Καθηγητή Ε.Μ.Π και επιβλέποντα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, για την εμπιστοσύνη και υποστήριξή του.

Τον κύριο Λουκά Δημητρίου για τη (μακρόχρονη) βοήθεια και καθοδήγησή του.

Τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, κύριο Αντώνιο Σταθόπουλο, Καθηγητή Ε.Μ.Π. και κύριο Δημήτριο Τσαμπούλα, Καθηγητή Ε.Μ.Π., για τις χρήσιμες υποδείξεις τους.

Τους: Βασίλη, Νίκο, Δημήτρη, Φαίη, Νίκη, Αθηνά, Στέφανο, Δανάη, Στέργιο, Νίκο, Άρη, Αντωνία, Φαίδρα (και ίσως λίγο και το Γιάννη).

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εξετάζει την εφαρμογή του βέλτιστου σχεδιασμού επεμβάσεων σε αστικά οδικά δίκτυα. Η εργασία βασίζεται στην κατασκευή ενός μοντέλου κατανομής των χρηστών στο δίκτυο (επιλογή διαδρομής) σε excel και εφαρμογής του στη σχεδιαζόμενη επέκταση της περιφερειακής Υμηττού.

Πρώτα αναλύονται βασικές έννοιες κόστους, ζήτησης και προσφοράς, με έμφαση στις ιδιαιτερότητες που απορρέουν από τη χρήση τους με μεταφορικούς όρους. Έπειτα παρουσιάζονται οι συνιστώσες του κόστους που χρησιμοποιούνται στη λειτουργία των οδικών δικτύων και τα οποία διαχωρίζονται σε κόστη στον χρήστη, κόστος του έργου και εξωτερικά κόστη. Έπειτα αναλύεται το μέτρο της τιμολόγησης των μεταφορών και εξετάζονται οι πολιτικές που μπορεί να ακολουθούνται κατά την ανάπτυξη μεταφορικών υποδομών (στόχοι).

Ακολουθεί η εξέταση σεναρίων χρηματοδότησης των μεταφορικών υποδομών και αναφέρονται στοιχεία χρηματοδότησης μεταφορικών έργων που έχουν υλοποιηθεί στη Ευρωπαϊκή Ένωση, αλλά και σενάρια χρηματοδότησης που έχουν ακολουθηθεί στην Ελλάδα.

Στη συνέχεια αναλύεται το πρόβλημα της βέλτιστης κατανομής πόρων, καθώς ο βέλτιστος σχεδιασμός στοχεύει σε αυτό ακριβώς, την κατανομή των πεπερασμένων πόρων (διαθέσιμος προϋπολογισμός, γη, τεχνολογία) που απαιτούνται για την υλοποίηση ενός μεταφορικού έργου με σκοπό την υλοποίηση των στόχων του συγκεκριμένου έργου. Περιγράφεται η διαδικασία ανάπτυξης των μοντέλων συγκοινωνιακού σχεδιασμού. Έπειτα αναλύεται η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος της βελτιστοποίησης το οποίο στα μεταφορικά συστήματα ονομάζεται Πρόβλημα Σχεδιασμού Δικτύου (Network Design Problem) και διακρίνεται σε διακριτό και συνεχές, ανάλογα με το είδος των μεταβλητών, καθώς και μείξη των δύο. Το Πρόβλημα Σχεδιασμού Δικτύου μαθηματικά διατυπώνεται ως Πρόβλημα Βελτιστοποίησης Δυο Επιπέδων, το οποίο μπορεί και να περιγραφεί με τη Θεωρία Παιγνίων.

Έπειτα αναπτύσσεται μαθηματικό μοντέλο δύο επιπέδων το οποίο στο Άνω επίπεδο περιλαμβάνει του στόχους της ελαχιστοποίησης του Συνολικού Χρόνου Ταξιδιού, και την μεγιστοποίηση των εσόδων και των κερδών, ενώ στο Κάτω Επίπεδο σκοπός των χρηστών είναι η ελαχιστοποίηση του αντιληπτού του κόστους. Γίνεται εφαρμογή στην Επέκταση της

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

Περιφερειακής Υμηττού. Εξετάζονται 3 σενάρια βέλτιστου σχεδιασμό: στο πρώτο μεταβάλλεται ο αριθμός των λωρίδων ενώ διατηρείται σταθερή η τιμή διοδίου, στο δεύτερο σενάριο μεταβάλλεται η τιμή του διοδίου και το έργο θεωρείται ότι κατασκευάζεται στην πλήρη του μορφή (3 λωρίδες/κατεύθυνση), ενώ στο τρίτο σενάριο γίνεται ταυτόχρονος προσδιορισμός της τιμής του διοδίου και του αριθμού των λωρίδων. Τα σενάρια εξετάζονται για 4 συνθήκες ζήτησης, την υπάρχουσα όπως προέκυψε από τα στοιχεία του ΟΑΣΑ, ένα μικρότερης ζήτησης και 2 μεγάλης και πολύ μεγάλης. Λόγω ελλείψεων δεδομένων, εφόσον το έργο δεν έχει ακόμη λάβει την τελική του χάραξη, γίνεται διερεύνηση διαφόρων μεγεθών, όπως της παραμέτρου της τιμής του διοδίου στην εξίσωση χρησιμότητας, της επιρροής των μεγεθών της ζήτησης στην τιμή του διοδίου και διαφόρων τιμών κόστους κατασκευής/Km.

Στο τέλος συνοψίζονται τα συμπεράσματα της προαναφερθείσας εφαρμογής και προτείνονται βήματα για περαιτέρω βελτίωση του μαθηματικού μοντέλου καθώς και της εφαρμογής του στην περιοχή μελέτης ώστε να εξαχθούν αποτελέσματα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην οριστική φάση της μελέτης του έργου.

Summary

This diploma thesis addresses the optimal design of urban road transport networks. It is based on the construction of a model for users' route choice in excel and its use for optimization of certain objectives for a specific case study (the expansion of the Periferiaki Imittou Road).

Firstly the basic notions of transport costs, supply and demand are analyzed and then the costs that occur during the construction and operation of a road project are presented. These costs include user costs, the costs related to the project itself (construction, maintenance etc) and external costs. In addition the policies (targets) that might be pursued by the development of transport infrastructure are examined.

The next part examines the different ways of financing of transport infrastructure (PPPs or public financing) and information is given regarding transport projects financing in Europe and in Greece.

The process of building transport models is examined. Furthermore, the mathematical representation of the problems of optimization in transport is presented, which is as a bi-level program. In the upper level lie the decision-making authorities, responsible for controlling the variables such as pricing measure, price, constructed lanes etc, whereas in the lower level the lie the users of the infrastructure. The optimal allocation of resources (space, money, technology etc) in transport networks is usually referred as Network Design Problem, and can be distinguished in discrete and continuous, or a mixture of both, depending on the variables. For these kind of problems game theory can also be used to represent the interaction between the stakeholders of the upper level and the transport users on the lower level (Stackelberg game) as well the interaction between the users in the lower level (Nash game).

A mathematic model (bi-level program) is then developed and applied to the specific case of the expansion of the Periferiaki Imittou Road. The targets of the upper level are the minimization of the Total Travel Time, the maximization of revenues and the maximization of profits, whereas the users of the lower level have as their target the minimization of their perceived generalized cost. 3 scenarios of optimal design are examined: in the first the flat toll is regarded as constant and the variables are the number of the lanes to be built or operated, in the second scenario the

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

toll is regarded as variable, whereas the project is built at full capacity (3 lanes/direction), and in the third scenario joint decisions of optimal road investment and pricing is examined. These scenarios are examined for different levels of demand (actual demand, lower, higher and very high) and certain parameters are tested (of the utility function, different construction cost/km levels and the influence of the demand levels on the toll price). These tests were deemed necessary because there are limited data at this moment since the project is still under consideration and the design parameters have not yet been finalized. In this light, this thesis offers a useful indication on where the levels of toll price and the number of lanes needed will lie in relation to the levels of demand, utility function parameters and construction cost when these will be determined.

In the end these correlations are analyzed and suggestions are made for further improvement of the model and which data should be examined in more depth for the final phase of the project.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
SUMMARY.....	7
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	13
1.2 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΣΤΗ ΚΟΙΝΩΝΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ	14
1.3 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΟΔΙΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ 15	
1.4 ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ.....	16
1.5 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	17
2. ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΚΟΣΤΟΥΣ.....	19
2.1 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ- ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΓΕΝΙΚΗ ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ	19
2.1.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΟΣΤΟΥΣ.....	19
2.1.2 ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΗ ΠΡΟΣΦΟΡΑ ΚΑΙ ΖΗΤΗΣΗ	21
2.1.3 ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΗ ΖΗΤΗΣΗ.....	21
2.1.4 ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΗ ΠΡΟΣΦΟΡΑ	24
2.1.5 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΖΗΤΗΣΗΣ.....	25
2.1.6 ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ-ΖΗΤΗΣΗΣ	25
2.2 ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΟΔΙΚΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ.....	26
2.2.1 ΚΟΣΤΟΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΧΡΗΣΤΗ.....	26
2.2.2 ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΈΡΓΟΥ.....	27
2.2.3 ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΚΟΣΤΗ	28
2.3. ΤΟ ΜΕΤΡΟ ΤΗΣ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ.....	29
2.4. ΚΟΙΝΩΝΙΚΑ ΔΙΛΗΜΜΑΤΑ ΣΤΙΣ ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΟΔΙΚΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ.....	33
3. ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ	35

3.1. ΣΕΝΑΡΙΑ ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΟΔΙΚΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ	
35	
3.2. ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΣΤΗΝ ΕΕ	39
3.3. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ..	44
3.3.1. ΈΡΓΑ ΣΔΙΤ	44
3.3.2. ΔΗΜΟΣΙΕΣ ΕΠΕΝΔΥΣΕΙΣ.....	47
4. ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΠΟΡΩΝ	
49	
4.1. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΠΟΡΩΝ	49
4.2 ΜΟΝΤΕΛΑ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	51
4.2. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ	55
4.3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	61
5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	64
5.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ	64
5.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	70
5.3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΓΕΝΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	75
5.4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	80
5.5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	82
5.5.1 ΣΕΝΑΡΙΟ ΒΑΣΗΣ	82
5.5.2 ΣΕΝΑΡΙΟ 1	84
5.5.3 ΣΕΝΑΡΙΟ 2.....	88
5.5.4 ΣΕΝΑΡΙΟ 3.....	92
5.5.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	97
5.5.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟ Β ΤΟΥ ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ	99
5.5.7 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΧΡΗΣΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ	101
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ –ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	105
6.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	105
6.2. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	106
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	108

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	108
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	110

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

1. Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή στη λειτουργία μεταφορικών συστημάτων

Μετακίνηση/Μεταφορά ονομάζεται η κίνηση από ένα σημείο προέλευσης σε ένα σημείο προορισμού. Οι μετακινήσεις διαχωρίζονται σε μετακινήσεις προσώπων και μετακινήσεις αγαθών. Συνήθως με τον όρο μετακίνηση αναφέρεται η κίνηση των επιβατών ενώ η κίνηση αγαθών περιγράφεται με τον όρο μεταφορά. Για την πραγματοποίηση των μεταφορών-μετακινήσεων απαιτούνται:

- ✓ Τα οχήματα κάθε τύπου με τα οποία μετακινούνται τα πρόσωπα και/ή τα αγαθά (λεωφορεία, αεροπλάνα, ΙΧ κ.α.)
- ✓ Τα δίκτυα μεταφορών όπου κινούνται τα οχήματα (δρόμοι, δίκτυο σιδηροδρομικών γραμμών, τραμ, μετρό κ.α.)
- ✓ Οι τερματικές εγκαταστάσεις, δηλαδή οι σταθμοί επιβίβασης ή αποβίβασης επιβατών και φορτοεκφόρτωσης αγαθών (τερματικοί σταθμοί λιμένων, αεροδρόμια, σταθμοί μετρό, τραμ κ.α.) και οι χώροι στάθμευσης των οχημάτων.

Τα τρία αυτά στοιχεία αποτελούν σε κάθε περίπτωση ένα σύστημα μεταφορών.

Κάθε μετακίνηση χαρακτηρίζεται βάσει κάποιων χαρακτηριστικών. Αυτά είναι:

- Το σκοπό για τον οποίο γίνεται (εργασία, αναψυχή κλπ)
- Τον τρόπο πραγματοποίησης, δηλαδή με το μέσο με το οποίο πραγματοποιείται (μαζικές συγκοινωνίες, επιβατικά αυτοκίνητα κλπ)
- Το μήκος της
- Τη χρονική διάρκειά της
- Τη χρονική περίοδο πραγματοποίησης της

Το σύνολο των απαιτήσεων για μεταφορές-μετακινήσεις ονομάζεται Ζήτηση ενώ το σύστημα των μεταφορών (υποδομές- οχήματα κλπ) ονομάζονται Προσφορά (Α. Σταθόπουλος, Μ. Καρλαύτης. *Σχεδιασμός Μεταφορικών Συστημάτων*. Αθήνα 2008, Εκδόσεις Παπασωτηρίου).

Η μεταφορική ζήτηση χαρακτηρίζεται ως παραγόμενη ζήτηση, αφού σπανίως η μεταφορά είναι αυτοσκοπός. Συνήθως η ζήτηση για μεταφορά-μετακίνηση απορρέει από την ανάγκη για κάποια άλλη δραστηριότητα (ανάγκη για δουλειά, ανάγκη για αναψυχή, ανάγκη για μεταφορά προϊόντων κλπ). Ως προσφορά μεταφορικού συστήματος ορίζεται ο αριθμός ταξιδιών που μπορεί να προσφέρει ένα σύστημα με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και σε συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας (Α. Σταθόπουλος, Μ. Καρλαύτης. *Σχεδιασμός Μεταφορικών Συστημάτων*. Αθήνα 2008, Εκδόσεις Παπασωτηρίου).

Οι μεταφορές μπορεί να προσφέρονται από τις κυβερνήσεις (σε εθνικό, περιφερειακό ή τοπικό επίπεδο), ιδιωτικές εταιρείες μεταφορών, εταιρείες που χρησιμοποιούν ιδιωτικά μεταφορικά μέσα για να διακινήσουν τα προϊόντα τους ή ατομικά όπως αυτοκίνητα ΙΧ.

Όσο αυξάνει η ανάγκη-ζήτηση για μεταφορά, αυξάνει και η ανάγκη για ανάπτυξη των μεταφορικών συστημάτων.

Ο σχεδιασμός των μεταφορικών συστημάτων αναφέρεται τόσο στις υποδομές (τερματικοί σταθμοί, κλπ) όσο και στον τρόπο και τη κατανομή των χρηστών σε αυτό (τρόπος λήψης απόφασης για την επιλογή διαδρομής κλπ). Η ποσότητα ταξιδιών που πραγματοποιείται σε μια δεδομένη στιγμή σε οποιαδήποτε οδό, διατομή, ή γραμμή διέλευσης σε μια αστική περιοχή είναι το αποτέλεσμα ατομικών επιδιώξεων μεταφοράς. Οι ταξιδιώτες επιλέγουν εάν και πότε θα πραγματοποιήσουν ένα ταξίδι για κάποιο σκοπό, ποιο τρόπο μεταφοράς θα χρησιμοποιήσουν (π.χ., Ι.Χ., ΜΜΜ), πού θα πάνε, με ποιο τρόπο θα φθάσουν εκεί.

1.2 Ο ρόλος των συστημάτων μεταφορών στη κοινωνική ανάπτυξη

Από αρχαιοτάτων χρόνων οι μεταφορές έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην ανατολή, ανάπτυξη και δύση των ανθρωπίνων κοινωνιών. Οι θαλάσσιες μεταφορές αποτέλεσαν τη βάση της οικονομίας της Αρχαίας Ελλάδας, μέσω της ανάπτυξης οδικών δικτύων οι Ρωμαίοι κατάφεραν να επεκτείνουν την αυτοκρατορία τους, η εφεύρεση της ατμομηχανής οδήγησε στην ανάπτυξη των σιδηροδρόμων και στην επέκταση των δραστηριοτήτων της Βιομηχανικής εποχής. Οι μεταφορές συνέβαλλαν στην ανακάλυψη νέων περιοχών και εντέλει στη σημερινή παγκόσμια κοινωνία. Γίνεται αντιληπτό ότι οι μεταφορές ήταν παρούσες σε όλες τις ιστορικές εποχές και συνέβαλλαν στην ανάπτυξη πολλών τομέων της ανθρώπινης δραστηριότητας, με έναν εκ των σημαντικότερων την οικονομική δραστηριότητα.

Οι οικονομικές δραστηριότητες απαιτούν την παραγωγή και κατανάλωση αγαθών. Πολλές φορές οι πρώτες ύλες για την παραγωγή και ο τελικός αποδέκτης για την κατανάλωση δε βρίσκονται στον ίδιο τόπο. Γίνεται κατανοητή η ανάγκη για μεταφορές υλών και προϊόντων, οι οποίες δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν χωρίς ικανοποιητικό και επαρκές μεταφορικό σύστημα. Παράλληλα, περιοχές με καλή μεταφορική σύνδεση έλκουν περισσότερες οικονομικές δραστηριότητες. Εφόσον το μεταφορικό κόστος μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό ποσοστό του τελικού κόστους ενός προϊόντος, γίνεται αντιληπτό ότι η μείωση των κοστών των μεταφορών, είτε των πρώτων υλών είτε του τελικού προϊόντος, οδηγεί στη μείωση των τιμών και κατά συνέπεια στην αύξηση της ζήτησης για το προϊόν. Ως αποτέλεσμα, περιοχές με καλή μεταφορική σύνδεση σημαίνουν μειωμένα κόστη για την παραγωγή προϊόντων άρα έλξη παραγωγικών-οικονομικών δραστηριοτήτων.

Ένας σημαντικός παράγοντας στον οποίο έχουν σημαντικές επιπτώσεις οι μεταφορές είναι η ασφάλεια. Είναι γεγονός ότι παγκοσμίως οι θάνατοι και οι τραυματισμοί κυρίως στις οδικές μεταφορές φτάνουν σε όρια επιδημίας. Παράλληλα όμως, η ύπαρξη ενός αξιόπιστου μεταφορικού συστήματος σε περιπτώσεις φυσικών καταστροφών (πχ πυρκαγιές) μπορεί να σώσει ζωές, βοηθώντας στην έγκαιρη μετάβαση σωστικών συνεργείων και στη μεταφορά ειδών πρώτης ανάγκης.

1.3 Το πρόβλημα της βέλτιστης ανάπτυξης συστήματος οδικής υποδομής

Το πρόβλημα της βέλτιστης ανάπτυξης συστήματος οδικής υποδομής εξετάζει την επιλογή του αριθμού συνδέσμων προς κατασκευή ή τη δημιουργία καινούργιων (κατασκευή νέου δικτύου) ή βελτίωση των λειτουργικών χαρακτηριστικών (βελτίωση κυκλοφοριακής ικανότητας, μείωση ατυχημάτων, μείωση θορύβου κλπ) σε ένα υπάρχον οδικό δίκτυο, με παράλληλη πρόβλεψη της συμπεριφοράς των χρηστών στο δίκτυο (ποια διαδρομή θα επιλέξουν, με ποια κριτήρια κλπ). Ο στόχος είναι να ληφθεί μια βέλτιστη απόφαση επένδυσης προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος ταξιδιού στο δίκτυο (το οποίο μπορεί να περιλαμβάνει πολλές συνιστώσες, όπως λειτουργικό κόστος οχήματος, κόστος χρόνου, θόρυβος) ή εν γένει να βελτιστοποιηθεί ένας ή και περισσότεροι προαποφασισμένοι στόχοι (βελτιστοποίηση κερδών, ελαχιστοποίηση κατασκευαστικού ή/και κόστους συντήρησης κλπ) .

Μαθηματικά, η βέλτιστη ανάπτυξη οδικού συστήματος μπορεί να περιγραφεί ως ένα πρόγραμμα 2 επιπέδων. Το πρόγραμμα αυτό περιλαμβάνει 2 βασικά εμπλεκόμενα μέλη:

- Στο άνω επίπεδο περιγράφεται η αρχή που ορίζει τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του δικτύου (παραδείγματος χάριν αριθμός λωρίδων) ή/και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του (παραδείγματος χάριν τιμή διοδίου). Η αρχή αυτή μπορεί να είναι το κράτος (δημόσιες αρχές), ιδιωτικές κατασκευαστικές εταιρείες (λαμβάνοντας μέρος σε μονοπωλιακές εταιρείες- σε περιπτώσεις κατασκευής με τη μέθοδο των ΣΔΙΤ) κλπ (Τσαμπούλας Δ. «Στοιχεία για την Αξιολόγηση συγκοινωνιακών έργων Υποδομής» , Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2004). Σε αυτό το επίπεδο ορίζονται οι στόχοι προς βελτιστοποίηση και οι μεταβλητές του προβλήματος (τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν παραπάνω, δηλαδή η τιμή διοδίου, ο αριθμός των λωρίδων προς κατασκευή κλπ). Η λύση που θα προκύψει (οι τιμές που θα λάβουν οι μεταβλητές ή ο στόχος) μπορεί να περιορίζεται από διάφορους παράγοντες, όπως ο διαθέσιμος προϋπολογισμός του έργου ή κάποιες συνθήκες εξυπηρέτησης που οφείλει να διατηρεί το δίκτυο (βλέπε Dimitriou et al, 2009). Η όποια αρχή πρέπει με αυτούς τους περιορισμούς να δημιουργήσει νέες συνδέσεις στο δίκτυο ή να αναβαθμίσει τα υπάρχοντα χαρακτηριστικά με σκοπό τη βελτιστοποίηση του στόχου που τίθεται. Μέσω

των μεταβλητών αυτών η προαναφερθείσα αρχή προσπαθεί να επηρεάσει τις επιλογές των χρηστών του δικτύου όσον αφορά τη διαδρομή, το μέσο κ.α. με σκοπό τη βελτιστοποίηση του στόχου του από την τελική κατανομή των χρηστών στο δίκτυο.

- Στο κάτω επίπεδο περιλαμβάνονται οι χρήστες. Κάθε χρήστης προσπαθεί να επιλέξει τη διαδρομή η οποία του δημιουργεί το μικρότερο προσωπικό κόστος, το οποίο μπορεί να περιλαμβάνει το κόστος λειτουργίας του οχήματος, το κόστος χρόνου και εν γένει τις συνιστώσες κόστους που λαμβάνει υπόψη του κάθε χρήστης (γενικευμένο κόστος- θα αναλυθεί περαιτέρω στο κεφάλαιο 2. Το κόστος όμως αυτό δεν είναι πάντα και το ελάχιστο κι αυτό οφείλεται στην ελλιπή πληροφόρηση για το συνολικό δίκτυο. Ο χρήστης υπολογίζει το κόστος της διαδρομής βάσει όσων αντιλαμβάνεται και χωρίς να λαμβάνει υπόψη το επιπλέον κόστος που προκαλεί στο υπόλοιπο κοινωνικό σύνολο.

Η βέλτιστη λύση εξαρτάται από το στόχο που τίθεται. Η λύση για μεγιστοποίηση των κερδών μπορεί να είναι διαφορετική από τη λύση για ελαχιστοποίηση του Συνολικού Χρόνου Ταξιδιού ή της μεγιστοποίησης της κοινωνικής ευημερίας. Επίσης οι στόχοι που τίθενται από τα εμπλεκόμενα μέλη μπορεί να είναι αντικρουόμενοι μεταξύ τους.

1.4 Χρηματοδότηση επενδύσεων στον τομέα των μεταφορών

Παραδοσιακά, η μεταφορική υποδομή κατασκευάζεται με δημόσια χρηματοδότηση, είτε περιφερειακή (επίπεδο δήμων και κοινοτήτων στα πλαίσια μιας χώρας), εθνική (επίπεδο χωρών) είτε κοινοτική (επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης-έργα TEN-T). Σε αυτές τις περιπτώσεις, είναι η κοινωνία συνολικά που συμβάλλει στη χρηματοδότηση του έργου. Αν και για μερικά προγράμματα υποψήφια για κοινοτική (ευρωπαϊκή) χρηματοδότηση το ίδιο το μέγεθος της κοινοτικής συμβολής είναι ο καθοριστικός παράγοντας, δεδομένου ότι η ενίσχυση μπορεί να είναι τουλάχιστον 80% του συνολικού κόστους στην περίπτωση του Ταμείου Συνοχής, η κοινοτική χρηματοδότηση σε άλλες περιπτώσεις χορηγείται λιτά και πρέπει να συμπληρωθεί με την ουσιαστική χρηματοδότηση από άλλες πηγές (EC, 2001).

Σε κάποιες χώρες υπάρχει ειδικός λογαριασμός όπου έσοδα σχετικά με τις μεταφορές αποταμιεύονται σε ειδικούς λογαριασμούς και χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη ή αναβάθμιση μεταφορικών δικτύων (OECD/ITF, 2008). Τα τελευταία χρόνια επιχειρείται να υπάρξει και η συμμετοχή του ιδιωτικού τομέα στα έργα αυτά. Αυτό γίνεται εφικτό με τη Σύμπραξη Δημοσίου-Ιδιωτικού Τομέα (ΣΔΙΤ) με τη μορφή των έργων με παραχώρηση.

Σε αυτή τη μορφή χρηματοδότησης μια εταιρεία παραχώρησης αναλαμβάνει να αναθέσει το έργο στην εταιρεία κατασκευής κι έπειτα να αναθέσει τη λειτουργία και τη συντήρηση του στην εταιρεία λειτουργίας-συντήρησης. Από τα έσοδα από το έργο (πχ διόδια) αποπληρώνονται τα

δάνεια, τα διάφορα κόστη λειτουργίας-συντήρησης κλπ. Η σύμβαση παραχώρησης καθορίζει το διάστημα μέχρι το έργο να περάσει στα χέρια του δημοσίου.

Τα κρίσιμα στοιχεία για τη λήψη απόφασης χρηματοδότησης είναι:

- Κόστος κατασκευής
- Χρόνος ολοκλήρωσης κατασκευής
- Έσοδα του έργου
- Κόστος συντήρησης
- Κόστος λειτουργίας
- Εκτίμηση κινδύνου

(Α. Καλτσούνης. Συμπράξεις Δημοσίου και Ιδιωτικού Τομέα στην Κατασκευή Οδικών Έργων, Θεωρητικές Αρχές και Μεθοδολογικές Οδηγίες. Τεχνικά Χρονικά, Ιούλιος-Αύγουστος 2007.)

1.5 Αντικείμενο και διάρθρωση της εργασίας

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι, μέσω της ανάπτυξης ενός μοντέλου διεπίπεδου προγραμματισμού, η κατασκευή ενός εργαλείου σε excel το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη κατανομή των χρηστών στο δίκτυο (μοντελοποίηση της επιλογής διαδρομής) και κατ' επέκταση για τον υπολογισμό των φόρτων στους συνδέσμους του δικτύου, οι οποίοι μπορεί να χρησιμοποιηθούν για βελτιστοποίηση διαφόρων στόχων σχετικών με το δίκτυο, μέσω της μεταβολής της τιμής διοδίου ή/και του αριθμού λωρίδων προς κατασκευή. Το εργαλείο αυτό αναπτύχθηκε για εφαρμογή στη σχεδιαζόμενη επέκταση της περιφερειακής Υμηττού. Η διερεύνηση αυτή θα γίνει στα πλαίσια του βέλτιστου σχεδιασμού υποδομής, μέσω διαφορετικών περιπτώσεων βέλτιστου σχεδιασμού και συνθηκών ζήτησης. Κατά αυτό τον τρόπο επιχειρείται να αναλυθεί η συμπεριφορά των χρηστών και να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα που θα βοηθήσουν κατά κάποιο τρόπο στις επιλογές κατά τη τελική φάση μελέτης του έργου. Να σημειωθεί εδώ ότι το μοντέλο που αναπτύχθηκε, λόγω των παραδοχών και απλουστεύσεων που περιέχει αναπτύχθηκε κυρίως ως ένα βοηθητικό εργαλείο κατά τη διάρκεια προμελέτης του έργου, που μπορεί να δώσει γενικές κατευθύνσεις για τη μετέπειτα λήψη αποφάσεων.

Η διπλωματική αυτή εργασία διαρθρώνεται ως εξής: Στο κεφάλαιο 2 περιγράφονται οι έννοιες του κόστους στις μεταφορές, οι συνιστώσες του κόστους στη λειτουργία των οδικών συστημάτων, καθώς και οι διάφορες πολιτικές-στόχοι που ακολουθούνται κατά το σχεδιασμό. Στο κεφάλαιο 3 περιγράφονται διάφορες περιπτώσεις χρηματοδότησης έργων στην Ελλάδα και στο εξωτερικό. Στο κεφάλαιο 4 περιγράφεται το πρόβλημα της βέλτιστης κατανομής πόρων και πως αντιμετωπίζεται μέσω της θεωρίας παιγνίων. Στο κεφάλαιο 5 περιγράφεται το μοντέλο που αναπτύχθηκε για την παρούσα εργασία το οποίο εξετάζει τις επιπτώσεις από την κατασκευή της επέκτασης της Περιφερειακής Υμηττού μέσω διαφόρων εναλλακτικών

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

περιπτώσεων βέλτιστου σχεδιασμού και σε 4 συνθήκες ζήτησης, καθώς και διερευνάται η επίδραση ορισμένων παραμέτρων στο τελικό αποτέλεσμα. Τέλος, στο κεφάλαιο 6 συνοψίζονται τα κύρια ευρήματα αυτής της διπλωματικής και γίνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα και για πιθανή βελτίωση του μοντέλου της παρούσας εργασίας.

2. ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΚΟΣΤΟΥΣ¹

2.1 Οικονομικές έννοιες- Εισαγωγή στη γενική έννοια του κόστους

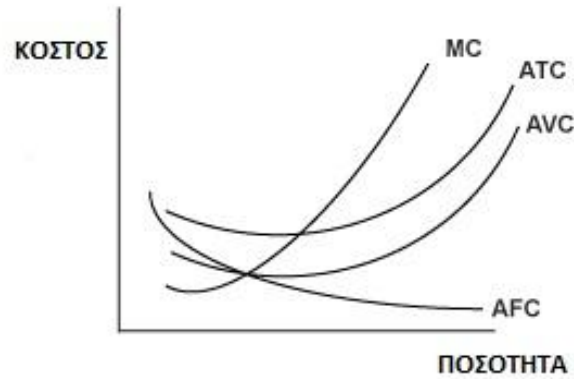
2.1.1 Γενικές έννοιες κόστους

Τα κόστη χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: σε *Σταθερά* και *Μεταβλητά* κόστη. **Σταθερό Κόστος** (fixed cost-FC) ονομάζεται το χρηματικό ποσό το οποίο είναι ανεξάρτητο της λειτουργίας του συστήματος και του προσφερόμενου έργου. Στις μεταφορές αποτελεί το κόστος κατασκευής της μεταφορικής υποδομής και το κόστος που απαιτείται για την αρχική λειτουργία του μεταφορικού συστήματος. Αντίθετα, το **Μεταβλητό Κόστος** (Variable Cost-VC) αποτελεί το χρηματικό ποσό που εξαρτάται από τη λειτουργία του έργου και αποτελείται από τα κόστη λειτουργίας του συστήματος (μισθοί εργαζομένων, καύσιμα κλπ) και το κόστος συντήρησης. Το **Συνολικό Κόστος** (Total Cost) ισούται με το άθροισμα του Σταθερού και του Μεταβλητού Κόστους. (Α. Σταθόπουλος, Μ. Καρλαύτης. *Σχεδιασμός Μεταφορικών Συστημάτων*. Αθήνα 2008, Εκδόσεις Παπασωτηρίου)

Μέσο (μοναδιαίο) κόστος (Average Cost-AC) ονομάζεται το κόστος που αντιστοιχεί σε κάθε μονάδα παραγόμενου μεταφορικού έργου και ορίζεται ως το πηλίκο του συνολικού κόστους προς το συνολικό παραγόμενο έργο. Μπορεί να οριστεί το Μέσο Συνολικό κόστος (ATC), το Μέσο Σταθερό Κόστος (AFC) και το Μέσο Μεταβλητό Κόστος (AVC). **Οριακό Κόστος** (Marginal Cost-MC) είναι το κόστος που αντιστοιχεί σε μια επιπλέον μονάδα παραγόμενου έργου. Ορίζεται ως το πηλίκο του πρόσθετου συνολικού κόστους προς το πρόσθετο μεταφορικό έργο. Παρομοίως, μπορούμε να διακρίνουμε την έννοια του **Οριακού Οφέλους**. (Α. Σταθόπουλος, Μ. Καρλαύτης. *Σχεδιασμός Μεταφορικών Συστημάτων*. Αθήνα 2008, Εκδόσεις Παπασωτηρίου)

¹ Το κεφάλαιο αυτό ακολουθεί την ανάλυση και αντλεί φρασεολογία και συμβολισμούς όπως γίνονται στο βιβλίο Α. Σταθόπουλος, Μ. Καρλαύτης. *Σχεδιασμός Μεταφορικών Συστημάτων*. Αθήνα 2008, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, καθώς και στη Διπλωματική εργασία Γ. Σάρλας, *Μελέτη Επιπτώσεων Επιβολής Αστικών Διοδίων στο Οδικό Δίκτυο της Αθήνας με Χρήση Δυναμικού Μοντέλου Προσομοίωσης*, Αθήνα, Νοέμβριος 2009, ΕΜΠ.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ



Διάγραμμα 1: Διάγραμμα Μέσου και Οριακού Κόστους

Το κόστος στις μεταφορές δεν είναι μόνο τα χρηματικό (οικονομικό). Οι αποφάσεις των χρηστών και των παρόχων δεν εξαρτώνται μόνο από το οικονομικό κόστος αλλά καθορίζονται από μια ποικιλία από παράγοντες. Συγκεκριμένα, οι χρήστες υπολογίζουν το χρόνο που χρειάζεται να γίνει μια μετακίνηση, τα οικονομικά κόστη της μετακίνησης αυτής αλλά και την προσφερόμενη ποιότητα. Εφόσον οι μετακινούμενοι επιλέγουν τις μετακινήσεις τους βάσει των περιορισμών που αναφέρθηκαν παραπάνω, αυτό σημαίνει ότι πρέπει να υπάρξει ενός είδους συμβιβασμός-ισορροπία μεταξύ του χρόνου, χρημάτων και των λοιπών παραγόντων που επηρεάζουν τις επιλογές των χρηστών. Γίνεται έτσι προσπάθεια έκφρασης του συνολικού κόστους σε μονοδιάστατο μέγεθος μέσω της αναγωγής των πολλαπλών συνιστωσών του κόστους σε μια διάσταση που συνήθως είναι το οικονομικό κόστος (δηλαδή το κόστος εκφρασμένο σε χρηματικές μονάδες). Η αναγωγή αυτή οδηγεί στο γενικευμένο κόστος. Το γενικευμένο κόστος μιας μετακίνησης συνδυάζει όλες τις επιβαρύνσεις που δέχεται ο χρήστης κατά τη διάρκεια μιας μετακίνησης. Η εξίσωση του γενικευμένου κόστους μπορεί να πάρει πολλές μορφές, ανάλογα με τα δεδομένα. Μια μορφή που μπορεί να πάρει είναι αυτή που προτείνεται στο Button, K.J., 1993:

$$G_{ij}^k = a_1 t_{ij}^k + a_2 e_{ij}^k + a_3 d_{ij}^k + p_j^k + \zeta^k$$

Όπου:

- G_{ij}^k : Το γενικευμένο κόστος μετακίνησης με το μέσο k μεταξύ σημείων i και j
- t_{ij}^k : Ο χρόνος μετακίνησης από το i στο j με το μέσο k
- e_{ij}^k : Ο επιπλέον χρόνος που απαιτείται (χρόνος αναμονής για τα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς κλπ) για τη μετακίνηση από το i στο j με το μέσο k
- d_{ij}^k : Η απόσταση από το i στο j
- p_j^k : Το κόστος στο τερματικό σταθμό (παρκινγκ κλπ) στο σημείο j

ζ^k : Επιβάρυνση που σχετίζεται με την άνεση της μετακίνησης με το μέσο k

a_1, a_2, a_3 : Παράμετροι μετατροπής μη χρηματικών μεγεθών σε χρηματικές μονάδες

Σε πολλές περιπτώσεις οι χρήστες δεν αντιλαμβάνονται το πλήρες κόστος της μετακίνησης τους. Οι λόγοι που οι χρήστες υποτιμούν το πραγματικό κόστος της μετακίνησής τους είναι πολλαπλοί:

- Το χρηματικό κόστος ή το κόστος χρόνου μπορεί να είναι αρκετά μικρό για να ληφθεί υπόψη.
- Κάποια μεταβλητά κόστη μπορεί να ληφθούν λανθασμένα ως σταθερά. Για παράδειγμα, οι χρήστες τείνουν να λαμβάνουν υπόψη τα χρηματικά κόστη όπως το κόστος καυσίμων ή το κόστος διοδίου και να μην υπολογίζουν την μηχανική επιβάρυνση στο όχημά τους που δημιουργείται από κάθε μετακίνηση.
- Οι χρήστες μπορεί να μην γνωρίζουν το κόστος που κάποιες πράξεις τους προκαλούν (ελλιπής πληροφόρηση).
- Εάν οι χρήστες έχουν συγκεκριμένες συνήθειες ως προς τη μετακίνησή τους μπορεί να μην αντιληφθούν τις αλλαγές στο οικονομικό τους κόστους λόγω αλλαγών σε οικονομικές μεταβλητές του συστήματος (τιμή βενζίνης, τιμή διοδίου κλπ), ιδιαιτέρως αν είναι σταδιακές και μικρού μεγέθους.
- Υπάρχουν κάποια κόστη τα οποία οι χρήστες δε λαμβάνουν υπόψη τους αφενός γιατί μπορεί να μην καταλαβαίνουν ότι τα προκαλούν, κυρίως σε άλλους χρήστες (εξωτερικά κόστη-θα αναλυθούν παρακάτω), αφετέρου γιατί μπορεί να είναι δύσκολο να τα αποτιμήσουν οικονομικά (για παράδειγμα το κόστος συμφόρησης ή το περιβαλλοντικό κόστος).

2.1.2 Μεταφορική Προσφορά και Ζήτηση

Το σύνολο των απαιτήσεων για μεταφορές ονομάζεται **ζήτηση**, ενώ το σύστημα των μεταφορών (δηλαδή τα δίκτυα, οι τερματικές εγκαταστάσεις και τα οχήματα), που προσφέρονται για την ικανοποίηση αυτής της ζήτησης, χαρακτηρίζονται από τον όρο **προσφορά**. Μπορεί με αυτόν τον τρόπο να οριστεί το πρόβλημα των μεταφορών ως η *διατάραξη της ισορροπίας μεταξύ προσφοράς και ζήτησης στις μεταφορές.* (Α. Σταθόπουλος, Μ. Καρλαύτης. Σχεδιασμός Μεταφορικών Συστημάτων. Αθήνα 2008, Εκδόσεις Παπασωτηρίου)

2.1.3 Μεταφορική Ζήτηση

Η γενεσιουργός αιτία για τις μετακινήσεις είναι η συμμετοχή του μετακινούμενου σε μια δραστηριότητα η οποία δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί στη θέση που βρίσκεται. Η ζήτηση για

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

κάποια μεταφορά συνήθως πηγάζει από ανάγκη για κάποια άλλη υπηρεσία. Για αυτό το λόγο η μεταφορική ζήτηση χαρακτηρίζεται ως *απορρέουσα* (Button, K. J., 1993). Οι άνθρωποι επιθυμούν να ταξιδέψουν με σκοπό να απολαύσουν κάποιο όφελος στο τέλος της διαδρομής, ενώ οι εταιρείες αντιλαμβάνονται την ανάγκη για μεταφορά ως ένα επιπλέον κόστος το οποίο προσπαθούν να ελαχιστοποιήσουν. (Ubbels, 2002)



Διάγραμμα 2: Διάγραμμα μεταφορικής ζήτησης, (Γ. Σάρλας, Μελέτη Επιπτώσεων Επιβολής Αστικών Διοδίων στο Οδικό Δίκτυο της Αθήνας με Χρήση Δυναμικού Μοντέλου Προσομοίωσης, Αθήνα, Νοέμβριος 2009, ΕΜΠ)

Οι μεταφορές ως αγαθό, και κατ' επέκταση η μεταφορική ζήτηση, ενώ ακολουθούν τους γενικούς κανόνες της οικονομικής θεωρίας, έχουν κάποια χαρακτηριστικά που τις καθιστούν ιδιαίτερες. Αυτά τα χαρακτηριστικά αναφέρονται παρακάτω:

- Η ζήτηση για μεταφορά απορρέει από τη ζήτηση για το σκοπό του ταξιδιού, δηλαδή μια μεταφορά γίνεται με σκοπό να φτάσει ο μεταφερόμενος στη δουλειά του παραδείγματος χάριν, και όχι για τη μεταφορά αυτή καθαυτή (έκτος από κάποιες περιπτώσεις μεταφορών για αναψυχή).
- Οι μεταφορές είναι μια υπηρεσία που καταναλώνεται τη στιγμή που παράγεται και δεν μπορεί να αποθηκευθεί.
- Οι μεταφορές έχουν χωρική και χρονική διάσταση. Όλα τα ταξίδια γίνονται για συγκεκριμένη απόσταση, μεταξύ συγκεκριμένων αρχικών και τελικών προορισμών, για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές της μέρας (ώρες αιχμής ή μη) και σε συγκεκριμένες εποχές, για παράδειγμα χειμώνα ή άνοιξη.

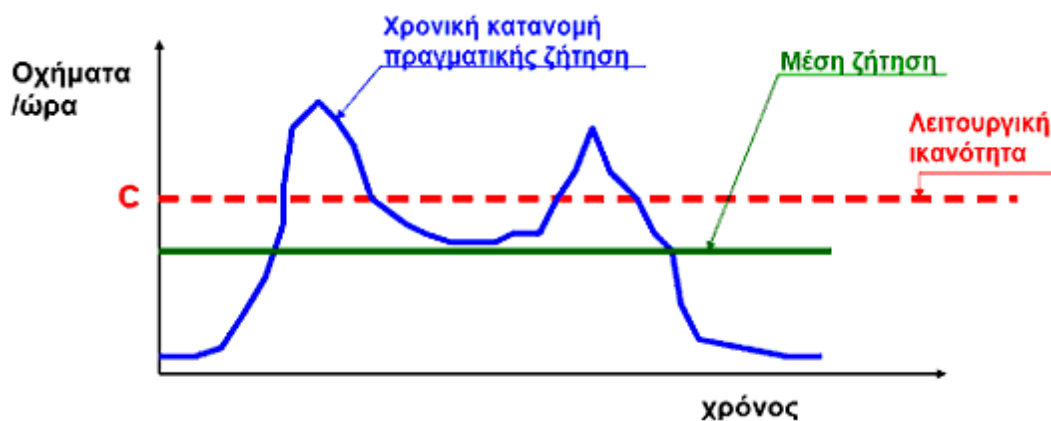
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

- Η ζήτηση για κάποια μεταφορική υπηρεσία εξαρτάται από την τιμή του ταξιδιού, τις τιμές εναλλακτικών λύσεων για την ίδια μεταφορά, το εισόδημα του μεταφερόμενου, τις προσωπικές προτιμήσεις και τη χρονική διάρκεια της υπηρεσίας.

Η ζήτηση για μετακίνηση παρουσιάζει διακυμάνσεις τόσο χωρικά όσο και χρονικά. Οι κατανομές των διαφόρων ανθρωπίνων δραστηριοτήτων στο χώρο (εργασία, αναψυχή, κατοικία κλπ) καθορίζουν τη ζήτηση για μετακίνηση. Η χωρική κατανομή της ζήτησης για μετακίνηση μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα κυκλοφοριακής συμφόρησης.

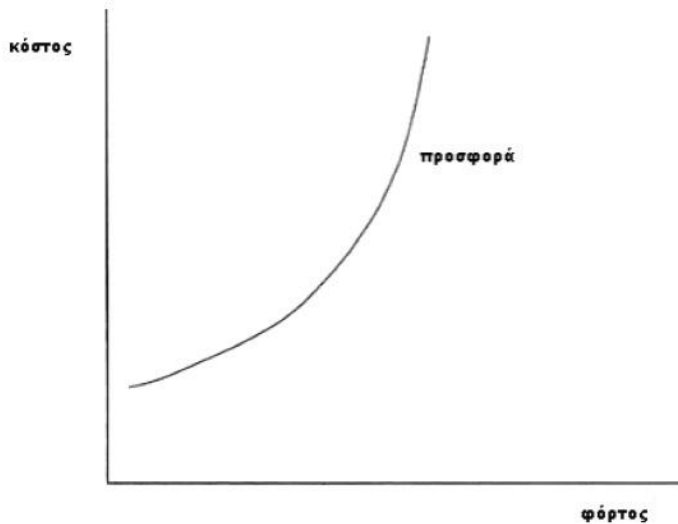
Η ζήτηση για μετακίνηση αντικατοπτρίζει την ανάγκη μετάβασης από ένα σημείο στο χώρο σε άλλο. Η πραγματοποίηση της μετακίνησης όμως εξαρτάται από το γενικευμένο κόστος της μετακίνησης αλλά και την ανάγκη για πραγματοποίησή της. Οι μετακινήσεις λοιπόν διαφοροποιούνται κατά τη διάρκεια της μέρας, της εβδομάδας ή του μήνα, εξαρτώνται σημαντικά από το σκοπό της μετακίνησης (αναψυχή, εργασία κλπ) αλλά και από τον τύπο της μετακίνησης (ιδιωτική, εμπορευματική κλπ). Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη ζήτηση για μετακινήσεις είναι τα δημογραφικά χαρακτηριστικά του πληθυσμού (εισόδημα, ιδιοκτησία ΙΧ, μέγεθος νοικοκυριού κλπ.).

Οι μετακινήσεις παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις και χρονικά. Αυτές οι διακυμάνσεις μπορεί να είναι κατά τη διάρκεια της μέρας, της εβδομάδας ή της εποχής. Η ζήτηση ανά συγκεκριμένες χρονικές στιγμές μπορεί να ξεπερνάει τη προσφορά και να παρατηρούνται φαινόμενα κυκλοφοριακής συμφόρησης ή ακόμη και να υπολείπονται της κυκλοφοριακής προσφοράς και να παρατηρούνται συνθήκες ελεύθερης ροής στο σύστημα.



Διάγραμμα 3: Χρονική διαφοροποίηση ζήτησης, (Γ. Σάρλας, Μελέτη Επιπτώσεων Επιβολής Αστικών Διοδίων στο Οδικό Δίκτυο της Αθήνας με Χρήση Δυναμικού Μοντέλου Προσομοίωσης, Αθήνα, Νοέμβριος 2009, ΕΜΠ)

2.1.4 Μεταφορική προσφορά



Διάγραμμα 4:Μεταφορική προσφορά (Γ. Σάρλας, Μελέτη Επιπτώσεων Επιβολής Αστικών Διοδίων στο Οδικό Δίκτυο της Αθήνας με Χρήση Δυναμικού Μοντέλου Προσομοίωσης, Αθήνα, Νοέμβριος 2009, ΕΜΠ)

Ως μεταφορική προσφορά ορίζεται η ποσότητα μεταφορικού έργου που μπορεί να προσφέρει ένα μεταφορικό σύστημα υπό δεδομένες συνθήκες λειτουργίας και με δεδομένα χαρακτηριστικά. Η μεταφορική προσφορά μπορεί να εκφρασθεί με όρους χωρητικότητας της υποδομής ή συχνότητας των υπηρεσιών.

Η μεταφορική προσφορά δεν αποτελεί αγαθό αλλά υπηρεσία. Κατά συνέπεια, η αποθήκευσή της δεν είναι δυνατή. Η μεταφορική προσφορά εάν δε χρησιμοποιηθεί τη στιγμή και στο μέρος που πραγματοποιείται χάνει το όφελός της. Για το λόγο αυτό απαιτείται ακριβής εκτίμηση της ζήτησης, έτσι ώστε η προσφορά να σχεδιαστεί για να καλύπτει αυτές ακριβώς τις ανάγκες.

Ένα σύστημα μεταφοράς αποτελείται από την υποδομή, τα οχήματα που το χρησιμοποιούν και από τους κανόνες χρήσης του. Επίσης η διάταξη της υποδομής παίζει σημαντικό ρόλο στην προσφορά αφού η σωστή διάταξη των βοηθητικών έργων (πχ ανισόπεδοι κόμβοι) επηρεάζει τη λειτουργική ικανότητα του έργου και κατά συνέπεια την προσφορά.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της προσφοράς είναι η κυκλοφοριακή συμφόρηση. Ως συμφόρηση ορίζεται η υπέρβαση της κυκλοφοριακής ικανότητας του συστήματος από τη ζήτηση. Αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου είναι η μεγάλη αύξηση του χρόνου διαδρομής και κατά συνέπεια του κόστους της διαδρομής.

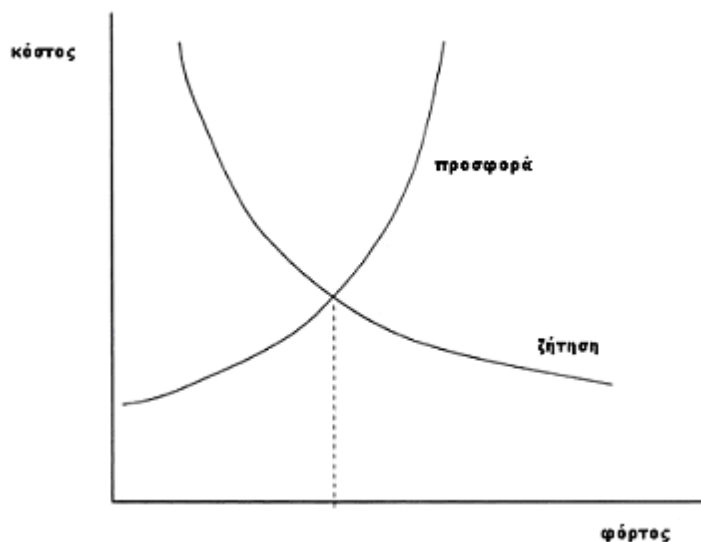
2.1.5 Αλληλεπίδραση Προσφοράς και Ζήτησης

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η προσφορά δεν είναι απεριόριστη, τα μεταφορικά συστήματα έχουν περιορισμένη χωρητικότητα. Κατά συνέπεια η ζήτηση για μετακίνηση και η λειτουργική τους ικανότητα επηρεάζουν και το επίπεδο εξυπηρέτησης που προσφέρουν. Καθώς η ζήτηση αυξάνεται, το επίπεδο εξυπηρέτησης μειώνεται. Αυτό όμως οδηγεί στη μείωση της ζήτησης, η οποία με τη σειρά της αυξάνει το επίπεδο εξυπηρέτησης της υποδομής με συνέπεια την αύξηση της ζήτησης κοκ. Επομένως για το σωστό σχεδιασμό της υποδομής απαιτείται η ανάλυση της αλληλεπίδρασης αυτής.

Ο σκοπός του σχεδιασμού των μεταφορών είναι να εξασφαλίσει ότι η ζήτηση για μεταφορά ανθρώπων και αγαθών ικανοποιείται από ένα μεταφορικό σύστημα με δεδομένη χωρητικότητα.

2.1.6 Ισορροπία Προσφοράς-Ζήτησης

Ισορροπία επιτυγχάνεται όταν η προσφερόμενη ποσότητα ισούται με τη ζητούμενη ποσότητα. Όταν η προσφερόμενη μεταφορική υποδομή είναι μικρότερη της ζητούμενης, αυτό οδηγεί σε συμφόρηση και απώλεια εσόδων, καθώς υπάρχουν χρήστες οι οποίοι είναι διατεθειμένοι να δαπανήσουν για να χρησιμοποιήσουν την υποδομή αλλά δεν επαρκεί η προσφερόμενη ποσότητα. Στην αντίθετη περίπτωση, όταν δηλαδή η προσφερόμενη ποσότητα είναι μεγαλύτερη της ζητούμενης, αυτό συνιστά δαπάνη πόρων καθώς προσφέρεται μεγαλύτερη μεταφορική υποδομή από ότι χρειάζονται οι χρήστες και η οποία έχει χρησιμοποιήσει πόρους για να κατασκευασθεί.



Διάγραμμα 5: Ισορροπία Μεταφορικής προσφοράς-Ζήτησης (Γ. Σάββας, Μελέτη Επιπτώσεων Επιβολής Αστικών Διοδίων στο Οδικό Δίκτυο της Αθήνας με Χρήση Δυναμικού Μοντέλου Προσομοίωσης, Αθήνα, Νοέμβριος 2009, ΕΜΠ)

Η βέλτιστη κοινωνικά κατανομή είναι για την ποσότητα αυτή του έργου για την οποία το οριακό κόστος ισούται με το οριακό όφελος.

2.2 Συνιστώσες του κόστους στην λειτουργία συστημάτων οδικών μεταφορών

2.2.1 Κόστος για τον Χρήστη

Το Κόστος Χρόνου

Ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία στην ανάλυση του κόστους στα οδικά μεταφορικά συστήματα είναι το κόστος χρόνου. Η αξία του χρόνου είναι σημαντική παράμετρος καθώς διαφορετικές τιμές της αξίας του χρόνου μπορεί να οδηγήσουν σε εντελώς διαφορετικά αποτελέσματα.

Η αξία του χρόνου εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες. Ο πιο σημαντικός είναι ο σκοπός της μετακίνησης. Εάν η μετακίνηση γίνεται για σκοπούς εργασίας έχει μεγαλύτερη αξία για τον μετακινούμενο από όταν μετακινείται για αναψυχή. Ο χρόνος των μετακινήσεων είναι σημαντικός παράγων στην τελική αξία των προϊόντων και άρα υπεισέρχεται κατά αυτόν τον τρόπο σε κάθε συνιστώσα της οικονομικής δραστηριότητας. Τέλος, οι μεταφορικές εταιρείες προσπαθούν να μειώσουν στο ελάχιστο το χρόνο των μετακινήσεων τους, ώστε να επιτυγχάνεται η οικονομική βιωσιμότητα και ανταγωνιστικότητα τους.

Κόστος Οχήματος²

Τα κόστη αυτά περιλαμβάνουν τα άμεσα για το χρήστη κόστη για την ιδιοκτησία και χρήση του οχήματος. Τα σταθερά κόστη είναι τα κόστη που δεν επηρεάζονται από τη χρήση του οχήματος αλλά απαιτούνται για την ιδιοκτησία ενός οχήματος. Τα κόστη αυτά περιλαμβάνουν το κόστος αγοράς του οχήματος, την ασφάλεια και τους σχετικούς φόρους. Τα μεταβλητά κόστη εξαρτώνται από τη χρήση του οχήματος (συνήθως αυξάνουν όσο αυξάνει η χρήση του οχήματος). Στα κόστη αυτά συμπεριλαμβάνονται τα κόστη συντήρησης και επισκευών, τα κόστη για βενζίνη (και τους σχετικούς φόρους) και τα κόστη για στάθμευση και διόδια.

² Α. Καλτσούνης. Συμπράξεις Δημοσίου και Ιδιωτικού Τομέα στην Κατασκευή Οδικών Έργων, Θεωρητικές Αρχές και Μεθοδολογικές Οδηγίες. Τεχνικά Χρονικά, Ιούλιος-Αύγουστος 2007.

2.2.2 Συνολικό Κόστος Έργου³

Το συνολικό κόστος αποτελείται από το διαχρονικό άθροισμα των παρακάτω δαπανών:

- Κόστος μελετών: αφορά στις δαπάνες εκπόνησης των μελετών. Συνήθως, υπολογίζονται (λαμβάνονται) ως ποσοστό του κόστους κατασκευής.
- Κόστος απαλλοτρίωσης: αναφέρονται στις δαπάνες που απαιτούνται για τις αναγκαίες απαλλοτριώσεις. Σε γενικές γραμμές τα κόστη αυτά για μη κατοικημένες περιοχές κυμαίνονται μεταξύ 2% και 10% του κόστους κατασκευής.
- Κόστος κατασκευής: περιλαμβάνουν οποιαδήποτε δαπάνη έχει σχέση με την κατασκευή του έργου. Σε μια αναλυτική διαδικασία εκτίμησης του κόστους κατασκευής αναφέρονται :
 - εκτιμώμενος προϋπολογισμός από την τεχνική μελέτη,
 - γενικά έξοδα οργάνωσης του εργοταξίου ως ποσοστό επί του εκτιμώμενου από την μελέτη προϋπολογισμού,
 - απρόβλεπτα έξοδα ως ποσοστό επί των παραπάνω δαπανών,
 - Φόρος Προστιθέμενης Αξίας (Φ.Π.Α.). Αναφέρεται ως ποσοστό στο άθροισμα των παραπάνω δαπανών.
- Κόστος κατασκευής σταθμών διοδίων, όπου προβλέπονται. Η δικαιολόγηση των σταθμών διοδίων, δηλαδή, η εκτίμηση του κόστους κατασκευής τους εξαρτάται από τον προβλεπόμενο κυκλοφοριακό φόρτο του οδικού έργου.
- Κόστος συντήρησης και λειτουργίας: αφορούν τις δαπάνες που έχουν σχέση με τη συντήρηση (ετήσια και περιοδική) και την καλή λειτουργία του έργου. Χαρακτηριστικές τέτοιες δαπάνες σε ένα οδικό έργο είναι:

³ Τσαμπούλας Δ. «Στοιχεία για την Αξιολόγηση κοινωνικών έργων Υποδομής», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2004, Α. Καλτσούνης. Συμπράξεις Δημοσίου και Ιδιωτικού Τομέα στην Κατασκευή Οδικών Έργων, Θεωρητικές Αρχές και Μεθοδολογικές Οδηγίες. Τεχνικά Χρονικά, Ιούλιος-Αύγουστος 2007.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

- συντήρησης και επιδιόρθωσης οδοστρώματος
 - συντήρησης τεχνικών έργων,
 - συντήρησης ερεισμάτων, στηθαίων ασφαλείας, αποχέτευσης, φωτισμού, διαγραμμίσεων ή σημάτων κλπ
 - λειτουργίας και αστυνόμευσης,
- Κόστος λειτουργίας σταθμών διοδίων, όπου προβλέπονται

2.2.3 Εξωτερικά κόστη

Τα εξωτερικά κόστη ή εξωτερικές αλληλεπιδράσεις (externalities) αναφέρονται σε καταστάσεις κατά τις οποίες ένας χρήστης είτε δεν πληρώνει το αντίστοιχο αντίτιμο για τα κόστη τα οποία προκαλεί (περιβαλλοντικά, κόστη ατυχημάτων ή/και συμφόρησης) είτε δεν απολαμβάνει πλήρως τις ωφέλειες για τις οποίες χρεώνεται.

Λόγω της μεταφορικής δραστηριότητας προκαλούνται οφέλη και κόστη. Αυτά τα οφέλη και τα κόστη όμως δεν ωφελούν ή επιβαρύνουν μόνο αυτούς που πληρώνουν για αυτή τη δραστηριότητα. Στο EC, 1995 οι μεταφορικές αλληλεπιδράσεις αυτές διαχωρίζονται σε εσωτερικές, εάν επηρεάζουν τον εμπλεκόμενο στη μεταφορική διαδικασία και σε εξωτερικές εάν επιβαρύνουν/ωφελούν κάποιον εκτός της μεταφορικής διαδικασίας

Τα εξωτερικά κόστη στον τομέα των μεταφορών μπορούν να διακριθούν σε κόστη που δημιουργούνται εντός του ιδίου του τομέα των μεταφορών (intra- sectoral externalities) και σε εξωτερικά κόστη σε τομείς εκτός του τομέα των μεταφορών (inter- sectoral externalities).

Κόστη ατυχημάτων:

Από όλες τις μορφές μεταφορών, οι οδικές μεταφορές είναι οι πιο επικίνδυνες και οι πιο δαπανηρές από άποψη ανθρωπίνων ζωών (EC, 2005). Τα κόστη αυτά εξαρτώνται από δύο βασικούς παράγοντες, από τον αριθμό και τη σοβαρότητα των τραυμαμάτων των θυμάτων και από τον αριθμό των ατυχημάτων. Συμπεριλαμβάνονται τα ιατρικά κόστη, όπως το κόστος για πρώτες βοήθειες, υπηρεσίες εντός νοσοκομείου και εξωνοσοκομειακή περίθαλψη, καθώς και τα κόστη φαρμάκων. Παράλληλα, λόγω των ατυχημάτων πρέπει να καταναλωθεί χρηματικό ποσό για επανεκπαίδευση ή/και αντικατάσταση υπαλλήλου. Σημαντική είναι και η δαπάνη που προκύπτει από τις νομικές διαδικασίες που σχετίζονται με ένα ατύχημα όπως τις ασφαλιστικές εταιρίες και τα έξοδα δίκης. Τέλος, είναι σημαντική η ζημιά που προκαλείται τόσο στην ιδιωτική ιδιοκτησία όπως είναι τα συμβαλλόμενα οχήματα, όσο και στη δημόσια όπως είναι η οδική υποδομή και τα τυχόν πληγέντα κτίρια. Τέλος υπάρχουν τα μη οικονομικά κόστη όπως οι

Ψυχολογικές επιπτώσεις τόσο στους συγγενείς και φίλους του θύματος όσο και στο ίδιο το θύμα. Το άμεσα μετρήσιμο κόστος των οδικών ατυχημάτων είναι της τάξεως των 45 δις ευρώ (EC, 1995). Τα έμμεσα κόστη, τα οποία περιλαμβάνουν τις σωματικές και ψυχολογικές επιπτώσεις στα θύματα και τις οικογένειες τους, είναι τρεις με τέσσερις φορές μεγαλύτερα.

Κόστη λόγω κυκλοφοριακής συμφόρησης:

Η συμφόρηση λαμβάνει χώρα όταν η ζήτηση για οδικό χώρο είναι μεγαλύτερη από την οδική ικανότητα. Υψηλότεροι φόρτοι οδηγούν σε χαμηλότερες ταχύτητες με αποτέλεσμα περισσότερο χρόνο ταξιδιού και κόστη ανά χιλιόμετρο. Αξίζει να σημειωθεί ότι η μηδενική συμφόρηση δεν είναι η βέλτιστη λύση, καθώς σημαίνει ότι η υποδομή δε χρησιμοποιείται όπως θα έπρεπε και υπάρχει σπάταλη πόρων.

Στα κόστη που προκαλούνται από την συμφόρηση περιλαμβάνονται η αυξημένη κατανάλωση καυσίμων, αυξημένη φθορά οχήματος, πρόσθετη περιβαλλοντική μόλυνση, κόστος χρόνου που οδηγεί σε χαμένες εργατώρες και χαμένο ελεύθερο χρόνο. Τέλος, η κυκλοφοριακή συμφόρηση επιβραδύνει τη κίνηση αγαθών και υπηρεσιών με αποτέλεσμα την αύξηση των τιμών και μείωση της ανταγωνιστικότητας της εταιρείας (Link and Stewart- Ladewig, 2005).

Περιβαλλοντικά κόστη:

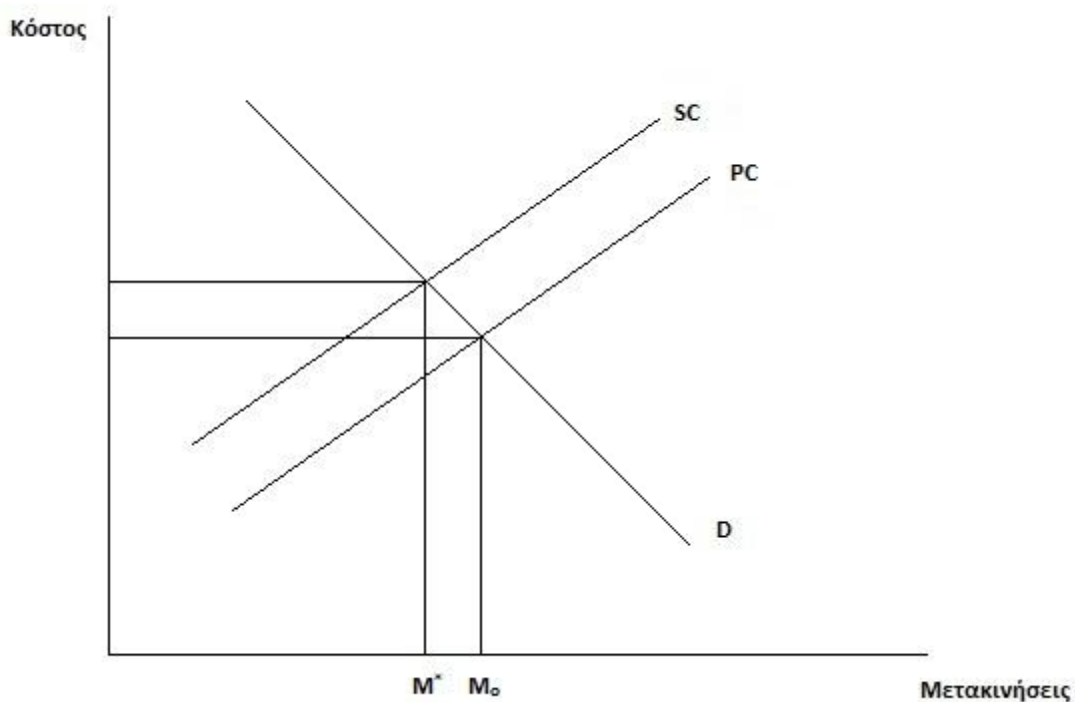
Η περιβαλλοντική επιβάρυνση από τις μεταφορές μπορεί να διακριθεί σε τρεις κατηγορίες: η πρώτη κατηγορία αφορά τις τοπικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε αυτούς που ζουν και εργάζονται κοντά σε σημαντικού μεγέθους μεταφορική υποδομή. Οι παράγοντες αυτοί περιλαμβάνουν το θόρυβο, τη μόλυνση του αέρα και την επίπτωση στο φυσικό τοπίο. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τις επιπτώσεις στο περιβάλλον οι οποίες έχουν επιρροή μέχρι και σε κάποια απόσταση μακριά από την περιοχή που λαμβάνει χώρα η μεταφορική διεργασία, όπως οι εκπομπές αέριων ρύπων που συμβάλλουν στο φαινόμενο της όξινης βροχής. Στην τρίτη κατηγορία περιλαμβάνεται η συνεισφορά του τομέα των μεταφορών σε παγκόσμια περιβαλλοντικά φαινόμενα, όπως στην καταστροφή της στοιβάδας του όζοντος ή στην υπερθέρμανση του πλανήτη.

2.3. Το μέτρο της τιμολόγησης των μεταφορών

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω οι χρήστες συνήθως δεν αντιλαμβάνονται το πλήρες κόστος της πραγματοποιούμενης μετακίνησης (μπορεί να λάβουν υπόψη το κόστος καυσίμου και διοδίων αλλά να μην υπολογίσουν το κόστος λόγω φθοράς στο αυτοκίνητό τους ή το επιπλέον κόστος

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

που προκαλούν στους υπόλοιπους χρήστες λόγω της επιλογής μιας συγκεκριμένης διαδρομής, το οποίο κατ' επέκταση επιβαρύνει και αυτούς ως κόστος συμφόρησης). Όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα, διαφορετική αξιολόγηση του κόστους μιας μεταφοράς (υποεκτίμηση) οδηγεί σε περισσότερες μετακινήσεις. Σε περίπτωση που οι χρήστες ήξεραν το ακριβές κόστος των μεταφορών τους, κάποιες μετακινήσεις δε θα γίνονταν (Button, K. J., 1993).



Διάγραμμα 6: Διάγραμμα Κοινωνικού (SC) και Ιδιωτικού (PC) Κόστους

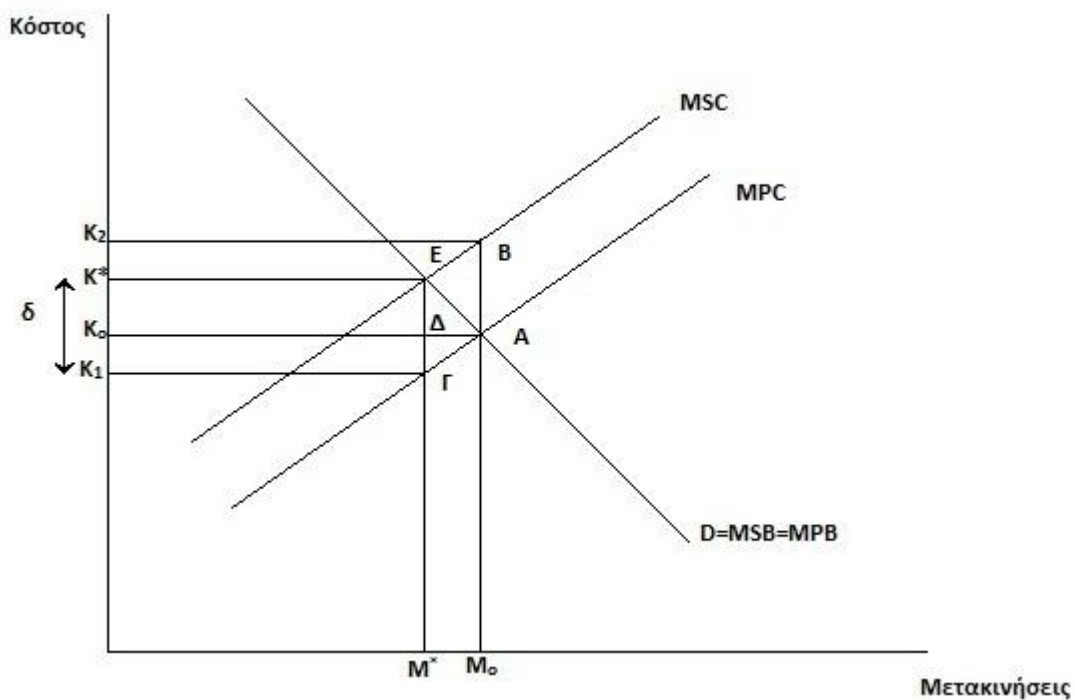
Στο παραπάνω διάγραμμα οι χρήστες υπολογίζουν τις μετακινήσεις τους λαμβάνοντας υπόψη το Ιδιωτικό Κόστος (PC), δηλαδή το κόστος που επιβαρύνει μόνο αυτούς (κόστη οχήματος, διόδια κλπ). Έτσι οι μετακινήσεις που λαμβάνουν χώρα είναι M_0 . Εάν οι χρήστες υπολόγιζαν το συνολικό κόστος που προκαλούν θα έπρεπε να λαμβάνουν υπόψη το Κοινωνικό Κόστος (SC), δηλαδή το ιδιωτικό τους κόστος συν τα εξωτερικά κόστη όπως το κόστος συμφόρησης, ατυχημάτων ή το περιβαλλοντικό κόστος. Έτσι θα γινότουσαν λιγότερες μεταφορές (M^* έναντι M_0).

Η τιμολόγηση των μεταφορών, δηλαδή η επιβολή αντιτίμου για τη χρήση κάποιας μεταφορικής υποδομής, διορθώνει αυτή τη διαστρέβλωση που αναφέρθηκε παραπάνω, δηλαδή την υποεκτίμηση του κόστους της μετακίνησής (Ιδιωτικό κόστος αντί για Κοινωνικό κόστος). Η τιμολόγηση των οδικών μεταφορών μπορεί να γίνει με ποικίλους τρόπους, όπως με τη χρήση διοδίων διαφόρων μορφών (χιλιομετρική χρέωση, σταθερό αντίτιμο) με την επιβολή φόρων

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

κα. Εναλλακτική περίπτωσης επιβολής κάποιου αντιτίμου για τη χρήση μιας μεταφορικής υποδομής είναι για την εσωτερίκευση των εξωτερικών κοστών, όπως αυτά αναφέρθηκαν παραπάνω, δηλαδή για την ενσωμάτωση αυτών των κοστών στα χρηματικά κόστη που λαμβάνουν υπόψη οι χρήστες του μεταφορικού δικτύου έτσι ώστε να αναγκασθούν είτε να αλλάξουν την επιλογή τους και να επιλέξουν κάποια άλλη διαδρομή ή μεταφορικό μέσο για τη μετακίνησή τους, είτε να πληρώσουν το πλήρες αντίτιμο για τις επιβαρύνσεις που προκαλούν.

Η βέλτιστη διαδικασία για την εσωτερίκευση των εξωτερικών αυτών αλληλεπιδράσεων είναι μέσω της τιμολόγησης οριακού κόστους (Marginal Cost Pricing). Η έννοια αυτή αναπτύχθηκε πρώτη φορά από τον Ρίγου στο βιβλίο του *The Welfare of Economics*, στην έκδοση του 1920. Αυτή η έννοια περιγράφεται στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 7).



Διάγραμμα 7: Διάγραμμα προσδιορισμού οικονομικά βέλτιστης τιμολόγησης

Οι καμπύλες MPC και MSC αντιστοιχούν στο οριακό ιδιωτικό και οριακό κοινωνικό γενικευμένο κόστος αντίστοιχα, δείχνουν δηλαδή τα κόστη που επωμίζονται οι χρήστες. Η καμπύλη της ζήτησης θεωρείται ίση με την καμπύλη του οριακού οφέλους. Έστω ότι το οριακό ιδιωτικό όφελος είναι ίσο με το κοινωνικό οριακό όφελος.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

Η βέλτιστη ροή αντιστοιχεί στο σημείο E και είναι M^* , όπου το **οριακό κοινωνικό όφελος ισούται με το οριακό κοινωνικό κόστος**. Η πραγματική ροή όμως θα είναι M_0 γιατί οι χρήστες αγνοούν την επιπλέον επιβάρυνση που προκαλούν στο υπόλοιπο κοινωνικό σύνολο.

Κάθε μεμονωμένος χρήστης που εισέρχεται στο δίκτυο υπολογίζει μόνο το κόστος που προκαλείται σε αυτόν, το οποίο αποτελείται από το κόστος χρόνου και τα κόστη λειτουργίας του οχήματός του. Δε λαμβάνει όμως υπόψη τα κόστη που προκαλεί στους υπόλοιπους χρήστες η χρήση του δικτύου από μέρος του.

Από κοινωνικής άποψης η ροή M_0 είναι μη αποδεκτή αφού ο τελευταίος χρήστης απολαμβάνει όφελος ίσο με M_0A αλλά επιβαρύνει τους υπόλοιπους χρήστες με κόστος M_0B . Οποιαδήποτε επιπλέον χρήση πέραν της M^* προκαλεί κόστος M_0BE M^* αλλά αντιστοιχεί σε επίπεδο οφέλους μόνο M_0AE M^* . Το τρίγωνο EBA δείχνει την **απώλεια κοινωνικής ευημερίας** για το κοινωνικό σύνολο.

Οι χρήστες προσπαθούν να ελαχιστοποιήσουν το κόστος το οποίο πληρώνουν και σαφώς δεν είναι διατεθειμένοι μέσω των επιλογών τους να ελαχιστοποιήσουν το κόστος που προκαλούν στο υπόλοιπο κοινωνικό σύνολο, γιατί αυτό συνήθως σημαίνει ότι πρέπει να χρεωθούν με κάποιο επιπλέον ποσό ή και να «θυσιάσουν» κάποιες προσωπικές τους προτιμήσεις. Όταν οι χρήστες δεν επωμίζονται το πλήρες κόστος που προκαλούν δεν υπάρχει οικονομική αποδοτικότητα του συστήματος.

Ένας τρόπος για να λάβουν υπόψη οι χρήστες το κόστος που προκαλούν είναι να χρεωθούν με το επιπλέον ποσό που αντιστοιχεί σε αυτό το κόστος. Σκοπός είναι με την επιπλέον χρέωση να οδηγηθούμε πάλι στη βέλτιστη κοινωνικά ποσότητα M^* . Στο συγκεκριμένο διάγραμμα το ποσό αυτό αντιστοιχεί στο τμήμα ΓΕ. Με το ποσό αυτό εξισώνεται η MSB με τη MSC στο βέλτιστο σημείο ροής.

Το εξωτερικό κόστος το οποίο παρουσιάζεται παραπάνω είναι εσωτερικό του μεταφορικού συστήματος, πχ κυκλοφοριακή συμφόρηση. Αυτό σημαίνει ότι το εξωτερικό κόστος επιβάλλεται στους χρήστες του συστήματος. Μέχρι την ευθεία ΓΔΕ, το εμβαδόν που περικλείεται από τις καμπύλες MSC και MPC αποτελεί τη βέλτιστη ποσότητα χρήσης για το σύστημα. Στο σύστημα πρέπει να υπάρχει κάποιο επίπεδο χρήσης ώστε να μην υποχρησιμοποιείται η υποδομή. Πέρα όμως από το βέλτιστο επίπεδο η υπερβολική χρήση-ζήτηση οδηγεί σε συμφόρηση και προκαλεί αρνητικές επιδράσεις, όπως χαμηλότερες ταχύτητες, μεγαλύτερη και ταχύτερη καταστροφή της υποδομής κλπ.

2.4. Κοινωνικά διλήμματα στις πολιτικές ανάπτυξης συστημάτων οδικών μεταφορών

Η τιμολόγηση των οδικών μεταφορών είναι μια μέθοδος κατανομής των πόρων και δημιουργίας εσόδων. Ανάλογα με το σκοπό που απαιτείται να επιτευχθεί και με τους περιορισμούς που επιβάλλονται το βέλτιστο αντίτιμο μεταβάλλεται. Δεν υπάρχει «σωστή» τιμή αλλά βέλτιστες στρατηγικές τιμολόγησης που οδηγούν στην επίτευξη των καθορισμένων στόχων (Button, K.J., 1993).

Οι στόχοι προφανώς διαφέρουν ανάλογα με την αρχή που προσφέρει ή/και διαχειρίζεται τις μεταφορικές υπηρεσίες και από τις συνθήκες της αγοράς. Είναι φυσικό σε περιπτώσεις όπου συμμετέχουν ιδιωτικά κεφάλαια, ένας από τους κύριους στόχους να είναι η μεγιστοποίηση των κερδών. Αντίθετα, οι περισσότερες δημόσιες εταιρείες δεν έχουν ως κύριο στόχο τη δημιουργία κέρδους, αλλά απλώς να αντισταθμίζουν τα έξοδα τους. Ένας σημαντικός στόχος που έχει αρχίσει να τίθεται τα τελευταία χρόνια είναι η περιβαλλοντική προστασία, αφού ο τομέας των μεταφορών συνεισφέρει κατά ένα πολύ μεγάλο ποσοστό στη μόλυνση του περιβάλλοντος. Ένα βασικό στόχο στο σχεδιασμό των οδικών μεταφορών αποτελεί η μεγιστοποίηση της κοινωνικής ευημερίας. Πολλές φορές οι στόχοι που τίθενται είναι αντικρουόμενοι.

Οικονομική αποδοτικότητα

Στόχος του μέτρου της τιμολόγησης είναι κάθε χρήστης να επωμίζεται το πραγματικό κόστος που προκαλεί η μετακίνησή του. Τα κόστη αυτά συμπεριλαμβάνουν τα κόστη κατασκευής της υποδομής τα λειτουργικά κόστη της οδού, τα κόστη συντήρησης κα. Το μεταφορικό σύστημα γίνεται πιο αποδοτικό καθώς οι μεταφερόμενοι πραγματοποιούν μόνο τις μετακινήσεις τις οποίες μπορούν πληρώσουν.

Οικονομικοί στόχοι-Μεγιστοποίηση των Εσόδων

Στην περίπτωση που ο πάροχος ή ο διαχειριστής της μεταφορικής υπηρεσίας είναι ιδιώτης (περιπτώσεις ΣΔΙΤ), προσπαθεί με στόχο τη μεγιστοποίηση των εσόδων να καλύψει αφενός τα έξοδα του και αφετέρου να δημιουργήσει και κάποιο κέρδος, για ίδιο όφελος ή και με σκοπό τα έσοδα αυτά να χρησιμοποιηθούν για βελτίωση των υπηρεσιών. Σε περιπτώσεις του δημοσίου ως παρόχου, η επίτευξη κάποιου ποσοστού κέρδους είναι επιθυμητή, αλλά όχι πάντα εφικτή. Για λόγους κοινωνικής και οικονομικής πολιτικής, το αντίτιμο τίθεται σε επίπεδο πολύ χαμηλότερο από αυτό που κάνει εφικτή την οικονομική βιωσιμότητα του φορέα. Συνήθως οι στόχοι των δημοσίων υπηρεσιών τίθενται με μόνο στόχο την κάλυψη των εξόδων. Ο στόχος

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ- ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

αυτός μπορεί να έχει παραλλαγές, όπως την υιοθέτηση στρατηγικής με σκοπό απλά τη μεγιστοποίηση του μεριδίου της αγοράς κλπ.

Ενσωματώνοντας τα εξωτερικά κόστη

Ένας πιθανός στόχος της οδικής τιμολόγησης, που λαμβάνει όλο και περισσότερο μεγαλύτερη προσοχή, είναι η ενσωμάτωση των συνιστωσών του κόστους που δε λαμβάνονται υπόψη από τους χρήστες όταν επιλέγουν κάποια εναλλακτική για τη μετακίνησή τους. Η λογική αυτή βρίσκεται πίσω από τους στόχους που τέθηκαν από την Ευρωπαϊκή Ένωση στο EC, 2001, η οποία ακολουθεί τη λογική «the polluter pays- ο ρυπαίνων πληρώνει». Μέσω αυτού του τρόπου αποφεύγεται η υπερβολική κατανάλωση μετακινήσεων.

Περιβαλλοντικοί στόχοι

Ο τομέας των μεταφορών και κυρίως οι οδικές μεταφορές αποτελούν το σημαντικότερο παράγοντα της περιβαλλοντικής καταστροφής. Τίθεται πλέον ως στόχος, είτε ως βασικός στόχος είτε ως δευτερεύων, η ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Διαχείριση προβλημάτων σχετικών με την κυκλοφορία

Σε αυτήν την κατηγορία ανήκει το μέτρο της αστικής τιμολόγησης που έχει εφαρμοστεί σε πολλές πόλεις ανά τον κόσμο (Σιγκαπούρη, Στοκχόλμη, Τροντχάιμ), το οποίο έχει συνήθως ως πρωταρχικό στόχο τη διαχείριση της κυκλοφορίας. Σε αυτές τις περιπτώσεις η διαχείριση κάποιου κυκλοφοριακού προβλήματος είναι ο πρωταρχικός αλλά όχι ο μόνος στόχος.

3. Χρηματοδότηση Μεταφορικών Υποδομών

3.1. Σενάρια χρηματοδότησης ανάπτυξης συστημάτων οδικών μεταφορών

Τα βασικά σενάρια χρηματοδότησης των μεγάλων δημοσίων έργων, όπως είναι κατά βάση τα έργα υποδομής των μεταφορικών συστημάτων, χωρίζονται κατά βάση σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία, που είναι και ο παραδοσιακός τρόπος χρηματοδότησης των δημοσίων έργων είναι η κρατική χρηματοδότηση. Αυτός ο τρόπος χρηματοδότησης έργων θεωρείται προβληματικός σήμερα, παρά την ιδιαίτερη σημασία των μεταφορικών έργων για την ανάπτυξη μιας περιοχής, κυρίως λόγω των ελλειμμάτων στους δημόσιους προϋπολογισμούς που οφείλουν να διατηρούνται χαμηλά.

Η δεύτερη κατηγορία τρόπου χρηματοδότησης δημοσίων έργων είναι η ιδιωτική χρηματοδότηση ή η συνδυασμένη χρηματοδότηση από δημόσιο και ιδιωτικό τομέα. Με αυτόν τον τρόπο χρηματοδότησης, ο χρήστης είναι εντέλει αυτός που επιβαρύνεται με τα έξοδα αποπληρωμής, μέσω ενός διοδίου ή άλλης μορφής χρέωση. Ο συνδυαστικός τρόπος χρηματοδότησης δημοσίου και ιδιωτικού τομέα εκφράζεται με τις **Συμπράξεις Δημοσίου-Ιδιωτικού Τομέα** (ΣΔΙΤ ή Public-Private Partnership- PPPs) . Στις συμφωνίες αυτές είναι ιδιαίτερος σημαντικό να καθορίζονται εξ αρχής οι διάφοροι κίνδυνοι που ενέχονται στην υλοποίηση ενός τέτοιου έργου (οικονομικοί, πολιτικοί, κατασκευαστικοί κλπ.), ώστε να προσδιορίζεται η κατάλληλη μορφή συμβολαίου, ο χρόνος αποπληρωμής, ο τρόπος αποπληρωμής και άλλες λεπτομέρειες.

Οι βασικές μορφές ΣΔΙΤ που διακρίνονται είναι οι εξής⁴:

Συνεργασίες Παροχής Υπηρεσιών (Service Delivery Partnership)

⁴Τα στοιχεία αυτά προέρχονται από τη δημοσίευση Τσαμπούλας Δ., Πολίτου Δ., Πάνου Κ., «Συγκριτική Παρουσίαση Τρόπων Συμμετοχής Ιδιωτών Επενδυτών Σε Συγκοινωνιακά Έργα Στην Ελλάδα. Δημιουργία Μαθηματικού Προτύπου Εκτίμησης Της Επιχειρηματικής Ελκυστικότητας Επένδυσης», Τεχνικά Χρονικά, Επιστημονικές Εκδόσεις ΤΕΕ, Ι, Τεύχος 1. 2000 και Πόρισμα Ο.Ε. με θέμα: «ΣΥΓΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΟΥΜΕΝΑ ΕΡΓΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΣΥΜΒΑΣΕΙΣ ΠΑΡΑΧΩΡΗΣΗΣ», Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος/Τμήμα Ανατολικής Κρήτης, Αριθ. Πρωτ. 1036

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

Οι συνεργασίες αυτές συνάπτονται με σκοπό την παροχή μεμονωμένων αγαθών ή υπηρεσιών προκαθορισμένων προδιαγραφών από τον ιδιωτικό τομέα. Στις συμβάσεις αυτές ο ιδιωτικός τομέας υποχρεούται να παρέχει υπηρεσίες όπως καθαρισμού ή εστίασης, αλλά και πιο πολύπλοκες, όπως ολοκληρωμένες υπηρεσίες διοίκησης ή ολοκληρωμένα συστήματα παροχής πληροφοριών.

Σύμβαση Διαχείρισης (Management Agreement)

Ο ιδιωτικός τομέας αναλαμβάνει την παροχή υπηρεσιών λειτουργίας και συντήρησης ενός δημοσίου έργου. Ενώ ο ιδιωτικός τομέας λειτουργεί για λογαριασμό του δημοσίου, είναι διοικητικά ανεξάρτητος και δεν έχει άμεση νομική εξάρτηση. Η αμοιβή του ιδιώτη για την παροχή των υπηρεσιών είτε είναι σταθερή είτε γίνεται βάση την επίτευξη συγκεκριμένων στόχων, κάτι το οποίο αποτελεί και κίνητρο αποδοτικότητας. Πολλές φορές όμως η αποδοτικότητα δεν εξαρτάται μόνο από τον ιδιωτικό τομέα, αλλά και παραδείγματος χάριν από τις επενδύσεις που είναι πρόθυμος να κάνει ο δημόσιος τομέας, γεγονός που καθιστά αυτόν τον τρόπο πληρωμής λίγο δύσχρηστο.

Σχεδιασμός - Κατασκευή - Χρηματοδότηση - Λειτουργία / **D.B.F.O** (Design, Build, Finance, Operate)

Πρόκειται για συμβάσεις με σκοπό το σχεδιασμό, την κατασκευή, τη λειτουργία και τη χρηματοδότηση νέων δημοσίων υποδομών. Ο ιδιωτικός φορέας αναλαμβάνει την ευθύνη του σχεδιασμού, της κατασκευής, της λειτουργίας και της χρηματοδότησης του έργου και το δημόσιο τον πληρώνει για τις υπηρεσίες του αυτές κατά τη διάρκεια της σύμβασης. Στη λήξη της σύμβασης η ιδιοκτησία του έργου μεταφέρεται στο δημόσιο. Το μοντέλο DBFO είναι το βασικό μοντέλο συμβάσεων υποδομών με την μέθοδο PFI (**Private Finance Initiatives**), η οποία προβλέπει την κατασκευή δημοσίων κτιρίων από ιδιώτες με αυτοχρηματοδότηση βάσει μακροχρόνιας συμφωνίας για μίσθωση των εγκαταστάσεων από το κράτος.

Παραχώρηση Εκμετάλλευσης (Concession)

Πρόκειται για συμβάσεις όμοιες με το DBFO, με τη μόνη διαφορά ότι ο ιδιωτικός φορέας αποπληρώνεται, για το κεφάλαιο που έχει επενδύσει με την απευθείας χρέωση του τελικού χρήστη ή με τη χρέωση του χρήστη και εν μέρει του δημοσίου.

Κατασκευή – Ιδιοκτησία – Λειτουργία - Μεταβίβαση / **B.O.O.T** (Build, Own, Operate, Transfer)
Ή **Κατασκευή - Λειτουργία - Μεταφορά** / **B.O.T.** (Build, Operate, Transfer)

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ**

Πρόκειται για το πλέον διαδεδομένο μοντέλο συμπράξεων μεταξύ του ιδιωτικού και του δημόσιου τομέα, όπου ο ιδιωτικός τομέας καθίσταται υπεύθυνος για την κατασκευή, τη χρηματοδότηση, τη λειτουργία και τη συντήρηση του έργου. Ο ιδιωτικός φορέας έχει στην κυριότητά του το έργο καθ' όλη τη διάρκεια της σύμβασης και το επιστρέφει στο δημόσιο με τη λήξη της. Ο ιδιώτης ανάδοχος οφείλει να κατασκευάσει το έργο με βάση τις προδιαγραφές που έχει συμφωνήσει με το δημόσιο. Έπειτα ο ιδιώτης μπορεί είτε απλά να αναλάβει να συντηρεί και να λειτουργεί το έργο για χάρη του δημοσίου κι έπειτα να το μεταβιβάσει (περίπτωση Β.Ο.Τ) ή έχει τη δυνατότητα να έχει και την ιδιοκτησία του έργου για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα πριν τη μεταβίβαση στο δημόσιο (περίπτωση Β.Ο.Ο.Τ). Η διάρκεια της σύμβασης παραχώρησης μπορεί να είναι σταθερή ή να μεταβάλλεται βάση τα κέρδη της εταιρείας παραχώρησης. Την μορφή ΣΔΙΤ αυτή υιοθέτησε η Ελλάδα για την κατασκευή του αεροδρομίου «ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ ΒΕΝΙΖΕΛΟΣ», της Λεωφόρου Σπάτων-Ελευσίνας, της Δυτικής Περιφερειακής Λεωφόρου Υμηττού και για ζεύξη Ρίου-Αντίρριου.

Πίνακας 1, Τύποι Σύμπραξης Δημοσίου και Ιδιωτικού Τομέα (Πόρισμα Ο.Ε. με θέμα: «ΣΥΓΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΟΥΜΕΝΑ ΕΡΓΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΣΥΜΒΑΣΕΙΣ ΠΑΡΑΧΩΡΗΣΗΣ», Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος/Τμήμα Ανατολικής Κρήτης, Αριθ. Πρωτ. 1036)

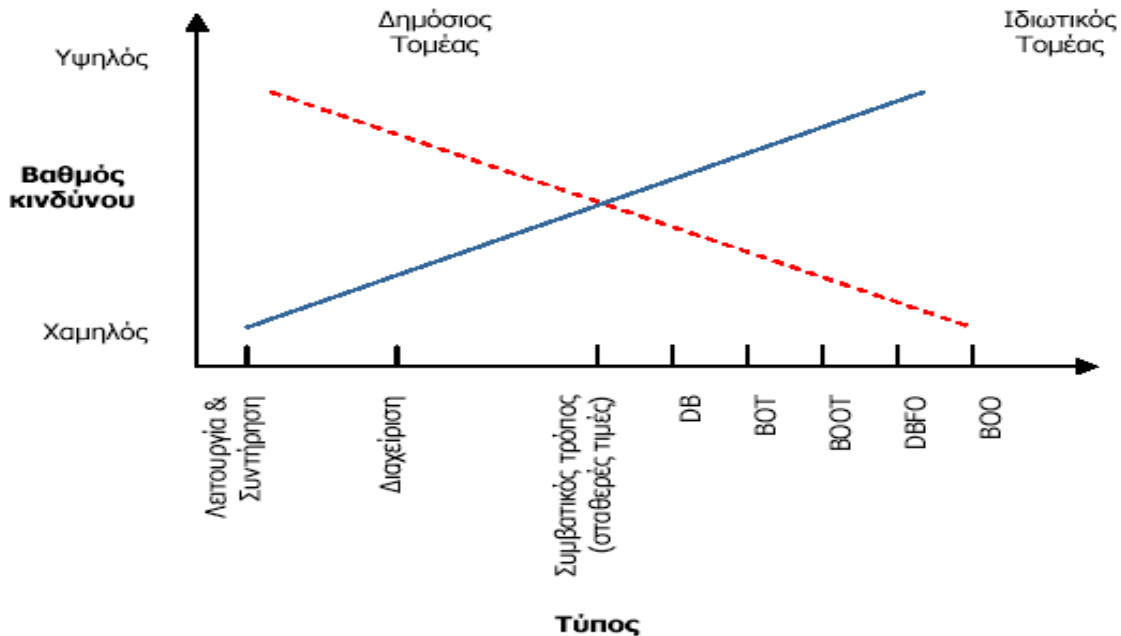
Επιλογή	Χρηματοδότηση	Λειτουργία & Συντήρηση	Εμπορικός κίνδυνος	Κυριότητα στοιχείου	Διάρκεια (έτη)
Σύμβαση Υπηρεσιών	Δημόσιο	Δημόσιο - Ιδιώτης	Δημόσιο	Δημόσιο	1- 2
Σύμβαση Διαχείρισης	Δημόσιο	Ιδιώτης	Δημόσιο	Δημόσιο	3 - 5
Παραχώρηση (ΒΟΤ/ΒΟΟΤ)	Ιδιώτης	Ιδιώτης	Ιδιώτης	Δημόσιο	25 – 30
ΡΦΙ/DBFO	Ιδιώτης	Ιδιώτης	Δημόσιο - Ιδιώτης	Δημόσιο - Ιδιώτης	20 – 30
Αποεπένδυση Ιδιωτικοποίηση	Ιδιώτης	Ιδιώτης	Ιδιώτης	Δημόσιο - Ιδιώτης	-

Οι ΣΔΙΤ μπορεί να έχουν ποικίλα οφέλη για το δημόσιο. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα, κυρίως για το δημόσιο τομέα είναι η μεταφορά των κινδύνων της επένδυσης. Οι κίνδυνοι που απορρέουν από τον σχεδιασμό, την κατασκευή, τη λειτουργία, τις τεχνολογικές αλλαγές, τη χρηματοδότηση, την αγορά και οι νομικοί κίνδυνοι επιμερίζονται στον ιδιωτικό και στο δημόσιο τομέα, ανάλογα με το ποιος είναι πιο ικανός να ανταπεξέλθει στην εκάστοτε περίπτωση. Μια άλλη σημαντική ωφέλεια είναι η σταδιακή αποπληρωμή του κατασκευαστικού κόστους του έργου, αφού τα κόστη αποπληρώνονται είτε σταδιακά στον ιδιώτη από το δημόσιο είτε βάση της σύμβασης παραχώρησης από τους τελικούς χρήστες σε προκαθορισμένο χρονικό διάστημα. Με αυτόν τον τρόπο οι δημόσιες δαπάνες διατηρούνται στο προϋπολογισθέν κόστος και μπορεί να υπάρξει παράλληλη κατασκευή και ανάπτυξη περισσότερων έργων, με αποτέλεσμα και την αύξηση της απασχόλησης εργατικού δυναμικού. Τέλος έχουμε μεταφορά τεχνογνωσίας κι εμπειρίας από τον ιδιωτικό τομέα στο δημόσιο με πολλαπλές ωφέλειες αναφορικά με την ταχύτερη παράδοση του έργου, τη μείωση του κόστους, την αύξηση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών και τέλος τη βελτίωση του λειτουργικού σχεδιασμού, της κατασκευής και της διαχείρισης των διαδικασιών.

Παράλληλα μπορούν να αναφερθούν και κάποια οφέλη για τον ιδιωτικό τομέα, όπως τα ελκυστικά περιθώρια κέρδους και τις μεγάλης διάρκειας συμβάσεις, οι οποίες βοηθούν στον καλύτερο οικονομικό προγραμματισμό της εταιρείας.

Αναπόφευκτα όμως υπάρχουν και σημαντικά μειονεκτήματα κατά την υλοποίηση έργων με ΣΔΙΤ. Ίσως το σημαντικότερο μειονέκτημα είναι το υψηλότερο κόστος δανεισμού για τον ιδιωτικό τομέα, από ότι για το δημόσιο. Με δεδομένο το υψηλότερο κόστος δανεισμού, γίνεται κατανοητό ότι με αυτόν τον τρόπο ανεβαίνει κατακόρυφα το χρηματοοικονομικό κόστος του έργου. Μια ακόμη δυσκολία είναι η αυξημένη πολυπλοκότητα που παρουσιάζεται κατά τη διάρκεια της υλοποίησης των συμπράξεων, κυρίως λόγω του σύνθετου πλέγματος συμβάσεων που απαιτούνται για να εντοπιστούν, να ελαχιστοποιηθούν και να καταμεριστούν σωστά οι πιθανοί κίνδυνοι της επένδυσης. Τέλος, μπορεί να μην υπάρξει ο κατάλληλος έλεγχος και η κατάλληλη παρακολούθηση της σύμβαση με συνέπεια την μη επίτευξη των στόχων.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ



Διάγραμμα 8: Βαθμός Επιμερισμού Κινδύνου Μεταξύ Δημοσίου και Ιδιωτικού Τομέα (Πόρισμα Ο.Ε. με θέμα: «ΣΥΓΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΟΥΜΕΝΑ ΕΡΓΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΣΥΜΒΑΣΕΙΣ ΠΑΡΑΧΩΡΗΣΗΣ», Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος/Τμήμα Ανατολικής Κρήτης, Αριθ. Πρωτ. 1036)

3.2. Πολιτικές στην ΕΕ

Ο βασικός τρόπος χρηματοδότησης στην Ευρώπη ανέκαθεν υπήρξε η κρατική χρηματοδότηση. Τις τελευταίες δεκαετίες όμως πολλά δημόσια έργα επιχειρήθηκε να χρηματοδοτηθούν με εναλλακτικούς τρόπους χρηματοδότησης. Για αυτόν το λόγο υπήρξε σημαντική άνοδος στη χρηματοδότηση των έργων με παραχώρηση, με πρωτοπόρο σε αυτόν τον τομέα τη Μεγάλη Βρετανία, γεγονός που οδήγησε τη δεκαετία του '90 τα κράτη-μέλη στη θέσπιση ενός νομοθετικού πλαισίου για τις Συμπράξεις Δημοσίου και Ιδιωτικού Τομέα.

Καταρχήν εξεδόθη η υπ' αριθμόν 2000/C 121/02 Ερμηνευτική Ανακοίνωση. Με την ανακοίνωση αυτή επιχειρήθηκε μια καταρχήν αναγνώριση και διατύπωση της βασικής μορφής των συμβάσεων παραχώρησης έργων και υπηρεσιών, καθώς και να τονισθεί η σημασία της εφαρμογής του κοινοτικού δικαίου στην ανάθεση των συμβάσεων αυτών. Μερικά χρόνια αργότερα εκδίδεται η Οδηγία 2004/18/ΕΚ της 31^{ης} Μαρτίου 2004, («Περί συντονισμού των διαδικασιών σύναψης δημοσίων συμβάσεων έργων, προμηθειών και υπηρεσιών»). Η οδηγία παρέχει τον ορισμό της έννοιας της σύμβασης παραχώρησης δημοσίων έργων, ορίζει συγκεκριμένους κανόνες εφαρμογής και προσδιορίζει τις διαδικασίες που πρέπει να ακολουθούν οι διαθέτουσες αρχές για τη σύναψή τους. Τέλος, με το «Πράσινο Βιβλίο για τις

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

Συμπράξεις Δημόσιου και Ιδιωτικού Τομέα» (30-4-2004/COM(2004) 327, τελικό), γίνεται μια προσπάθεια διατύπωσης κοινών στοιχείων και διακρίσεων των ΣΔΙΤ, ώστε να δοθεί μια καταρχήν κατεύθυνση εφαρμογής των οδηγιών στα κράτη-μέλη, αλλά και για να ξεκινήσει ένας διάλογος για τις ΣΔΙΤ. Στο Πράσινο Βιβλίο οι ΣΔΙΤ διακρίνονται σε «συμβατικού τύπου», όπου η σύμπραξη δημοσίου και ιδιώτη βασίζεται αποκλειστικά σε συμβατικούς δεσμούς και σε «θεσμοθετημένου τύπου», στις οποίες υπάρχει συνεργασία δημοσίου και ιδιώτη, στο πλαίσιο ενός άλλου φορέα (Εταιρία Ειδικού Σκοπού ή SPV). Παράλληλα, στην Ευρωπαϊκή Ένωση υπάρχει ειδική πρόβλεψη για χρηματοδότηση έργων που θεωρούνται καίριας σημασίας για την ενοποίηση της (TEN-T-Trans- European Transport Networks).

Γέφυρα Øresund



Ένα παράδειγμα έργου υλοποιημένου με τη μορφή των ΣΔΙΤ είναι η γέφυρα Øresund, μεταξύ Δανίας και Σουηδίας. Η γέφυρα αυτή είναι μια γέφυρα-σήραγγα που συνδυάζει σιδηροδρομική γραμμή και οδικό τμήμα τεσσάρων λωρίδων και ενώνει το στενό Øresund. Είναι η μακρύτερη γέφυρα που συνδυάζει οδικό τμήμα και σιδηροδρομική γραμμή στην Ευρώπη και συνδέει τις

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

δύο μητροπολιτικές περιοχές της περιοχής Øresund: τη Δανική πρωτεύουσα Κοπεγχάγη (Copenhagen) και τη Σουηδική Μάλμοε (Malmö). Το έργο διασχίζει ο Ευρωπαϊκός αυτοκινητόδρομος E20, καθώς και η σιδηροδρομική γραμμή του Øresund. Η γέφυρα αυτή είναι η μακρύτερη γέφυρα διέλευσης συνόρων στον κόσμο, αλλά λόγω της συμφωνίας Schengen, δεν υπάρχει κανένας έλεγχος διαβατηρίων. Εντούτοις υπάρχουν τελωνειακοί έλεγχοι στη Σουηδία, αλλά όχι στη Δανία.

Τη διαχείριση του έργου έχει η εταιρεία Øresundsbro Konsortiet. Η εταιρεία αυτή είναι μια Δανό-Σουηδική εταιρεία η οποία δημιουργήθηκε έπειτα από τη συμφωνία της 23^{ης} Μαρτίου 1991 μεταξύ των κυβερνήσεων Δανίας και Σουηδίας. Η συμφωνία αυτή παρέχει και το πλαίσιο για τις δραστηριότητες της Øresundsbro Konsortiet.

Η εταιρεία αυτή ανήκει και στο Δανικό αλλά και στο Σουηδικό κράτος μέσω δύο εταιρειών: της Δανικής A/S Øresund και της Σουηδικής Svensk-Danska Broförbindelsen SVEDAB AB. Οι δυο εταιρείες αυτές είναι από κοινού υπεύθυνες για την επίτευξη των δεσμεύσεων της Øresundsbro Konsortiet.

Ο κύριος στόχος της Konsortiet Øresundsbro είναι να παρέχει γρήγορη, ασφαλή και αξιόπιστη μετάβαση διαμέσου της γέφυρας του Øresund σε ανταγωνιστικές τιμές. Ακόμη διαχειρίζεται τη σιδηροδρομική υποδομή ενώ οι σιδηροδρομικές εταιρείες είναι αρμόδιες για την κυκλοφορία στη γραμμή. Η Øresundsbro Konsortiet έχει ως υποχρέωση ποικίλες καθημερινές εργασίες λειτουργίας και συντήρησης, συμπεριλαμβανομένης της οικονομικής διοίκησης, του μάρκετινγκ, των υπηρεσιών πληρωμής και εξυπηρέτησης πελατών, της λειτουργίας του οδικού και του σιδηροδρομικού δικτύου, της συντήρησης και της ανάπτυξής του, καθώς και διοικητικά καθήκοντα.

Η τιμολόγηση της χρήσης του έργου γίνεται βάσει των κάτωθι κριτηρίων:

1. Η γέφυρα Øresund πρέπει να είναι αυτοχρηματοδοτούμενη, δηλαδή το καταβληθέν αντίτιμο από τους χρήστες για τη χρήση του δικτύου πρέπει να καλύπτει όλες τις κατασκευαστικές και λειτουργικές δαπάνες, συμπεριλαμβανομένων των κοστών συντήρησης και νέων επενδύσεων.
2. Η κατασκευή της γέφυρας Øresund χρηματοδοτείται από δάνεια χορηγούμενα από εθνικές και διεθνείς κεφαλαιαγορές, με εγγυήσεις που χορηγούνται από τις δύο κυβερνήσεις. Τα έσοδα πρέπει να καλύπτουν τα τρέχοντα έξοδα χρηματοδότησης, καθώς και να εξασφαλίζουν τη μακροπρόθεσμη εξόφληση των δανείων.
3. Η Øresundsbro Konsortiet καθορίζει το ύψος του αντιτίμου για τη χρήση της γέφυρας με σκοπό την επίτευξη μακροπρόθεσμης οικονομικής σταθερότητας. Ο ΦΠΑ καταβάλλεται και στις δύο κυβερνήσεις.

4. Ένα σημαντικό στοιχείο για την μακροπρόθεσμη επίτευξη των οικονομικών στόχων είναι η αυξανόμενη κυκλοφορία με συνέπεια την αύξηση των εσόδων από τη χρήση του οδικού τμήματος. Το σχέδιο τιμολόγησης επομένως σχεδιάζεται με σκοπό να προάγει την περιφερειακή ανάπτυξη.

5. Το σιδηροδρομικό δίκτυο και τα πορθμεία είναι σημαντικά για την επίτευξη της ανάπτυξης στην περιοχή, η οποία θα οδηγήσει σε αύξηση της κυκλοφορίας. Επομένως, το ύψος των χρεώσεων για το οδικό δίκτυο καθορίζεται έτσι ώστε να μην απειλείται η επιβίωση αυτών των υπηρεσιών. Η δομή του συστήματος τιμολόγησης πρέπει να συμμορφώνεται με τις διατάξεις της νομοθεσίας περί ανταγωνισμού.

6. Οι εθνικοί οργανισμοί σιδηροδρόμων των δυο χωρών καταβάλλουν ένα συγκεκριμένο ποσό ύψους περίπου όσο το 30% των εσόδων του Øresundsbro Konsortiet. Στη συνέχεια οι σιδηροδρομικοί οργανισμοί μεταπωλούν την σιδηροδρομική ικανότητα στις σιδηροδρομικές εταιρείες. (http://en.wikipedia.org/wiki/Oresund_Bridge#Costs)

Σήραγγα της Μάγχης

Ένα άλλο μεγάλο έργο στην Ευρωπαϊκή ήπειρο είναι η Σήραγγα της Μάγχης. Το έργο αυτό υπήρξε για πολλά χρόνια ένα όνειρο, το οποίο ήταν πολύ δύσκολο να υλοποιηθεί λόγω των τεχνικών απαιτήσεων αλλά και του μεγάλου ύψους της επένδυσης. Το έργο ξεκίνησε για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1970 αλλά σταμάτησε λόγω πολύ μεγάλου κόστους. Τελικά το έργο ξαναξεκίνησε το 1988, για να παραδοθεί στην κυκλοφορία 6 χρόνια αργότερα, το 1994.

Το έργο χρηματοδοτήθηκε εξ ολοκλήρου από ιδιωτικά κεφάλαια. Η Βρετανική εταιρεία *Channel Tunnel Group* αποτελούνταν από 2 τράπεζες και 5 κατασκευαστικές εταιρείες, ενώ η Γαλλική εταιρεία *France-Manche* από τρεις τράπεζες και πέντε κατασκευαστικές εταιρείες. Στις 2 Ιουλίου 1985 οι δύο αυτές εταιρείες δημιούργησαν τη σύμπραξη *Channel Tunnel Group/France-Manche (CTG/F-M)*. Ο σχεδιασμός και η κατασκευή του έργου έγινε από δέκα κατασκευαστικές εταιρείες. Ο γαλλικός τερματικός σταθμός καθώς κι οι εκσκαφές έγιναν από τις πέντε γαλλικές εταιρείες της κοινοπραξίας *GIE Transmanche Construction*, ενώ ο αγγλικός τερματικός σταθμός και οι εκσκαφές του Shakespeare Cliff από τις πέντε κατασκευαστικές εταιρείες της κοινοπραξίας *Trankslink Joint Venture*. Οι δύο αυτές κοινοπραξίες ενώθηκαν υπό την *TransManche Link (TML)*, έναν οργανισμό για τα διμερή έργα. Τα έργα εποπτεύονταν από την *Maître d'Oeuvre*, ένα σώμα εφαρμοσμένης μηχανικής που χρησιμοποιήθηκε από τη Eurotunnel για να ελέγχει τη δραστηριότητα του προγράμματος και να υποβάλλει έπειτα έκθεση στις κυβερνήσεις και στις τράπεζες.

Το τούνελ της Μάγχης χρηματοδοτήθηκε με παραχώρηση BOOT (κατασκευή-ιδιοκτησία-λειτουργία- μεταβίβαση). Η TML ήταν υπεύθυνη για το σχεδιασμό και την κατασκευή της σήραγγας, ενώ η χρηματοδότηση γινόταν μέσω ενός χωριστού νομικού προσώπου, του Eurotunnel. Η Eurotunnel αργότερα απορρόφησε την CTG/F-M και υπέγραψε σύμβαση

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

κατασκευής με την TML. Εντούτοις οι Βρετανικές και Γαλλικές κυβερνήσεις έλεγχαν τις τελικές αποφάσεις αναφορικά με την κατασκευή και την ασφάλεια. Επίσης μια συμφωνία για τη χρήση των σιδηροδρόμων επιτεύχθηκε μεταξύ της Eurotunnel, των Βρετανικών Σιδηροδρόμων και της Γαλλικής Société Nationale des Chemins de Fer (οργανισμός Γαλλικών Σιδηροδρόμων), με αποτέλεσμα την εγγύηση του μελλοντικού εισοδήματος, με αντάλλαγμα οι σιδηρόδρομοι να λάβουν τη μισή χωρητικότητα της σήραγγας.

Η ιδιωτική χρηματοδότηση για ένα τέτοιο σύνθετο έργο υποδομής ήταν πρωτοφανούς κλίμακας. Η συνολική δαπάνη χρηματοδότησης στην αρχή του έργου, σε τιμές 1985 ήταν £2,6 δισεκατομμύρια. Λόγω όμως αυξημένων απαιτήσεων που προέκυψαν για την ασφάλεια, την προστασία και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις υπήρξε μια υπέρβαση κόστους της τάξεως του 80%, δηλαδή το κόστος του έργου με το πέρας των εργασιών σε τιμές 1985 ανήλθε στα £4,65 δισεκατομμύρια. (http://en.wikipedia.org/wiki/Channel_Tunnel)

Η Ευρωπαϊκή Ένωση προσπαθεί πλέον να ανακαλύψει νέους τρόπους χρηματοδότησης. Μια νέα προσέγγιση αποτελεί η πρόταση για χρηματοδότηση μεταφορικών δικτύων από πόρους δικτύων στην ευρύτερη περιοχή τα οποία θα έχουν άμεσο όφελος από την κατασκευή αυτή. Με άλλα λόγια, η χρέωση εφαρμόζεται στην περιοχή ως σύνολο και όχι μεμονωμένα για το δίκτυο, με σκοπό τις μελλοντικές επενδύσεις στη περιοχή. Τα δίκτυα αυτά, εφόσον θα έχουν αποπληρώσει τα κόστη κατασκευής και θα έχουν εξασφαλίσει τα απαιτούμενα χρηματικά ποσά για τη συντήρηση και λειτουργία τους, μπορούν να συνεισφέρουν στην κατασκευή νέων σιδηροδρομικών δικτύων, οδών κλπ ή στην αναβάθμιση ήδη υπαρχόντων (EC, 2001).

Με τη λειτουργία των έργων αυτών θα υπάρξει καταμερισμός της κυκλοφοριακής ζήτησης με αποτέλεσμα την ανακούφιση της κυκλοφοριακής συμφόρησης στα υπάρχοντα δίκτυα. Κατά αυτόν τον τρόπο θα υπάρξει μείωση των ατυχημάτων στα δίκτυα, μείωση του χρόνου ταξιδιού, αναβάθμιση του παρεχόμενου επιπέδου εξυπηρέτησης και τέλος, λόγω όλων αυτών περισσότερα έσοδα λόγω των αναβαθμισμένων υπηρεσιών του δικτύου. Αυτή η μορφή χρηματοδότησης θα μπορούσε να υποκαταστήσει μέρος της επένδυσης που απαιτείται για την κατασκευή του νέου μεταφορικού συστήματος το οποίο θα διασχίζει την οροσειρά των Άλπεων.

Μία τέτοια λογική χρηματοδότησης εφαρμόζει ήδη η Ελβετία, η οποία ήδη επιβάλλει αυξημένο αντίτιμο στα βαρέα οχήματα και δη σε αυτά τα οποία προέρχονται από χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Για τα απαιτούμενα δισεκατομμύρια που απαιτούνται για την αναβάθμιση του σιδηροδρομικού δικτύου και για την κατασκευή του νέου τμήματος στις Άλπεις (σήραγγες Lötschberg και Gothard) η Ελβετία έχει εξασφαλίσει το 50% από ειδική χρέωση των βαρέων οχημάτων, περίπου 20% από ειδικό αντίτιμο επιβαλλόμενο στις μεταφορικές εταιρείες άλλων κρατών που χρησιμοποιούν το δίκτυο της Ελβετίας, ένα 25% από τον ειδικό φόρο πετρελαίου και τέλος το υπόλοιπο ποσό από την αύξηση στο Φόρο Προστιθέμενης Αξίας. Η λογική πίσω από την επιπλέον χρέωση στα βαρέα οχήματα είναι η λογική “polluter pays”, δηλαδή τα βαρέα

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

οχήματα οφείλουν να πληρώνουν επιπλέον για την παραπάνω επιβάρυνση που προκαλούν και στο δίκτυο και στο περιβάλλοντα χώρο του δικτύου από ότι τα συμβατικά οχήματα.

Στη Γαλλία και στη Γερμανία επιχειρείται να δημιουργηθεί ενιαίο ταμείο για επενδύσεις στις μεταφορικές υποδομές, με σκοπό κυρίως τη μεταφορά πόρων από δίκτυα με αυξημένο πλεόνασμα εσόδων (οδικά δίκτυα) σε δίκτυα με αυξημένες απαιτήσεις σε αναβάθμιση (σιδηροδρομικό δίκτυο).

Στην Ολλανδία η κύρια πηγή χρηματοδότησης έργων είναι ο κρατικός προϋπολογισμός και κάποιες περιπτώσεις ΣΔΙΤ.

3.3. Καταγραφή εναλλακτικών σεναρίων χρηματοδότησης στην Ελλάδα

3.3.1. Έργα ΣΔΙΤ

Η ζεύξη Ρίου – Αντιρρίου (Γέφυρα)



Εικόνα 1, Άποψη της Γέφυρας Ρίου-Αντιρρίου (www.gefyra.gr)

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

Η καλωδιωτή γέφυρα Ρίου-Αντίρριου ενώνει τη δυτική Πελοπόννησο με τη δυτική Στερεά Ελλάδα. Έχει 2.252 μ. μήκος (τρία κεντρικά ανοίγματα των 560 μ. και δύο ακραία των 286 μ.), είναι η μεγαλύτερη καλωδιωτή γέφυρα στον κόσμο. Στα δύο άκρα της υπάρχουν δύο γέφυρες πρόσβασης με μήκος 380 μ. Και 228 μ. Η λειτουργία της συντόμευσε το χρόνο μετάβασης από 45 σε 5 λεπτά, ενώ απάλλαξε την κυκλοφορία από τις μέχρι τώρα καθυστερήσεις και διακοπές της θαλάσσιας μεταφοράς

Παραχωρησιούχος εταιρεία του έργου είναι η εταιρεία ΓΕΦΥΡΑ Α.Ε. η οποία αποτελείται από τη γαλλική εταιρεία Vinci και άλλες 6 ελληνικές κατασκευαστικές εταιρείες κι έχει ως αποκλειστικό σκοπό τη σύναψη με το ελληνικό δημόσιο και την υλοποίηση της σύμβασης παραχώρησης της γέφυρας Ρίου-Αντίρριου Στην ΓΕΦΥΡΑ Α.Ε. ανήκει η ευθύνη για τη μελέτη, κατασκευή, χρηματοδότηση, συντήρηση και λειτουργία της γέφυρας κατά την διάρκεια των 42 προσυμφωνημένων χρόνων. Οι μέτοχοι της ΓΕΦΥΡΑ Α.Ε. είναι η VINCI Concessions με ποσοστό 57,45%, η ΑΚΤΩΡ ΠΑΡΑΧΩΡΗΣΕΙΣ με ποσοστό 22,02%, η J&P με ποσοστό 12,14% και η ΑΘΗΝΑ με ποσοστό 8,39%. Η μελέτη και κατασκευή της γέφυρας ανατέθηκε στην ΚΟΙΝΟΠΡΑΞΙΑ ΓΕΦΥΡΑ, η οποία είχε την υποχρέωση να ολοκληρώσει τη μελέτη και την κατασκευή της γέφυρας μέσα σε περίοδο επτά ετών. Μέτοχοι της εταιρείας αυτοί είναι VINCI Construction Grands Projets (ποσοστό 53%), η ΑΚΤΩΡ Α.Τ.Ε. (ποσοστό 20,32%), η J&P – ΑΒΑΞ Α.Ε. (ποσοστό 11,20%), η ΑΘΗΝΑ Α.Ε. (ποσοστό 7,74%) και η ΠΡΟΟΔΕΥΤΙΚΗ Α.Ε. (ποσοστό 7,74%). Τέλος, η ΓΕΦΥΡΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ Α.Ε. είναι η εταιρεία λειτουργίας του έργου, η οποία είναι αρμόδια για τη διαχείριση των διοδίων, της κυκλοφορίας και τη συνήθη συντήρηση της γέφυρας. Μέτοχοι της ΓΕΦΥΡΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ Α.Ε. είναι οι ίδιοι ακριβώς μέτοχοι της ΓΕΦΥΡΑ Α.Ε. με τα ίδια ποσοστά. (Πηγή: www.gefyra.gr). Η καλωδιωτή γέφυρα Ρίου-Αντίρριου ενώνει τη δυτική Πελοπόννησο με τη δυτική Στερεά Ελλάδα. Έχει 2.252 μ. μήκος (τρία κεντρικά ανοίγματα των 560 μ. και δύο ακραία των 286 μ.), είναι η μεγαλύτερη καλωδιωτή γέφυρα στον κόσμο. Στα δύο άκρα της υπάρχουν δύο γέφυρες πρόσβασης με μήκος 380 μ. Και 228 μ. Η λειτουργία της συντόμευσε το χρόνο μετάβασης από 45 σε 5 λεπτά, ενώ απάλλαξε την κυκλοφορία από τις μέχρι τώρα καθυστερήσεις και διακοπές της θαλάσσιας μεταφοράς

Η Αττική Οδός



Εικόνα 2, Αττική Οδός-Κόμβος Αεροδρομίου
(<http://www.aodos.gr/>)

Με τον Ν.2445/1996 κυρώθηκε η σύμβαση μεταξύ Ελληνικού Δημοσίου και της Α.Ε «ΑΤΤΙΚΗ ΟΔΟΣ» για την μελέτη, κατασκευή, αυτοχρηματοδότηση και εκμετάλλευση του έργου. Το κόστος κατασκευής ανήλθε στα 1,3 δις ευρώ περίπου, ποσό που χρηματοδοτήθηκε κατά 32% από το ελληνικό δημόσιο, με πόρους και του κοινοτικού Πλαισίου Στήριξης, ενώ το υπόλοιπο 68% καλύφθηκε με ίδια και δανειακά κεφάλαια της εταιρείας. Τα δάνεια που έλαβε η εταιρεία παραχώρησης καλύφθηκαν από την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων και από εμπορικές τράπεζες, ενώ εξασφάλισε εγγυήσεις για τα δάνεια αυτά από Όμιλο Διεθνών Τραπεζών.

Η Αττική οδός είναι ένας αστικού-περιαστικού τύπου αυτοκινητόδρομος, μήκους 65 χιλιομέτρων, με 3 λωρίδες κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση και μια λωρίδα έκτακτης ανάγκης. Στο μέσον της κινείται ο προαστιακός σιδηρόδρομος. Αποτελείται από δύο τμήματα: την ελεύθερη λεωφόρο Ελευσίνας-Σταυρού-Σπάτων, μήκους περίπου 52 χιλιομέτρων και από τη Δυτική Περιφερειακή Λεωφόρο Υμηττού, μήκους περίπου 13 χιλιομέτρων. Ο αυτοκινητόδρομος της Αττικής Οδού αποτελεί το συνδετικό κρίκο του οδικού άξονα Πάτρα-Αθήνα-Θεσσαλονίκη-Εύζωνοι (ΠΑΘΕ) συνδέοντας την εθνική οδό Αθηνών-Κορίνθου με την εθνική οδό Αθηνών-Λαμίας, παρακάμπτοντας το κέντρο της Αθήνας.

Με τον Ν.2445/1996 κυρώθηκε η σύμβαση μεταξύ Ελληνικού Δημοσίου και της Α.Ε «ΑΤΤΙΚΗ ΟΔΟΣ» για την μελέτη, κατασκευή, αυτοχρηματοδότηση και εκμετάλλευση του έργου. Το κόστος κατασκευής ανήλθε στα 1,3 δις ευρώ περίπου, ποσό που χρηματοδοτήθηκε κατά 32% από το ελληνικό δημόσιο, με πόρους και του κοινοτικού Πλαισίου Στήριξης, ενώ το υπόλοιπο 68% καλύφθηκε με ίδια και δανειακά κεφάλαια της εταιρείας. Τα δάνεια που έλαβε η εταιρεία παραχώρησης καλύφθηκαν από την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων και από εμπορικές τράπεζες, ενώ εξασφάλισε εγγυήσεις για τα δάνεια αυτά από Όμιλο Διεθνών Τραπεζών.

3.3.2. Δημόσιες Επενδύσεις

Εγνατία οδός



Εικόνα 3, Εγνατία Οδός, Γέφυρα Νέστου (<http://www.egnatia.eu>)

Η Εγνατία Οδός αποτελεί μεταφορικό έργο υλοποιημένο αποκλειστικά με κρατική επιχορήγηση. Το έργο αυτό ανήκε στη λίστα έργων προτεραιότητας των Διευρωπαϊκών Δικτύων Μεταφορών διότι συνδέει τις αγορές της Ανατολής με τα μεγάλα βιομηχανικά κέντρα της Δύσης και λειτουργεί ως συλλεκτήριος άξονας των Πανευρωπαϊκών διαδρομών IV (Βερολίνο-Σόφια- Θεσσαλονίκη), IX (Ελσίνκι- Αλεξανδρούπολη) και X (Βιέννη-Βελιγράδι-Θεσσαλονίκη)που ενώνουν τη Βόρεια Ευρώπη με τη Νότια.

Το έργο κατασκευάστηκε τμηματικά, καθώς η χρηματοδότηση του δεν ήταν πλήρως εξασφαλισμένη. Το 1970 άρχισαν οι προσπάθειες για την μελέτη και κατασκευή τμημάτων σε προβληματικές περιοχές όπως στο Μέτσοβο και τη παράκαμψη της Καβάλας, οι οποίες όμως κατέληξαν σε αποσπασματική κατασκευή των εν λόγω τμημάτων. Η ολοκληρωτική περάτωση του έργου επήλθε έπειτα από την ένταξη του στο Β΄ Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης το 1994.

Παράλληλα αποφασίστηκε η δημιουργία εταιρείας, ύστερα από διαπραγματεύσεις της Ελληνικής πλευράς με την Κοινοτική, κατά τα πρότυπα που είχαν εφαρμοσθεί σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Κατά αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε η εταιρεία Εγνατία Οδός Α.Ε., η οποία σύμφωνα με το καταστατικό της έχει διάρκεια ζωής 50 χρόνων κι έχει ως υποχρέωση τη λειτουργία, συντήρηση κι εκμετάλλευση της Εγνατίας Οδού (Ν.3263, άρθρο 17). Η χρηματοδότηση των έργων και της λειτουργίας της Εταιρείας γίνεται από το Πρόγραμμα

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

Δημοσίων Επενδύσεων (Π.Δ.Ε) μέσω αυξήσεων του Μετοχικού της Κεφαλαίου. Παράλληλα η εταιρεία έχει αναλάβει και ποικίλα άλλα έργα στην ευρύτερη περιοχή.



Αττικό Μετρό

Η εταιρεία ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ Α.Ε. ιδρύθηκε με το νόμο 1955/1991 ως νομικό πρόσωπο ιδιωτικού δικαίου με τη μορφή ανώνυμης εταιρείας και με μοναδικό μέτοχο της εταιρείας το ελληνικό δημόσιο. Είναι δυνατόν μετοχές της εταιρείας να μεταβιβαστούν σε φυσικά ή νομικά πρόσωπα του ιδιωτικού τομέα και να εισαχθούν στο χρηματιστήριο, υπό την προϋπόθεση το ποσοστό του Ελληνικού Δημοσίου να μην πέσει κάτω από 51%. Η εταιρεία εποπτεύεται από τον υπουργό Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων έργων και από τον υπουργό Εμπορίου. Όλες οι άδειες, συμπεριλαμβανομένων και των οικοδομικών αδειών, που απαιτούνται για την εκτέλεση των έργων χορηγούνται με απόφαση του υπουργού ΠΕΧΩΔΕ. Σκοπός της ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ είναι η μελέτη, κατασκευή, οργάνωση, διοίκηση, λειτουργία, εκμετάλλευση και ανάπτυξη του δικτύου αστικού σιδηροδρόμου και γενικά των ηλεκτρικών σιδηροδρόμων των νομών Αττικής και Θεσσαλονίκης, εκτός από το σιδηροδρομικό δίκτυο ΟΣΕ. Επίσης, το 2002 η ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ανέλαβε δια νόμου (άρθρο 9 του Ν. 3010/2002) την κατασκευή Χώρων Στάθμευσης και Σταθμών Μετεπιβίβασης για την εξυπηρέτηση των σταθμών των γραμμών 2 και 3 και των επεκτάσεων τους.

Το 1998, με το νόμο 2699/98 ιδρύθηκε η ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ Α.Ε. (ΑΜΕΛ), θυγατρική της ΑΤΤΙΚΟ ΜΕΤΡΟ, με σκοπό τη λειτουργία και εκμετάλλευση των γραμμών 2 και 3 και κάθε επέκτασης τους, καθώς και των εγκαταστάσεων, τροχαίου υλικού και γενικά των υλικών και μέσων. Παράλληλα, έχει τη διαχείριση, λειτουργία και εκμετάλλευση των Χώρων Στάθμευσης και Σταθμών Μετεπιβίβασης των γραμμών του μετρό. Η ΑΜΕΛ εποπτεύεται από τον υπουργό Μεταφορών.

Το κόστος της κατασκευής των γραμμών 2 και 3 ανήλθε σε 2,1 δισεκατομμύρια ευρώ, τα οποία καλύφθηκαν κατά 50% από επιχορηγήσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης και κατά 50% από το Ελληνικό Δημόσιο, μέσω δανείων από την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων και κατά ένα μέρος από το Πρόγραμμα Δημοσίων Επενδύσεων.

4. ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΠÓΡΩΝ

4.1. Το πρόβλημα της βέλτιστης κατανομής πόρων

Οι μεταφορές, ως τομέας κεφαλαιώδους σημασίας για τη λειτουργία των σύγχρονων οικονομιών, καλούνται σήμερα να λειτουργήσουν σε ένα περιβάλλον που χαρακτηρίζεται από όλο και μεγαλύτερες απαιτήσεις για κινητικότητα και από όλο και μικρότερη ανεκτικότητα της κοινωνίας έναντι των συνεχών καθυστερήσεων και της μέτριας ποιότητας ορισμένων παρεχόμενων υπηρεσιών του συγκεκριμένου τομέα. Ένα σύγχρονο σύστημα μεταφορών οφείλει να είναι βιώσιμο τόσο από πλευράς οικονομικής όσο και από πλευράς κοινωνικής και περιβαλλοντικής (EC, 1995).

Τα μεταφορικά έργα αποτελούν μακροχρόνιες επενδύσεις μεγάλης κλίμακας που απαιτούν τη δέσμευση μεγάλου ποσού πόρων, κυρίως οικονομικών. Οι πόροι αυτοί πρέπει να κατανεμηθούν κατά αυτόν τον τρόπο κατά τον οποίο (1) υλοποιούνται οι στόχοι του σχεδιασμού των μεταφορών και (2) μεγιστοποιείται το κοινωνικό όφελος. Εφόσον όμως οι πόροι, όπως ο διαθέσιμος προϋπολογισμός, η γη στην οποία θα αναπτυχθεί το μεταφορικό σύστημα και η διαθέσιμη τεχνολογία, είναι πεπερασμένοι, πρέπει η κατανομή τους να γίνεται στις υποδομές που προσφέρουν τη μεγαλύτερη χρησιμότητα.

Οι ανάγκες της κοινωνίας για μετακινήσεις μεταβάλλονται ανοδικά συνεχώς με την πάροδο του χρόνου. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας έχει οδηγήσει σε αύξηση των οχημάτων που χρησιμοποιούν ένα οδικό δίκτυο με συνέπεια την αύξηση της συμφόρησης στις οδικές αρτηρίες. Επιπροσθέτως, οι απαιτήσεις των χρηστών για βελτιωμένα επίπεδα εξυπηρέτησης πιέζουν συνεχώς τις κυβερνήσεις για αύξηση των προσφερομένων μεταφορικών υπηρεσιών ή βελτίωση των ήδη υπαρχόντων.

Γίνεται λοιπόν κατανοητό ότι κάθε απόφαση για επένδυση στα οδικά δίκτυα προϋποθέτει μια πολύ καλή γνώση των ωφελειών που θα προσφέρει και των κοστών που θα εγείρει. Λόγω του περιορισμού των πόρων και κυρίως του προϋπολογισμού τα κόστη των επενδύσεων για τις προτεινόμενες παρεμβάσεις πρέπει να ελαχιστοποιηθούν όσο το δυνατόν περισσότερο, με ταυτόχρονο υπολογισμό των ωφελειών που θα επιφέρουν και μεγιστοποίηση αυτών. *Αυτή η αρχή αποτελεί τη βασική αρχή του προβλήματος βελτιστοποίησης στα μεταφορικά συστήματα.*

Η τιμολόγηση των δικτύων θεωρείται ως μια μέθοδος κατανομής πόρων. Μέσω της τιμολόγησης αφενός μειώνεται το μέσο κόστος μετακίνησης, εφόσον κάποιοι χρήστες θα αποθαρρυνθούν από το επιπλέον χρηματικό κόστος και δε θα πραγματοποιήσουν την εν λόγω μετακίνηση. Παράλληλα δημιουργούνται και κάποια έσοδα. Τα έσοδα αυτά είναι χρήματα τα οποία έχουν αναδιανεμηθεί από τους χρήστες στον πάροχο της μεταφορικής υπηρεσίας

(ιδιώτη ή το δημόσιο). Ο πάροχος μπορεί να διανείμει αυτά τα έσοδα σε επενδύσεις οι οποίες θα επιφέρουν βελτίωση στα στοιχεία της μεταφορικής υποδομής. Οι ωφέλειες από τις επενδύσεις αυτές μειώνουν κάποιες συνιστώσες του κόστους των χρηστών οπότε εμμέσως οι χρήστες ανακτούν την επιπλέον επιβάρυνση. Κατά τη διαδικασία αυτή επίσης πόροι όπως ο χρόνος των χρηστών έχουν αποδεσμευτεί και μπορούν να καταναλωθούν σε άλλες οικονομικές διαδικασίες. Υπό αυτήν την έννοια αυτή τα έσοδα από τα διόδια δεν αποτελούν κόστος στην κοινωνία συνολικά αλλά μάλλον αναδιανομή εισοδήματος. Παρόλα αυτά όμως, δεν πρέπει να αμελείται ότι οι μετακινούμενοι έχουν όντως επιβαρυνθεί από τη χρέωση αυτή (McDonald, 2004).

Οι βελτιώσεις που μπορεί να γίνουν σε ένα οδικό δίκτυο είναι αύξηση της κυκλοφοριακής ικανότητας των υπάρχοντων οδικών τμημάτων, επενδύσεις για επέκταση του οδικού δικτύου μέσω της κατασκευής νέων οδικών τμημάτων, βελτίωση του οδοστρώματος, βελτίωση στο φωτισμό, αστυνόμευση και γενικά στην εύρυθμη λειτουργία της οδού. Παρακάτω αναλύονται επιγραμματικώς οι ωφέλειες που προκύπτουν από τη βελτίωση ενός υπάρχοντος οδικού τμήματος ή την κατασκευή καινούργιου (τα στοιχεία αυτά είναι από το Α. Καλτσούνης. Συμπράξεις Δημοσίου και Ιδιωτικού Τομέα στην Κατασκευή Οδικών Έργων, Θεωρητικές Αρχές και Μεθοδολογικές Οδηγίες. Τεχνικά Χρονικά, Ιούλιος-Αυγούστος 2007).

✓ ***Ωφέλειες από τη μείωση του λειτουργικού κόστους***

Το λειτουργικό κόστος των οχημάτων εξαρτάται από το μήκος, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και την ποιότητα του οδοστρώματος. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά επηρεάζουν τις ταχύτητες κίνησης των οχημάτων και συνεπώς το λειτουργικό τους κόστος. Επομένως, η βελτίωση των χαρακτηριστικών αυτών έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του λειτουργικού κόστους και το χρόνο ταξιδιού.

✓ ***Ωφέλειες από τη μείωση του χρόνου μετακίνησης***

Μία από τις σημαντικότερες ωφέλειες από τη βελτίωση ενός οδικού τμήματος είναι η μείωση του χρόνου μετακίνησης. Εδώ, ο χρόνος είναι χρήμα κυριολεκτικά. Λιγότερος χρόνος ταξιδιού σημαίνει και γρηγορότερη πρόσβαση στην εργασία ή γρηγορότερη μεταφορά εμπορευμάτων, άρα εξοικονόμηση χρημάτων, αλλά και περισσότερος χρόνος για άλλες δραστηριότητες, πχ αναψυχής. Σε όλες τις περιπτώσεις ο χρόνος μπορεί να υπολογιστεί σε χρηματικές μονάδες, λιγότερες για το χρόνο αναψυχής και περισσότερες για λόγους εργασίας.

✓ ***Ωφέλειες από τη μεταβολή των οδικών ατυχημάτων***

Κάθε οδικό ατύχημα, θανατηφόρο ή μη και κάθε τραυματισμός λόγω των μεταφορών έχει πολύ βαριές συνέπειες, χρηματικές και μη. Ενώ το κόστος ατυχημάτων θεωρείται εξωτερικό κόστος και πολλές φορές δε συμπεριλαμβάνεται στο αντίτιμο χρήσης του οδικού δικτύου, κάθε ατύχημα που προλαμβάνεται θεωρείται πολύ μεγάλη ωφέλεια και λειτουργεί υπέρ της προτεινόμενης επένδυσης.

✓ ***Ωφέλειες από τη μείωση του κόστους συντήρησης***

Ένα νέο έργο έχει πάντα πολύ μικρότερο κόστος συντήρησης από ένα παλαιότερο, ιδιαίτερα τα πρώτα χρόνια της λειτουργίας του, άρα εξοικονόμηση χρημάτων.

✓ **Ωφέλειες στο περιβάλλον**

Λόγω των καλύτερων γεωμετρικών χαρακτηριστικών μιας οδού και κατά συνέπεια των καλύτερων ταχυτήτων που επικρατούν μειώνονται οι εκπομπές αερίων ρύπων από τα οχήματα, των θορύβων κλπ. Κατά συνέπεια έχουμε μικρότερη επιβάρυνση στο περιβάλλον.

✓ **Λοιπές ωφέλειες**

- ωφέλειες από την προώθηση της ισόποσης ανάπτυξης
- ωφέλειες από την αύξηση του Ακαθάριστου Εθνικού Εισοδήματος
- ωφέλειες από μια δικαιότερη κατανομή (ανακατανομή) του εισοδήματος
- ωφέλειες από τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας
- ωφέλειες από την καλύτερευση των όρων διαβίωσης
- ωφέλειες από τη βελτίωση των κοινωνικών σχέσεων

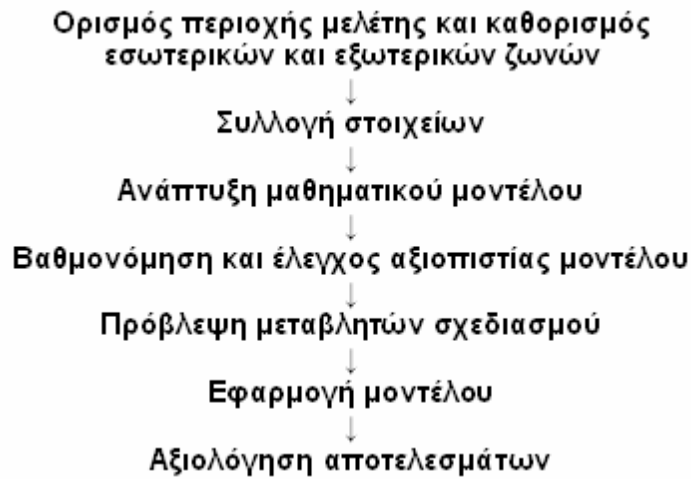
4.2 Μοντέλα συγκοινωνιακού σχεδιασμού

Κάθε μεταφορικό σύστημα αποτελείται από το σύνολο της υποδομής του, το σύστημα διαχείρισης, τα μεταφορικά μέσα και τους χρήστες. Η αύξηση της κινητικότητας των χρηστών έχει οδηγήσει στην ανάγκη βελτίωσης της υποδομής. Καθώς οι βελτιώσεις μπορούν να έχουν ποικίλες μορφές, γίνεται επιτακτική η ανάγκη αξιολόγησης κάθε εναλλακτικής λύσης. Η διερεύνηση αυτή επιτυγχάνεται (ως ένα βαθμό) με τη μαθηματική προτυποποίηση των συστημάτων μεταφορών και τη δημιουργία κάποιων μοντέλων συγκοινωνιακού σχεδιασμού.

Τα μοντέλα αυτά αποτελούνται από μια σειρά μαθηματικών σχέσεων που χρησιμοποιούνται με στόχο την αναπαράσταση των επιλογών που κάνουν οι μετακινούμενοι (ανθρώπινη συμπεριφορά). Οι επιλογές αυτές επηρεάζονται από ένα πλήθος παραγόντων (προσωπικά χαρακτηριστικά, σκοπός μετακίνησης, προορισμός, μέσο, διαδρομή κλπ). Η ανάπτυξη των μοντέλων συχνά βασίζεται σε απλουστευτικές παραδοχές και περιορίζεται από τα διαθέσιμα στοιχεία.

Μια βασική παραδοχή που γίνεται κατά την ανάπτυξη αυτών των μοντέλων είναι ότι οι σχέσεις που προσδιορίζονται θα ισχύουν σταθερές και στο μέλλον. Οι προβλέψεις που γίνονται βασίζονται σε στην εξέλιξη των παραγόντων/μεταβλητών που περιλαμβάνουν. Για το λόγο αυτό πολύ συχνά πρέπει να γίνεται κα ανάλυση της ευαισθησίας των αποτελεσμάτων στους παράγοντες αυτούς.

Τα βασικά βήματα για τη διαδικασία ανάπτυξης των μοντέλων αυτών απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα:



Διάγραμμα 9: Διαδικασία ανάπτυξης των μοντέλων (Γ. Σάρλας, Μελέτη Επιπτώσεων Επιβολής Αστικών Διοδίων στο Οδικό Δίκτυο της Αθήνας με Χρήση Δυναμικού Μοντέλου Προσομοίωσης, Αθήνα, Νοέμβριος 2009, ΕΜΠ)

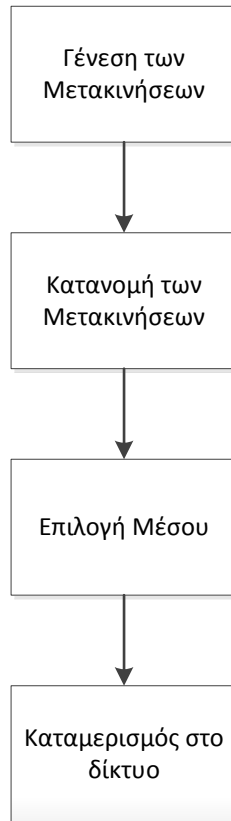
- Ορισμός περιοχής μελέτης και καθορισμός εσωτερικών και εξωτερικών ζωνών
Αρχικά πρέπει να προσδιορισθεί η περιοχή που επηρεάζεται από το έργο που μελετάται (περιοχή μελέτης) και να χωρισθεί σε ζώνες, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση των στοιχείων που επηρεάζουν τις μετακινήσεις
- Συλλογή στοιχείων
Απαιτείται η συλλογή στοιχείων που θα καθορίσουν τη συμπεριφορά των χρηστών, τη γένεση των μετακινήσεων αλλά και οι επιλογές που κάνουν. Τα στοιχεία περιλαμβάνουν τα κοινωνικοοικονομικά κριτήρια κάθε ζώνης, τα χαρακτηριστικά των μετακινήσεων που πραγματοποιούνται, το έτος που γίνεται η δειγματοληψία. Τα στοιχεία που συλλέγονται χρησιμοποιούνται για την εκπόνηση ενός πίνακα Προέλευσης-Προορισμού και γενικότερα μιας βάσης δεδομένων που θα περιλαμβάνει όλα τα παραπάνω στοιχεία καθώς και κυκλοφοριακές μετρήσεις σε οδικά τμήματα και τα χαρακτηριστικά όλων των μεταφορικών συστημάτων.
- Ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου
Κατά την ανάπτυξη των μοντέλων του σχεδιασμού των μεταφορών προσδιορίζονται η δομή του μαθηματικού μοντέλου, οι συναρτησιακές σχέσεις (γραμμικές ή μη) και οι μεταβλητές που θα χρησιμοποιηθούν καθώς και ο τρόπος που θα εισαχθούν στο μοντέλο.

Οι 2 πιθανές μορφές του μοντέλου είναι στατική ή δυναμική. Στη στατική μορφή η κατάσταση του συστήματος τη χρονική στιγμή t εκφράζεται σαν συνάρτηση των τιμών που έχουν οι μεταβλητές που το περιγράφουν τη συγκεκριμένη στιγμή t . Στα δυναμικά μοντέλα η κατάσταση του συστήματος τη χρονική στιγμή t εκφράζεται σα συνάρτηση των τιμών που έχουν οι μεταβλητές που το περιγράφουν τη συγκεκριμένη στιγμή t καθώς και της διαχρονικής εξέλιξης των μεταβλητών και του συστήματος που περιγράφουν αυτή την εξέλιξη.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

Το μοντέλο των 4 βημάτων

Οι επιλογές των μετακινούμενων συνήθως ακολουθούν τα 4 παρακάτω βήματα:



Διάγραμμα 10: Το μοντέλο των 4 βημάτων

Γένεση των μετακινήσεων

Σε αυτό το βήμα υπολογίζεται ο αριθμός των μετακινήσεων που ξεκινούν από κάθε ζώνη (παραγόμενες μετακινήσεις) και ο αριθμός των μετακινήσεων που καταλήγουν σε κάθε ζώνη (ελκυόμενες μεταφορές). Ο αριθμός των μετακινήσεων που θα γίνουν εξαρτάται από τα κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά κάθε ζώνης και από τις χρήσεις γης.

Κατανομή των μετακινήσεων

Σε αυτό το βήμα κατανέμονται οι μετακινήσεις που υπολογίστηκαν στο προηγούμενο βήμα. Το μοντέλο της κατανομής προσομοιώνει την επιλογή προορισμού των μετακινούμενων. Απόρροια αυτού του βήματος είναι ο πίνακας Προέλευσης-Προορισμού μεταξύ των ζωνών του δικτύου. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την κατανομή των μετακινήσεων είναι οι χρήσεις γης σε κάθε ζώνη και το κόστος μετακίνησης από τη ζώνη προέλευσης στη ζώνη προορισμού.

Επιλογή Μέσου

Το στάδιο αυτό αναπαριστά την επιλογή του μεταφορικού μέσου για την πραγματοποίηση της μετακίνησης. Χρησιμοποιείται το μητρώο Προέλευσης-Προορισμού του προηγούμενου βήματος και δημιουργούνται μικρότερα μητρώα, ανάλογα με τις μετακινήσεις με κάθε μέσο. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή μέσου είναι τα χαρακτηριστικά των μέσων, τα χαρακτηριστικά των μετακινούμενων, η προσιτότητα των μέσων και το είδος του ταξιδιού.

Καταμερισμός στο δίκτυο

Στο τελευταίο αυτό βήμα προσομοιώνεται η επιλογή της διαδρομής που θα ακολουθήσει κάθε μετακινούμενος. Τα δίκτυα κάθε μεταφορικού μέσου φορτίζονται με τα αντίστοιχα μητρώα κάθε μέσου, όπως αυτά υπολογίστηκαν στο προηγούμενο βήμα. Για τον καταμερισμό απαιτείται η αναπαράσταση του δικτύου με συνδέσμους και κόμβους (για τα οδικά δίκτυα), η επιλογή των συναρτήσεων από τις οποίες προκύπτουν οι χρόνοι διάνυσης για κάθε σύνδεσμο του δικτύου και οι πίνακες Προέλευσης-Προορισμού για κάθε μέσο έτσι ώστε να φορτιστεί το δίκτυο. Ο καταμερισμός γίνεται με βάση τα χαρακτηριστικά των εναλλακτικών διαδρομών. Υπολογίζονται, τελικά, οι φόρτοι κάθε τμήματος.

- Βαθμονόμηση και έλεγχος αξιοπιστίας μοντέλου

Στο βήμα αυτό προσδιορίζονται οι τιμές των συντελεστών που περιλαμβάνονται στις μαθηματικές σχέσεις του συγκοινωνιακού μοντέλου. Οι βέλτιστες τιμές είναι αυτές για τις οποίες τα υπολογισμένα μεγέθη πλησιάζουν όσο το δυνατό περισσότερο τα παρατηρημένα-μετρημένα κυκλοφοριακά μεγέθη.

Στον έλεγχο αξιοπιστίας ελέγχεται η ικανότητα του μοντέλου να αναπαριστά μια πραγματική κατάσταση χρησιμοποιώντας στοιχεία διαφορετικά από αυτά που χρησιμοποιήθηκαν για να πραγματοποιηθεί η βαθμονόμησή του.

- Πρόβλεψη μεταβλητών σχεδιασμού

Μετά την επικύρωση της εγκυρότητας του μοντέλου με τα στοιχεία βάσης που χρησιμοποιήθηκαν ακολουθεί η εφαρμογή του μοντέλου σε ένα ή περισσότερους ορίζοντες σχεδιασμού. Για κάθε μελλοντικό χρονικό ορίζοντα πρέπει να γίνουν προβλέψεις των μεταβλητών του σχεδιασμού, δηλαδή των επιλογών των μετακινούμενων. Αυτό απαιτεί προβλέψεις για μελλοντικά κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά, όπως χρήσεις γης, οικονομικές δραστηριότητες κλπ. Θα πρέπει ακόμη να προσδιοριστούν και να εκτιμηθούν εναλλακτικές λύσεις και εναλλακτικά σενάρια που θα περιγράψουν τη μελλοντικά χαρακτηριστικά των μεταφορικών μέσων και των κοινωνικοοικονομικών μεγεθών της περιοχής μελέτης.

- Εφαρμογή μοντέλου

Στο στάδιο αυτό χρησιμοποιούνται τα στοιχεία των παραπάνω βημάτων και μέσω της διαδικασίας των 4 βημάτων προκύπτουν οι εκτιμήσεις για τα κυκλοφοριακά μεγέθη που εξετάζονται (κυκλοφοριακοί φόρτοι, χρόνοι αναμονής κλπ).

- Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα κάθε εναλλακτικής λύσης και σεναρίου αναλύονται ποσοτικά και συγκρίνονται με τους στόχους που είχαν τεθεί στην αρχή της διαδικασίας. Με αυτόν τον τρόπο κρίνεται αν είναι σκόπιμη ή όχι η υλοποίηση τους, καθώς και ποια εναλλακτική προσφέρει τη μεγαλύτερη ωφέλεια.

4.2.Μαθηματική διατύπωση του προβλήματος βελτιστοποίησης

Το πρόβλημα του σχεδιασμού μεταφορικών συστημάτων (Network Design Problem- NDP) περιλαμβάνει τη βέλτιστη απόφαση για την επέκταση ενός μεταφορικού δικτύου. Λόγω της ολοένα μεγαλύτερης ζήτησης στα μεταφορικά δίκτυα, η οποία αυξάνει με ρυθμούς ταχύτερους από ότι τα σύγχρονα δίκτυα μπορούν να διαχειριστούν, το πρόβλημα του σχεδιασμού των μεταφορικών συστημάτων έχει αναδειχθεί σε σημαντικό τομέα, ιδιαίτερα σε συνδυασμό με τους περιορισμούς που παρουσιάζουν οι διαθέσιμοι πόροι.

Το πρόβλημα του προσδιορισμού των βέλτιστων επενδύσεων στα μεταφορικά συστήματα ονομάζεται *Πρόβλημα Σχεδιασμού Δικτύου* (Network Design Problem-NDP). Η οικογένεια προβλημάτων NDP έχει δύο βασικές μορφές ανάλυσης, οι οποίες εξαρτώνται από τη φύση των μεταβλητών που μετέχουν στο πρόβλημα. Εάν οι μεταβλητές οι οποίες χρησιμοποιούνται είναι διακριτές, τότε το πρόβλημα ονομάζεται *Διακριτό Πρόβλημα Σχεδιασμού Δικτύου* (Discrete Network Design Problem-DNDP) ενώ εάν οι μεταβλητές είναι συνεχείς το πρόβλημα αναφέρεται ως *Συνεχές Πρόβλημα Σχεδιασμού Δικτύου* (Continuous Network Design Problem-CNDP). Επίσης υπάρχουν προβλήματα τα οποία συνδυάζουν μεταβλητές και των δύο κατηγοριών.

Στην κατηγορία DNDP οι μεταβλητές προς προσδιορισμό είναι διακριτές. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν προβλήματα τα οποία συνίσταται στην αποδοχή ή όχι μιας προσθήκης στο δίκτυο (μεταβλητές 0 ή 1) ή στην προσθήκη μονάδων οι οποίες είναι διακριτής φύσης (προσθήκη αριθμού λωρίδων, προσθήκη οχημάτων σε μια μεταφορική υπηρεσία κλπ) (Los and Lardinois, 1980, Gao et al, 2005, Poorzahedy and Turnquist, 1982).

Αντιθέτως, η κατηγορία CNDP ασχολείται με παραμέτρους οι οποίες είναι συνεχείς, όπως η κυκλοφοριακή ικανότητα των συνδέσμων και το ύψος της τιμής των διοδίων. Ενδεικτικά, στην εργασία των Abdulaal και LeBlanc, 1979 γίνεται χρήση της μορφής αυτής για προσδιορισμό της βελτίωσης της κυκλοφοριακής ικανότητας ώστε το συνολικό κόστος συμφόρησης στην ισορροπία συν τα έξοδα για τις βελτιώσεις να ελαχιστοποιηθούν. Η κατηγορία αυτή εξετάζεται ενδεικτικά ακόμη στο Xu et al, 2009, και στο Meng and Yang, 2002.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

Στην εργασία των Verhoef και Rouwendal, 2004 , των Yang και Meng, 2000 και Dimitriou et al, 2009, στις οποίες γίνεται προσπάθεια κοινού προσδιορισμού ικανότητας-τιμής διοδίου η κυκλοφοριακή ικανότητα προς προσθήκη αντιμετωπίζεται ως συνεχής μεταβλητή (και προφανώς και η τιμή διοδίου).

Η ανάγκη για κοινό προσδιορισμό του αντιτίμου των διοδίων και της ικανότητας της οδού είναι επιτακτική. Οι χρήστες σταθμίζουν τα κόστη και τα οφέλη κι επιλέγουν την εναλλακτική που τους προσφέρει το καλύτερο σύνολο. Εφόσον οι χρήστες μπορούν να επιλέξουν μεταξύ μιας οδού χωρίς διόδια (Χ) και μιας οδού με διόδια (Δ), πρέπει οι προσφερόμενες υπηρεσίες της δεύτερης να είναι αρκετά ελκυστικές στους χρήστες ώστε να δικαιολογούν την επιπλέον χρηματική επιβάρυνση. Ο διαχειριστής της οδού βελτιώνει τις προσφερόμενες μεταφορικές υπηρεσίες με έργα αναβάθμισης του δικτύου και πιο συγκεκριμένα με αύξηση της κυκλοφοριακής ικανότητας. Μέσω της βελτίωσης της κυκλοφοριακής ικανότητας οι χρήστες απολαμβάνουν πολλαπλές ωφέλειες όπως μικρότερους χρόνους μετακίνησης, λιγότερη συμφόρηση και μικρότερη πιθανότητα ατυχημάτων. Τα έργα όμως αυτά και συνεπώς οι προσφερόμενες αυτές βελτιώσεις απαιτούν χρήματα, τα οποία μπορούν να προέλθουν από την επιβολή διοδίων. Το ύψος όμως των διοδίων, εκτός από τη δημιουργία εσόδων λειτουργεί και ως μηχανισμός ελέγχου της εισερχόμενης κυκλοφορίας στην οδό. Πρέπει λοιπόν να προσδιοριστεί έτσι ώστε αφενός η ποσότητα της κυκλοφορίας που θα εκτραπεί από την (Χ) να είναι αρκετά υψηλή ώστε να μεγιστοποιούνται τα οφέλη, όπως η μείωση του συνολικού γενικευμένου κόστους στο σύστημα της οδού (Χ) και της οδού (Δ), να είναι οικονομικά βιώσιμη η οδός ή και να δημιουργείται κέρδος. Αφετέρου όμως, πρέπει να είναι τόση ώστε να διατηρούνται τα επίπεδα εξυπηρέτησης σε επιτρεπτό επίπεδο. Εάν τα διόδια είναι αρκετά χαμηλά, μεγάλη ποσότητα κυκλοφορίας θα εκτραπεί στη (Δ), με αποτέλεσμα την αυξημένη επιβάρυνση στην οδό λόγω της κυκλοφοριακής συμφόρησης, η οποία προκαλεί ποικίλα προβλήματα και αυξάνει τα κόστη με ταχύτατο ρυθμό (επιβάρυνση οδοστρώματος, επιβάρυνση στο λειτουργικό κόστος του οχήματος, περιβαλλοντική επιβάρυνση).

Παράλληλα πρέπει να ληφθεί υπόψη ο παράγοντας χρόνος. Οι οδικές υποδομές οφείλουν να εξυπηρετούν τις μεταφορικές ανάγκες σε μεγάλο βάθος χρόνου. Οι ζήτηση όμως μεταβάλλεται διαχρονικά, έτσι πρέπει να προσαρμόζονται και τα χαρακτηριστικά του δικτύου ώστε να μπορούν να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες αυτές. Ιδιαίτερα για το μοντέλο της υλοποίησης των οδικών έργων μέσω ιδιωτικών κεφαλαίων (ΣΔΙΤ), όπου οι ιδιώτες καλούνται να σχεδιάσουν και να χρηματοδοτήσουν την υποδομή με αντάλλαγμα την εκμετάλλευση του δρόμου για συγκεκριμένη περίοδο παραχώρησης, η κατανομή των εξόδων διαχρονικά είναι επιτακτική ανάγκη. Παράδειγμα για αυτό αποτελεί το έργο της σήραγγας της Μάγχης.

Στον σχεδιασμό των μεταφορικών δικτύων υπάρχουν πολλά επίπεδα αποφάσεων. Καταρχήν υπάρχει το επίπεδο του παρόχου της μεταφορικής υπηρεσίας, ο οποίος προσπαθεί να βελτιστοποιήσει τους στόχους του (μεγιστοποίηση κερδών, ελαχιστοποίηση κόστους, βελτιστοποίηση προσφερόμενου έργου κλπ). Υπάρχουν όμως και οι χρήστες του δικτύου οι

οποίοι κάνουν τις δικές τους επιλογές όσον αφορά τη διαδρομή τους, το μέσο, τον προορισμό τους κλπ.

Τα δύο αυτά επίπεδα αποφάσεων οδηγούν στη διατύπωση του προβλήματος του σχεδιασμού των δικτύων (NDP) ως **Μαθηματικό Πρόβλημα Βελτιστοποίησης Δύο Επιπέδων (Bilevel Programming)**.

Η γενική μορφή του προβλήματος είναι:

$$\min_y F(x, y)$$

με x βέλτιστο για

$$\begin{aligned} \min_x f(x, y) \\ \text{st } G(x, y) \geq b \end{aligned}$$

Το $\min_y F(x, y)$ αναφέρεται ως πρόβλημα άνω επιπέδου (Upper Level Problem) και έχει αντικειμενική συνάρτηση $F(x, y)$ η οποία ζητείται να ελαχιστοποιηθεί για δεδομένο y .

Ο όρος $\min_x f(x, y)$ αναφέρεται στις αποφάσεις των χρηστών, οι οποίοι συνήθως έχουν ως στόχο να ελαχιστοποιήσουν το προσωπικό τους κόστος. Οι μεταβλητές y του άνω προβλήματος συνήθως περιλαμβάνουν τις μεταβλητές οι οποίες είναι υπό τον έλεγχο του παρόχου (πχ τιμή διοδίου), ενώ οι μεταβλητές x αναφέρονται στις αποφάσεις των χρηστών (διαδρομή, μέσο κλπ) (LeBlanc and Boyce, 1986).

Η θεωρία παιγνίων στη διαδικασία λήψης αποφάσεων

Η θεωρία παιγνίων παραδοσιακά εξετάζει τα προβλήματα ανταγωνισμού, δηλαδή ύπαρξης δύο ή περισσότερων μερών με συγκρουόμενα συμφέροντα. Οι καταστάσεις που περιγράφονται συνήθως ως παίγνια είναι καταστάσεις οι οποίες περιλαμβάνουν πολλούς εμπλεκόμενους με διαφορετικούς σκοπούς ο καθένας. Το όφελος το οποίο απολαμβάνει κάθε εμπλεκόμενος εξαρτάται όχι μόνο από τις πράξεις του αλλά και από τις αποφάσεις των υπολοίπων (Hollander and Prashker, 2006). Έτσι, ο όρος «παίγνιο» αντιστοιχεί σε μια ανταγωνιστική κατάσταση, ενώ «παίκτες» είναι οι ανταγωνιστές, καθένας από τους οποίους έχει να επιλέξει από έναν αριθμό

εναλλακτικών τρόπων δράσης. Λύση του προβλήματος είναι η εύρεση της καλύτερης στρατηγικής για κάθε παίκτη και της αξίας του παιχνιδιού, δηλαδή των κερδών και ζημιών που προκύπτουν για τον καθένα.

Πώς εφαρμόζεται στο σχεδιασμό μεταφορικών συστημάτων;

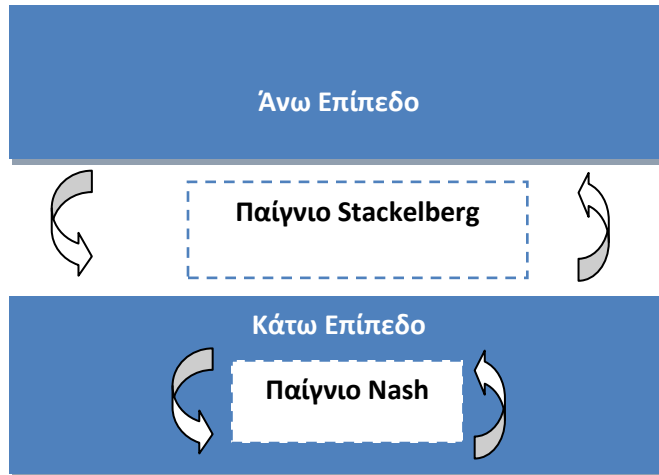
Αν αντικατασταθούν τα δύο ανταγωνιστικά μέρη με το διαχειριστή του συστήματος αφενός και τους χρήστες του δικτύου αφετέρου δημιουργείται ένα σύστημα αλληλεπίδρασης. Οι χρήστες επιλέγουν κάθε φορά τη στρατηγική, εν προκειμένω τη διαδρομή, το μέσο κλπ, ώστε να ελαχιστοποιήσουν τη ζημιά του παιχνιδιού, δηλαδή το κόστος τους ή να μεγιστοποιήσουν τα κέρδη του παιχνιδιού, δηλαδή την ικανοποίηση/χρησιμότητά τους. Οι χρήστες λειτουργούν κάθε φορά υπό την παραδοχή ότι επιλέγουν τη διαδρομή που έχει το μικρότερο κόστος μεταξύ της προέλευσης και του προορισμού τους.

Όπως περιγράφεται στο Fisk, 1984, προβλήματα σχεδιασμού και λειτουργίας μεταφορικών δικτύων μπορούν να αποδοθούν είτε μέσω ενός παιχνιδιού Stackelberg είτε μέσω ενός παιχνιδιού μη συνεργαζομένων παικτών Nash. Σε ένα παιχνίδι Nash στην κατάσταση ισορροπίας κανένας παίκτης δεν μπορεί να βελτιώσει την κατάστασή του μονομερώς. Στο παιχνίδι Stackelberg υπάρχει ένας παίκτης, ο οποίος ονομάζεται ηγέτης (leader) και γνωρίζει πως θα ανταποκριθεί ο άλλος παίκτης στην απόφαση που θα πάρει. Ο άλλος παίκτης ονομάζεται ακόλουθος (follower).

Η ισορροπία των χρηστών βασίζεται στην πρώτη αρχή του Wardrop. Η αρχή αυτή ορίζει πως στην ισορροπία το κόστος χρόνου για όλες τις διαδρομές που χρησιμοποιούνται είναι ίσο και είναι μικρότερο του κόστους χρόνου άλλης διαδρομής που δε χρησιμοποιείται. Η ισορροπία αυτή θεωρείται ότι συνάδει με παιχνίδι **Nash**, εφόσον κανέναν χρήστη δεν το συμφέρει να αλλάξει διαδρομή αφού οι υπόλοιπες διαδρομές είτε έχουν μεγαλύτερο είτε τον ίδιο χρόνο.

Το παιχνίδι **Stackelberg** χρησιμοποιείται για να περιγραφεί η σχέση μεταξύ του διαχειριστή του συστήματος και των χρηστών. Στο σχεδιασμό των μεταφορικών συστημάτων ο πάροχος κάνει κάποιες επιλογές σε σχέση με την απόδοση του συστήματος. Η απόδοση αυτή επηρεάζεται άμεσα από τις επιλογές των χρηστών, που είναι είτε σε σχέση με την επιλογή μέσου είτε σε σχέση με την επιλογή διαδρομής και κατά συνέπεια με την κατανομή των φόρτων στις διαδρομές.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ



Η κατανομή της ζήτησης στο δίκτυο πρέπει να αντανακλά μια λογική συμπεριφορά επιλογής εκ μέρους των χρηστών. Υπάρχουν δύο ειδών λογικές, σύμφωνα με το ποια συμφέροντα επιδιώκονται. Εάν οι χρήστες λειτουργούν με τρόπο ώστε να μεγιστοποιείται το κοινωνικό όφελος, αυτό έχει ως αποτέλεσμα την επίτευξη **ισορροπία του συστήματος** (system equilibrium). Σε περίπτωση που οι χρήστες κυνηγούν το προσωπικό τους όφελος χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τις επιβαρύνσεις στους υπόλοιπους χρήστες, τότε λαμβάνει χώρα η **ισορροπία των χρηστών** (user equilibrium). Η πρώτη περίπτωση συνάδει με τη δεύτερη αρχή του Wardrop που αναφέρει ότι στην ισορροπία το συνολικό κόστος στο δίκτυο είναι το ελάχιστο.

Κάτω επίπεδο (Lower Level)

Το κάτω επίπεδο αποτελεί τη μαθηματική έκφραση της συμπεριφοράς των χρηστών. Οι χρήστες λειτουργούν με βάση το προσωπικό τους όφελος χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τις επιβαρύνσεις στους υπόλοιπους χρήστες. Η ισορροπία αυτή ονομάζεται **ισορροπία των χρηστών** (user equilibrium).

Στην ισορροπία των χρηστών, ο τρόπος απόφασης των χρηστών μπορεί να περιγραφεί από τη θεωρία παιγνίων ως παίγνιο Nash με μη συνεργαζόμενους παίχτες (Fisk, 1984). Οι χρήστες λειτουργούν με επιδιωκόμενο την ελαχιστοποίηση του προσωπικού τους κόστους όταν μετακινούνται στο δίκτυο και κατά συνέπεια δε λαμβάνουν λοιπόν υπόψη τον αντίκτυπο που έχουν στους υπόλοιπους χρήστες. Ένα βασικό στοιχείο του κόστους που οι χρήστες λαμβάνουν υπόψη και προσπαθούν να ελαχιστοποιήσουν είναι το κόστος χρόνου. Ο χρόνος διάνυσης όμως κάθε συνδέσμου επηρεάζεται από το φόρτο σε αυτόν και κατά επέκταση ο χρόνος κάθε εναλλακτικής διαδρομής μεταξύ των διαφόρων ζευγών προέλευσης και προορισμού. Οι χρήστες επιλέγουν αρχικά τη διαδρομή με το χαμηλότερο για αυτούς κόστους. Εισερχόμενοι όμως στη διαδρομή αυξάνουν το φόρτο σε αυτή με αποτέλεσμα να μειώνουν το χρόνο που

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

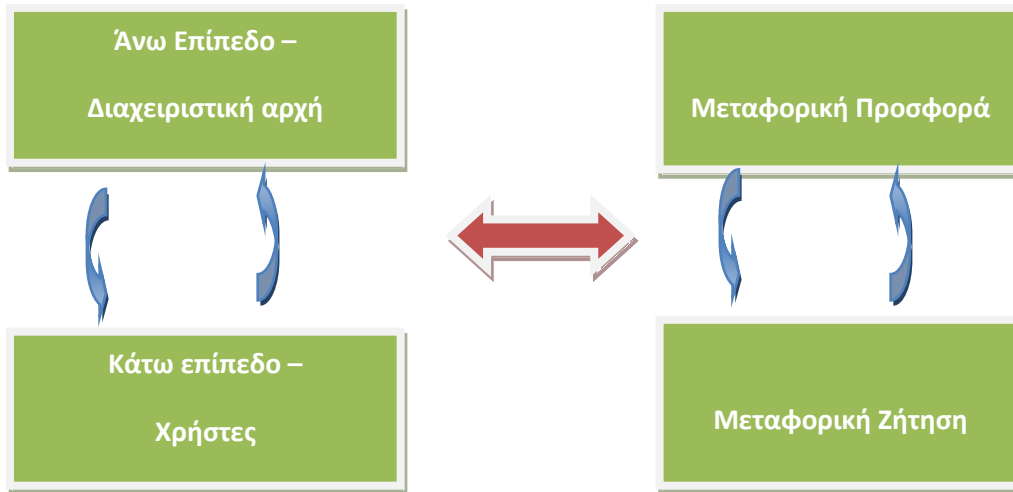
απαιτείται για να τη διανύσουν. Κατά συνέπεια κάποιοι χρήστες θα επιλέξουν κάποια άλλη διαδρομή με χαμηλότερο κόστος εκείνη τη στιγμή. Θα συνεχίσουν να επιλέγουν αυτή τη διαδρομή μέχρι το κόστος της να γίνει μεγαλύτερο από κάποια άλλη εναλλακτική και κάποιοι χρήστες κατά συνέπεια θα επιλέξουν την άλλη εναλλακτική κοκ. Η ισορροπία επέρχεται όταν κανένας χρήστης δεν θα μπορεί να βελτιώσει το κόστος χρόνου του αλλάζοντας απλά διαδρομή χωρίς κανένας άλλος χρήστης να αλλάξει, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω βάσει της αρχής του Wardrop. Εφόσον οι χρήστες αποφασίζουν αυτόνομα, η ισορροπία αυτή θεωρείται σταθερή. Στην περίπτωση που υποτεθεί ότι οι χρήστες είναι πλήρως ενημερωμένοι και αντιδρούν όμοια, η ισορροπία που προκύπτει ορίζεται ως *Προσδιοριστική Ισορροπία των Χρηστών* (Deterministic User Equilibrium). Στην πραγματικότητα, η ισορροπία αυτή είναι δύσκολο να επιτευχθεί γιατί για να πραγματοποιηθεί προϋπόθεση είναι οι χρήστες να είναι πλήρως ενημερωμένοι για την κατάσταση που επικρατεί στις εναλλακτικές διαδρομές και να αντιδρούν κατά τον ίδιο τρόπο. Για το λόγο αυτό έχει αναπτυχθεί η έννοια της *Στοχαστικής Ισορροπίας των Χρηστών* (Stochastic User Equilibrium).

Στην στοχαστική ισορροπία η αρχή του Wardrop μπορεί να διατυπωθεί ως οι χρήστες επιλέγουν τη διαδρομή με το χαμηλότερο για αυτούς αντιληπτό χρόνο. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι το κόστος χρόνου μπορεί να αντικατασταθεί από την έννοια του γενικευμένου κόστους, εφόσον οι χρήστες λαμβάνουν υπόψη και άλλους παράγοντες στον υπολογισμό του κόστους κάθε συνδέσμου κατά την επιλογή διαδρομής εκτός από το συνολικό χρόνο (αντίτιμο διοδίων κλπ). Η αντικατάσταση αυτή δεν επηρεάζει την ανάλυση.

Άνω επίπεδο (Upper Level)

Το άνω επίπεδο του προβλήματος αποτελεί το επίπεδο του διαχειριστή του συστήματος. Ο διαχειριστής του συστήματος προσπαθεί να βελτιστοποιήσει κάποιες αντικειμενικές συναρτήσεις, δηλαδή τους στόχους του συστήματος, μέσω κάποιων επιλογών και αλλαγών στα στοιχεία του συστήματος (προσθήκη συνδέσμων, βελτιώσεις, τιμολόγηση κλπ). Για να το κάνει αυτό χρειάζεται να γνωρίζει τον αντίκτυπο που έχουν οι παρεμβάσεις του και αν είναι προς την επιθυμητή κατεύθυνση. Η επίλυση του κάτω επιπέδου δίνει τις αντιδράσεις των χρηστών, δηλαδή την κατανομή των χρηστών στις εναλλακτικές διαδρομές. Γνωρίζοντας ο πάροχος τους φόρτους σε κάθε τμήμα του δικτύου μπορεί να υπολογίσει τα αποτελέσματα της στρατηγικής του. Τα αποτελέσματα αυτά μπορεί να είναι διαφορετικά μεταξύ τους, όπως το ύψος των εσόδων λόγω εφαρμογής τιμολόγησης, το μέγεθος της συμφόρησης, η ποσότητα των εκπεμπόμενων ρύπων σε περιπτώσεις που το ζητούμενο είναι περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος.

Το άνω επίπεδο αποτελεί την μαθηματική έκφραση της μεταφορικής προσφοράς, όπως αυτή αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, ενώ το κάτω επίπεδο αποτελεί την έκφραση της μεταφορικής ζήτησης



4.3. Συμπεράσματα

Η υλοποίηση ενός οδικού έργου απαιτεί τη δέσμευση πόρων- χρόνος (εργατοώρες), χρήματα, γη κλπ. Οι πόροι αυτοί όμως δεν είναι απεριόριστοι- υπάρχει πάντα συγκεκριμένος προϋπολογισμός έργου, συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα, συγκεκριμένος χώρος για την υλοποίηση του έργου. Κατά συνέπεια χρειάζεται σωστή εκτίμηση των ωφελειών κοστών που θα δημιουργηθούν από την υλοποίηση του έργου αυτού ώστε να υπολογιστεί εάν πρέπει κάποιο έργο να γίνει, κατά ποιο τρόπο κλπ. Οι ωφέλειες όμως που απορρέουν από τη χρήση ενός οδικού έργου εξαρτώνται από τη ζήτηση για αυτό. Εάν η προσφερόμενη κυκλοφοριακή ικανότητα ενός έργου είναι μικρότερη της ζήτησης προκαλείται συμφόρηση, με αποτέλεσμα να ακυρώνονται οι όσες ωφέλειες θα προσέφερε το έργο στη μείωση του χρόνου ταξιδιού για παράδειγμα. Εμφανίζεται λοιπόν κι εδώ το πρόβλημα της ισορροπίας της προσφοράς με τη ζήτηση, με την προσφορά να είναι το κατασκευαζόμενο έργο και τα χαρακτηριστικά του (κυκλοφοριακή ικανότητα κλπ) και ζήτηση η χρήση της υποδομής από τους μετακινούμενους. Τα προβλήματα αυτά (αλληλεπίδρασης προσφοράς-ζήτησης) αντιμετωπίζονται μαθηματικά ως προβλήματα 2 επιπέδων.

Στο άνω επίπεδο ορίζονται οι στόχοι που πρέπει να βελτιστοποιηθούν και ορίζονται από τον εκάστοτε διαχειριστή του συστήματος-τον ιδιοκτήτη της οδού ή κάποια άλλη αρχή που λαμβάνει σχετικές αποφάσεις (Προσφορά). Στο κάτω επίπεδο βρίσκονται οι χρήστες της οδού.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

Οι χρήστες επιλέγουν τη διαδρομή τους με στόχο την ελαχιστοποίηση του ατομικού τους κόστους. Μέσω αυτών των επιλογών τους γίνεται η φόρτιση του δικτύου (ζήτηση).

Η διαδικασία λοιπόν είναι απλή. Οι χρήστες επιλέγουν τη διαδρομή τους. Με αυτόν τον τρόπο από το κάτω επίπεδο προκύπτει η κατανομή των χρηστών στο δίκτυο. Βάσει αυτού η διαχειριστική αρχή που βρίσκεται στο άνω επίπεδο υπολογίζει τους δικούς της στόχους και αναλόγως ρυθμίζει τις παραμέτρους της οδού-τιμή διοδίου παραδείγματος χάριν-με σκοπό να οδηγηθεί στο βέλτιστο του στόχου του.

Το πρόβλημα αυτό βασίζεται στη θεωρία παιγνίων. Οι χρήστες μεταξύ τους επιλέγουν τη διαδρομή τους έχοντας στο μυαλό τους μόνο την ελαχιστοποίηση του ατομικού τους κόστους. Ισορροπία επιτυγχάνεται όταν κανένας χρήστης δεν μπορεί να ελαχιστοποιήσει το ατομικό του κόστος αλλάζοντας διαδρομή χωρίς να αλλάξει και κάποιος άλλος χρήστης τη δική του επιλογή. Το παίγνιο αυτό ονομάζεται παίγνιο Nash. Η αλληλεπίδραση μεταξύ του άνω και κάτω επιπέδου μπορεί να περιγραφεί ως παίγνιο Stackelberg. Στο παίγνιο αυτό ο ένας παίκτης γνωρίζει τις αντιδράσεις του άλλου και αντίστοιχα ρυθμίζει τη στρατηγική του. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ο διαχειριστής της οδού γνωρίζει πως θα αντιδράσουν οι χρήστες και ανάλογα ρυθμίζει τις παραμέτρους της οδού.

Μαθηματικά, το πρόγραμμα σχεδιασμού δικτύου υπόκειται σε 2 βασικές κατηγορίες: Στο σχεδιασμό με συνεχείς μεταβλητές CNDP και στο σχεδιασμό με διακριτές μεταβλητές DNDP. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα προβλήματα στα οποία πρέπει να προσδιοριστούν μεταβλητές όπως η τιμή του διοδίου ή ο προσδιορισμός επιπλέον χωρητικότητας οδού. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν προβλήματα όπου προσδιορίζονται μεταβλητές όπως η αποδοχή ή όχι μιας προσθήκης στο δίκτυο (μεταβλητές 0 ή 1) ή η προσθήκη μονάδων οι οποίες είναι διακριτής φύσης (προσθήκη αριθμού λωρίδων, προσθήκη οχημάτων σε μια μεταφορική υπηρεσία κλπ Παράλληλα γίνονται προσπάθειες για ταυτόχρονο προσδιορισμό ύψους διοδίου και προσθήκης χωρητικότητας στο δίκτυο. Η παρούσα εργασία θα ασχοληθεί με αυτό το πρόβλημα.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

5. Εφαρμογή του Πλαισίου Βέλτιστου Σχεδιασμού

Στην παρούσα εργασία αναπτύσσεται μοντέλο σε excel το οποίο αφενός υπολογίζει την κατανομή των φόρτων στο δίκτυο (επιλογή διαδρομής από τους χρήστες), αφετέρου βάσει των κατανομών αυτών βελτιστοποιεί συγκεκριμένους στόχους (ελαχιστοποίηση συνολικού χρόνου ταξιδιού και μεγιστοποίηση εσόδων).

Μαθηματικό υπόβαθρο⁵

Το γενικό μαθηματικό μοντέλο του προβλήματος αυτής της εργασίας είναι αυτό που αναπτύσσεται παρακάτω. Ακολουθούνται οι συμβολισμοί της δημοσίευσης Dimitriou et al, 2009, με τις παραδοχές που ακολουθούνται στην παρούσα διπλωματική εργασία και αναλύονται μετέπειτα:

⁵ Η ανάλυση αυτή βασίζεται στο βιβλίο Sheffi, Y., 1985. Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods, Prentice-Hall και στη δημοσίευση Dimitriou, L., T. Tsekeris, and A. Stathopoulos, 2009. Joint Pricing and Design of Urban Highways with Spatial and User Group Heterogeneity. *NETNOMICS, Economic Research and Electronic Networking*, Springer US, Vol. 10, No (1), pp. 141-160

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

Συμβολισμοί:

A	σύνολο συνδέσμων
a	σύνδεσμος, με $a \in A$
W	σύνολο ζευγών Προέλευσης-Προορισμού
w	ζεύγος Προέλευσης-Προορισμού, με $w \in W$
R_w	σύνολο διαδρομών μεταξύ συγκεκριμένου ζεύγους ΠΠ, για $w \in W$
r	διαδρομή, με $r \in R$
f_r^w	φόρτος διαδρομής r
x_a	φόρτος συνδέσμου a
l_a	αριθμός λωρίδων που προστίθενται σε σύνδεσμο a
p	ύψος αντιτίμου διοδίων
$t_a(x_a, y_a)$	χρόνος στο σύνδεσμο a
q_w	ζήτηση μεταξύ ζεύγους w $w \in W$
$\delta_{a,r}^w$	1 αν η διαδρομή r μεταξύ του ζεύγους w περιέχει το σύνδεσμο a , αλλιώς 0
$k_{r,p}^w$	1 αν στη διαδρομή r μεταξύ του ζεύγους w επιβάλλονται διόδια, αλλιώς 0

Άνω Επίπεδο:

$$\text{Min} \sum t_a(x_a, y_a) * x_a \quad \text{ή} \quad \text{max} \sum p^* x_a * k_{r,p}^w \quad \text{ή} \quad \text{max} R = \sum p^* f_r^w * k_{r,p}^w - \sum V_a$$

$$l_a \in [0, 1, \dots, n], \quad \forall a \in A$$

$$p_{\min} \leq p \leq p_{\max}, \quad \forall a \in A$$

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

Επειδή η αποπληρωμή μιας τέτοιας μεγάλης επένδυσης υπολογίζεται σε βάθος χρόνου, το κόστος κατασκευής και συντήρησης της οδού για κάθε χρονική περίοδο υπολογίζεται ως εξής⁶:

$$E^k = \frac{K^k}{L_m} \left(\frac{r_0(1+r_0)^n}{(1+r_0)^n - 1} \right),$$

E^k : Κανονικοποιημένο κόστος κατασκευής και συντήρησης ως προς την ώρα αιχμής ανά χιλιόμετρο

K^k : συνολικό κόστος κατασκευής και συντήρησης για τη συνολική περίοδο ανά χιλιόμετρο

L_m : οι ημερήσιες ώρες λειτουργίας κανονικοποιημένες ως προς την ώρα αιχμής μέσω του παράγοντα p^h . $L_m = 365 \times n \times 24 \times p^h$

r_0 : επιτόκιο

n : περίοδος αποπληρωμής

Κατά συνέπεια, το χρηματικό κόστος για την κατασκευή και συντήρηση για κάθε τμήμα της οδού είναι $V_a = h_a \times l \times E^k$, όπου h_a είναι το μήκος του συνδέσμου a .

Κάτω Επίπεδο:

$$\min_x Z(x, y) = -\sum_w q_w E[\min\{C_r^w\} | c_r^w(x)] + \sum_a x_a t(x_a, y_a) - \sum_0^{x_a} t(\omega) d\omega$$

$$\sum_r f_r^w = q_w, \forall w$$

$$f_r^w \geq 0, \forall w, r$$

$$x_a = \sum_w \sum_r f_r^w \delta_{a,r}^w$$

⁶ Η ανάλυση βασίζεται στη δημοσίευση Dimitriou, L., T. Tsekeris, and A. Stathopoulos, 2009. Joint Pricing and Design of Urban Highways with Spatial and User Group Heterogeneity. *NETNOMICS, Economic Research and Electronic Networking*, Springer US, Vol. 10, No (1), pp. 141-160

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

Το πρόβλημα της στοχαστικής ισορροπίας των χρηστών αναλύεται ως εξής:

Έστω $C_r^w = c_r^w + \xi_r^w$, όπου ξ_k^{rs} είναι μια τυχαία τιμή λάθους που σχετίζεται με τη διαδρομή υπό εξέταση. Ακόμη, έστω $E[\xi_k^{rs}] = 0$, ή $E[C_k^{rs}] = c_k^{rs}$. Με άλλα λόγια, ο μέσος αντιληπτός χρόνος διάνυσης είναι ο πραγματικός χρόνος διάνυσης. Το ποσοστό των οδηγών που επιλέγουν μια διαδρομή k , έστω P_k^w , δίνεται από

$$P_k^{rs} = \Pr(C_k^{rs} \leq C_l^{rs}, \forall l \in K_{rs}), \quad \forall k, r, s$$

με άλλα λόγια, η πιθανότητα μια δεδομένη διαδρομή να επιλεγθεί είναι ίση με την πιθανότητα ο χρόνος διάνυσης της να γίνεται αντιληπτός ως η χαμηλότερος από όλες τις εναλλακτικές.

Κάθε χρήστης θεωρείται ότι επιλέγει την εναλλακτική που του προσφέρει τη μεγαλύτερη χρησιμότητα U_k^{rs} . Κάθε διαδρομή k σχετίζεται με κάποια χρησιμότητα U_k^{rs} . Η χρησιμότητα κάθε εναλλακτικής διαδρομής ισούται με την αρνητική τιμή του κόστους, δηλαδή $U_k^{rs} = -C_k^{rs}$. Εφόσον οι χρήστες θέλουν να μεγιστοποιούν τη χρησιμότητα που απολαμβάνουν, επιλέγουν τη διαδρομή με το ελάχιστο κόστος. Αφού οι χρήστες δεν αντιλαμβάνονται με τον ίδιο τρόπο το κόστος που αντιστοιχεί σε κάθε διαδρομή, τότε η χρησιμότητα παίρνει τη μορφή $U_k^{rs} = -\theta C_k^{rs}$, όπου θ μέγεθος το οποίο εξαρτάται από την αντίληψη των χρηστών.

Το κόστος κάθε διαδρομής υπολογίζεται σε χρηματικές μονάδες ως συνδυασμός του χρόνου, εκφρασμένου σε χρηματικές μονάδες, και της τιμής του διοδίου

$$C_r^w = \sum VOTT \delta_{a,r}^w t_a(x_a, y_a) + \sum k_{r,p}^w P$$

Βάσει του κατάλληλου μοντέλου καταμερισμού, υπολογίζεται η πιθανότητα P_k^{rs} να επιλεγθεί μια διαδρομή. Ο φόρτος σε κάθε διαδρομή προκύπτει ως

$$f_r^w = q_{rs} P_k^{rs}, \quad \forall k, r, s$$

Οι φόρτοι κάθε συνδέσμου προκύπτουν έπειτα ως

$$x_a = \sum_w \sum_r f_r^w \delta_{a,r}^w, \quad \forall a$$

Το μοντέλο καταμερισμού που χρησιμοποιείται είναι το πολυωνυμικό μοντέλο logit. Το μοντέλο αυτό δίνει την πιθανότητα επιλογής μιας εναλλακτικής έναντι πλήθους άλλων εναλλακτικών. Η βασική μορφή είναι :

$$P_k = \frac{e^{U_k}}{\sum e^{U_i}} ,$$

όπου U_k είναι η χρησιμότητα της εναλλακτικής k και l κάποια άλλη εναλλακτική επιλογή. Η πιθανότητα επιλογής μιας εναλλακτικής έναντι άλλων ισούται και με την πιθανότητα η χρησιμότητα της επιλογής αυτής να είναι μεγαλύτερη ή ίση από τη χρησιμότητα που απορρέει από κάποια άλλη εναλλακτική.

Ισχύουν οι βασικοί νόμοι των πιθανοτήτων, δηλαδή:

$$0 \leq P_k \leq 1, \forall k$$

$$\sum_{k=1}^m P_k = 1$$

Η ισορροπία των φόρτων στο δίκτυο υπολογίζεται με τη μέθοδο των διαδοχικών μέσων (Method of Successive Averages-MSA). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί ένα προκαθορισμένο βήμα. Μέσω επαναλήψεων τελικά ισορροπεί. Το βήμα a_n πρέπει να ικανοποιεί δύο συνθήκες.

$$\sum_{n=1} a_n = \infty$$

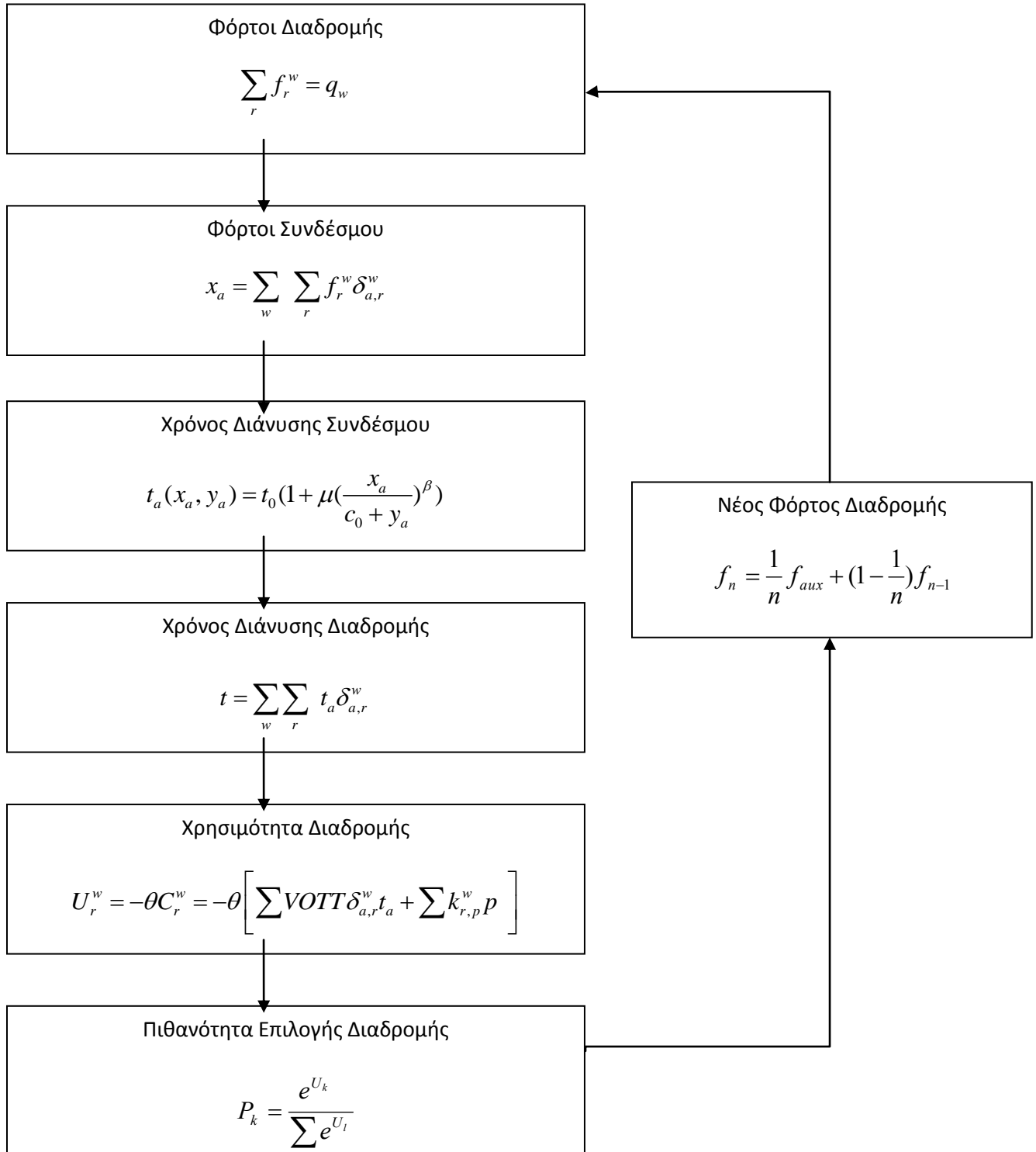
$$\sum_{n=1} a_n^2 < \infty$$

Σε αυτή την εργασία το βήμα λαμβάνεται $a_n = \frac{1}{n}$.

Σε κάθε επανάληψη η νέα ροή υπολογίζεται βάσει του τύπου $f_n = \frac{1}{n} f_{aux} + (1 - \frac{1}{n}) f_{n-1}$.

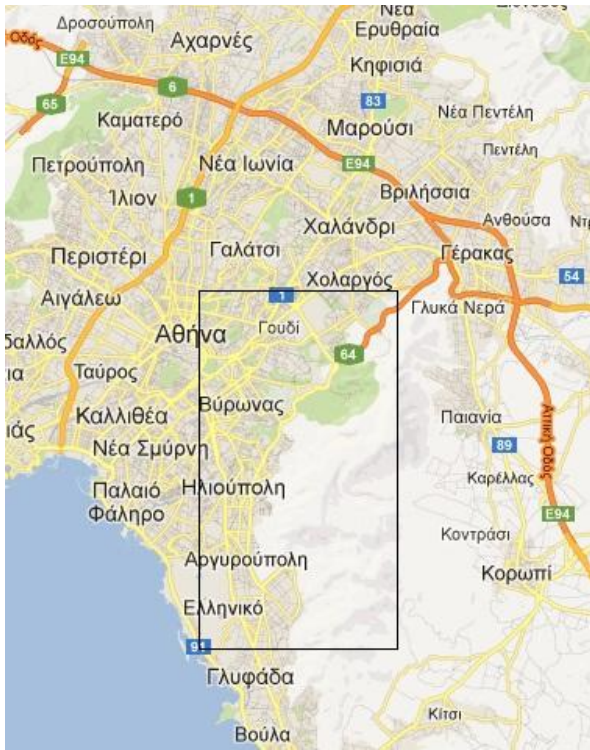
Η σύγκλιση του αλγορίθμου εξαρτάται από τις αρχικές τιμές της ζήτησης.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ



Εικόνα 4, Διάγραμμα Διαδικασίας εύρεσης ισορροπίας ροών στο Κάτω επίπεδο

5.2. Περιγραφή της περιοχής μελέτης



Εικόνα 5: Περιοχή Μελέτης

Νέα Οδικά έργα Αττικής

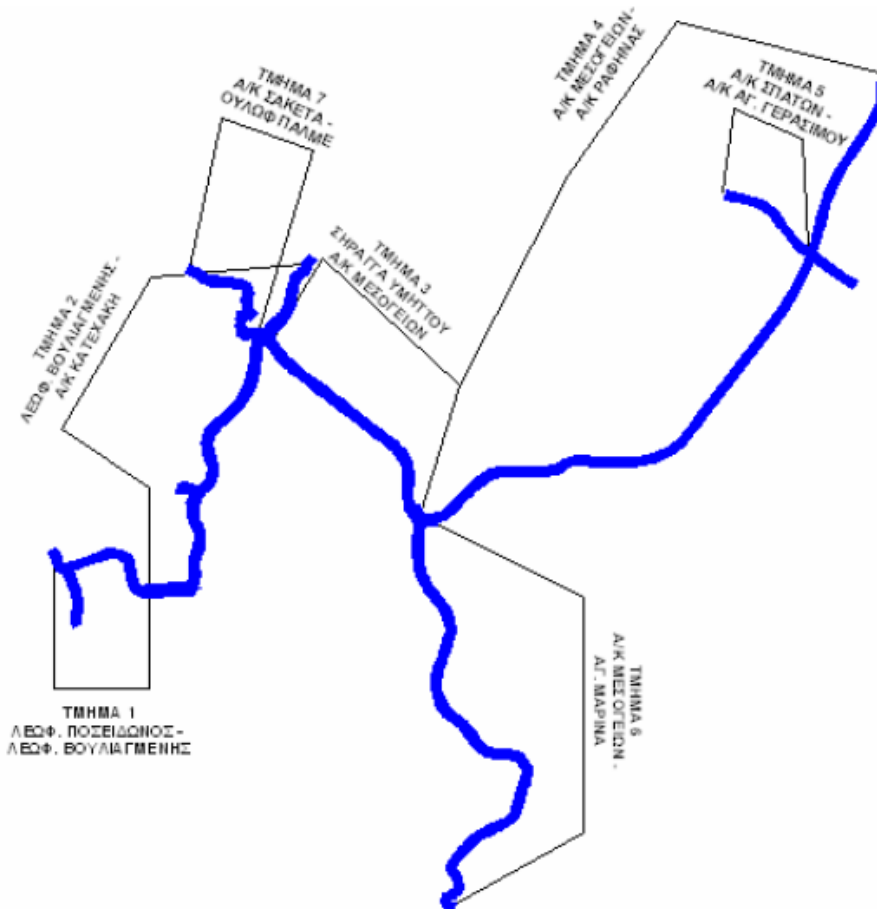
Το έργο που επιλέχθηκε προς μελέτη υπάγεται στα «Νέα Οδικά έργα Αττικής». Σύμφωνα με τη μελέτη «Νέα Οδικά Έργα Αττικής-Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων», για το πακέτο των έργων στο οποίο ανήκει κι επέκταση της Περιφερειακής Υμηττού «Βασικός στόχος των έργων από κυκλοφοριακής άποψης είναι αφενός η σύνδεση των βορειοανατολικών και νοτιοδυτικών περιοχών του λεκανοπεδίου Αθηνών με μια οδό ταχείας κυκλοφορίας και αφετέρου η παράκαμψη και κατά συνέπεια η κυκλοφοριακή αποσυμφόρηση των αστικών (τοπικών) δικτύων των περιοχών κατάντη του Υμηττού. Προσφέρει επίσης προσπέλαση προς τις παραλίες των νοτιοδυτικών περιοχών του λεκανοπεδίου. Περαιτέρω τα έργα προσφέρουν "απευθείας" σύνδεση των δήμων Ελληνικού, Αργυρούπολης, Γλυφάδας κλπ. με το αεροδρόμιο «Ελ. Βενιζέλος» μειώνοντας στο ελάχιστο το χρόνο διαδρομής.» (Πηγή: Νέα Οδικά Έργα Αττικής-Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων).

Το πακέτο των έργων που προτάθηκαν με τη συγκεκριμένη μελέτη είναι το εξής:

- **Τμήμα 1:** Οδική σύνδεση της Λεωφόρου Ποσειδώνος με τη Νότια Επέκταση της Δυτικής Περιφερειακής Υμηττού (Τμήμα: Λεωφόρος Ποσειδώνος-Λεωφόρος Βουλιαγμένης)

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

- **Τμήμα 2:** Νότια επέκταση Δυτικής Περιφερειακής Υμηττού (Τμήμα: Λεωφόρος Βουλιαγμένης-Ανισόπεδος Κόμβος (Α/Κ) Κατεχάκη)
 - **Τμήμα 3:** Οδικό τμήμα Σήραγγας Υμηττού και Ανατολικής Πρόσβασης Υμηττού έως τον Ανισόπεδο Κόμβο Μεσογείων (Τμήμα: Σήραγγα Υμηττού- Α/Κ Ραφήνας)
 - **Τμήμα 4:** Οδικό τμήμα Ανατολικής Πρόσβασης Υμηττού από Ανισόπεδο Κόμβο Μεσογείων έως Ανισόπεδο κόμβο Ραφήνας (Τμήμα: Α/Κ Μεσογείων-Α/Κ Ραφήνας)
 - **Τμήμα 5:** Συνδετήριο οδικό τμήμα από Ανισόπεδο Κόμβο Σπάτων έως Ανισόπεδο Κόμβο Αγίου Γερασίμου (Επέκταση Σταυρού-Ραφήνας) (Τμήμα: Α/Κ Σπάτων- Α/Κ Αγ. Γερασίμου)
 - **Τμήμα 6:** Οδική σύνδεση της Ανατολικής Πρόσβασης Υμηττού με την παραλιακή Λεωφόρο στην Περιοχή της Αγίας Μαρίνας (Τμήμα: Α/Κ Μεσογείων-Αγία Μαρίνα)
 - **Τμήμα 7:** Συνδετήριο οδικό τμήμα προς το κέντρο της Αθήνας (Τμήμα: από Ανισόπεδο Κόμβο Σακέτα έως την οδό Ούλωφ Πάλμε)
- (Νέα Οδικά Έργα Αττικής-Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων)



Εικόνα 6: Νέα Οδικά Έργα Αττικής (Νέα Οδικά Έργα Αττικής-Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων)

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

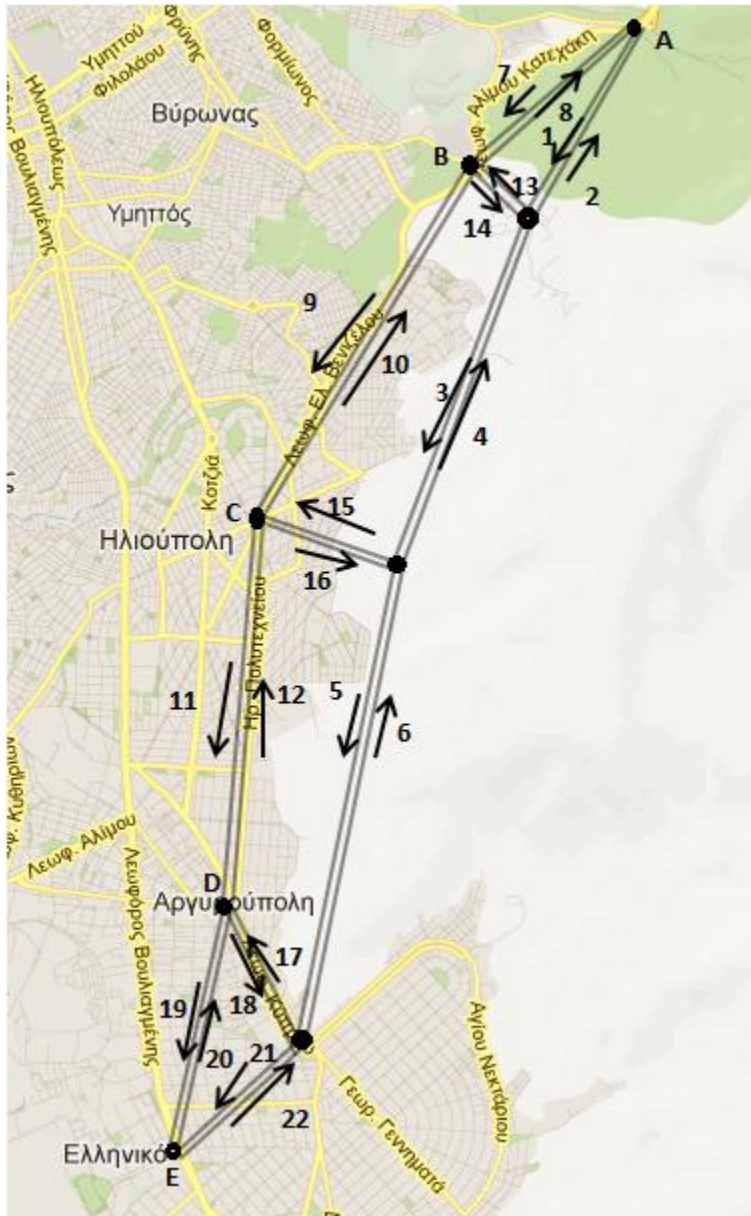
Τα έργα αυτά αναθεωρήθηκαν με την ανακοίνωση του Νέου Ρυθμιστικού Σχεδίου Αθήνας και τα περισσότερο κρίθηκαν ως μη πραγματοποιήσιμα. Παρόλα αυτά η επέκταση της Περιφερειακής Υμηττού είναι ένα από τα έργα τα οποία επιλέχθηκαν να πραγματοποιηθούν, απλά με νέα χάραξη. Έχει επιλεγθεί η χρηματοδότηση του έργου να γίνει μέσω ΣΔΙΤ.

Το τμήμα λοιπόν που θα διερευνηθεί στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι το Τμήμα 2, η Νότια επέκταση της Δυτικής Περιφερειακής Υμηττού.



Εικόνα 7: Υφιστάμενο και Προς κατασκευήν Δίκτυο (ενδεικτική χάραξη)

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ



Εικόνα 8: Απλοποιημένο Δίκτυο για τους Σκοπούς της Εργασίας

Για τη μελέτη του βέλτιστου σχεδιασμού σχεδιάστηκε απλοποιημένο δίκτυο. Έγινε η θεώρηση ότι οι χρήστες με την πραγματοποίηση του έργου θα χρησιμοποιούν είτε την νέα οδό είτε τη λεωφόρο Κατεχάκη-Αλίμου, καθώς αποτελεί τη μόνη ρεαλιστική επιλογή, ειδικά για διαμπερείς κινήσεις από Ελληνικό προς Βόρεια προάστια. Το απλοποιημένο δίκτυο αποτελείται από 22 συνδέσμους και 8 κόμβους. Οι σύνδεσμοι 1,2,3,4,5,6,21,22 αποτελούν τους συνδέσμους προς σχεδιασμό και κατασκευή, με τους συνδέσμους 1,3,5,21 να έχουν κατεύθυνση από Κατεχάκη προς Ελληνικό και τους 2,4,6,22 αντίστροφα. Ομοίως οι σύνδεσμοι 7,8,9,10,11,12,19,20 αποτελούν τους συνδέσμους της υπάρχουσας (κύριας) σύνδεσης που ενώνει την Κατεχάκη με

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ**

το ελληνικό, με τους συνδέσμους 7,9,11,19 οι σύνδεσμοι προς Ελληνικό και οι 8,10,12,20 οι σύνδεσμοι προς Κατεχάκη. Οι σύνδεσμοι 13,14,15,16,17,18 αποτελούν τις συνδέσεις της νέας οδού με την υφιστάμενη, με τους συνδέσμους 13,15,17 να έχουν κατεύθυνση από τη νέα οδό προς την υφιστάμενη και οι 14,16,18 αντίστροφα.

Τα χαρακτηριστικά συνδέσμων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

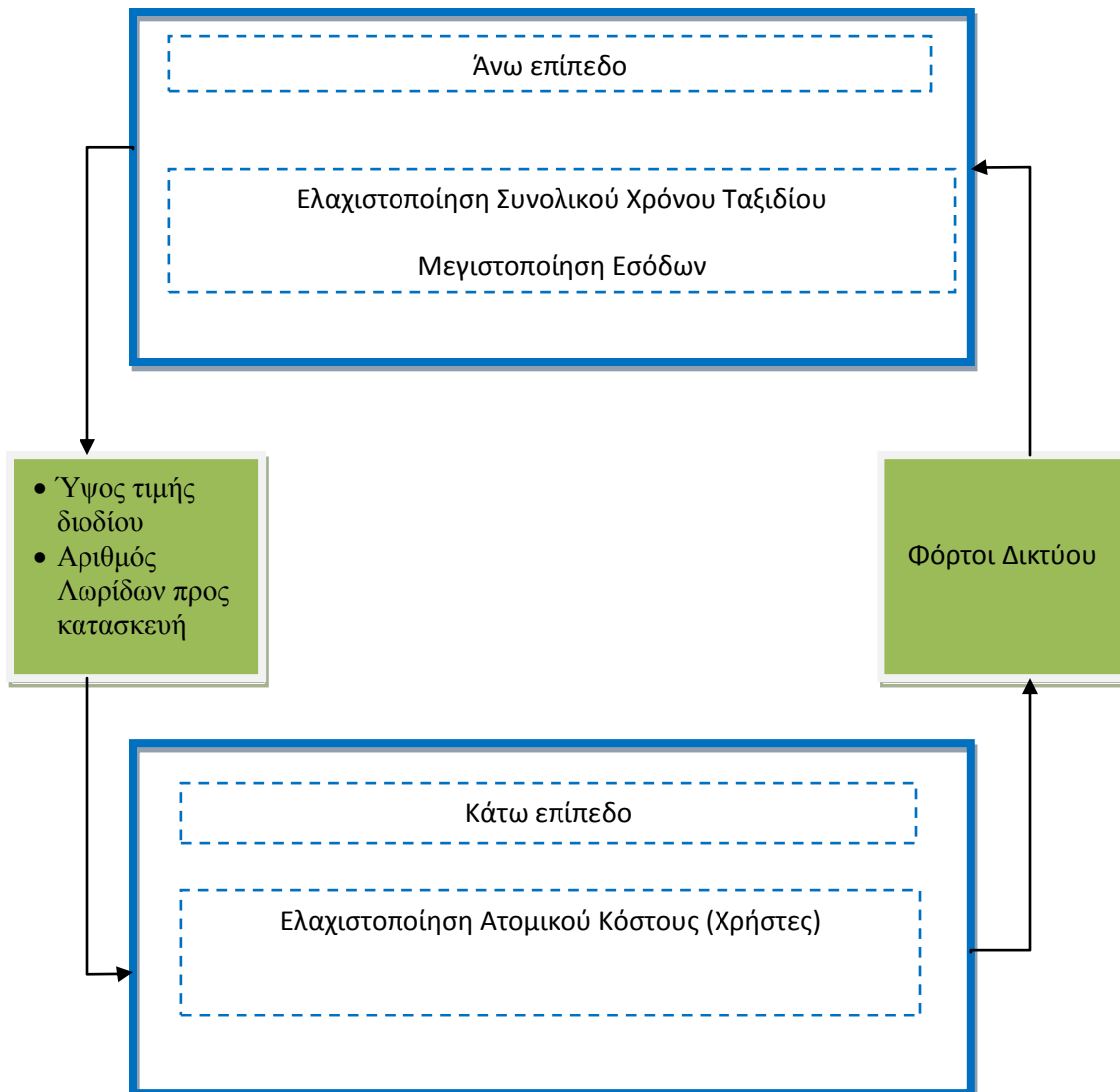
Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά συνδέσμων Δικτύου

	Σύνδεσμος	Μήκος (km)	Ταχύτητα (km/h)	Λωρίδες
Επέκταση Περιφερειακής Υμηττού	1	1,10	120	3
	2	1,10	120	3
	3	4,50	120	3
	4	4,50	120	3
	5	3,50	120	3
	6	3,50	120	3
	21	1,00	120	3
	22	1,00	120	3
	7	1,90	50	2
Αλίμου- Κατεχάκη	8	1,90	50	2
	9	3,50	50	2
	10	3,50	50	2
	11	3,00	50	2
	12	3,00	50	2
	13	1,00	30	1
	19	2,20	50	2
	20	2,20	50	2
Ενδιάμεσες Υπάρχουσες Συνδετήριες Οδοί	14	1,00	30	1
	15	1,10	30	1
	16	1,10	30	1
	17	1,50	30	1
	18	1,50	30	1

Παρακάτω θα διερευνηθούν διαφορετικά σενάρια βέλτιστου σχεδιασμού, καθώς και αναδειχθεί κατά ποιο τρόπο διάφορες παράμετροι μπορούν να επηρεάσουν το τελικό αποτέλεσμα.

5.3.Εφαρμογή του γενικού μοντέλου βελτιστοποίησης στην περιοχή μελέτης

Οι στόχοι του Άνω επιπέδου που εξετάζονται στην παρούσα εργασία είναι η *ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου ταξιδιού στο δίκτυο (ΣΧΤ)* και η *μεγιστοποίηση των εσόδων (B)*. Η ελαχιστοποίηση του ΣΧΤ μπορεί να αποτελεί στόχο ανάπτυξης υποδομής μιας δημόσιας αρχής, ενώ οι μεγιστοποίηση των εσόδων συνήθως αποτελεί στόχο ιδιωτικής αρχής (έργα μέσω ΣΔΙΤ).



Εικόνα 9, Σχηματική απεικόνιση των στόχων του προγράμματος (μπλε κουτιά) και των δεδομένων που απαιτούνται και προκύπτουν από το πρόγραμμα (πράσινα κουτιά)

Παραδοχές-Απλουστεύσεις

- Η κυκλοφοριακή ικανότητα των οδών εκτός Αττικής οδού θεωρείται 1200 οχήματα/ώρα/λωρίδα, ενώ στην Αττική Οδό 2000 οχήματα/ώρα/λωρίδα.
- Τα μ και β στον υπολογισμό του χρόνου συνδέσμου ($t_a = t_0(1 + \mu(\frac{x_a}{c_0 + y_a})^\beta)$) λήφθηκαν αντίστοιχα 0,15 και 4 (Dimitriou et al, 2009).
- Η ζήτηση θεωρείται δεδομένη και δεν επηρεάζεται από τα κόστη, παρά μόνο μέσω αλλαγής της επιλεγμένης διαδρομής.
- Χρησιμοποιείται στατικό μοντέλο για μια περίοδο σχεδιασμού.
- Για λόγους απλούστευσης, το πρόγραμμα δεν υπολογίζει πιθανές επιρροές καθυστερήσεων σε κόμβους, στα σημεία διοδίων.
- Για να υπολογισθεί ως ένα βαθμό η επίδραση της συμφόρησης χρησιμοποιείται η έννοια της πραγματικής χωρητικότητας, η οποία λαμβάνεται ως 0,75* σχεδιαστική χωρητικότητα.
- Χρησιμοποιείται ενιαία τιμή διοδίου, ανεξάρτητη από το σημείο εξόδου. Οι χρήστες θεωρείται ότι χρησιμοποιούν είτε το υφιστάμενο οδικό δίκτυο είτε την καινούργια οδό.

Ανάλυση Δεδομένων:

Η ζήτηση για μετακίνηση εισάγεται στο μοντέλο μέσω του μητρώου Προέλευσης-Προορισμού. Τα στοιχεία του μητρώου Προέλευσης-Προορισμού βασίζονται στη μελέτη του ΟΑΣΑ που αναφέρθηκε παραπάνω και αφορούν τις μετακινήσεις προσώπων για μια τυπική μέρα. Κάθε στοιχείο του μητρώου αφορά μετακινήσεις μεταξύ των ζωνών του δικτύου. Για την εργασία αυτή το μητρώο τροποποιήθηκε κατάλληλα ώστε να αφορά σε μετακινήσεις με μέσο το ΙΧ και το ταξί, για όλες τις πληθυσμιακές ομάδες (πχ εργαζόμενοι, μαθητές κλπ) και για όλους τους σκοπούς μετακινήσεων. Οι ζώνες (τομείς όπως ονομάζονται στη μελέτη του ΟΑΣΑ) που επιλέχθηκαν ως συναφείς για το έργο αυτό παρουσιάζονται παρακάτω στον Πίνακα 3

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ**

Πίνακας 3: Ζώνες Προέλευσης-Προορισμού που επιλέχθηκαν για την παρούσα εργασία

Τομέας	Δήμοι που περιλαμβάνονται
1	Ν. Σμύρνη, Παλαιό Φάληρο, Άλιμος, Ελληνικό, Γλυφάδα, Βούλα, Βουλιαγμένη, Βάρη
2	Δάφνη, Αγ. Δημήτριος, Αργυρούπολη, Ηλιούπολη, Υμηττός, Βύρωνας, Καισαριανή, Ζωγράφου
4	Παπάγος, Χολαργός, Ν. Ψυχικό, Αγ. Παρασκευή, Χαλάνδρι, Βριλήσσια, Πεντέλη, Νέα Πεντέλη
5	Πεύκη, Λυκόβρυση, Μελίσσια, Κηφισιά, Νέα Ερυθραία, Εκάλη, Άνοιξη, Δροσιά, Διόνυσος, Μπάλα, Σταμάτα, Αγ. Στέφανος, Κρουονέρι, Βαρυμπόμπη
6	Ψυχικό, Φιλοθέη, Γαλάτσι, Νέα Ιωνία, Νέα Φιλαδέλφεια, Νέο Ηράκλειο, Μαρούσι, Μεταμόρφωση, Νέα Χαλκηδόνα

Από τον πίνακα της μελέτης 3.2.9-2 όπου παρατίθενται τα στοιχεία μετακινήσεων μεταξύ των ζωνών στο δείγμα της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία των ζωνών που προαναφέρθηκαν. Τα στοιχεία αυτά ανήχθηκαν στο σύνολο του πληθυσμού της μελέτης. Έπειτα, τα στοιχεία αυτά πολλαπλασιάστηκαν με 10%, διότι όπως βρέθηκε από τη μελέτη το 10% των μετακινήσεων γίνεται την ώρα πρωινής αιχμής (7.00-8.00). Επίσης ο αριθμός των μετακινήσεων προσαρμόστηκε μόνο για μετακινήσεις με ΙΧ ή ταξί (ποσοστό 41,8%). Επίσης μιας και αφορούν πληθυσμιακά στοιχεία του 2001, πολλαπλασιάστηκαν με τη σχετική διαφορά του πληθυσμού 2001-2011.

Τα στοιχεία των συνδέσμων προαναφέρθηκαν στον Πίνακα 2.

Οι συνιστώσες του κόστους που λαμβάνουν υπόψη τους οι χρήστες κατά την επιλογή διαδρομής είναι κυρίως ο χρόνος διαδρομής και το ποσό του διοδίου. Η εξίσωση του κόστους, εκπεφρασμένου σε χρηματικές μονάδες είναι της μορφής: $C = VOT * t + p + \gamma$, όπου

VOT : Η αξία του χρόνου

t : Η διάρκεια της μετακίνησης

p : Το χρηματικό αντίτιμο του διοδίου

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

γ : Όρος που εκφράζει τυχόν άλλα κόστη που λαμβάνουν υπόψη τους οι χρήστες (π.χ. κόστος βενζίνης κλπ)

Η εξίσωση χρησιμότητας U κάθε διαδρομής ορίζεται ως $U = a*VOT*t + \beta*p + \gamma$. Γενικά η χρησιμότητα μιας διαδρομής μειώνεται με την αύξηση του χρόνου διάνυσης της ή/και της παρουσίας ή όχι διοδίου και της τιμής του. Αυτό αντικατοπτρίζεται με τη χρήση των παρακάτω παραμέτρων

a : -1

β : -0,43

Η τιμή του β βασίζεται στα ευρήματα της μελέτης των Dissanayake and Kouli, 2007 σχετικά με τις παραμέτρους χρησιμότητας για υπεραστικά ταξίδια μεταξύ Κορίνθου-Πατρών. Ελλείψει αντίστοιχης μελέτης για αστικές μετακινήσεις λαμβάνεται αυτή η τιμή. Εξετάζεται όμως παρακάτω η επιρροή της τιμής της παραμέτρου αυτής μέσω ανάλυσης ευαισθησίας.

Λόγω του γεγονότος ότι το έργο βρίσκεται ακόμη σε φάση προμελέτης και δεν υπάρχει ακόμη τελική μελέτη με όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά, δεν κατέστη δυνατό να βρεθούν στοιχεία για το κατασκευαστικό κόστος. Επιχειρήθηκε στη συνέχεια να βρεθεί ένα μέσο κόστος ανά χιλιόμετρο βασισμένο στα υπάρχοντα οδικά έργα που έχουν ήδη κατασκευαστεί ή πρόκειται να κατασκευαστούν και έχουν περάσει το στάδιο της τελικής μελέτης. Μια τέτοια προσέγγιση όμως δεν είναι ρεαλιστική καθώς κάθε έργο έχει διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά (διαφορετικός αριθμός λωρίδων, διαφορετικά ασφαλτικά υλικά κλπ), οι τιμές του κόστους περιλαμβάνουν διαφορετικά στοιχεία (απαλλοτριώσεις ή όχι κλπ) ή δεν υπήρχαν λεπτομερή στοιχεία (Αττική οδός). Για παράδειγμα η Εγνατία υπολογίζεται στα 6,8 εκατομμύρια/km και η Αττική οδός 20 εκατομμύρια/km, αλλά διαφέρουν στην τοποθεσία, άρα και στα απαραίτητα τεχνικά έργα (μεγαλύτερο ή μικρότερο ποσοστό γεφυρών, σηράγγων, διαφορετικές τεχνικές διάνοιξης, υλικά ασφαλτοστρώσεως κλπ), διαφέρουν στον αριθμό λωρίδων κλπ. Για αυτό το λόγο ακολουθήθηκε η προσέγγιση της ανάλυσης ευαισθησίας. Επιλέχθηκαν 4 τιμές κατασκευαστικού κόστους ανά χιλιόμετρο (5-10-15-20 εκατομμύρια/Km) και για αυτά τα κόστη εφαρμόστηκαν τα σενάρια του βέλτιστου σχεδιασμού. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω (στην παράγραφο 5.1) το κόστος κατασκευής και συντήρησης της οδού ανήχθη σε κόστος ώρας αιχμής.

Για την εργασία αυτή $r_0 = 5\%$ (σύμφωνα με τα όσα αναφέρονται στο Τσαμπούλας Δ. «Στοιχεία για την Αξιολόγηση συγκοινωνιακών έργων Υποδομής», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2004) και $n=10$ χρόνια. Το κόστος συντήρησης λαμβάνεται ως 2% επί του κατασκευαστικού κόστους για κάθε χρόνο (Ι. Χ. Καρακαϊδού, Η διαχείριση της λειτουργίας &

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

συντήρησης αυτοκινητοδρόμων με εξωτερικούς συνεργάτες, 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας, Βόλος, 18-20 Μαΐου 2005).

Παρακάτω αναλύονται διάφορα σενάρια βελτιστοποίησης για 4 διαφορετικά μεγέθη ζήτησης, περιγράφεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4: Μεγέθη Ζήτησης

Q _a	Πραγματική Ζήτηση
Q _b	0,5* Q _a
Q _c	2,5* Q _a
Q _d	3,5* Q _a

Εξετάζονται τα εξής σενάρια:

Σενάριο Βάσης: Μη πραγματοποίηση του έργου. Το σενάριο αυτό θα χρησιμοποιηθεί ως μέτρο σύγκρισης για να αναλυθεί εάν ή όχι η υλοποίηση του έργου θα επιφέρει οφέλη.

Σενάριο 1: Πραγματοποίηση του έργου με συγκεκριμένη τιμή διοδίων 2,7 ευρώ. Στο σενάριο αυτό εξετάζεται ο βέλτιστος αριθμός λωρίδων που πρέπει να κατασκευαστεί ώστε να ελαχιστοποιείται ο ΣΧΤ, να μεγιστοποιούνται τα έσοδα ή να μεγιστοποιούνται τα κέρδη από το δίκτυο.

Σενάριο 2: Πραγματοποίηση του έργου με πλήρη κατασκευή (3 λωρίδες ανά κατεύθυνση). Σε αυτό το σενάριο επιχειρείται ο προσδιορισμός της βέλτιστης τιμής διοδίου για ελαχιστοποίηση του ΣΧΤ στο δίκτυο, μεγιστοποίησης των εσόδων και μεγιστοποίησης των κερδών, για τα 4 παραπάνω μεγέθη ζήτησης.

Σενάριο 3: Στο σενάριο αυτό επιχειρείται ο ταυτόχρονος προσδιορισμός της τιμής διοδίου και του αριθμού των κατασκευαζόμενων λωρίδων, πάλι με στόχο την ελαχιστοποίηση του ΣΧΤ, τη μεγιστοποίηση των εσόδων ή τη μεγιστοποίηση των κερδών από τη χρήση του δικτύου.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

Τα παραπάνω συνοψίζονται στον κάτωθι πίνακα:

Πίνακας 5: Σενάρια προς εξέταση

Σενάρια	Τιμή διοδίου	Αριθμός λωρίδων νέας οδού
0	-	Μη κατασκευή
1	2,7	Μεταβλητός
2	Μεταβλητή	3/κατεύθυνση
3	Μεταβλητή	Μεταβλητή

Οι μεταβλητές και οι περιορισμοί τους ορίζονται ως εξής:

p : τιμή διοδίου, με $0 \leq p \leq 5$. Η μεταβλητή αυτή αντιμετωπίζεται ως συνεχής μεταβλητή.

l_a : αριθμός λωρίδων προς κατασκευή, με $l_a \in [0,1,2,3]$. Η μεταβλητή αυτή αντιμετωπίζεται ως διακριτή μεταβλητή.

Για την επίλυση του προβλήματος χρησιμοποιήθηκε το Analytic Solver Platform για Microsoft excel.

5.4.Περιγραφή του προβλήματος

Σενάριο Βάσης (Do-Nothing scenario):

Το σενάριο αυτό χρησιμοποιείται ως μέτρο σύγκρισης για τις επόμενες περιπτώσεις και για να εξετασθεί εάν ή όχι υπάρχει ανάγκη πραγματοποίησης του έργου. Στο σενάριο αυτό απλά

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

επιλύεται μόνο το κάτω επίπεδο του προβλήματος, δηλαδή η εύρεση ισορροπίας φόρτων στο δίκτυο από τους χρήστες μέσω της ελαχιστοποίησης των ατομικών κοστών των χρηστών.

Σενάριο 1

Στο σενάριο αυτό θεωρείται δεδομένη η τιμή του διοδίου στα 2,7ευρώ, όσο είναι σήμερα και στην Αττική οδό και μεταβάλλεται ο αριθμός των λωρίδων που πρέπει να κατασκευαστούν. Το πρόβλημα που επιλύεται έχει τη μορφή:

$$Min\SΧΤ = \sum_{a=1}^{22} t_a * x_a \text{ (ελαχιστοποίηση του ΣΧΤ στο δίκτυο)}$$

$$\text{ή } \max B = \sum p * f_r^w * k_{r,p}^w \text{ (μεγιστοποίηση εσόδων)}$$

$$\text{ή } \max R = \sum p * f_r^w * k_{r,p}^w - \sum V_a \text{ (μεγιστοποίηση κερδών)}$$

με $p = 2, 7$ και $[l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_{21}, l_{22}]$ ο αριθμός των λωρίδων που κατασκευάζονται σε κάθε σύνδεσμο αντίστοιχα (όπως δηλώνεται από το νούμερο στο δείκτη) και μπορούν να πάρουν τιμές από 0-3, ακέραιες. Να σημειωθεί εδώ ότι ο ΣΧΤ υπολογίζεται σε επίπεδο φόρτων συνδέσμου, ενώ τα έσοδα σε επίπεδο φόρτων διαδρομής, κι αυτό γιατί έχει γίνει η υπόθεση ότι οι χρήστες πληρώνουν μια φορά το διόδιο, ανάλογα με το ποια διαδρομή ακολουθούν και δεν χρεώνονται βάση του μήκους της μετακίνησης ή του σημείου εισόδου ή εξόδου.

Σενάριο 2

Στο σενάριο αυτό θεωρείται δεδομένη η κατασκευή του πλήρους έργου, δηλαδή 3 λωρίδες ανά κατεύθυνση σε κάθε σύνδεσμο και επιχειρείται η εύρεση της βέλτιστης τιμής του διοδίου.

Το πρόβλημα που επιλύεται παίρνει εδώ τη μορφή:

$$Min\SΧΤ = \sum_{a=1}^{22} t_a * x_a \text{ ή } \max B = \sum p * f_r^w * k_{r,p}^w \text{ ή } \max R = \sum p * f_r^w * k_{r,p}^w - \sum V_a$$

Με $[l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_{21}, l_{22}] = 3$ και $0 \leq p \leq 5$. Η τιμή p , όπως προαναφέρθηκε και παραπάνω παίρνει συνεχείς τιμές.

Σενάριο 3

Στο σενάριο αυτό επιχειρείται ο ταυτόχρονος προσδιορισμός της τιμής διοδίου και του αριθμού των λωρίδων προς κατασκευή.

Το πρόβλημα που επιλύεται παίρνει εδώ την εξής μορφή:

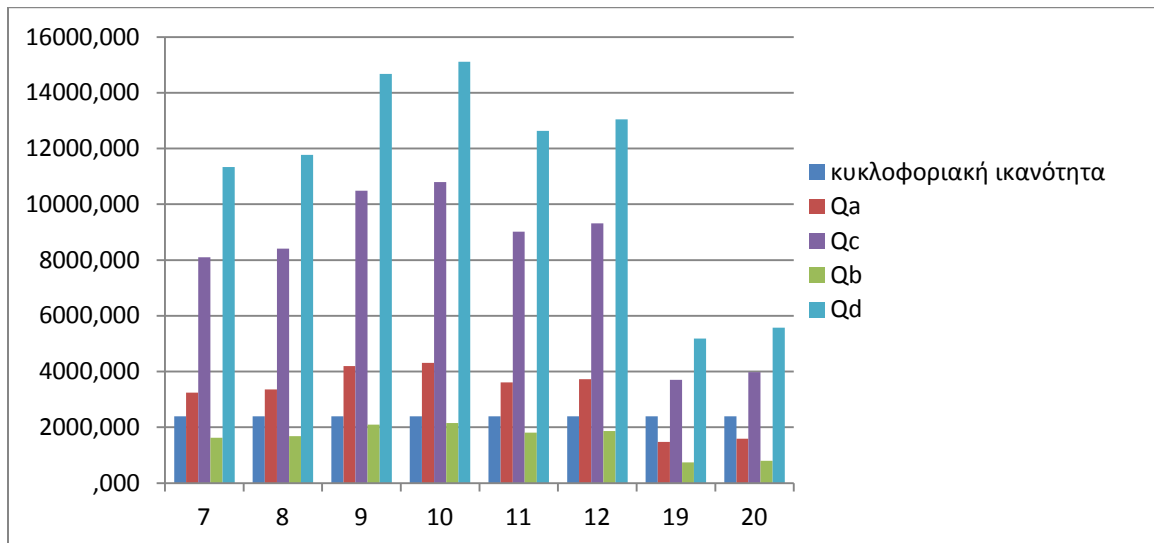
$$\text{Min}\Sigma\text{ΧΤ} = \sum_{a=1}^{22} t_a * x_a \quad \text{ή} \quad \text{max } B = \sum p * f_r^w * k_{r,p}^w \quad \text{ή} \quad \text{max } R = \sum p * f_r^w * k_{r,p}^w - \sum V_a$$

Με $0 \leq p \leq 5$ και $[l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_{21}, l_{22}] \in [0, 1, 2, 3]$.

Να αναφερθεί εδώ ότι για κάθε σενάριο η μορφή του κάτω επιπέδου παραμένει η ίδια και απλά επιλύεται για τα 4 διαφορετικά μεγέθη ζήτησης, όπως περιγράφονται στον Πίνακα 4.

5.5. Ανάλυση αποτελεσμάτων

5.5.1 Σενάριο βάσης



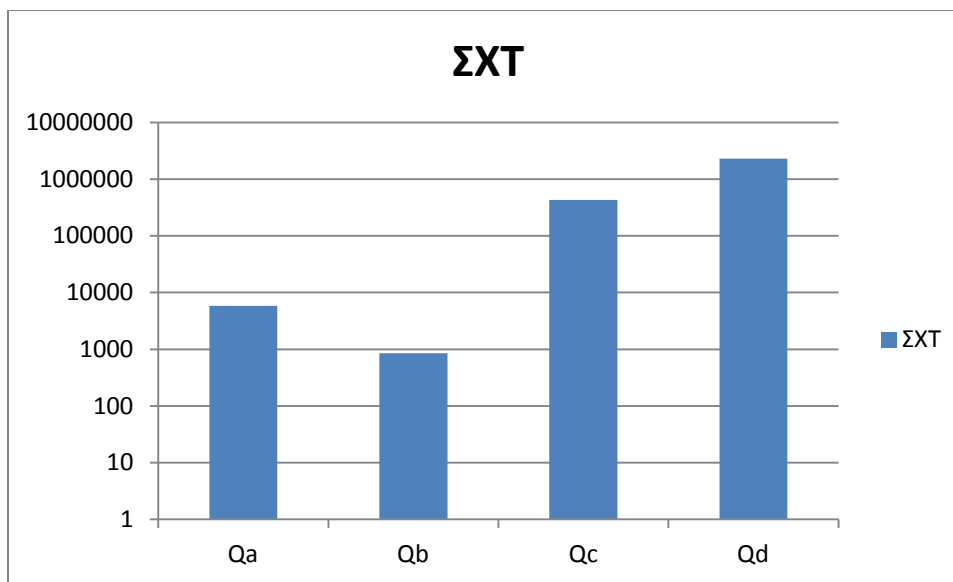
Διάγραμμα 11: Κυκλοφοριακή ικανότητα και Φόρτοι υπάρχοντος δικτύου για τα 4 μεγέθη ζήτησης στο σενάριο μη πραγματοποίησης του έργου

Στο Διάγραμμα 11 φαίνονται οι φόρτοι που προκύπτουν από τα 4 μεγέθη ζήτησης στο σενάριο μη πραγματοποίησης του έργου. Για μέγεθος μικρής ζήτησης Q_b το υπάρχον δίκτυο είναι επαρκές. Για το μέγεθος της υπάρχουσας ζήτησης Q_a υπάρχουν μεικτά συμπεράσματα. Το δίκτυο βρίσκεται κοντά στην χωρητικότητα του στους συνδέσμους 9-10-11-12 (μεσαίο τμήμα),

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

ενώ στου συνδέσμους 7-8 και 19-20 δεν αντιμετωπίζει πρόβλημα. Να σημειωθεί βέβαια εδώ ότι το μοντέλο της υπάρχουσας εργασίας δεν ξετάζει και τους φόρτους από οδικά Μέσα Μαζικής Μεταφοράς (λεωφορεία και οχήματα δημοτικής συγκοινωνίας). Γίνεται κατανοητό ότι με την εισαγωγή τους στο δίκτυο, οι σύνδεσμοι θα κορεστούν ακόμη περισσότερο. Για τις περιπτώσεις Q_c και Q_d , μεσαίας και μεγάλης ζήτησης αντίστοιχα, είναι προφανές ότι το δίκτυο δεν επαρκεί και γίνεται έντονη η ανάγκη λήψης μέτρων κυκλοφοριακής διαχείρισης ή/και προσφοράς επιπλέον κυκλοφοριακής ικανότητας, όπως και γίνεται με την κατασκευή του νέου οδικού άξονα.

Στο Διάγραμμα 12 φαίνεται ο Συνολικός Χρόνος Ταξιδιού στο Δίκτυο για τα 4 μεγέθη ζήτησης.



Διάγραμμα 12: Συνολικός Χρόνος Ταξιδιού για τα 4 σενάρια ζήτησης

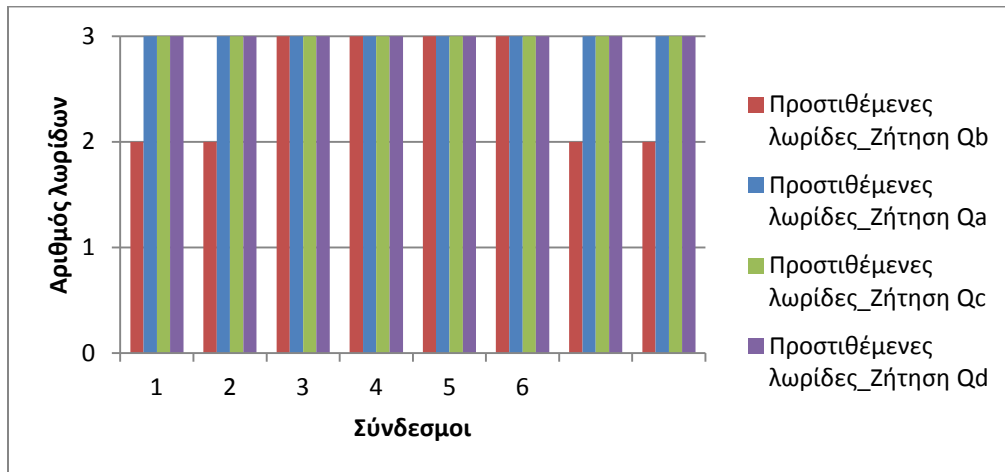
Το διάγραμμα παρουσιάζεται σε λογαριθμική κλίμακα, καθώς ο ΣΧΤ για τα σενάρια Q_a και Q_b (5798,1 οχ-ώρες και 847,7 οχ-ώρες αντίστοιχα) ήταν κατά πολύ μικρότερος των αντιστοίχων για τα μεγάλα σενάρια ζήτησης (430908,5 για Q_c και 2303387 για Q_d). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αφού ξεπεράσει ο φόρτος ενός συνδέσμου την κυκλοφοριακή ικανότητα, μιας και ο τύπος υπολογισμού είναι εκθετικός, ο ΣΧΤ αυξάνει πάρα πολύ απότομα.

Τα έσοδα εδώ προφανώς είναι 0, αφού δεν έχει κατασκευαστεί ακόμη η νέα οδός και κατά συνέπεια δεν επιβάλλονται διόδια.

5.5.2 Σενάριο 1

Στο σενάριο αυτό εξετάζεται ο προσδιορισμός του βέλτιστου αριθμού λωρίδων προς κατασκευή. Στο

Διάγραμμα 13 φαίνονται τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης του αριθμού των λωρίδων προς κατασκευή, με σταθερή τιμή διοδίου 2,7 ευρώ και σκοπό την ελαχιστοποίηση του ΣΧΤ ή τη μεγιστοποίηση των εσόδων ή τη μεγιστοποίηση των κερδών.

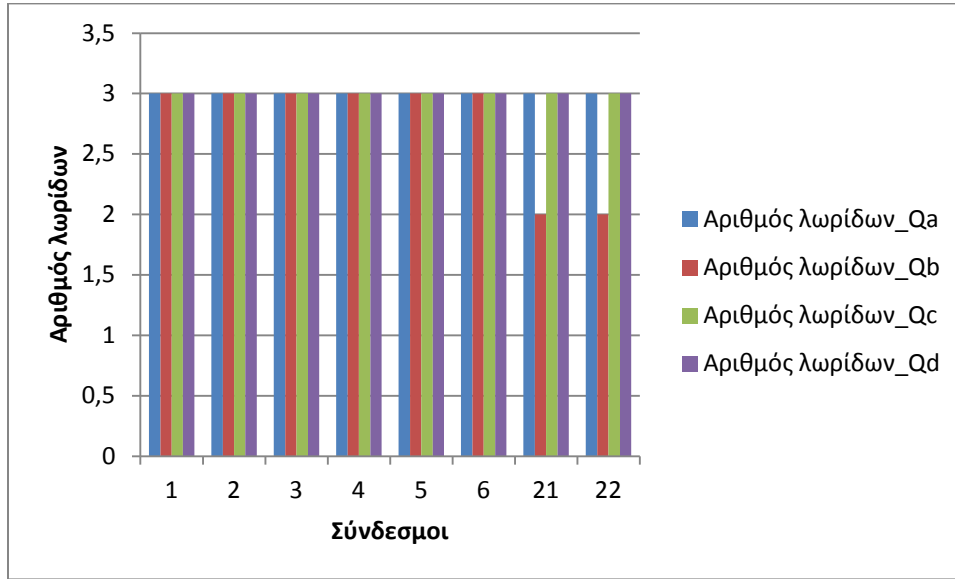


Διάγραμμα 13:Βέλτιστος Αριθμός λωρίδων προς κατασκευή, σταθερή τιμή διοδίου, για minΣΧΤ

Παρατηρείται ότι για όλα τα μεγέθη ζήτησης ο βέλτιστος σχεδιασμός για ελαχιστοποίηση του ΣΧΤ προβλέπει την κατασκευή και των 3 λωρίδων, έτσι ώστε να ενθαρρυνθεί η αλλαγή διαδρομής των χρηστών προς τη νέα οδό. Εξαιρέση παρατηρείται για μέγεθος ζήτησης Q_b κατά το οποίο η ζήτηση είναι μικρή και δε χρειάζεται η προσθήκη και της 3^{ης} λωρίδας, η οποία δεν επιφέρει κανένα επιπλέον όφελος (ο ΣΧΤ είτε για κατασκευή 2 λωρίδων είτε 3 είναι ο ίδιος).

Ο ΣΧΤ σε σχέση με το σενάριο βάσης έχει βελτιωθεί κατά μεγάλο ποσοστό. Για ζήτηση Q_a έχει μειωθεί κατά 72,12%, για ζήτηση Q_b έχει μειωθεί λιγότερο αλλά και πάλι ικανά (22,3%). Στις περιπτώσεις Q_b και Q_d , όπου η ζήτηση είναι πολύ μεγάλη, παρατηρείται σχεδόν υποδιπλασιασμός του ΣΧΤ (μείωση 97,9% και 98,8%). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι σε περιπτώσεις πολύ μεγάλης ζήτησης, όπου το υφιστάμενο δίκτυο έχει ξεπεράσει κατά πολύ την κυκλοφοριακή του ικανότητα, ο χρόνος διάνυσης αυξάνει εκθετικά, με συνέπεια το επιπλέον κόστος του διοδίου να αποτελεί πολύ ελκυστικότερη λύση από το κόστος χρόνου λόγω συμφόρησης.

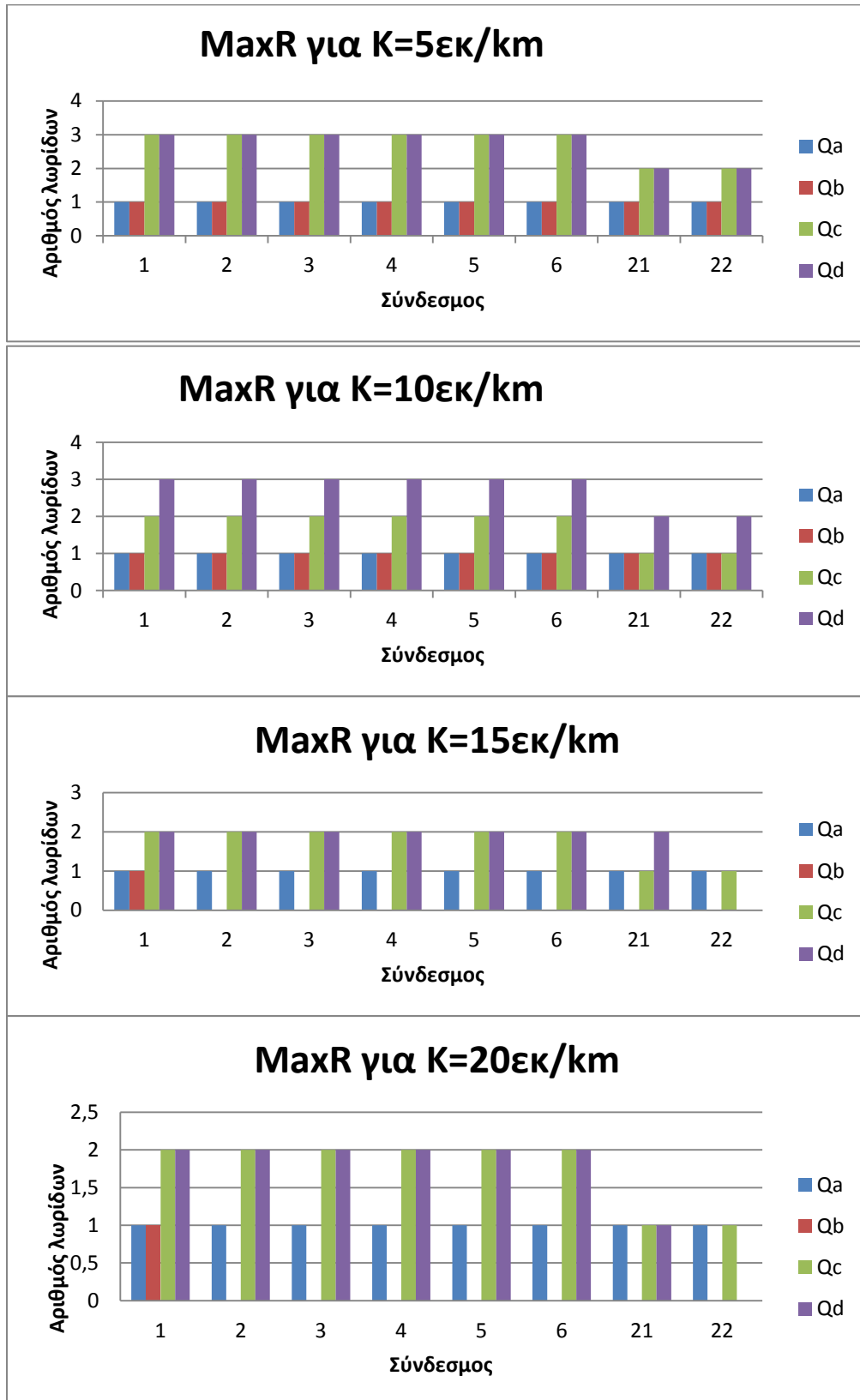
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ



Διάγραμμα 14: Βέλτιστος Αριθμός λωρίδων προς κατασκευή, σταθερή τιμή διοδίου, για maxB

Τα αποτελέσματα για μεγιστοποίηση των εσόδων είναι σχεδόν πανομοιότυπα. Μόνη διαφορά για το μέγεθος ζήτησης Q_b ότι οι λωρίδες που προστίθενται στους συνδέσμους 1 και 2 είναι 3 αντί για 2 στην σενάριο της ελαχιστοποίησης του ΣΧΤ. Παρόλα αυτά πρέπει να σημειωθεί ότι η διαφορά στα έσοδα είναι της τάξεως των 0,05 ευρώ.

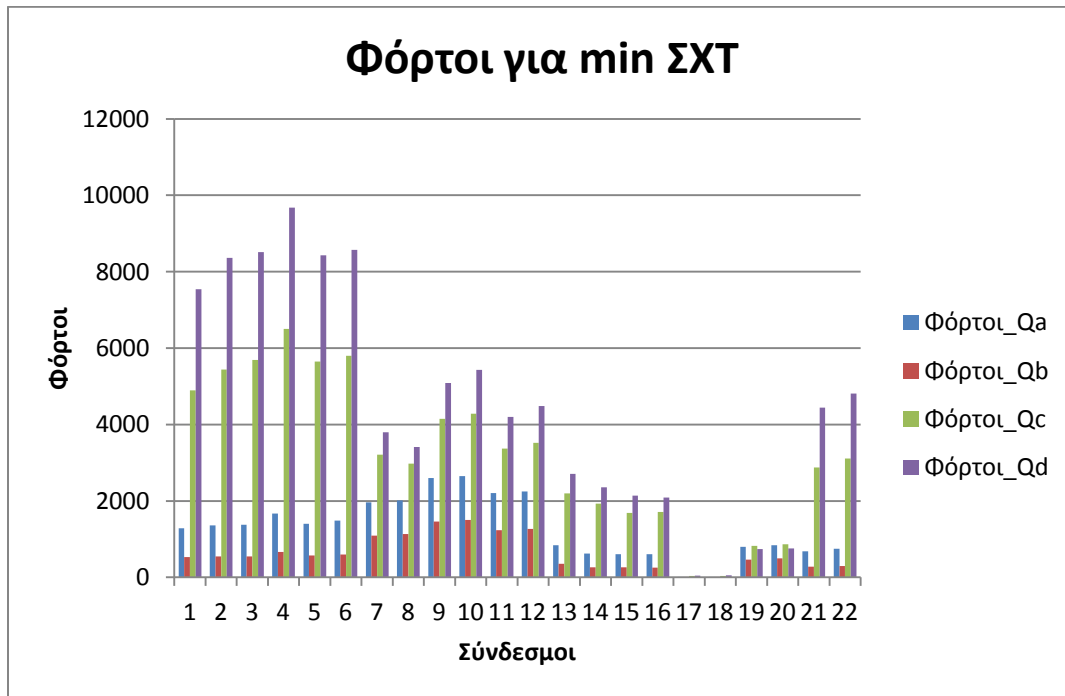
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ



Διάγραμμα 15: Βέλτιστος αριθμός λωρίδων για maxR και διάφορες περιπτώσεις κατασκευαστικού κόστους

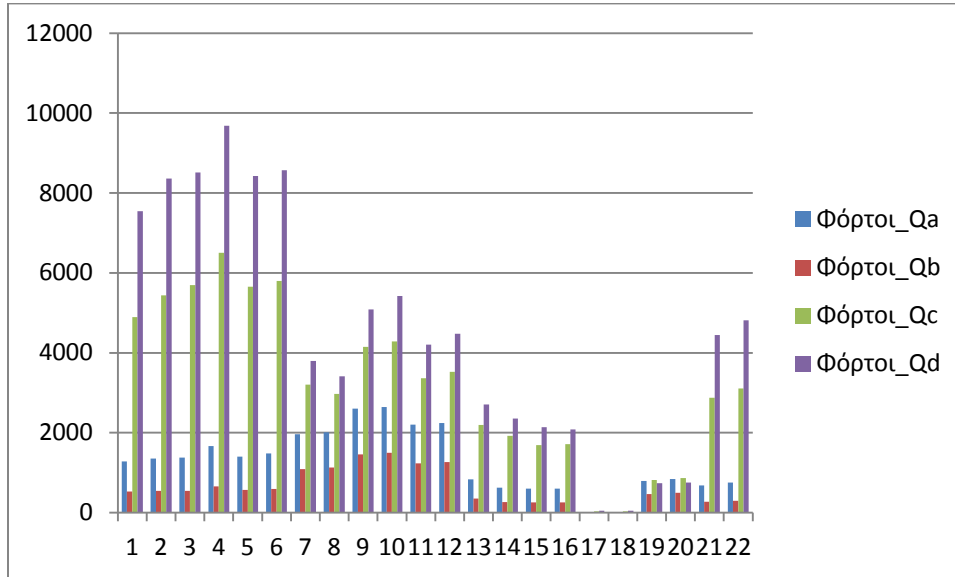
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

Στην περίπτωση που συνυπολογίζεται και το κατασκευαστικό κόστος ο βέλτιστος αριθμός λωρίδων αλλάζει. Στις περιπτώσεις μικρής και μεσαίας ζήτησης ο βέλτιστος αριθμός κυμαίνεται μεταξύ 0 (μέτριο προς μεγάλο κατασκευαστικό κόστος-μικρήζήτηση Q_b) και 1(ζήτηση Q_a). Η πλήρης κατασκευή του δρόμου δικαιολογείται μόνο σε μεγάλες ζητήσεις και για μικρό σχετικά κατασκευαστικό κόστος (1^ο διάγραμμα).



Διάγραμμα 16: Φόρτοι για minΣΧΤ

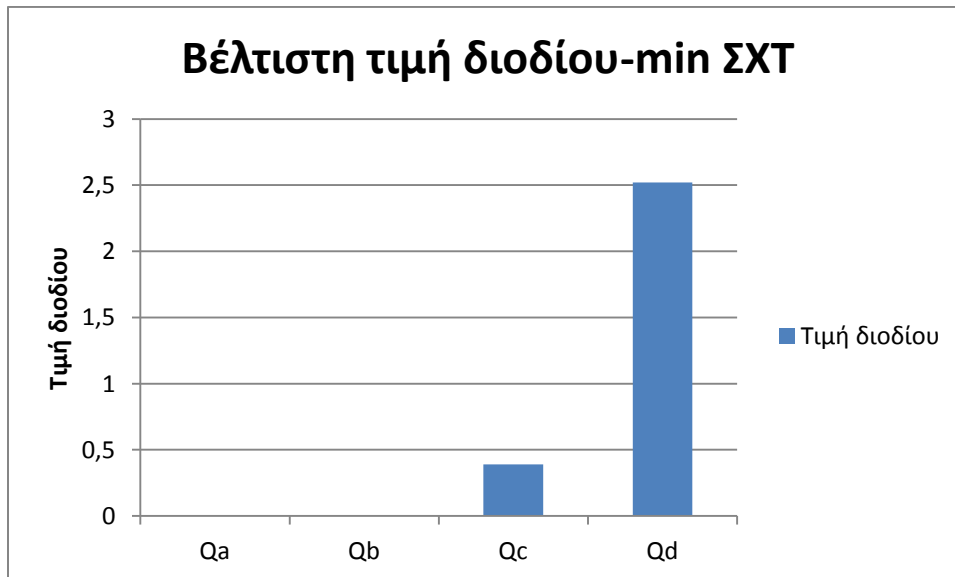
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ



Διάγραμμα 17: Φόρτοι στο δίκτυο για maxB

5.5.3 Σενάριο 2

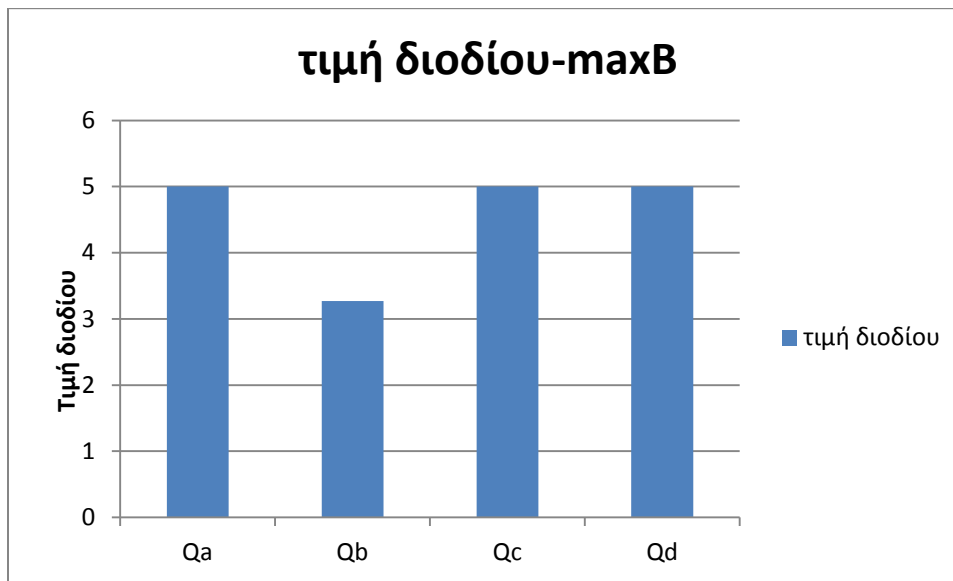
Στο σενάριο αυτό εξετάζεται ο προσδιορισμός της βέλτιστης τιμής διοδίου για πλήρη κατασκευή του νέου οδικού άξονα (3 λωρίδες/κατεύθυνση).



Διάγραμμα 18: Βέλτιστη τιμή διοδίου για minΣΧΤ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

Στον παραπάνω πίνακα δίνονται οι τιμές των διοδίων για κάθε μέγεθος ζήτησης. Αυτές είναι 0 ευρώ για τα σενάρια Q_a και Q_b , 0,39 ευρώ για ζήτηση Q_c και 2,52 ευρώ για ζήτηση Q_d . Παρατηρείται ότι στις περιπτώσεις Q_a και Q_b , όπου η ζήτηση δεν είναι πολύ μεγάλη, οι περισσότεροι χρήστες δεν έχουν κίνητρο να αλλάξουν τη διαδρομή τους και να χρησιμοποιήσουν τη νέα οδό όπου θα πρέπει να πληρώσουν ένα επιπλέον αντίτιμο. Εάν όμως η νέα οδός δεν έχει αντίτιμο πολλοί χρήστες θα την προτιμήσουν, με αποτέλεσμα να μειωθεί ο ΣΧΤ.



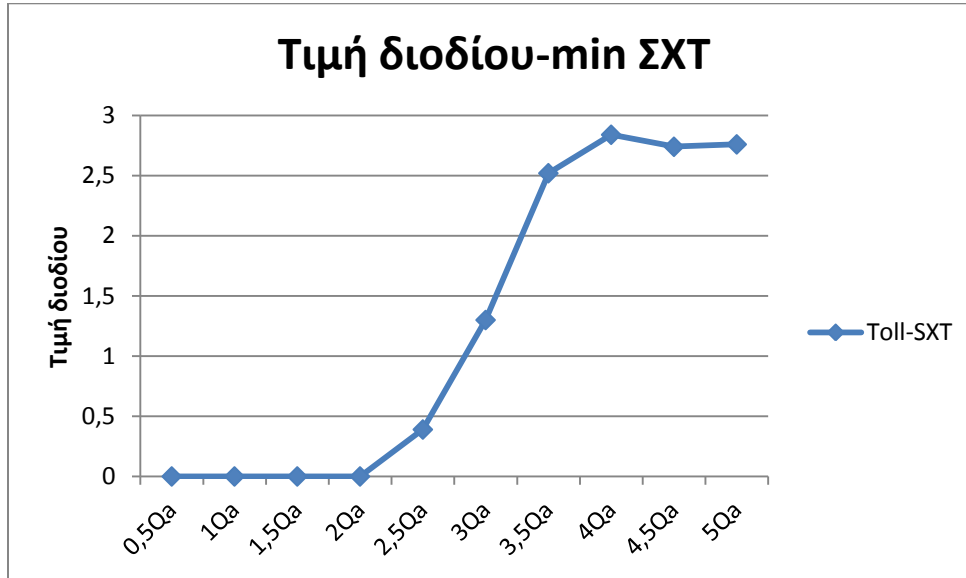
Διάγραμμα 19: Βέλτιστη τιμή διοδίου για maxB

Για μεγιστοποίηση των εσόδων, στις περιπτώσεις Q_a , Q_c και Q_d όπου η ζήτηση για τη νέα οδό είναι ήδη μεγάλη, η βέλτιστη στρατηγική για τον διαχειριστή της οδού είναι να επιβάλλει τη μέγιστη τιμή διοδίου η οποία θα αναγκάσει μεν ένα ποσοστό χρηστών να αλλάξουν την επιλογή τους και να διαλέξουν την υφιστάμενη οδό Αλίμου- Κατεχάκη, αλλά θα είναι αρκετή ώστε να επιφέρει μεγάλο αριθμό εσόδων. Στην σενάριο μικρής ζήτησης όμως, που οι χρήστες έχουν ικανή εναλλακτική, καθώς η υφιστάμενη οδός δεν έχει συμφοριστεί ακόμη, η τιμή του διοδίου είναι μικρότερη της μέγιστης.

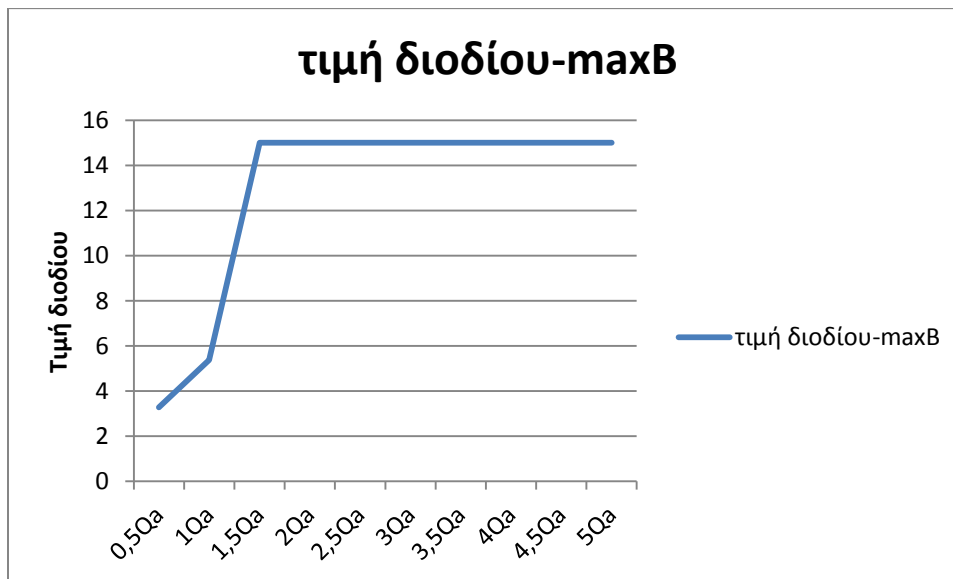
Ο στόχος της μεγιστοποίησης των κερδών σε αυτό το σενάριο συμπίπτει με το σενάριο μεγιστοποίησης των εσόδων, αφού το κόστος κατασκευής των λωρίδων είναι προκαθορισμένο και άρα το μόνο που μπορεί να μεγιστοποιήσει τα κέρδη είναι τα μέγιστα έσοδα, τα οποία και προσδιορίστηκαν παραπάνω.

Πρέπει επίσης να σημειωθεί εδώ ότι οι τιμές των διοδίων για τους 3(πρακτικά 2) αυτούς στόχους διαφέρουν σημαντικά. Γίνεται έτσι προφανές αυτό που αναφέρθηκε και νωρίτερα στη

διπλωματική αυτή εργασία, ότι δεν υπάρχει «σωστή τιμή» γενικά κι αόριστα, αλλά σωστή τιμή για συγκεκριμένο στόχο.



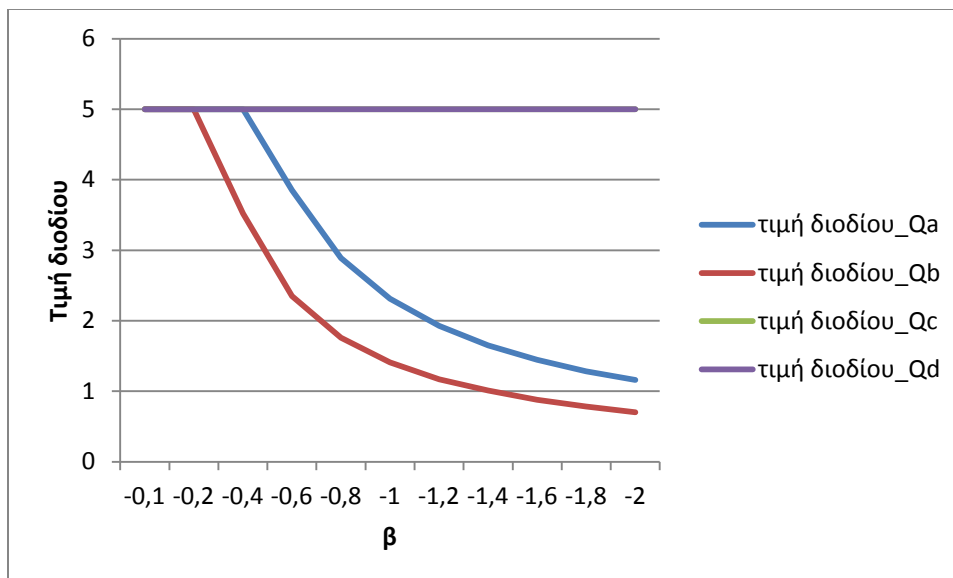
Διάγραμμα 20: Συσχέτιση τιμής διοδίου με το μέγεθος της ζήτησης για minΣΧΤ



Διάγραμμα 21: Συσχέτιση τιμής διοδίου με το μέγεθος της ζήτησης για maxB

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

Παρατηρείται στα παραπάνω διαγράμματα ότι η τιμή του διοδίου, εκτός από το ότι εξαρτάται από το στόχο, εξαρτάται επίσης και από τα μεγέθη της μεταφορικής ζήτησης. Σε χαμηλά ποσοστά ζήτησης που οι χρήστες έχουν ακόμη ικανοποιητική εναλλακτική (δεν έχει συμφορηθεί ακόμη το υπάρχον δίκτυο) είναι πιο ευέλικτοι να αποφύγουν την πληρωμή διοδίου. Για το σενάριο του ΣΧΤ, σε συνθήκες μεγάλης ζήτησης η ελαχιστοποίηση πλέον του χρόνου δεν μπορεί να γίνει μόνο με παροχή κυκλοφοριακής ικανότητας, αλλά πλέον πρέπει να επιβληθεί μια τιμή διοδίου η οποία θα λειτουργήσει ως μέτρο διαχείρισης της κυκλοφορίας εξαναγκάζοντας κάποιους χρήστες να αλλάξουν τη διαδρομή τους. Εντέλλει όλοι οι χρήστες βέβαια θα επωμιστούν το ίδιο κόστος, είτε ως περισσότερο χρόνο ταξιδιού είτε ως λιγότερο χρόνο ταξιδιού μεν αλλά την επιπλέον διαφορά ως αντίτιμο διοδίου. Στο σενάριο μεγιστοποίησης των εσόδων το διόδιο μπορούμε να πούμε ότι λειτουργεί εκβιαστικά και απλά προσδιορίζεται ως το μέγιστο το οποίο θα εκτρέψει ποσοστό χρηστών το οποίο όμως δε θα μειώσει τα συνολικά έσοδα. Στο διάγραμμα η τιμή διοδίου που εξετάστηκε είναι μέχρι 15 ευρώ, απλά για να αναδειχθεί ότι το βέλτιστο διόδιο για Q_a είναι λίγο πάνω από 5 ευρώ, ενώ για όλες τις άλλες περιπτώσεις είναι το μέγιστο. Για μικρή ζήτηση, το βέλτιστο διόδιο είναι 3,27 ευρώ. Οποιαδήποτε τιμή μικρότερη δεν είναι βέλτιστη γιατί υπάρχουν ακόμη χρήστες που είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν μεγαλύτερη τιμή για τη χρήση της νέας οδού.



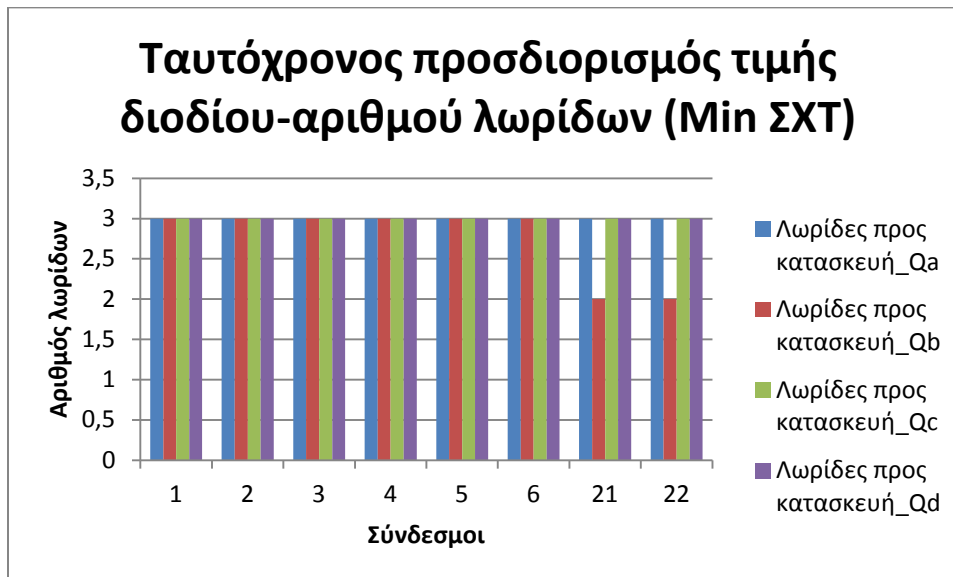
Διάγραμμα 22: Μεταβολή τιμής διοδίου συναρτήσει παραμέτρου β

Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται η επιρροή της παραμέτρου β στην βέλτιστη τιμή του διοδίου (για $\max B$, με σταθερές 3 λωρίδες/κατεύθυνση). Όπως γίνεται κατανοητό, μεγαλύτερη απόλυτη τιμή της παραμέτρου, δηλαδή μεγαλύτερη επιρροή της τιμής του διοδίου στη μείωση της χρησιμότητας της διαδρομής, σημαίνει ότι οι χρήστες είναι λιγότερο διατεθειμένοι να πληρώσουν διόδιο και προτιμούν να επωμιστούν μεγαλύτερο κόστος χρόνου. Σε μικρότερες τιμές ζήτησης (σενάριο Q_b) οι χρήστες έχουν ικανοποιητική εναλλακτική και κατά συνέπεια

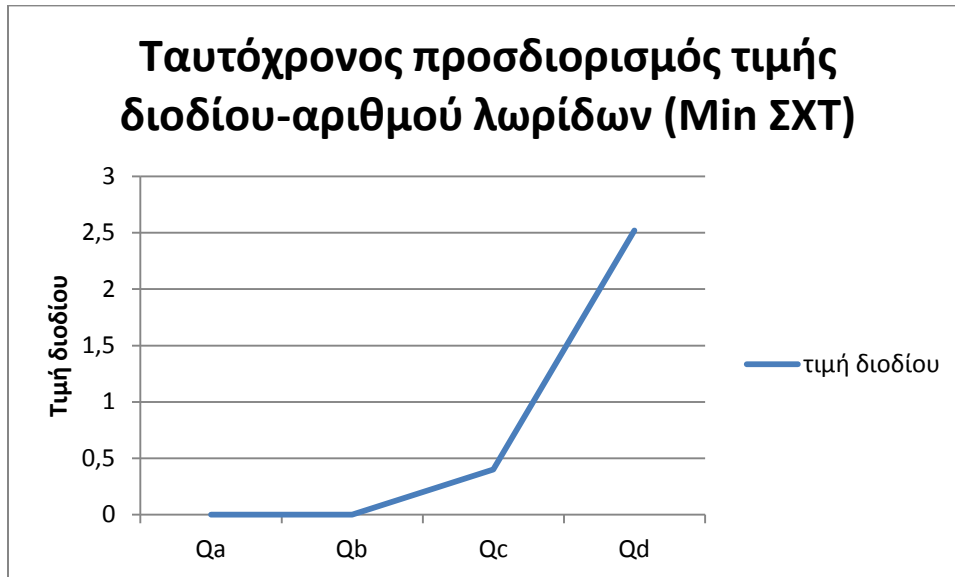
είναι λιγότερο διατεθειμένοι (ανεκτικοί) να πληρώσουν διόδια. Όσο αυξάνει η ζήτηση όμως, το κόστος χρόνου αυξάνει και σταθμίζεται με το κόστος διοδίου. Σε πολύ μεγάλες τιμές ζήτησης, όπου το κόστος χρόνου είναι πολύ μεγάλο οι χρήστες τείνουν να επηρεάζονται πιο πολύ από αυτό παρά από το αντίτιμο προς πληρωμή.

5.5.4 Σενάριο 3

Στο σενάριο αυτό επιχειρείται ο κοινός προσδιορισμός τιμής διοδίου και αριθμού λωρίδων προς κατασκευή. Για την ελαχιστοποίηση του ΣΧΤ ο αριθμός των λωρίδων προσδιορίστηκε ως 3/σύνδεσμο για κάθε μέγεθος ζήτησης εκτός από χαμηλή ζήτηση Q_b κατά την οποία η μόνη διαφορά είναι ότι για τους συνδέσμους 21 και 22 ο βέλτιστος αριθμός λωρίδων προσδιορίστηκε ως 2 λωρίδες/σύνδεσμο (η μια επιπλέον λωρίδα σε αυτούς τους συνδέσμους δεν επέφερε καμία αλλαγή στο ΣΧΤ). Η τιμή του διοδίου προσδιορίστηκε ως 0 για τα σενάρια Q_a και Q_b , ενώ για τα σενάρια Q_c και Q_d η τιμή προσδιορίστηκε ως 0,4 και 2,52 ευρώ αντιστοίχως.

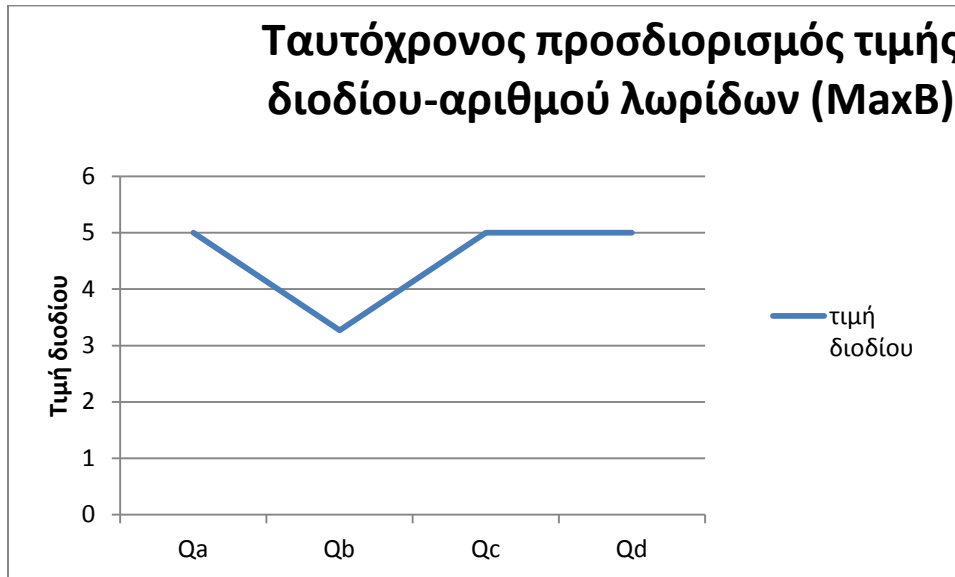


Διάγραμμα 23: Αριθμός λωρίδων προς κατασκευή για το σενάριο 3 (minΣΧΤ)



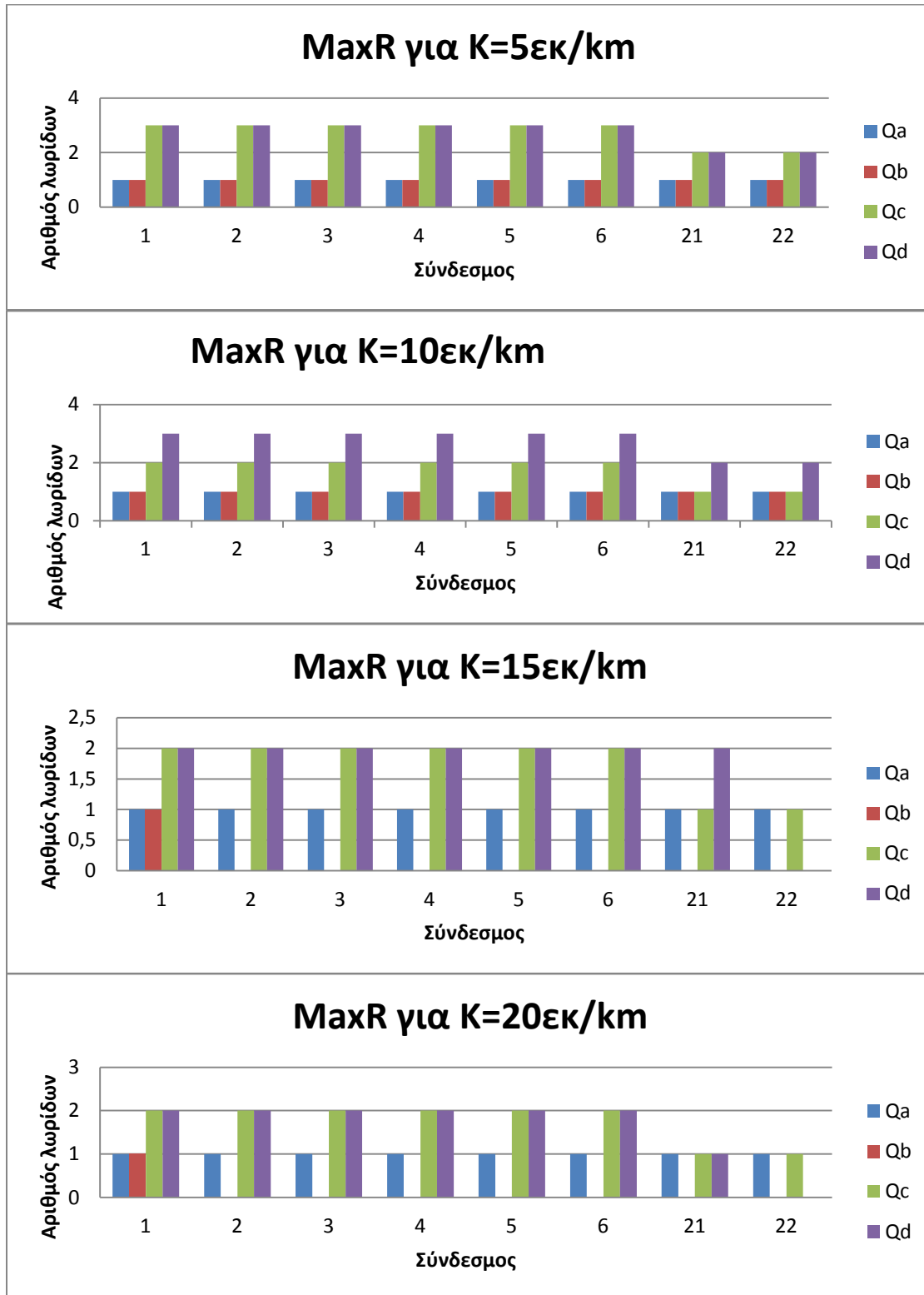
Διάγραμμα 24:Μεταβολή τιμής διοδίου για το σενάριο 3 (min ΣΧΤ)

Για την μεγιστοποίηση των εσόδων, το μοντέλο προσδιόρισε τον ίδιο αριθμό λωρίδων με αυτό της ελαχιστοποίησης του ΣΧΤ. Η τιμή διοδίου όμως πάλι διαφέρει. Οι τιμές και σε αυτό το σενάριο είναι ίδιες με αυτές που προσδιορίστηκαν και στο σενάριο 2. Η μόνη διαφορά λοιπόν του σεναρίου 3 με το σενάριο 2 είναι ότι δίνοντας τη δυνατότητα να προσδιοριστεί και ο αριθμός των λωρίδων παράλληλα με την τιμή διοδίου, παρατηρείται ανάγκη για λιγότερες λωρίδες άρα και κατασκευαστικά κόστη, γεγονός που δε θα διαφαινότανε στο σενάριο του a priori καθορισμένου αριθμού λωρίδων.



Διάγραμμα 25: Μεταβολή τιμής διοδίου για το σενάριο 3 (maxB)

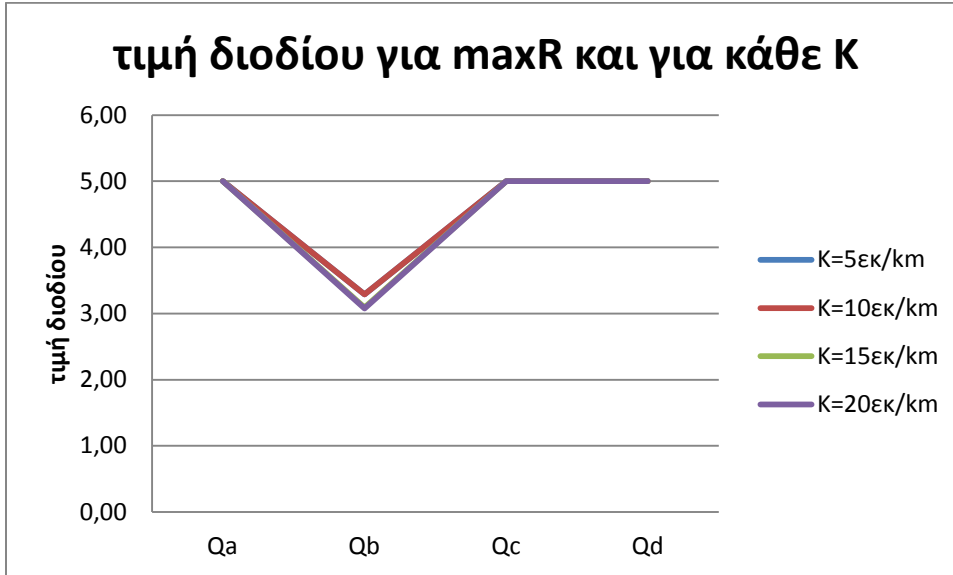
Στην περίπτωση της μεγιστοποίησης των κερδών τα αποτελέσματα για τον αριθμό των λωρίδων είναι μεικτά. Για μικρές περιπτώσεις ζήτησης (Q_a και Q_b) ο αριθμός είναι ο ίδιος με αυτόν που προσδιορίστηκε για το σενάριο 1. Για μεγαλύτερες ζητήσεις ο αριθμός αυξάνει λίγο, κυρίως για το σενάριο μεγάλη ζήτησης Q_d , αφού εκεί το δίκτυο είναι ήδη συμφορημένο τότε μεγαλύτερος αριθμός χρηστών προτίθεται να πληρώσει το διόδιο για να χρησιμοποιήσει την καλύτερη καινούργια οδό.



Διάγραμμα 26: Βέλτιστος αριθμός λωρίδων για maxR και κάθε K

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ**

Βεβαίως σε όλες αυτές τις περιπτώσεις το διόδιο είναι μεγαλύτερο από αυτό του σεναρίου 1, και στις 3 από τις 4 περιπτώσεις είναι το μέγιστο (μόνο στην περίπτωση μικρής ζήτησης, όπου το δίκτυο δεν είναι συμφορημένο και οι χρήστες έχουν κι άλλη καλή εναλλακτική, το διόδιο είναι μικρότερο).



Διάγραμμα 27: Τιμή διοδίων για maxR και κάθε K



Διάγραμμα 28: Σύγκριση τιμών διοδίου για Min ΣΧΤ και maxB (σενάριο 3)

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ**

Να σημειωθεί εδώ ότι η τιμή διοδίου για maxB και maxR είναι σχεδόν πανομοιότυπη (και για όλα τα σενάρια κόστους), γεγονός λογικό καθώς για να υπάρχουν μέγιστα κέρδη πρέπει να μεγιστοποιούνται και τα έσοδα.

5.5.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων

Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται οι διαφορές για τα μεγέθη των 3 στόχων που εξετάζονται ανάμεσα στα 3 σενάρια βελτιστοποίησης. Στο σενάριο του ΣΧΤ η σύγκριση γίνεται με το σενάριο βάσης, ενώ στο σενάριο των εσόδων και των κερδών η σύγκριση γίνεται με το σενάριο 1.

Πίνακας 6: Ποσοστιαία μεταβολή ΣΧΤ και Εσόδων ανάμεσα στα διάφορα σενάρια

		Q _a	Q _b	Q _c	Q _d
ΣΧΤ	Σενάριο 1	-72,12	-22,32	-97,94	-98,76
	Σενάριο 2	-77,55	-30,28	-97,99	-98,75
	Σενάριο 3	-77,55	-30,28	-97,99	-98,76
ΕΣΟΔΑ	Σενάριο 1	-	-	-	-
	Σενάριο 2	21,46	2,25	73,05	79,94
	Σενάριο 3	21,46	2,25	73,05	79,94

Πίνακας 7: Ποσοστιαία μεταβολή Κερδών ανάμεσα στα διάφορα σενάρια και τις διάφορες περιπτώσεις κόστους

		Q _a	Q _b	Q _c	Q _d
K=5εκ/km	Σενάριο 1	-	-	-	-
	Σενάριο 2	-3,41	-106,10	82,45	86,98
	Σενάριο 3	30,48	3,68	82,86	87,18
K=10εκ/km	Σενάριο 1	-	-	-	-
	Σενάριο 2	-48,51	-480,50	91,00	95,23
	Σενάριο 3	37,23	8,19	91,99	95,78
K=15εκ/km	Σενάριο 1	-	-	-	-
	Σενάριο 2	-119,29	-4880,48	94,67	98,45
	Σενάριο 3	47,84	2,42	99,80	99,41
K=20εκ/km	Σενάριο 1	-	-	-	-
	Σενάριο 2	-246,45	-12516,94	99,24	101,34
	Σενάριο 3	66,89	4,23	111,91	102,85

Πίνακας 8: Τιμές ΣΧΤ και Εσόδων για τα διάφορα σενάρια

		Q _a	Q _b	Q _c	Q _d
ΣΧΤ	Σενάριο Βάσης	5798,080565	847,74	430908,5208	2303387
	Σενάριο 1	1616	659	8875	28654

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

	Σενάριο 2	1301,522989	591,03	8661,23	28854,76
	Σενάριο 3	1301,522989	591,0342688	8647,30	28651,69
ΕΣΟΔΑ	Σενάριο 1	10845,15	4472,08	38880,61	55759,41
	Σενάριο 2	13172,64384	4572,668048	67283,81302	100333,782
	Σενάριο 3	13172,64384	4572,669777	67283,81	100333,782

Πίνακας 9: Τιμές Κερδών για τα διάφορα σενάρια και τις διάφορες περιπτώσεις κόστους

		Q _a	Q _b	Q _c	Q _d
K=5εκ/km	Σενάριο 1	8722,28	2876,76	34275,61	51119,93
	Σενάριο 2	8424,44	-175,54	62535,61	95585,58
	Σενάριο 3	11380,63	2982,75	62676,64	95686,09
K=10εκ/km	Σενάριο 1	7139,55	1294,03	30254,56	46528,43
	Σενάριο 2	3676,23	-4923,74	57787,40	90837,37
	Σενάριο 3	9797,90	1400,02	58085,14	91094,59
K=15εκ/km	Σενάριο 1	5556,81	202,32	27245,79	43379,94
	Σενάριο 2	-1071,97	-9671,95	53039,20	86089,17
	Σενάριο 3	8215,16	207,23	54438,35	86503,09
K=20εκ/km	Σενάριο 1	3974,08	116,13	24237,03	40400,04
	Σενάριο 2	-5820,18	-14420,15	48290,99	81340,96
	Σενάριο 3	6632,43	121,04	51360,75	81952,58

Παρατηρείται ότι το έργο θα έχει θετικά αποτελέσματα στο ΣΧΤ, καθώς για κάθε σενάριο ο τελικός ΣΧΤ είναι μικρότερος του αντίστοιχου στο σενάριο βάσης. Στην περίπτωση της πραγματικής ζήτησης, η βελτίωση είναι της τάξης του 70-80%, η οποία εκπεφρασμένη σε οχηματοώρες ανέρχεται σε 4182 ή 4182*6 ευρώ/h=25092 ευρώ. Η διαφορά για τα υπόλοιπα σενάρια είναι ακόμα μεγαλύτερη. **Γίνεται κατανοητό λοιπόν ότι το έργο θα επιφέρει μεγάλες ωφέλειες σε μονάδες χρόνου.** Συγκρίνοντας τις 3 περιπτώσεις βέλτιστου σχεδιασμού μεταξύ τους, τα σενάρια 2 και 3 έχουν τα ίδια αποτελέσματα σε μονάδες οχηματο-χιλιομέτρων ή ποσοστών βελτιώσεων, παρόλα αυτά στο σενάριο 3 για ζήτηση Q_b υπολογίστηκε 1 λιγότερη λωρίδα στους συνδέσμους 21 και 22, γεγονός που σημαίνει μείωση στο κατασκευαστικό κόστος.

Για το στόχο της μεγιστοποίησης των εσόδων, τα σενάρια 2 και 3 συμπίπτουν σε απόλυτες μονάδες. Όμως στο σενάριο 3, για ζήτηση Q_b, κατασκευάζονται 2 αντί για 3 λωρίδες στους συνδέσμους 21 και 22, με αποτέλεσμα τη μείωση του κατασκευαστικού κόστους, κάτι το οποίο δεν ήταν δυνατό στην σενάριο 2 όπου ο αριθμός των λωρίδων είναι προκαθορισμένος.

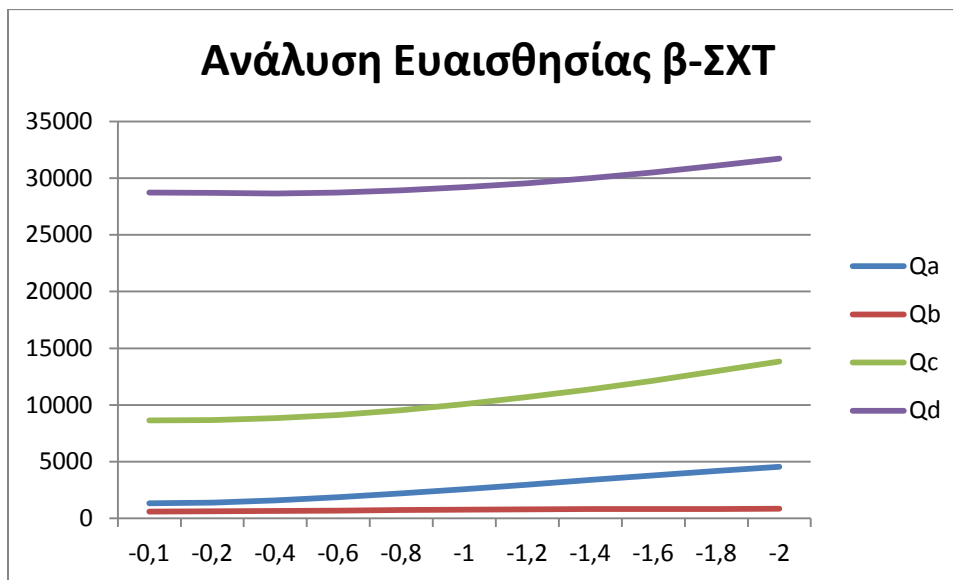
Για το στόχο της μεγιστοποίησης των κερδών τα μεγαλύτερα οφέλη πάλι βρίσκονται με τον κοινό προσδιορισμό τιμής διοδίου και αριθμού λωρίδων κυκλοφορίας, καθώς για κάθε περίπτωση κόστους και κάθε μέγεθος ζήτησης υπάρχει βελτίωση συγκριτικά με το σενάριο 1 αλλά και με το σενάριο 2. Ειδικά για μικρές τιμές ζήτησης και για τα σενάρια όπου το διόδιο ή ο αριθμός λωρίδων είναι προκαθορισμένος, φτάνουμε να έχουμε μέχρι και ζημιές. Επίσης τα

κέρδη και η ζημιές μεγαλώνουν ανάλογα με το κόστος ανά χιλιόμετρο της οδού (και απόλυτα αλλά και το συγκριτικό τους μέγεθος). Γίνεται λοιπόν κατανοητό ότι ο πάροχος του έργου οφείλει να κατανοήσει και να προσδιορίσει πλήρως τα μεγέθη της ζήτησης και του κατασκευαστικού κόστους πριν προχωρήσει στην κατασκευή του και τιμολόγηση της χρήσης.

5.5.6 Ανάλυση ευαισθησίας των αποτελεσμάτων στην παράμετρο β του γενικευμένου κόστους

Λόγω ελλείψεως ακριβών μετρήσεων για τη συμπεριφορά των χρηστών απέναντι στην τιμή του διοδίου γίνεται εδώ μια ανάλυση ευαισθησίας των αποτελεσμάτων του ΣΧΤ στο δίκτυο σε σχέση με την τιμή που μπορεί να πάρει η παράμετρος αυτή και για κάθε εναλλακτικό σενάριο ζήτησης.

Τα αποτελέσματα από την ανάλυση αυτή φαίνονται στο Διάγραμμα 29.



Διάγραμμα 29: Ανάλυση ευαισθησίας των αποτελεσμάτων για ΣΧΤ στην τιμή της παραμέτρου β

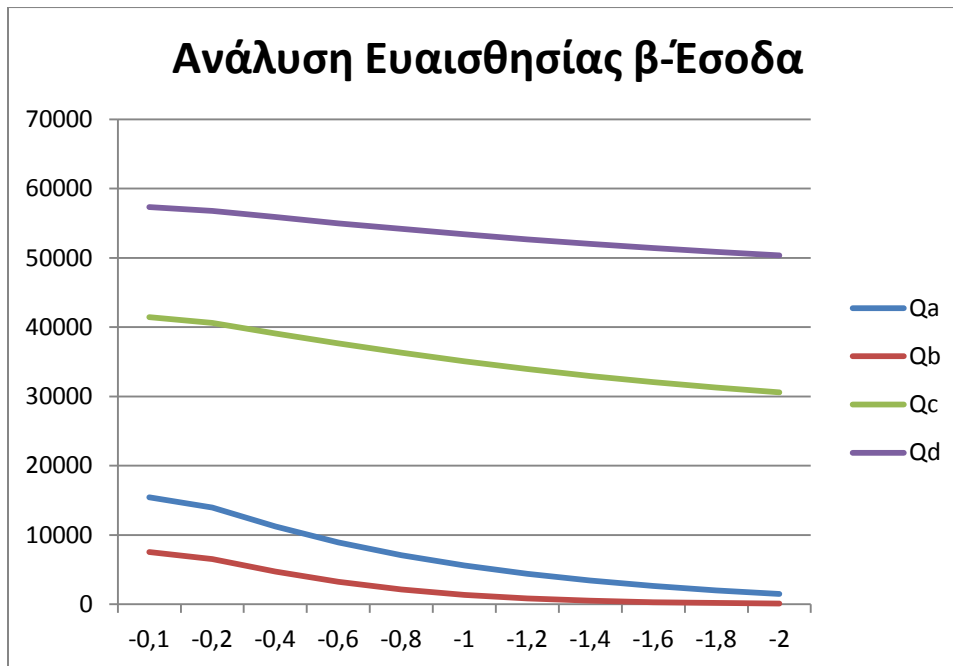
Γίνεται διακριτό ότι σε μικρότερες τιμές ζήτησης η παράμετρος δεν επηρεάζει τόσο πολύ, καθώς οι χρήστες μπορούν πιο εύκολα να επιλέξουν το υπάρχον δίκτυο, μιας και δεν είναι τόσο συμφορημένο. Αντίστοιχα, σε μεγάλες τιμές ζήτησης (σενάριο Q_d) που οι χρήστες δεν έχουν επιλογή, μιας και όλο το δίκτυο είναι συμφορημένο, πάλι η επιρροή δεν είναι πολύ μεγάλη (αύξηση 10,4%, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 10). Τη μεγαλύτερη επιρροή τη βλέπουμε για ζήτηση Q_a (υπάρχουσα ζήτηση-ζήτηση μεσαίου μεγέθους), όπου οι επιλογές των χρηστών

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ**

έχουν μεγαλύτερο αντίκτυπο μιας και το δίκτυο είναι στα όρια της συμφόρησης. Μεγάλη απόλυτη τιμή της παραμέτρου οδηγεί τους χρήστες να επιλέξουν το υπάρχον δίκτυο, οδηγώντας το στη συμφόρηση. Παρόλα αυτά η καθυστέρηση λόγω συμφόρησης που αντιμετωπίζουν δεν αντισταθμίζεται από τα οφέλη που θα είχαν αν χρησιμοποιούσαν τη νέα οδό πληρώνοντας όμως το αντίτιμο. Η περίπτωση ζήτησης Q_c δείχνει κι αυτή να επηρεάζεται σημαντικά αλλά όχι τόσο όσο η ζήτηση Q_a μιας και το μέγεθος της ζήτησης είναι αρκετά μεγάλο ώστε να τείνει στη συμπεριφορά που παρατηρείται για ζήτηση Q_d (μεγάλη ζήτηση-ήδη συμφορημένο δίκτυο).

Πίνακας 10: Ποσοστιαία διαφορά ΣΧΤ για τη μέγιστη κι ελάχιστη τιμή της παραμέτρου β

	Q_a	Q_b	Q_c	Q_d
Ποσοστιαία διαφορά ΣΧΤ για τιμές -2 και -0,1	241,6	39,4	60,0	10,4



	Q_a	Q_b	Q_c	Q_d
Ποσοστιαία διαφορά Εσόδων για τιμές -2 και -0,1	-90,5	-98,6	-26,2	-12,2

Για το στόχο της μεγιστοποίησης των εσόδων η επιρροή της παραμέτρου β είναι πιο αισθητή σε μικρή ζήτηση. Στο σενάριο Q_b η αύξηση της παραμέτρου επιφέρει μείωση εσόδων που

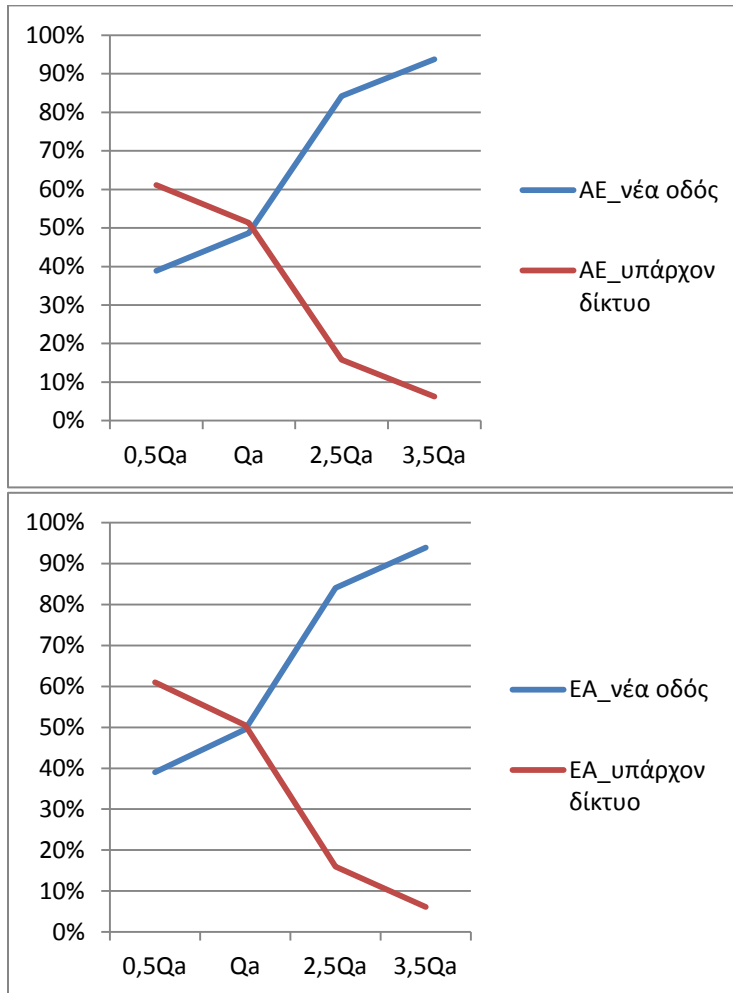
αγγίζουν το 100%. Αυτό συμβαίνει γιατί σε τόσο μικρή ζήτηση οι χρήστες μπορούν να επιλέξουν εύκολα να αλλάξουν διαδρομή μιας και το δίκτυο δεν είναι συμφορημένο. Με την αύξηση όμως της ζήτησης οι χρήστες αρχίζουν να μην έχουν επιλογή και δεν μπορούν εύκολα να αλλάξουν διαδρομή, ακόμη κι αν η επιρροή του διοδίου είναι πιο αισθητή (αύξηση του β) με αποτέλεσμα μεγάλους φόρτους στη νέα οδό και άρα περισσότερα έσοδα.

5.5.7 Ανάλυση της συμπεριφοράς των χρηστών κατά την επιλογή διαδρομής

Η πολιτική τιμολόγησης για τη νέα οδό που εξετάζεται είναι παρόμοια με αυτή της Αττικής Οδού, δηλαδή σταθερή τιμή διοδίου, πληρωτέα κάθε φορά που ο αυτοκινητιστής εισέρχεται στην οδό, ανεξάρτητα από το σημείο εισόδου ή εξόδου του. Η πολιτική αυτή έχει χρησιμοποιηθεί στην Αττική οδό με σκοπό να αποθαρρύνεται η είσοδος στην οδό για μικρές μετακινήσεις και να ενθαρρύνεται η χρήση για μεγαλύτερες διαδρομές.

Τα αποτελέσματα αυτής της διπλωματικής επιβεβαιώνουν αυτή την πολιτική, όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα παρακάτω. Για την ανάλυση έχουν επιλεγεί 3 χαρακτηριστικά ζεύγη Προέλευσης-Προορισμού, το ζεύγος ΑΕ-ΕΑ για κινήσεις από τα νότια προάστια στα βόρεια και τα ζεύγη ΒD-DB και CD-DC για κινήσεις σε ενδιάμεσες ζώνες.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ



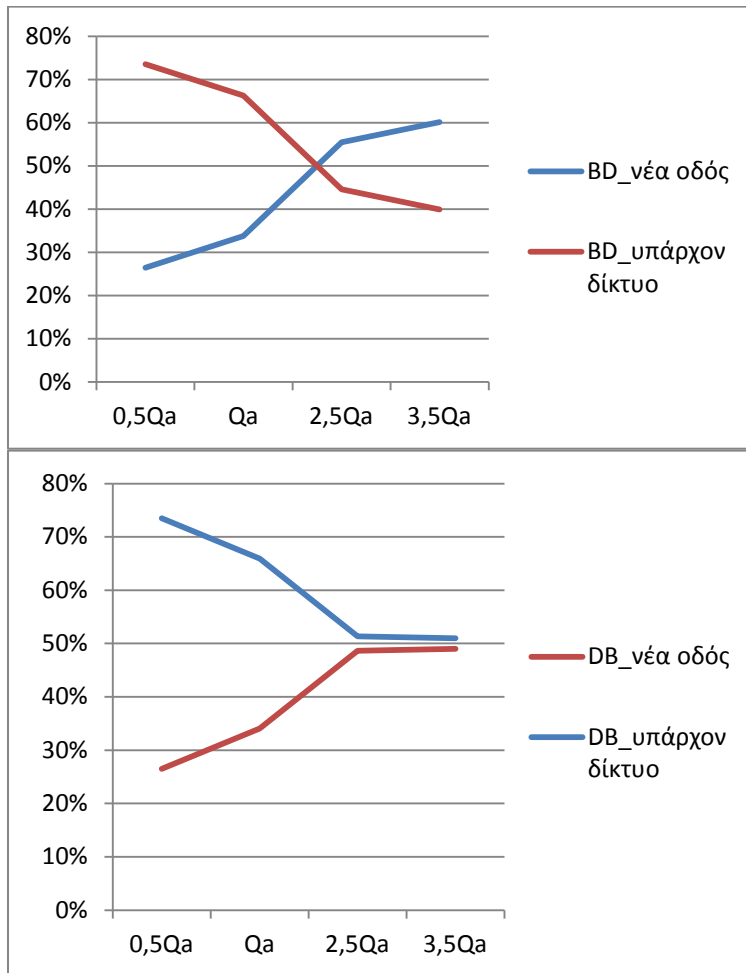
Διάγραμμα 30: Ποσοστά ζήτησης για κάθε εναλλακτική διαδρομή για τα ζεύγη AE-EA και για κάθε σενάριο ζήτησης

Στο Διάγραμμα 30 φαίνονται η ποσοστιαία κατανομή της ζήτησης μεταξύ των ζευγών Προέλευσης-Προορισμού AE και EA. Για μικρή ζήτηση (σενάριο $Q_b=0,5Q_a$) περισσότεροι χρήστες προτιμούν να χρησιμοποιήσουν το υπάρχον δίκτυο, μιας και δεν είναι πλήρως συμφορημένο ακόμη. Καθώς αυξάνει η ζήτηση όμως και επέρχεται κυκλοφοριακή συμφόρηση οι χρήστες αλλάζουν την επιλογή τους και προτιμούν τη νέα οδό που έχει μεγαλύτερη κυκλοφοριακή ικανότητα.

Τα Διάγραμμα 31 και Διάγραμμα 32 αφορούν κινήσεις σε ενδιάμεσα ζεύγη Προέλευσης-Προορισμού (BD-DB και CD-DC αντίστοιχα). Στην σενάριο των BD-DB απαιτείται μεγαλύτερη ζήτηση (και κατά συνέπεια μεγαλύτεροι φόρτοι) για να επιλέξουν οι χρήστες να πληρώσουν το διόδιο στη νέα οδό. Στο ζεύγος δε CD-DC, το οποίο ενώνει 2 συνεχόμενες περιοχές, οι χρήστες δεν είναι διαθέσιμοι να πληρώσουν το αντίτιμο για τόσο μικρή διαδρομή.

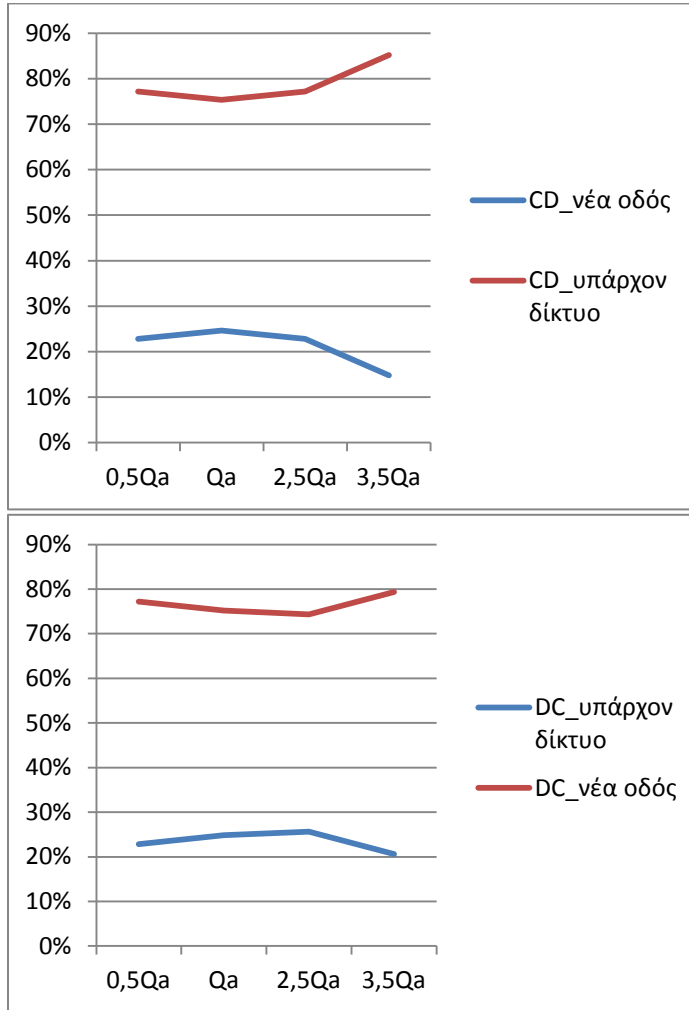
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

Από όλα τα διαγράμματα όμως γίνεται κατανοητό ότι όσο μεγαλώνει η ζήτηση και άρα η συμφόρηση στο δίκτυο οι χρήστες τείνουν να χρησιμοποιούν τη νέα οδό κι ας πρέπει να πληρώσουν κάποιο αντίτιμο για τη χρήση της.



Διάγραμμα 31: Ποσοστά ζήτησης για κάθε εναλλακτική διαδρομή για τα ζεύγη BD-DB και για κάθε σενάριο ζήτησης

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ



Διάγραμμα 32: Ποσοστά ζήτησης για κάθε εναλλακτική διαδρομή για τα ζεύγη CD-DC και για κάθε σενάριο ζήτησης

6. Συμπεράσματα –Προτάσεις

6.1.Συμπεράσματα

Στην διπλωματική εργασία αυτή διερευνήθηκε ο βέλτιστος σχεδιασμός οδικών παρεμβάσεων με εφαρμογή στην επέκταση της περιφερειακής Υμηττού, μέσω της κατασκευής ενός μοντέλου κατανομής των χρηστών στο δίκτυο (επιλογής διαδρομής). Από τη διερεύνηση 3 διαφορετικών σεναρίων βέλτιστου σχεδιασμού, για 4 διαφορετικά μεγέθη ζήτησης, 4 περιπτώσεις κατασκευαστικού κόστους και με 3 διαφορετικούς στόχους προς βελτιστοποίηση μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

Στην περίπτωση μικρής ζήτησης Q_b το υπάρχον δίκτυο είναι επαρκές. Στην περίπτωση της υπάρχουσας ζήτησης Q_a υπάρχουν μεικτά συμπεράσματα. Το δίκτυο βρίσκεται κοντά στην χωρητικότητα του στους συνδέσμους 9-10-11-12 (μεσαίο τμήμα), ενώ στους συνδέσμους 7-8 και 19-20 δεν αντιμετωπίζει πρόβλημα. Για τις περιπτώσεις Q_c και Q_d , μεσαίας και μεγάλης ζήτησης αντίστοιχα, είναι προφανές ότι το δίκτυο δεν επαρκεί και γίνεται έντονη η ανάγκη λήψης μέτρων κυκλοφοριακής διαχείρισης ή/και προσφοράς επιπλέον κυκλοφοριακής ικανότητας, όπως και γίνεται με την κατασκευή του νέου οδικού άξονα.

Οι τιμές των διοδίων για τους 2 στόχους που έχουν τεθεί διαφέρουν σημαντικά. Παραδείγματος χάριν στο σενάριο 2, η βέλτιστη τιμή για την ελαχιστοποίηση του ΣΧΤ για μεγάλη ζήτηση Q_d είναι 2,52 ευρώ ενώ για μεγιστοποίηση των εσόδων είναι 5 ευρώ. Γίνεται έτσι προφανές αυτό που αναφέρθηκε και νωρίτερα στη διπλωματική αυτή εργασία, ότι δεν υπάρχει «σωστή τιμή» γενικά κι αόριστα, αλλά σωστή τιμή για συγκεκριμένο στόχο.

Η τιμή του διοδίου, εκτός από το ότι εξαρτάται από το στόχο, εξαρτάται επίσης και από τα μεγέθη της μεταφορικής ζήτησης.

Η επιρροή της παραμέτρου β στην βέλτιστη τιμή του διοδίου (για $\max B$, με σταθερές 3 λωρίδες/κατεύθυνση) είναι γίνεται μικρότερη όσο αυξάνει η ζήτηση, καθώς το κόστος χρόνου αυξάνει και σταθμίζεται με το κόστος διοδίου. Σε πολύ μεγάλες τιμές ζήτησης, όπου το κόστος χρόνου είναι πολύ μεγάλο οι χρήστες τείνουν να επηρεάζονται πιο πολύ από αυτό παρά από το αντίτιμο προς πληρωμή.

Παρατηρείται ότι το έργο θα έχει θετικά αποτελέσματα στο ΣΧΤ, καθώς για κάθε σενάριο ο τελικός ΣΧΤ είναι μικρότερος του αντίστοιχου στην σενάριο βάσης. Στην περίπτωση της πραγματικής ζήτησης, η βελτίωση είναι της τάξης του 70-80%, η οποία εκπεφρασμένη σε οχηματο-ώρες ανέρχεται σε 4182 ή $4182*6$ ευρώ/ώρα=25092 ευρώ. Η διαφορά για τις υπόλοιπες περίπτωσης ζήτησης είναι ακόμα μεγαλύτερη.

Τα καλύτερα συμπεράσματα αποκομίσθηκαν από τη συνδυασμένη βελτιστοποίηση ως προς των αριθμό λωρίδων και την τιμή διοδίου. Παρόλο που για ελαχιστοποίηση του ΣΧΤ ήταν τα

ίδια σε απόλυτες μονάδες, στο σενάριο 3 παρατηρείται η ανάγκη για λιγότερες λωρίδες άρα και κατασκευαστικά κόστη, γεγονός που δε θα διαφαινότανε στην σενάριο του a priori καθορισμένου αριθμού λωρίδων (σενάριο 2). Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει και για την μεγιστοποίηση των εσόδων και για τη μεγιστοποίηση των κερδών, όπου παρατηρούμε ότι στα σενάρια 1 και 2 μπορεί να φτάσουμε να έχουμε μέχρι και ζημιές.

Τα κέρδη και οι ζημιές μεγαλώνουν ανάλογα με το κόστος ανά χιλιόμετρο της οδού (και απόλυτα αλλά και το συγκριτικό τους μέγεθος). Γίνεται λοιπόν κατανοητό ότι ο πάροχος του έργου οφείλει να κατανοήσει και να προσδιορίσει πλήρως τα μεγέθη της ζήτησης και του κατασκευαστικού κόστους πριν προχωρήσει στην κατασκευή του και τιμολόγηση της χρήσης.

Από την ανάλυση της συμπεριφοράς των χρηστών επιβεβαιώνεται ότι η χρήση σταθερής τιμής διοδίου αποθαρρύνει τις μικρές μετακινήσεις (στο μοντέλο εδώ μεταξύ συνεχόμενων κόμβων) ενώ ενθαρρύνεται η χρήση της οδού για διαμπερείς κινήσεις (Αλιμος- Βόρεια Προάστια).

6.2.Προτάσεις

Προτείνεται η διερεύνηση του πλαισίου βέλτιστου σχεδιασμού με δυναμικά μοντέλα που λαμβάνουν υπόψη της χρονικές διακυμάνσεις της ζήτησης μέσα στην ώρα αιχμής, καθώς το μοντέλο αυτής της εργασίας είναι στατικό.

Προτείνεται ακόμη η διερεύνηση του δυναμικού βέλτιστου σχεδιασμού, δηλαδή της κατανομής των κοστών και ωφελειών σε περισσότερους από 1 χρονικούς ορίζοντες, ώστε να διερευνηθεί και η διαχρονική αξία του χρήματος.

Η εξίσωση της χρησιμότητας έχει διερευνηθεί ως γραμμική και περιλαμβάνει 2 συνιστώσες κόστους, το κόστος χρόνου και το κόστος του αντιτίμου της τιμολόγησης. Για μια πλήρη και ορθή επίλυση κι εντέλει κατασκευή του έργου πρέπει να διερευνηθεί και να προσδιορισθεί η κατάλληλη εξίσωση χρησιμότητας, η οποία θα προσδιορισθεί μέσω συνεντεύξεων και επιτόπιων μετρήσεων, μιας και όπως αποδείχθηκε από την παρούσα διπλωματική εργασία μπορεί να έχουν σημαντική επιρροή.

Η ζήτηση για μετακινήσεις έχει ληφθεί ως σταθερή. Θα πρέπει όμως να γίνει και διερεύνηση με ελαστική ζήτηση, ώστε να εξετασθεί και το μέγεθος της ζήτησης που θα προκληθεί λόγω της βελτίωσης του οδικού δικτύου της περιοχής. Ακόμη να εξετασθεί και η επιρροή των ΜΜΜ στους φόρτους των συνδέσμων, καθώς και να γίνει επέκταση του μοντέλου σε πολλές κλάσεις χρηστών.

Είναι επίσης ανάγκη να προσδιοριστούν λεπτομερώς και με σαφήνεια τα κόστη κατασκευής και συντήρησης της οδού. Μιας και το έργο σχεδιάζεται να κατασκευαστεί με τη μέθοδο της παραχώρησης, οφείλει ο ιδιώτης αλλά και το δημόσιο να είναι πλήρως ενημερωμένοι για τα

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

όποια κόστη προκύψουν, διότι επηρεάζουν άμεσα το σχεδιασμό της οδού (προσδιορισμός του βέλτιστου αριθμού λωρίδων), αλλά και το ύψος της τιμολόγησης. Τα 2 αυτά στοιχεία μπορούν να επηρεάσουν πολλούς στόχους, είτε του δημοσίου (ελαχιστοποίηση του Συνολικού Χρόνου Ταξιδιού) αλλά και του ιδιωτικού τομέα (μεγιστοποίηση κερδών).

Βιβλιογραφία

Ξένη Βιβλιογραφία

Abdulaa, M., LeBlanc, L.J., 1979. Continuous Equilibrium Network Design Models. *Transportation Research B* 13, 19-32

Button, K. J., 1993. *Transport economics*, 2nd Edition. Elgar.

Dimitriou, L., T. Tsekeris, and A. Stathopoulos, 2009. Joint Pricing and Design of Urban Highways with Spatial and User Group Heterogeneity. *NETNOMICS, Economic Research and Electronic Networking*, Springer US, Vol. 10, No (1), pp. 141-160

Dimitriou, L. and T. Tsekeris, 2009. Fixed and Variable Toll Pricing in Road Networks with Direct Search Metaheuristics, in M.J. Geiger et al. (eds.), *Metaheuristics in the Service Industry*, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 624, Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Dissayanake, D. and S. Kouli, 2007. Intercity Route Choice Stated Preference Model to Investigate Driver Response to Road Pricing, TRB 2007 Annual Meeting.

EC, 2001. *European Transport Policy for 2010: Time to Decide*, White Paper.

EC, 1995. *Towards fair and efficient pricing in transport*. Green Paper [COM (95). 691 final], Brussels

EC, 2005. *Trans-European Transport Network: TEN-T Priority Axes and Projects 2005*.

Fisk, C.S., 1984. Game theory and transportation systems modeling. *Transportation Research B* 18, 301-313.

Friesz, T.L., Anandalingham, A., Mehta, N.J., Nam, K., Shah, S.J., Tobin, R.L., 1993. The multiobjective equilibrium network design problem revisited: a simulated annealing approach. *European Journal of Operational Research* 65, 44-57.

Gao, Z.Y., Song, Y.F., 2002. A reserve capacity model of optimal signal control with user-equilibrium route choice. *Transportation Research* 36B, 313–323.

Gao, Z., Wu, J., Sun, H., 2005. Solution algorithm for the bi-level discrete network design problem. *Transportation Research B* 39, 479-495

Hollander, Y., and J.N. Prashker, 2006. The applicability of non-cooperative game theory in transport systems analysis. *Transportation*, 33, pp.481–496

LeBlanc, L., and Boyce, D. E. (1986). "A bi-level programming for exact solution of the network design problem with user-optimal flows." *Transportation Research*, 20B(3), 259–265.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

- Link, H. and Stewart-Ladewig, L., 2005. Basic road pricing solutions, in Interurban road charging for trucks in Europe, Research in Transportation Economics, Volume 11, Pages 9-26
- Los, M. and C. Lardinois, 1980. Combinatorial Programming, Statistical optimization and the optimal transportation network problem. Transportation Research B 16, 89-124.
- McDonald, J. F., 2004. Road Pricing in Practice and in Theory, Review of Network Economics, Vol.3, Issue 4.
- Meng, Q. and Yang, H., 2002. Benefit Distribution and Equity in Road Network Design, Transportation Research Part B 36, 19-35.
- OECD/ITF, 2008. Transport Infrastructure Investment: Options For Efficiency
- Poorzahedy, H., Turnquist, M.A., 1982. Approximate algorithms for the discrete network design problem. Transportation Research 16B, 45-55
- Sheffi, Y., 1985. Urban Transportation Networks: Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods, Prentice-Hall.
- Shepherd, S. P. and Sumalee, A. (2004) A genetic algorithm based approach to optimal toll level and location problem. *Networks and Spatial Economics*, 4 (2), 161-179
- Ubbels, B., 2002. The Economics of Transport Pricing, NWO/Connekt VEV project on "A Multidisciplinary Study of Pricing Policies in Transport - An Economic Perspective"; nr. 014-34-351
- Verhoef, E. And Rouwendal, J., 2004. Pricing, Capacity Choice and Financing In Transportation Networks, Journal of Regional Science, Vol. 44, No. 3, Pp. 405-435.
- Xu, T., Wei, H., Hu, G., 2009. Study on Continuous Network Design Problem Using Simulated Annealing and Genetic Algorithm, Expert Systems with Applications 36, 1322-1328.
- Yang, H., Bell, M.G.H., 1997. Traffic restraint, road pricing and network equilibrium. Transportation Research B 31, 303-314
- Yang H. and Lam W. H. K. (1996) Optimal road tolls under conditions of queuing and congestion. *Transportation Research*, 30A, 319-332.
- Yang, H. and Meng, Q. (2000) Highway pricing and capacity choice in a road network under a Build-Operate-Transfer scheme. *Transportation Research Part A*, 34 (3), 207-222.
- Yang, H., Zhang, X., 2002: Multiclass Network Toll Design Problem with Social and Spatial Equity Constraints. *J. Transportation Engineering* 128, 420-428.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΑ ΟΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΕΚΤΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΥΜΗΤΤΟΥ

Yin, Y. (2000) Genetic-algorithms-based approach for bilevel programming models. *Journal of Transportation Engineering*, 126 (2), 115-120

http://en.wikipedia.org/wiki/Oresund_Bridge#Costs

http://en.wikipedia.org/wiki/Channel_Tunnel

Facts Worth Knowing About The *Oresund* Bridge, 2008, *uk.oresundsbron.com/download/120*

Ελληνική Βιβλιογραφία

Α. Καλτσούνης. Συμπράξεις Δημοσίου και Ιδιωτικού Τομέα στην Κατασκευή Οδικών Έργων, Θεωρητικές Αρχές και Μεθοδολογικές Οδηγίες. Τεχνικά Χρονικά, Ιούλιος-Αυγούστος 2007.

Ι.Χ. Καρακαϊδίου, Η διαχείριση της λειτουργίας & συντήρησης αυτοκινητοδρόμων με εξωτερικούς συνεργάτες, 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας, Βόλος, 18-20 Μαΐου 2005

ΟΑΣΑ ΑΕ, Γενική Διεύθυνση Συγκοινωνιακού Έργου. Μελέτη Προέλευσης-Προορισμού Μετακινήσεων, ΤΟ3.1(Α), Ιούνιος 2007.

Πόρισμα Ο.Ε. με θέμα: «ΣΥΓΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΟΥΜΕΝΑ ΕΡΓΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΣΥΜΒΑΣΕΙΣ ΠΑΡΑΧΩΡΗΣΗΣ», Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος/Τμήμα Ανατολικής Κρήτης, Αριθ. Πρωτ. 1036

Γ. Σάρλας, Μελέτη Επιπτώσεων Επιβολής Αστικών Διοδίων στο Οδικό Δίκτυο της Αθήνας με Χρήση Δυναμικού Μοντέλου Προσομοίωσης, Αθήνα, Νοέμβριος 2009, ΕΜΠ.

Α. Σταθόπουλος, Μ. Καρλαύτης. Σχεδιασμός Μεταφορικών Συστημάτων. Αθήνα 2008, Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Τσαμπούλας Δ. «Στοιχεία για την Αξιολόγηση συγκοινωνιακών έργων Υποδομής» , Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2004.

Τσαμπούλας Δ., Πολίτου Δ., Πάνου Κ., «Συγκριτική Παρουσίαση Τρόπων Συμμετοχής Ιδιωτών Επενδυτών Σε Συγκοινωνιακά Έργα Στην Ελλάδα. Δημιουργία Μαθηματικού Προτύπου Εκτίμησης Της Επιχειρηματικής Ελκυστικότητας Επένδυσης», Τεχνικά Χρονικά, Επιστημονικές Εκδόσεις ΤΕΕ, Ι, Τεύχος 1. 2000

<http://www.ametro.gr/page/>

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

<http://www.egnatia.eu/page/>

www.gefyra.gr