



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ
ΠΕΖΟΔΡΟΜΩΝ**

ΤΣΕΛΙΟΥ ΜΑΡΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΕΠΑΠΤΣΟΓΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2018



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING

DEPARTMENT OF INFRASTRUCTURE AND RURAL DEVELOPMENT

LABORATORY OF TRANSPORTATION ENGINEERING

**MODEL DEVELOPMENT FOR BEST SELECTION OF
PEDESTRIANIZATION LOCATIONS**

TSELIOU MARIA

SUPERVISOR: KEPAPTSOGLOY KONSTANTINOS

ASSISTANT PROFESSOR NTUA

ATHENS, FEBRUARY 2018

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια των Προπτυχιακών Σπουδών στη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, του Τομέα Συγκοινωνιακής Τεχνικής, υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κ. Κωνσταντίνου Κεραπτσόγλου. Θα ήθελα πρωτίστως, να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Κωνσταντίνο Κεραπτσόγλου, Επίκουρο Καθηγητή του Τομέα Έργων Υποδομής και Αγροτικής Ανάπτυξης ΕΜΠ, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα αντικείμενο που ανταποκρίνεται απολύτως στα επιστημονικά μου ενδιαφέροντα, καθώς και για την καθοδήγηση και την αμέριστη βοήθεια που μου παρείχε. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τους υπόλοιπους καθηγητές της σχολής για τις πολύτιμες γνώσεις που μου προσέφεραν και κυρίως τους καθηγητές του Τομέα Έργων Υποδομής και Αγροτικής Ανάπτυξης.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω προς την οικογένεια μου και κυρίως τους γονείς μου για την διαχρονική συμπαράστασή τους, αλλά και όλους μου τους φίλους και συμφοιτητές που με στήριξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και συνέβαλαν με τις γνώσεις τους στην αντιμετώπιση δυσκολιών.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την υποψήφια διδάκτορα της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ, Δις Χριστίνα Ηλιουπούλου που στάθηκε καταλυτικός αρωγός στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ένταξη πεζοδρόμων στις αστικές περιοχές αποτελεί το πρώτο βήμα επανασχεδιασμού και αναδιοργάνωσης τους. Η χωροθέτηση πεζοδρόμων στις κεντρικές οδούς των περιοχών μπορεί να επιφέρει σημαντική βελτίωση στην υφιστάμενη κυκλοφοριακή κατάσταση. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός του μέγιστου μήκους του δικτύου που μπορεί να πεζοδρομηθεί, με όσο το δυνατόν λιγότερο κόστος. Πιο αναλυτικά, αναπτύσσεται ένα μοντέλο, το οποίο λαμβάνοντας υπόψη τη μείωση της χωρητικότητας των συνδέσμων που επιφέρει η πεζοδρόμηση, επιλέγει εκείνες τις οδούς που κρίνεται κατάλληλη η πεζοδρόμηση. Επιπλέον, καθορίζεται το είδος πεζοδρόμησης της κάθε οδού, ανάμεσα στην μερική ή την ολική πεζοδρόμηση. Το πρόβλημα διαμορφώνεται ως ένα διεπίπεδο πρόβλημα βελτιστοποίησης. Στο ανώτερο επίπεδο επιλύεται το ακέραιο πρόβλημα προσδιορισμού του συνολικού μήκους πεζοδρόμησης, ενώ στο κατώτερο πρόβλημα επιλύεται ο αλγόριθμος Frank-Wolfe και υπολογίζεται το συνολικό κόστος του δικτύου. Η βέλτιστη λύση του προβλήματος επιτυγχάνεται όταν η διαφορά του μήκους πεζοδρόμησης και του συνολικού κόστους είναι η μέγιστη. Για την εφαρμογή του μοντέλου χρησιμοποιούνται το πρόγραμμα Excel, ο γενετικός αλγόριθμος του λογισμικού xLOptimizer και η γλώσσα προγραμματισμού Python.

Λέξεις - κλειδιά: Πεζοδρόμηση, Κυκλοφοριακή ικανότητα, Ολική και Μερική πεζοδρόμηση, Διεπίπεδο πρόβλημα βελτιστοποίησης, Αλγόριθμος Frank – Wolfe, Γενετικός αλγόριθμος.

ABSTRACT

The implementation of pedestrianization schemes is one of the first steps towards the reshaping urban region towards. Typically, individual streets are selected for pedestrianization on an ad-hoc basis, while minimum attention has been paid to considering pedestrianization at the network layer. The aim of this thesis is the determination of the maximum total link length of the network which can be pedestrianized at a minimum user cost. In particular, taking into account the link capacity reduction caused by pedestrianization, the model selects the road links that meet the physical and operational requirements for pedestrianization. In addition, it determines the type of the pedestrianization scheme for each road, choosing between partial or full pedestrianization. The problem belongs to the bi-level optimization problem category. The upper level optimization task solves the integer problem of the estimation of the total length of the pedestrian zones. The lower level optimization task is to utilize the Frank – Wolfe algorithm for the calculation of the total travel cost. The optimal solution of the problem is achieved when the difference between the length of pedestrian areas and the total travel cost becomes maximum. The problem is solved by using Microsoft Excel, the genetic algorithm provided by xLOptimizer and programming in Python.

Key Words: Pedestrianization, Road capacity, Bi-level optimization problem, Frank – Wolfe algorithm, Genetic algorithm, Traffic assignment

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

| | |
|--|-----------|
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 | 1 |
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 1 |
| 1.1 ΓΕΝΙΚΑ..... | 1 |
| 1.2 ΣΚΟΠΟΣ | 2 |
| 1.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ | 2 |
| 1.4 ΔΟΜΗ..... | 3 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 | 5 |
| ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ | 5 |
| 2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ..... | 5 |
| 2.2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ | 11 |
| 2.3 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΖΟΔΡΟΜΩΝ..... | 13 |
| 2.3.1 Επιπτώσεις κυκλοφορίας..... | 13 |
| 2.3.2 Θετικές επιπτώσεις από την εφαρμογή της πεζοδρόμησης | 21 |
| 2.3.3 Είδη πεζοδρόμων..... | 25 |
| 2.3.4 Πρόβλεψη στο σχεδιασμό για τα ΑΜΕΑ..... | 31 |
| 2.4 ΓΕΝΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ | 35 |
| 2.4.1 Μέθοδοι επίλυσης | 35 |
| 2.4.2 Γενετικός αλγόριθμος..... | 36 |
| 2.4.3 Βήματα της διαδικασίας..... | 37 |
| 2.4.4 Πλεονεκτήματα Γ.Α. | 38 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 | 39 |
| ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΠΕΖΟΔΡΟΜΩΝ..... | 39 |
| 3.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ | 39 |
| 3.1.1 Διαμόρφωση μοντέλου..... | 39 |
| 3.2 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ | 48 |

| | |
|---|------------|
| 3.2.1 Παραδοχές και προϋποθέσεις για την ανάπτυξη του μοντέλου | 50 |
| 3.2.2 Πρόβλημα καταμερισμού κυκλοφορίας υπό τη θεώρηση της κατάστασης ισορροπίας των χρηστών..... | 56 |
| 3.2.3 Ανάλυση του καταμερισμού «Όλα ή Τίποτα» και του αλγορίθμου Dijkstra | 58 |
| 3.2.5 Υπολογισμός μήκους τμημάτων πεζοδρόμησης | 64 |
| 3.2.6 Εξίσωση συντελεστή μεταβολής της χωρητικότητας λόγω πεζοδρόμησης ορισμένων τμημάτων του δικτύου | 65 |
| 3.2.8 Τελικό μοντέλο..... | 72 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4..... | 81 |
| ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ..... | 81 |
| 4.1 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ | 81 |
| 4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ | 85 |
| 4.3 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ (GA CALIBRATION)..... | 89 |
| 4.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ | 90 |
| 4.3.1 Μεταβολή της τιμής του ορίου ταχύτητας..... | 91 |
| 4.3.2 Μεταβολής της τιμής του ορίου του πλάτους..... | 96 |
| 4.3.3 Μεταβολή των συντελεστών της αντικειμενικής συνάρτησης..... | 105 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5..... | 111 |
| ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ..... | 111 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 115 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ | 119 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

| | |
|---|----|
| 2. 1: ΜΥΚΟΝΟΣ. ΔΡΟΜΟΣ ΑΠΟΚΛΕΙΣΤΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΠΕΖΩΝ. ΑΜΙΓΗΣ ΠΕΖΟΔΡΟΜΟΣ.. | 26 |
| 2. 2: ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ. ΔΡΟΜΟΣ ΑΠΟΚΛΕΙΣΤΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΠΕΖΩΝ. ΑΜΙΓΗΣ ΠΕΖΟΔΡΟΜΟΣ. | 26 |
| 2. 3: ΤΡΙΚΑΛΑ. ΔΡΟΜΟΣ ΠΟΥ ΕΠΙΤΡΕΠΕΙ ΤΗΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΕΣ ΩΡΕΣ ΤΗΣ ΗΜΕΡΑΣ. | 27 |
| 2. 4: ΚΟΜΟΤΗΝΗ. ΕΜΠΟΡΙΚΟΣ ΠΕΖΟΔΡΟΜΟΣ | 28 |
| 2.5: ΒΟΛΟΣ. ΠΕΖΟΔΡΟΜΟΙ ΟΠΟΥ ΕΠΙΤΡΕΠΕΤΑΙ Η ΕΙΣΟΔΟΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΟΝΟ ΓΙΑ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗ. | 29 |
| 2. 6: ΚΗΦΙΣΙΑ. ΔΡΟΜΟΣ ΗΠΙΑΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΜΕ ΕΝΙΑΙΑ ΣΤΑΘΜΗ. Η ΚΙΤΡΙΝΗ ΖΩΝΗ ΟΔΕΥΣΗΣ ΤΥΦΛΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ ΩΣ ΟΡΙΟ ΜΕΤΑΞΥ ΛΩΡΙΔΑΣ ΠΟΔΗΛΑΤΟΥ ΚΑΙ ΠΕΖΟΔΡΟΜΟΥ..... | 30 |
| 2.7: ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟ ΤΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΠΕΖΟΔΡΟΜΟΥ | |
| 2. 8: ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΚΛΙΣΗ ΠΕΖΟΔΡΟΜΙΟΥ Η ΠΕΖΟΔΡΟΜΩΝ..... | 33 |
| 2. 9: ΟΔΗΓΟΣ ΟΔΕΥΣΗΣ ΤΥΦΛΩΝ. ΕΙΔΙΚΗ ΠΛΑΚΑ ΠΟΡΕΙΑΣ. | 34 |
| 2. 10: ΟΔΗΓΟΣ ΟΔΕΥΣΗΣ ΤΥΦΛΩΝ. ΕΙΔΙΚΗ ΠΛΑΚΑ ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΙΣΟΔΟ ΣΕ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ. | 34 |
| 2. 11: ΟΔΗΓΟΣ ΟΔΕΥΣΗΣ ΤΥΦΛΩΝ. ΕΙΔΙΚΗ ΠΛΑΚΑ ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΡΧΗ ΚΑΙ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΚΕΚΛΙΜΕΝΩΝ ΔΑΠΕΔΩΝ. | 35 |
| 3. 1: ΠΛΑΤΟΣ ΠΕΖΟΔΡΟΜΙΟΥ | 42 |
| 3. 2: ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΘΕΣΕΩΝ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗΣ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ. | 53 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

| | |
|--|----|
| 2. 1: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΠΙΝΑΚΑ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ – ΠΡΟΟΡΙΣΜΟΥ | 8 |
| 2. 2: ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΕΤΗ 2013-2014-2015 | 14 |
| 3. 1: ΕΠΙΔΙΩΚΟΜΕΝΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΟΔΟΥ | 44 |
| 3. 2: ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΟΡΙΟ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ | 47 |
| 3. 3: ΚΛΙΜΑΚΑ ΑΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΘΟΡΥΒΟΥ | 47 |
| 3. 4: ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΠΛΑΤΟΣ ΛΩΡΙΔΑΣ | 51 |
| 4. 1: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΥΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥΣ | 88 |
| 4. 2: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΧΡΟΝΟ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ | 89 |
| 4. 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 1 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΚΑΙ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΠΟΥ ΠΕΖΟΔΡΟΜΟΥΝΤΑΙ..... | 92 |
| 4. 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 1 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΔΙΑΝΥΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ | 92 |
| 4. 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 1 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΥΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ..... | 92 |
| 4. 6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 2 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΚΑΙ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΠΟΥ ΠΕΖΟΔΡΟΜΟΥΝΤΑΙ..... | 94 |
| 4. 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 2 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΔΙΑΝΥΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ | 94 |
| 4. 8: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 2 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΥΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ..... | 94 |
| 4. 9: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 3 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΚΑΙ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΠΟΥ ΠΕΖΟΔΡΟΜΟΥΝΤΑΙ..... | 98 |
| 4. 10: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 3 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΔΙΑΝΥΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ..... | 98 |
| 4. 11: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 3 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΥΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ | 98 |

| | |
|--|-----|
| 4. 12: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 4 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΚΑΙ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΠΟΥ ΠΕΖΟΔΡΟΜΟΥΝΤΑΙ..... | 100 |
| 4. 13: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 4 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΔΙΑΝΥΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ..... | 100 |
| 4. 14: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 4 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΥΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ | 100 |
| 4. 15: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 5 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΚΑΙ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΠΟΥ ΠΕΖΟΔΡΟΜΟΥΝΤΑΙ..... | 102 |
| 4. 16: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 5 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΔΙΑΝΥΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ..... | 102 |
| 4. 17: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 5 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΥΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ | 102 |
| 4. 18: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 6 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΚΑΙ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΠΟΥ ΠΕΖΟΔΡΟΜΟΥΝΤΑΙ..... | 106 |
| 4. 19: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 6 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΔΙΑΝΥΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ..... | 106 |
| 4. 20: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 6 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΥΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ | 106 |
| 4. 21: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 7 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΚΑΙ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΠΟΥ ΠΕΖΟΔΡΟΜΟΥΝΤΑΙ..... | 108 |
| 4. 22: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 7 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΧΡΟΝΟ ΔΙΑΝΥΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ..... | 108 |
| 4. 23: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 7 ^{ΟΥ} ΣΕΝΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΥΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ | 108 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

| | |
|---|-----|
| 2. 1: ΘΥΜΑΤΑ ΤΡΟΧΑΙΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ, ΣΥΓΚΡΙΣΗ 2015-2014 | 19 |
| 2. 2: ΣΟΒΑΡΟΤΗΤΑ ΤΡΟΧΑΙΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ, ΣΥΓΚΡΙΣΗ 2015-2016 | 19 |
| 2. 3: ΘΥΜΑΤΑ ΤΡΟΧΑΙΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ, ΣΥΓΚΡΙΣΗ 2016-2015 | 20 |
| 2. 4: ΣΟΒΑΡΟΤΗΤΑ ΤΡΟΧΑΙΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ, ΣΥΓΚΡΙΣΗ 2016-2015 | 20 |
| 3. 1: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΠΕΖΟΔΡΟΜΩΝ ΣΕ ΑΣΤΙΚΟ ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ | 49 |
| 4. 1: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΠΟΥ ΕΠΙΤΡΕΠΕΤΑΙ Η ΠΕΖΟΔΡΟΜΗΣΗ | 95 |
| 4. 2: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ ΤΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΠΟΥ ΕΠΙΤΡΕΠΕΤΑΙ Η ΟΛΙΚΗ ΠΕΖΟΔΡΟΜΗΣΗ | 104 |
| 4. 3: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΤΗΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ | 109 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ

| | |
|---|----|
| 4. 1: ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ | 82 |
| 4. 2: ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ | 85 |
| 4. 3: ΘΕΣΕΙΣ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗΣ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ | 86 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το περπάτημα είναι ο αρχαιότερος και πιο διαδεδομένος τρόπος μετακίνησης. Πριν την εφεύρεση του αυτοκινήτου, το 1798, η μεταφορά προϊόντων, ζώων και η μετακίνηση των ανθρώπων γινόταν με τα πόδια και σε ειδικές περιπτώσεις με άμαξες ή καρότσες. Από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα, όπου η χρήση του αυτοκινήτου αυξήθηκε, ο τρόπος ζωής άρχισε να αλλάζει. Αρχικά, η χρήση του αυτοκινήτου αποδείχθηκε βολικότερη και πιο γρήγορη, καθώς παρείχε μεγάλες ταχύτητες, μειώνοντας τον απαιτούμενο χρόνο διαδρομής. Εισέβαλε δηλαδή, δυναμικά στην καθημερινότητα του ανθρώπου, με τον τελευταίο να παρουσιάζει μία ιδιαίτερη μορφή εξάρτησης από το αυτοκίνητο. Στην σύγχρονη εποχή, η εξάρτηση αυτή είναι ολοφάνερη από το σχεδιασμό των πόλεων. Οι σχεδιαστές του αστικού χώρου δίνουν προτεραιότητα στην εξυπηρέτηση των οχημάτων, προσφέροντας μεγάλα οδικά δίκτυα, τα οποία καλύπτουν ένα μεγάλο μέρος των αστικών κέντρων. Μάλιστα, στα πλαίσια της ανάπτυξης και της αναγκαστικής επέκτασης των περιοχών δημιουργούνται μεγάλες αποστάσεις, τις οποίες είναι αδύνατο να διανύσει κάποιος με τα πόδια. Φυσικό αποτέλεσμα είναι η δημιουργία απρόσωπων πόλεων, με μειωμένη πολιτιστική και κοινωνική υπόσταση, η οποία παραγκωνίζει τον πεζό, δίνοντας βάση στη γρήγορη μετακίνηση των οχημάτων.

Οι ολοένα και αυξανόμενες αγορές των αυτοκινήτων, τα έντονα προβλήματα κυκλοφοριακής συμφόρησης και η δυσχέρεια στον τρόπο μετακίνησης των πεζών είναι στοιχεία που βάζουν σε σκέψη τους ερευνητές. Μάλιστα, τα τελευταία χρόνια οι ειδικοί αναζητούν τρόπους αναδιάταξης των αστικών περιοχών, δίνοντας βάση στους πεζούς, χωρίς όμως να δυσχεραίνεται η κυκλοφορία των οχημάτων. Η κατασκευή πεζοδρόμων αποτελεί το πρώτο βήμα επανασχεδιασμού των πόλεων και αναδιάταξης των χώρων. Στόχος είναι να επέλθει ισορροπία μεταξύ της μετακίνησης των πεζών και της κυκλοφορίας των οχημάτων, ώστε να ξαναβρούν οι πόλεις το χαρακτήρα τους. Η ορθή χωροθέτηση των πεζοδρόμων μπορεί να αναδείξει την πολιτιστική κληρονομιά και να

ενισχύσει τον κοινωνικό χαρακτήρα των πόλεων, αφού οι πεζόδρομοι αποτελούν χώρους συγκέντρωσης και συναναστροφής.

Ο επανασχεδιασμός των αστικών πόλεων είναι μία διαδικασία που δεν μπορεί να γίνει αυθαίρετα, αλλά χρήζει ιδιαίτερης προσοχής και εμπειριστατωμένης μελέτης. Η χωροθέτηση πεζοδρόμων στις πόλεις, απαιτεί την προσεκτική μελέτη προσδιορισμού των τμημάτων που πρόκειται να πεζοδρομηθούν με σκοπό την αποφυγή πρόκλησης κυκλοφοριακών προβλημάτων.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός μαθηματικού μοντέλου, το οποίο θα προσδιορίζει τα τμήματα του δικτύου, των οποίων κρίνεται δυνατή η πεζοδρόμηση. Για τη σωστή επιλογή αυτών των τμημάτων, προστίθενται περιορισμοί που αφορούν στο επίπεδο κυκλοφοριακής συμφόρησης, οδικής ασφάλειας και στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός νέου μαθηματικού μοντέλου, το οποίο θα προσδιορίζει του συνδέσμους του δικτύου που κρίνονται κατάλληλοι προς πεζοδρόμηση, λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα του δικτύου. Συγκεκριμένα, το μοντέλο είναι ικανό όχι μόνο να εντοπίζει τους συνδέσμους του δικτύου, στους οποίους επιτρέπεται η πεζοδρόμηση, αλλά και να προσδιορίζει και τον τύπο της πεζοδρόμησης, ολική ή μερική. Η επιλογή των συνδέσμων γίνεται με τρόπο τέτοιο ώστε να υπάρχει όσο το δυνατόν λιγότερη επιβάρυνση στο δίκτυο.

1.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται σαν ένα διεπίπεδο πρόβλημα βελτιστοποίησης. Στο ανώτερο επίπεδο επιλύεται ένα πρόβλημα ακέραιου προγραμματισμού, από το οποίο προσδιορίζεται η πρώτη μεταβλητή απόφασης που είναι το συνολικό μήκος των συνδέσμων που πεζοδρομούνται. Στο κατώτερο πρόβλημα, επιλύεται το γραμμικό πρόβλημα καταμερισμού της κυκλοφορίας υπό την θεώρηση της κατάστασης της

ισορροπίας των χρηστών, για το υπολογισμό της δεύτερη μεταβλητής απόφασης του μοντέλου που είναι ο συνολικό χρόνος διάνυσης, δηλαδή το συνολικό κόστος του δικτύου

1.4 ΔΟΜΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία απαρτίζεται από 5 κεφάλαιο, εκ των οποίων το πρώτο είναι το παρόν κεφάλαιο, στο οποίο παρουσιάζεται το θέμα και η δομή της εργασίας. Προκειμένου να προσεγγιστεί ορθά το θέμα και να είναι πλήρως κατανοητό στον αναγνώστη, στο δεύτερο κεφάλαιο δημιουργείται μία θεωρητική βάση. Πιο αναλυτικά, δίνονται οι ορισμοί διαφόρων εννοιών, οι οποίοι επαναλαμβάνονται στην εργασία και παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο του μοντέλου. Στο τρίτο και βασικότερο κεφάλαιο της εργασίας αναλύεται η διαδικασία κατασκευής και λειτουργίας του μοντέλου και επεξηγούνται οι παραδοχές, οι προϋποθέσεις και οι περιορισμού που εφαρμόζονται. Στο επόμενο κεφάλαιο, παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα του μοντέλου, καθώς επίσης και τα αποτελέσματα από τις διαδικασίες της βαθμονόμησης και της ανάλυση ευαισθησίας. Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας συνοψίζονται τα συμπεράσματα από τη συγκεκριμένη έρευνα. Τέλος αναγράφεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε σε όλο το μήκος της εργασίας και αμέσως μετά παρατίθεται το παράρτημα στο οποίο παρουσιάζεται ο αλγόριθμος επίλυσης του προβλήματος καταμερισμού της κυκλοφορίας σε κατάσταση ισορροπίας, όπως αυτός έχει κωδικοποιηθεί στη γλώσσα της Python.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

Στην υποενότητα αυτή παρουσιάζονται οι ορισμοί βασικών εννοιών, οι οποίοι θα χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση της εργασίας και καθίσταται απαραίτητη η επεξήγησή τους.

Πεζόδρομος

Ορίζεται ο διαμορφωμένος υπαίθριος, κοινόχρηστος, ελεύθερος χώρος, που εξυπηρετεί αποκλειστικά τη συνεχή, ασφαλή και χωρίς εμπόδιο κυκλοφορία των πεζών και εμποδισμένων ατόμων και επιτρέπεται να χρησιμοποιηθεί μόνο από τα οχήματα τροφοδοσίας και τα οχήματα έκτακτης ανάγκης, σύμφωνα πάντα με τις καθορισμένες προϋποθέσεις.

(Πηγή: Υ.ΠΕ.ΚΑ)

Κυκλοφοριακή ροή

Η κυκλοφοριακή ροή (traffic flow) αφορά στην κίνηση οχημάτων ή πεζών σε μια οδό και προσδιορίζεται από τα μεγέθη κυκλοφοριακής ροής που μπορούν να μετρηθούν. Τα βασικά κυκλοφοριακά μεγέθη είναι:

- Κυκλοφοριακός φόρτος (traffic volume)
- Ταχύτητα (speed)
- Πυκνότητα (density)

(Φραντζεσκάκης & Γκιόλας)

Κυκλοφοριακός φόρτος – Ζήτηση

Ο κυκλοφοριακός φόρτος (traffic volume) είναι ο συνολικός αριθμός οχημάτων που περνούν από ένα σημείο ή μία διατομή οδού στη μονάδα του χρόνου. Συγκεκριμένα, εκφράζεται σε «οχήματα ανά μονάδα χρόνου».

(Φραντζεσκάκης – Γκιόλας – Πιτσιάβα/Λατινοπούλου)

Κυκλοφοριακή ικανότητα

Η κυκλοφοριακή ικανότητα είναι ο μέγιστος κυκλοφοριακός φόρτος που μπορεί να διέλθει από μία διατομή ή ομάδα λωρίδων που εξυπηρετούν από κοινού μία κατεύθυνση υπό τις επικρατούσες οδικές και κυκλοφοριακές συνθήκες και συνθήκες ελέγχου της κυκλοφορίας.

(Σπυροπούλου – Αντωνίου)

Ροή κορεσμού

Ο όρος ροή κορεσμού αναφέρεται στο μέγιστο κυκλοφοριακό φόρτο που μπορεί να διέλθει από μία διατομή ή από μία ομάδα λωρίδων που εξυπηρετούν από κοινού μία κατεύθυνση υπό τις επικρατούσες οδικές και κυκλοφορικές συνθήκες, με την παραδοχή του 100% του χρησιμοποιούμενου χρόνου πράσινης ένδειξης.

Η διαφοροποίηση μεταξύ κυκλοφοριακής ικανότητας και ροής κορεσμού είναι ότι στο πρώτο μέγεθος υπεισέρχεται παρεμπόδιση του κυκλοφοριακού φόρτου εξαιτίας του ελέγχου της κυκλοφορίας.

(Σπυροπούλου – Αντωνίου)

Κόμβος

Ο κόμβος αντιστοιχεί σε μία πραγματική ή ιδεατή διασταύρωση.

(Σπυροπούλου - Αντωνίου)

Σύνδεσμος

Ο σύνδεσμος αντιστοιχεί σε ένα οδικό τμήμα μεταξύ δύο κόμβων που εξυπηρετεί μία φορά κίνησης οχημάτων. Έτσι, ένα αμφίδρομο οδικό τμήμα αναπαρίσταται από δύο συνδέσμους με αντίθετες κατευθύνσεις.

(Σπυροπούλου - Αντωνίου)

Οδός

Η οδός αντιστοιχεί σε ένα οδικό τμήμα μεταξύ δύο κόμβων και αναφέρεται σε όσα ρεύματα κυκλοφορίας εξυπηρετεί το οδικό τμήμα. Πιο συγκεκριμένα, η οδός αναφέρεται σε οδικό τμήμα που εξυπηρετεί είτε δύο κατευθύνσεις είτε μόνο μία. Αφορά δηλαδή, ένα οδικό τμήμα με όποια λειτουργικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά έχει.

Πίνακας Προέλευσης – Προορισμού Μετακινήσεων

Ο Πίνακας Προέλευσης – Προορισμού είναι μία μορφή αναπαράστασης των μετακινήσεων. Κάθε γραμμή και στήλη αναπαριστά ζώνες της περιοχής μελέτης. Συνήθως, στην πρώτη στήλη σημειώνονται οι κόμβοι προέλευσης και στη πρώτη γραμμή οι κόμβοι προορισμού. Τα κελιά κάθε γραμμής αναπαριστούν τα ταξίδια που έχουν ως προέλευση τη συγκεκριμένη ζώνη και ως προορισμούς τις ζώνες των αντίστοιχων στηλών. Τα διαγώνια κελιά αναπαριστούν τις ενδοζωνικές μετακινήσεις.

Πίνακας 2. 1:

Παράδειγμα Πίνακα Προέλευσης – Προορισμού

| | A | B | Γ | Δ |
|---|-----|-----|-----|-----|
| A | 300 | 500 | 150 | 200 |
| B | 80 | 100 | 50 | 300 |
| Γ | 150 | 50 | 100 | 150 |
| Δ | 200 | 350 | 300 | 250 |

(Σπυροπούλου - Αντωνίου)

Συνθήκες ελεύθερης ροής

Ο όρος ελεύθερη ροή αναφέρεται στην κίνηση των οχημάτων, η οποία δεν διακόπτεται. Η συνθήκη ελεύθερης ροής αναφέρεται στην περίπτωση όπου ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι πολύ χαμηλός και η κυκλοφορία δεν παρεμποδίζεται από τυχόν διασταυρώσεις, σηματοδοτήσεις κλπ.

(Σπυροπούλου - Αντωνίου)

Χρόνος Ελεύθερης Ροής (Free Flow Travel Time)

Ο χρόνος ελεύθερης ροής αφορά το χρόνο που απαιτεί ώστε να διανυθεί ο σύνδεσμος σε συνθήκες ελεύθερης ροής. Στην περίπτωση αυτή, το κινούμενο όχημα δεν θα καθυστερεί λόγω της αλληλεπίδρασης με οποιοδήποτε άλλο όχημα που βρίσκεται στον ίδιο σύνδεσμο.

(Σπυροπούλου - Αντωνίου)

Κυκλοφοριακή συμφόρηση

Η κυκλοφοριακή συμφόρηση αναφέρεται σε εκείνες τις κυκλοφοριακές συνθήκες, όπου ο φόρτος του συνδέσμου αυξάνεται, δημιουργώντας ισχυρές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των οχημάτων. Όσο μεγαλύτερη είναι η αύξηση του φόρτου τόσο πιο έντονο είναι το πρόβλημα της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Μάλιστα, όταν η ζήτηση του συνδέσμου ξεπερνάει την κυκλοφοριακή ικανότητα, τότε η κίνηση των οχημάτων καθίσταται δύσκολη και υπάρχουν μεγάλες καθυστερήσεις.

Αντικειμενική συνάρτηση

Η αντικειμενική συνάρτηση εκφράζει το στόχο που επιχειρείται να μεγιστοποιηθεί ή να ελαχιστοποιηθεί. Πρόκειται δηλαδή, για μια συνάρτηση (Z) η οποία περιγράφει το πρόβλημα μέσω μιας σχέσης μεταξύ μίας ή περισσότερων μεταβλητών απόφασης. Η αντικειμενική συνάρτηση παίρνει την εξής μορφή:

max or min Z :

$$Z = \beta_1 * \sum \alpha_1 + \beta_2 * \sum \alpha_2 + \beta_3 * \sum \alpha_3 + \dots$$

,όπου

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots$: τα βάρη της αντικειμενική συνάρτησης

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots$: οι μεταβλητές απόφασης του προβλήματος

Μεταβλητές απόφασης

Οι μεταβλητές απόφασης αποτελούν μεταβλητές, οι οποίες δομούν την αντικειμενική συνάρτηση. Η επιλογή τους εξαρτάται από το πρόβλημα και παίζουν τον σημαντικότερο ρόλο στην επίλυσή του.

Διακριτό Πρόβλημα Βελτιστοποίησης

Ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης είναι το πρόβλημα της εύρεσης της βέλτιστης λύσης από όλες τις εφικτές λύσεις. Τα προβλήματα βελτιστοποίησης μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το αν οι μεταβλητές είναι συνεχείς ή διακριτές. Ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης με διακριτές μεταβλητές είναι γνωστό ως διακριτή βελτιστοποίηση. Σε ένα διακριτό πρόβλημα βελτιστοποίησης, ψάχνουμε για ένα αντικείμενο, όπως ένας ακέραιος αριθμός, μια μετάθεση ή ένα γράφημα από ένα πεπερασμένο σύνολο.

(Wikipedia)

Σενάριο

Ως σενάριο ορίζεται το σύνολο των παραμέτρων που δομούν ένα πρόβλημα, οι οποίες προσδιορίζονται αναλόγως. Όταν έστω και μία παράμετρος αλλάξει, τότε πρόκειται για διαφορετικό σενάριο.

2.2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Η βιβλιογραφία για την πεζοδρόμηση είναι αρκετά μεγάλη, πολλά σχετικά ελληνικά και ξένα άρθρα. Υπάρχουν πολλά άρθρα τα οποία αναλύουν την έννοια του πεζοδρόμου και την αξία αυτού στην ποιότητα της ζωής του ανθρώπου. Τα περισσότερα από αυτά αναλύουν το θέμα από την πολεοδομική σκοπιά. Η βιβλιογραφία για την πεζοδρόμηση από την συγκοινωνιακή – κυκλοφοριακή σκοπιά είναι αρκετά περιορισμένη τόσο σε εθνικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Το πρόβλημα απασχολεί τους μελετητές τα τελευταία χρόνια, καθώς η κυκλοφοριακή κατάσταση όλο και επιδεινώνεται ενώ η μετατροπή μερικών οδικών τμημάτων σε πεζοδρόμους θεωρείται μία από τις σημαντικότερες προσεγγίσεις για τη μεταστροφή των αστικών κέντρων σε ένα πιο βιώσιμο πρότυπο μεταφοράς.

Υπό αυτό το πρίσμα, το άρθρο των Drezner και Wesolowsky (2002) ερευνά το σχεδιασμό ενός οδικού δικτύου. Συγκεκριμένα, από ένα οδικό δίκτυο, οι ερευνητές αναζητούν εκείνο το σύνδεσμο, από ένα σύνολο δυνατών συνδέσμων, που θα κατασκευαστεί, ευδοκιμώντας την κυκλοφοριακή κατάσταση και εξυπηρετώντας το σύνολο του πληθυσμού με βάση την τοποθεσία των δραστηριοτήτων και προσδιόρισαν την κατεύθυνση της κυκλοφορίας. Η έρευνα τους στηρίχθηκε στο κατασκευαστικό και στο μεταφορικό κόστος, δίνοντας μεγαλύτερη βαρύτητα στο δεύτερο. Για την επίλυση του προβλήματος χρησιμοποιήθηκε μεθευρετικός αλγόριθμος.

Μία εξίσου σημαντική έρευνα είναι αυτή των Wu et, al,(2005). Πρόκειται για ένα Διακριτό Πρόβλημα Σχεδιασμού Δικτύων (Discrete Network Design Problem), το οποίο αναφέρεται σε ένα πολυμορφικό μοντέλο μεταφοράς, με συνδέσμους που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά από πεζούς, αποκλειστικά από αυτοκίνητα ή λεωφορεία, αλλά και συνδυασμό αυτών. Το συγκεκριμένο μοντέλο αναπτύχθηκε με στόχο την εύρεση της βέλτιστης λύσης στο πρόβλημα επιλογής συνδέσμων κατάλληλων προς πεζοδρόμηση και λύθηκε και αυτό με τη χρήση ενός μεθευρετικού αλγορίθμου.

Μάλιστα, έχουν γίνει αρκετές έρευνες που μελετούν τη συνεισφορά της πεζοδρόμησης και εξετάζουν τη διαφορά της υπάρχουσας από την προηγούμενη κατάσταση, αποδεικνύοντας της πολύπλευρη σημασία της.

Οι Whitelegg (1993) και Appleyard (1981), πραγματοποίησαν μία έρευνα στο San Francisco, διαπιστώνοντας πως η κοινωνική αλληλεπίδραση είναι πιο συχνή στις περιοχές με περισσότερη πεζή μετακίνηση και λιγότερη κυκλοφορία οχημάτων, αφού οι άνθρωποι έχουν περισσότερες πιθανότητες να συναντηθούν και να έχουν μία κοινή κοινωνική δραστηριότητα. Έτσι ο κόσμος έρχεται πιο κοντά στην πόλη, μαθαίνοντας την ιστορία και την κουλτούρα που φέρει. Μάλιστα ο Monheim (1992), ανέφερε χαρακτηριστικά πως «η επιτυχία του κέντρου μίας πόλης δε γίνεται κατανοητή από την ιδέα την μείωσης των κυκλοφοριακών προβλημάτων που την απαρτίζουν, αλλά από το ποσοστό των ατόμων που επωφελούνται από το νέο τρόπο μετακίνησης και συνάμα αναψυχής, την πεζή μετακίνηση».

Οι Kumar και Ross, (2006), διαπίστωσαν πως με την πεζοδρόμηση ορισμένων τμημάτων της κυκλοφορίας ανεβαίνει το κοινωνικό, πολιτιστικό αλλά και οικονομικό επίπεδο της γειτονιάς, αυξάνοντας το κύρος της και προσελκύοντας περισσότερο κόσμο. Η νέα δομή της πόλης παροτρύνει τους κατοίκους της να κινηθούν επιχειρηματικά, προσδίδοντας μια νέα δυναμική στον οικονομικό τομέα. Ο Litman το 2004, με βάση τα αποτελέσματα της πεζοδρόμησης σε μία κοινότητα, συμπλήρωσε πως δίνοντας χώρο στο πεζό για τη μετακίνησή του, καθιστώντας την του εύκολη και απολαυστική, αυτόματα αυξάνεται και η ζωτικότητα της περιοχής, παρέχοντας ένα φιλικό περιβάλλον προς τους κατοίκους αλλά και τους επισκέπτες της. Η αύξηση της κοινωνικότητας συνδέεται άμεσα με τη δυναμικότητα της περιοχής σε οικονομικό επίπεδο. Παρατηρείται δηλαδή, μια κυκλική αλληλεπίδραση η οποία αναβαθμίζει ολόένα και περισσότερο την περιοχή.

Με την έρευνα των Weber & Mackie, 1996, διαπιστώθηκε πως με την πεζοδρόμηση ορισμένων τμημάτων της κυκλοφορίας, επέρχεται ομαλότητα στην κυκλοφοριακή κατάσταση, η οποία οδηγεί στην μείωση των τροχαίων ατυχημάτων κατά 60%. Μάλιστα, το ποσοστό των ατυχημάτων που αφορούν τους ποδηλάτες μειώνεται κατά 29%. Μια παρόμοια έρευνα που πραγματοποιήθηκε στις περιοχές της Ολλανδίας, Eindhoven και Rijswijk από τον Schlabbach το 1997, έδειξε πως το ποσοστό μείωσης των ατυχημάτων μετά την ενέργεια της πεζοδρόμησης ανέρχεται στο ποσοστό του 80%, ποσοστό αρκετά υψηλό που αποτελεί ισχυρό κίνητρο για τον σχεδιασμό πεζοδρόμων.

Τέλος, στην έρευνα των Kumar και Ross, (2006), στο Bangkok της Ταϊλάνδης, μελετώνται οι απόψεις των ιδιοκτητών των καταστημάτων της περιοχής για την πεζοδρόμηση ενός μεγάλου εμπορικού δρόμου, του Khao San, πριν και μετά την

εφαρμογή. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν πως η πεζοδρόμηση του δρόμου για συγκεκριμένες ώρες την ημέρα ευνόησε την εμπορική ζωή της περιοχής, κάτι το οποίο δεν περίμεναν οι καταστηματάρχες.

2.3 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΖΟΔΡΟΜΩΝ

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην ανάπτυξη μεγάλων οδικών δικτύων, όπως επίσης και στην εξέλιξη της αυτοκινητοβιομηχανίας. Η διαρκής εξέλιξη της τεχνολογίας των οχημάτων οδηγεί στην ανάπτυξη νέων, αναβαθμισμένων μοντέλων, τόσο σε σχεδιαστικό όσο και σε λειτουργικό επίπεδο. Το γεγονός αυτό διεγείρει την καταναλωτική επιθυμία του ανθρώπου, και έχει ως αποτέλεσμα στη σύγχρονη εποχή, το αυτοκίνητο να έχει γίνει το πλέον απαραίτητα μέσο μεταφοράς και να χρησιμοποιείται ακόμα και στις πιο μικρές διαδρομές.

Όμως, η χρήση του αυτοκινήτου συνοδεύεται από αρκετά προβλήματα μεγάλης σημασίας, όπως έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση, αύξηση συγκέντρωσης αέριων ρύπων και του αριθμού των τροχαίων ατυχημάτων.

Από τα παραπάνω προκύπτει πως είναι επιτακτική η ανάγκη διαμόρφωσης τμημάτων αποκλειστικής κυκλοφορίας πεζών, που θα δώσει το έναυσμα στους πολίτες για έναν εναλλακτικό τρόπο μεταφοράς.

2.3.1 Επιπτώσεις κυκλοφορίας

Ο πιο διαδεδομένος τρόπος μετακίνησης των ανθρώπων είναι το περπάτημα, παρ'όλ'αυτά τελευταία χρόνια δεν αποτελεί τον κύριο τρόπο μεταφοράς και μετακίνησης, καθώς τη θέση του έχει καταλάβει το αυτοκίνητο. Η εφεύρεση του αυτοκινήτου (1769) διευκόλυνε τη μετακίνηση των ανθρώπων, καθώς μειώθηκαν οι αποστάσεις και ο απαιτούμενος χρόνος διαδρομής. Μάλιστα, αυτό έγινε η αφορμή για τον παραγκωνισμό του πεζού και την έμφαση στον τρόπο μεταφοράς των οχημάτων, δίνοντας τους προτεραιότητα.

Τα τελευταία χρόνια, παρατηρείται θεαματική αύξηση του αριθμού των αυτοκινήτων. Μάλιστα έχει διαπιστωθεί ότι η αύξηση του αριθμού των οχημάτων γίνεται με γρηγορότερους ρυθμούς απ' ότι η αύξηση του πληθυσμού. Συγκεκριμένα με έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 1997 από το World Vehicle Manufacturers Association of the United States, Inc., διαπιστώθηκε ότι ενώ το 1950 ο πληθυσμός κυμαινόταν στα 2,6 δισεκατομμύρια σε όλο τον πλανήτη και τα αυτοκίνητα στα 50 εκατομμύρια, 46 χρόνια αργότερα ο πληθυσμός αυξήθηκε στα 5,5 δισεκατομμύρια, ενώ τα αυτοκίνητα στα 500 εκατομμύρια. Παρατηρείται λοιπόν, πως ο αριθμός των αυτοκινήτων παρουσίασε μία αύξηση της τάξης των 20% ετησίως, ενώ για το ίδιο χρονικό διάστημα η αύξηση του πληθυσμού κυμαινόταν στο 2,4% ετησίως.

Ένα ακόμη στοιχείο που ενισχύει την παραπάνω άποψη είναι τα στατιστικά στοιχεία της ΟΙCΑ για τα έτη 2013 έως 2015. Στον Πίνακα 2.2 αναγράφονται τα στατιστικά στοιχεία που περιγράφουν την παγκόσμια παραγωγή των οχημάτων. Διαπιστώνεται πως η παραγωγή των οχημάτων στις χώρες της Ευρώπης και της Αφρικής παρουσιάζει μεγάλη αύξηση από έτος σε έτος.

Πίνακας 2. 2:

Παγκόσμια παραγωγή οχημάτων για τα έτη 2013-2014-2015

| CARS | 2013 | 2014 | % change | 2014 | 2015 | % change |
|-----------------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|
| <u>EUROPE</u> | 17.460.100,50 | 18.028.727,00 | 3,26% | 18.048.939,00 | 18.515.293,00 | 2,58% |
| <u>TURKEY</u> | 633.604,00 | 733.439,00 | 15,76% | 733.439,00 | 791.027,00 | 7,85% |
| <u>AMERICA</u> | 10.394.353,00 | 9.799.028,00 | -5,73% | 9.986.532,00 | 9.397.047,00 | -5,90% |
| <u>ASIA</u> | 37.201.988,00 | 39.219.660,00 | 5,42% | 39.263.358,00 | 40.022.392,00 | 1,93% |
| <u>AFRICA</u> | 403.821,00 | 483.206,00 | 19,66% | 483.206,00 | 604.784,00 | 25,16% |
| <u>TOTAL</u> | 65.460.262,50 | 67.530.621,00 | 3,16% | 67.782.035,00 | 68539516,00 | 1,12% |

(Πηγή: ΟΙCΑ)

Συμπεραίνεται πως η κυκλοφορία των οχημάτων πλέον δεν αποτελεί μόνο αναπόσπαστο κομμάτι της λειτουργίας των πόλεων, αλλά αποτελεί και τη βασικότερη παράμετρο λειτουργίας τους και τον κυριότερο τρόπο μετακίνησης των ανθρώπων. Με το πέρασμα του χρόνου, η μεταφορική δραστηριότητα αυξάνεται με γοργούς ρυθμούς, λόγω της αύξησης της κινητικότητας των ανθρώπων. Ωστόσο, οι μετακινήσεις εκτός από την εξυπηρέτηση των ανθρώπινων αναγκών προκαλούν μια σειρά αρνητικών επιπτώσεων τόσο στο φυσικό όσο και στο δομημένο περιβάλλον. Οι επιπτώσεις, πέρα από την συνεχώς αυξανόμενη κυκλοφοριακή συμφόρηση και την αντίστοιχη απώλεια χρόνου, είναι σοβαρές και στην οδική ασφάλεια, την ατμοσφαιρική ρύπανση, τα αιωρούμενα μικροσωματίδια και γενικότερα στην ποιότητα της ζωής. Εν συνεχεία, αναλύονται οι σημαντικότερες επιπτώσεις της κυκλοφορίας στο περιβάλλον αλλά και στην υγεία των ζωντανών οργανισμών.

Κυκλοφοριακή συμφόρηση

Η αύξηση στις πωλήσεις των οχημάτων έχει ως απόρροια σημαντικά προβλήματα κυκλοφοριακής συμφόρησης. Η κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι μια κατάσταση του οδικού δικτύου, όπου η ζήτηση κυκλοφορίας σε ένα σύνδεσμο είναι αυξημένη, με αποτέλεσμα τις χαμηλές ταχύτητες, τους μεγάλους χρόνους ταξιδιού και τις αυξημένες ουρές των αυτοκινήτων. Όταν ο αριθμός της ζήτησης του συνδέσμου πλησιάζει τον αριθμό της χωρητικότητας αυτού, τότε αυξάνεται σε μεγάλο επίπεδο το πρόβλημα της κυκλοφοριακής συμφόρησης, προκαλώντας χρονικές καθυστερήσεις. Μάλιστα, όταν ο χρόνος ταξιδιού ξεπερνάει κατά πολύ τον αναμενόμενο χρόνο κυκλοφορίας, όταν δηλαδή τα οχήματα σε ένα σύνδεσμο είναι εντελώς σταματημένα για μεγάλη χρονική περίοδο, τότε δημιουργείται το κοινώς γνωστό «μποτιλιάρισμα».

Η κυκλοφοριακή συμφόρηση είναι ένα από τα σύγχρονα προβλήματα της κοινωνίας, τα οποία επηρεάζουν την οικονομική και κοινωνική της κατάσταση. Συγκεκριμένα, η συμφόρηση στους μεγάλους οδικούς άξονες κοστίζει χρόνο, καύσιμα και χρήμα. Σύμφωνα με μία έρευνα που πραγματοποιήθηκε από το Ινστιτούτο μεταφορών του Τέξας (Texas A&M Transportation Institute) (Schrank, et, al., 2015), μερικές από τις αρνητικές επιπτώσεις της κυκλοφοριακής συμφόρησης στις περιοχές των Ηνωμένων πολιτειών της Αμερικής είναι οι παρακάτω:

- Το συνολικό κόστος της κυκλοφοριακής συμφόρησης διαρκώς αυξάνεται. Μάλιστα στις βιομηχανικές περιοχές των Ηνωμένων πολιτειών το κόστος σε χρόνο και σε καύσιμα λόγω της κυκλοφοριακής συμφόρησης υπολογίζεται ως:
 - Το 2014 - \$160 δισεκατομμύρια
 - Το 2000 - \$114 δισεκατομμύρια
 - Το 1982 - \$42 δισεκατομμύρια
- Δαπανώνται τεράστια ποσά χρόνου και καυσίμων. Πιο αναλυτικά, το 2014:
 - 6.9 δισεκατομμύρια ώρες δαπανήθηκαν στο δρόμο
 - 3.1 γαλόνια καυσίμων δαπανήθηκαν
 - Οδηγοί που έπρεπε να κάνουν σημαντικά ταξίδια έπρεπε να υπολογίσουν 2.5 φορές περισσότερο χρόνο για το ταξίδι τους λαμβάνοντας υπόψη τυχόν κυκλοφοριακή συμφόρηση, αναπάντεχα ατυχήματα, κακοκαιρία κ.ά.
- Η κυκλοφοριακή συμφόρηση επηρεάζει τους οδηγούς σε ώρες αιχμής. Ο μέσος οδηγός:
 - Ξόδεψε επιπλέον 42 ώρες ταξιδεύοντας το 2014, 18 ώρες παραπάνω σε σχέση με το 1982
 - Ξόδεψε 19 γαλόνια καυσίμων το 2014, 4 γαλόνια παραπάνω σε σχέση με το 1982
 - Σε περιοχές με περισσότερους από 1 εκατομμύρια κατοίκους, το 2014 οι οδηγοί ξόδεψαν 63 ώρες επιπλέον χρόνο ταξιδιού, στο οδικό δίκτυο επικρατούσε συμφόρηση για 6 ώρες κατά τη διάρκεια της εβδομάδας και ο φόρος κυκλοφοριακής συμφόρησης ανήλθε στα \$1440.

Τέλος, είναι σαφές πως οι περισσότερες από αυτές τις επιπτώσεις της κυκλοφοριακής συμφόρησης έχουν σοβαρό αντίκτυπο και στην ψυχολογία του οδηγού.

Ατμοσφαιρική ρύπανση

Ως «ατμοσφαιρική ρύπανση» καλείται η αλλοίωση της σύστασης του αέρα, με την παρουσία στην ατμόσφαιρα ουσιών ξένων προς τα φυσιολογικά της συστατικά. Η ατμοσφαιρική ρύπανση προκύπτει από την όποια βιομηχανική δραστηριότητα και την μεταφορική δραστηριότητα, προκαλώντας σημαντική διαταραχή στην ισορροπία της ατμόσφαιρας και έχοντας αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον. Μάλιστα,

έχει αποδειχθεί πως τα οχήματα και γενικότερα οι μεταφορές ευθύνονται για την εκπομπή περίπου του 69% του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και περίπου 63% των οξειδίων του αζώτου (NOx) καθώς και του 30% της εκπομπής των υδρογονανθράκων στις χώρες τις Ευρωπαϊκής Ένωσης (Α. Αραβαντινός, 1997). Η δημιουργία των ρύπων δεν είναι συνάρτηση μόνο του μεγέθους της κυκλοφορίας, αλλά και της ταχύτητας των οχημάτων. Σε μικρές ταχύτητες και σε συχνές στάσεις η δημιουργία των ρύπων είναι πιο έντονη. Συνεπώς, σήμερα μπορεί να διατυπωθεί με βεβαιότητα η άποψη ότι στα αστικά κέντρα η κύρια αιτία της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι οι μεταφορές, ενώ η βιομηχανική δραστηριότητα ευθύνεται σε μικρότερο βαθμό.

Η ρύπανση του αέρα επηρεάζει άμεσα την υγεία των κατοίκων των αστικών περιοχών, καθώς συνδέεται με μια σειρά από σοβαρές ασθένειες που βλάπτουν τον ανθρώπινο οργανισμό. Μια σειρά από έρευνες έχει δείξει ότι η ρύπανση μπορεί να προκαλέσει άσθμα, βρογχίτιδα και καρδιακές προσβολές. Επίσης, έχει αποδειχθεί ότι ο αριθμός των θανάτων που οφείλεται σε εξωτερική ρύπανση σε αστικό περιβάλλον κυμαίνεται από 200.000 έως 570.000 ετησίων σε παγκόσμιο επίπεδο.

Ηχορύπανση

Άλλη μία σημαντική παράμετρο υποβάθμισης του περιβάλλοντος αποτελεί η ηχορύπανση. Κύρια πηγή αυτής είναι ο κυκλοφοριακός θόρυβος, ο οποίος τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί, λόγω του έντονου κυκλοφοριακού φόρτου, ο οποίος επιδεινώνει σημαντικά τις οχλήσεις.

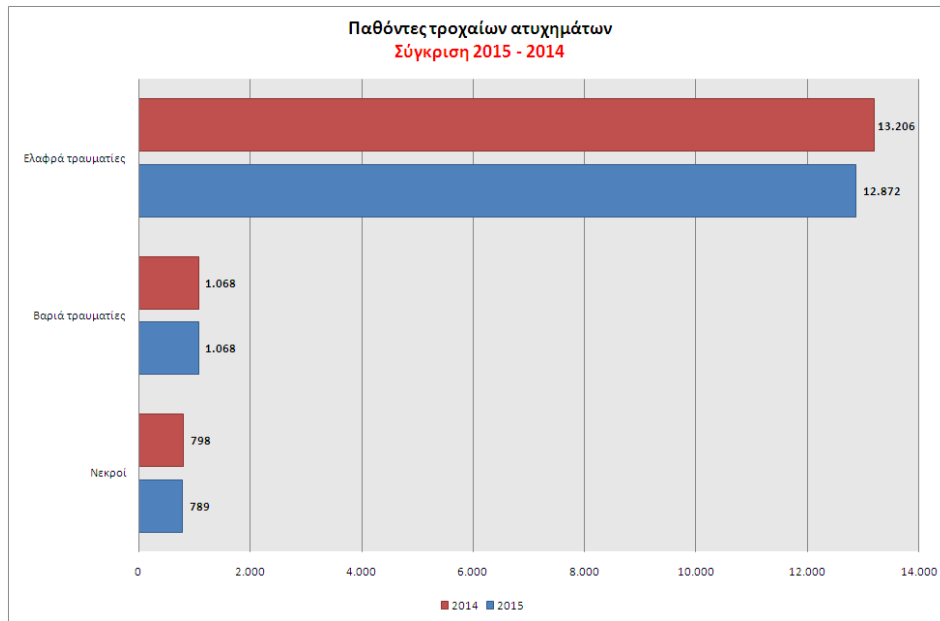
Ο ήχος που παράγεται από τη χρήση των μηχανοκίνητων οχημάτων αποτελεί σημαντική πηγή αρνητικών επιπτώσεων για τους χρήστες του δικτύου, τους πεζούς και τους κατοίκους των κεντρικών αρτηριών, προκαλώντας ανεπανόρθωτες βλάβες στην ακουστική τους οξύτητα. Η έκθεση σε ήχους ανώτερους από 65 dB, μπορεί να προκαλέσει σημαντική βλάβη στην υγεία του ανθρώπου. Συγκεκριμένα, το 20% του πληθυσμού της Ευρωπαϊκής Ένωσης εκτίθεται καθημερινά σε θόρυβο που ξεπερνά τα ανώτερα αποδεκτά επίπεδα, ενώ περίπου 170 εκατομμύρια εκτίθενται σε επίπεδα που προκαλούν σοβαρή ενόχληση (65-70 dB) (Παπαγιάννης Ι.). Από τη συνολική έκθεση στο θόρυβο, το 88% προέρχεται από την οδική κυκλοφορία και παρά τη μείωση της ηχορύπανσης ανά

κατηγορίες οχημάτων λόγω των κοινοτικών οδηγιών, ο συνολικός θόρυβος του οδικού δικτύου μειώθηκε ελάχιστα.

Τροχαία ατυχήματα

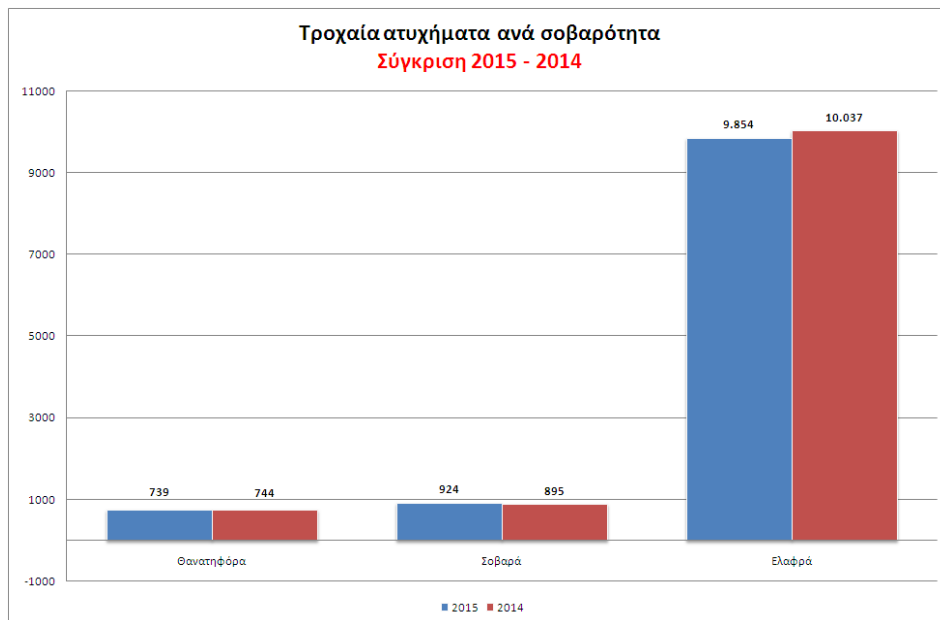
Τα τροχαία ατυχήματα εκτιμάται διεθνώς ότι αποτελούν την τρίτη αιτία θανάτου, μετά τις καρδιοπάθειες και τον καρκίνο. Οι θάνατοι που προέρχονται από τέτοιου είδους ατυχήματα είναι περισσότερο οδυνηροί από οποιαδήποτε άλλη αιτία, καθώς τα θύματα των τροχών είναι άτομα υγιή, ζωντανά και δραστήρια (Θεονύμφη και Κλαίρη Μ.). Ενδεικτικά αναφέρεται, πως στην Ελλάδα καταγράφονται ετησίως περίπου 20.000 οδικά ατυχήματα με θύματα που προκαλούν 1.700 νεκρούς και 30.000 τραυματίες, πέρα από τις σημαντικές υλικές ζημιές. Σε αυτά θα πρέπει να προστεθούν τα 80.000 ατυχήματα με υλικές μόνο ζημιές. Στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης τα οδικά ατυχήματα προκαλούν κάθε χρόνο 55.000 νεκρούς, 1.7 εκατομμύρια τραυματίες, εκ των οποίων 150.000 παραμένουν μόνιμα ανάπηροι. Τέλος σε παγκόσμια κλίμακα εκτιμάται ότι κάθε χρόνο συμβαίνουν 500.000 θάνατοι και 15 εκατομμύρια τραυματισμοί από οδικά ατυχήματα.

Τα τελευταία χρόνια με τη λήψη κατάλληλων μέτρων ασφάλειας των πεζών έχει παρατηρηθεί μείωση στον αριθμό των ατυχημάτων. Στα Διαγράμματα που περιγράφουν τα στατιστικά δεδομένα της Ελληνικής Αστυνομίας για τα οδικά ατυχήματα με παθόντες, παρατηρείται πως ο αριθμός αυτών ανέρχεται στα 15.000 ετησίως. Μάλιστα χρόνο με το χρόνο παρατηρείται μία ελαφρά μείωση στα αριθμό των θυμάτων.



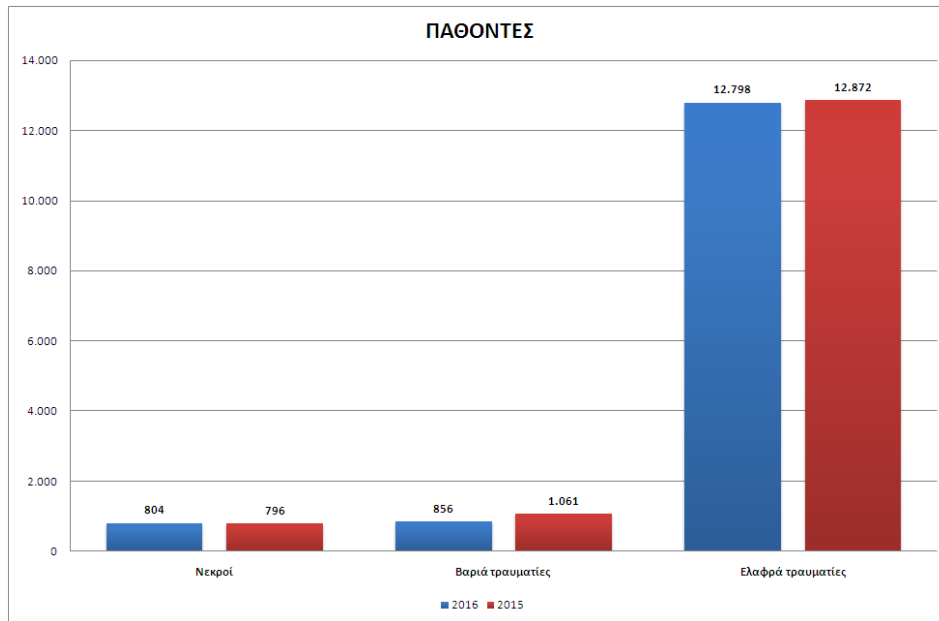
Διάγραμμα 2. 1:
Θύματα τροχαίων ατυχημάτων, σύγκριση 2015-2014

(Πηγή: Ελληνική Αστυνομία)



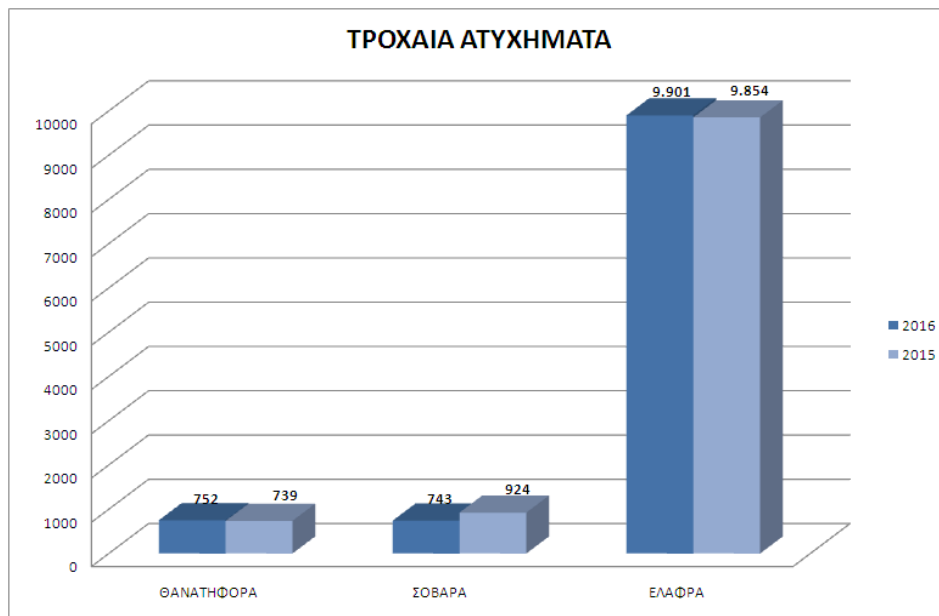
Διάγραμμα 2. 2:
Σοβαρότητα τροχαίων ατυχημάτων, σύγκριση 2015-2016

(Πηγή: Ελληνική Αστυνομία)



Διάγραμμα 2. 3:
Θύματα τροχαίων ατυχημάτων, σύγκριση 2016-2015

(Πηγή: Ελληνική Αστυνομία)



Διάγραμμα 2. 4:
Σοβαρότητα τροχαίων ατυχημάτων, σύγκριση 2016-2015

(Πηγή: Ελληνική Αστυνομία)

Αποκοπή αστικού ιστού

Η ύπαρξη οδικού τμήματος είναι λογικό ότι αποκόπτεται κατά ένα μέρος τον αστικό ιστό εκατέρωθεν του. Το μέγεθος της αποκοπής δεν εξαρτάται από το πλάτος και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του εκάστοτε οδικού δικτύου, αλλά από το μέγεθος και την κυκλοφοριακή ροή. Ένας ακόμη παράγοντας που επηρεάζει το μέγεθος της αποκοπής είναι η στάθμευση ή όχι στα άκρα του δρόμου. Σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει στάθμευση, το οδικό τμήμα μετατρέπεται σε αγωγό συνεχούς κυκλοφοριακής ροής, απαγορεύοντας την ανθρώπινη διέλευση. Αντίθετα, τα σταθμευμένα οχήματα αναγκάζουν την κίνηση σε χαμηλότερες ταχύτητες, κάτι που ευνοεί την ένταξη του ανθρώπου στο περιβάλλον του δρόμου (Ι. Παπαγιάννης).

2.3.2 Θετικές επιπτώσεις από την εφαρμογή της πεζοδρόμησης

Το περπάτημα αποτελεί τον αρχαιότερο και πιο διαδεδομένο τρόπο μετακίνησης. Ωστόσο, τη σήμερον ημέρα, που ο αστικός ιστός έχει εξαπλωθεί και το πρότυπο ζωής που προβάλλεται είναι σε γρήγορους και έντονους ρυθμούς, έχει δοθεί προτεραιότητα στο αυτοκίνητο. Σκοπός αυτής της ενέργειας είναι η γρήγορη και εύκολη διάνυση των μεγάλων αποστάσεων. Με τα χρόνια όμως, ο αριθμός των οχημάτων που διασχίζουν την ασφαλτο αυξήθηκε με αποτέλεσμα τη διόγκωση των κεντρικών αρτηριών, προκαλώντας έντονα προβλήματα κυκλοφοριακής συμφόρησης.

Σύμφωνα με τις επικρατούσες συνθήκες στα αστικά κέντρα η θέση του πεζού έρχεται σε δεύτερη μοίρα, παραγκωνίζοντάς τον και δυσχεραίνοντας τη μετακίνησή του. Μάλιστα, με τις έντονες διαπλατύνσεις του οδοστρώματος, το ανώτατο πλάτος των πεζοδρομίων, χώρων που απευθύνονται αποκλειστικά στην κυκλοφορία των πεζών, περιορίζεται στα 2.50m, εκ των οποίων τα 2.00m είναι ο χώρος που χρειάζεται ώστε να εξασφαλίζεται η τυχόν διασταύρωση δύο πεζών. Συνεπώς, ένα πεζοδρόμιο με τέτοιο πλάτος, ωθεί τον πεζό σε μία γρήγορη και απρόσωπη μετακίνηση, αποφεύγοντας τυχόν συναντήσεις που θα του δυσκολέψουν την κυκλοφορία. Είναι μάλιστα σαφές, πως σε ένα οδικό δίκτυο με οδούς μεγάλων ταχυτήτων και έντονης παρουσίας οχημάτων, διακυβεύεται και η ασφάλεια του πεζού. Η διασταύρωση της μηχανοκίνητης και μη

κυκλοφορίας μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρά ατυχήματα με πρώτους παθόντες τους πεζούς.

Όλα όσα προαναφέρθηκαν, σε συνδυασμό με την αύξηση στις αγορές των αυτοκινήτων, δεν θα μπορούσαν να αφήσουν αδιάφορους τους ερευνητές, οι οποίοι αναζητούν νέους τρόπους εξομάλυνσης της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Μια προτεινόμενη λύση στο πρόβλημα είναι η χωροθέτηση πεζοδρόμων, μια κίνηση που εκδηλώνει σεβασμό και πραγματικό ενδιαφέρον της πολιτείας προς τους πολίτες. Δεδομένης όμως, της μεγάλης έκτασης των σημερινών πόλεων, η επαναδιαμόρφωση τους καθίσταται ένα δύσκολο έργο. Πρέπει να γίνει η βέλτιστη επιλογή των τμημάτων του οδικού δικτύου που θα μετατραπούν από ενεργό κομμάτι της κυκλοφορίας σε τμήματα αποκλειστικής χρήσης πεζών. Η ισότητα του πεζού και του αυτοκινήτου είναι απαραίτητη και αυτό θα φανεί μόνο όταν η αναλογία μεταξύ του πεζόδρομου και του δρόμου ανατραπεί, δηλαδή αυξηθούν οι χώροι διέλευσης των πεζών. Με αυτό τον τρόπο, παροτρύνεται ο χρήστης του δικτύου να μετακινηθεί μέσω αυτών, κάνοντας λιγότερη χρήση του αυτοκινήτου, μεταλλάσσοντας τις μεγάλες και απρόσωπες μεγαλουπόλεις σε πόλεις φιλικές, προσπελάσιμες και με ανθρώπινη ταυτότητα. Είναι δηλαδή βέβαιο, πως η εισαγωγή πεζοδρόμων στο σύνολο του δικτύου λαμβάνοντας υπόψη και την ανάγκη για μηχανοκίνητη μετακίνηση, μόνο θετικά μπορεί να επιφέρει, και μάλιστα σε πολλά επίπεδα.

Παροχή ασφάλειας στον πεζό

Οι πεζοί είναι μία από τις περισσότερο ευπαθείς κατηγορίες χρηστών της οδού, καθώς η αλληλεπίδρασή τους με τα οχήματα μπορεί να επιφέρει σοβαρά ατυχήματα. Μάλιστα, από στατιστικές μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί στην Ελλάδα, έχει διαπιστωθεί πως ο δείκτης των τροχαίων ατυχημάτων είναι αρκετά υψηλός, με το 30% των νεκρών από αυτά να απευθύνονται σε πεζούς. Ο πεζός είναι εκτεθειμένος έναντι της ταχύτητας του οχήματος.

Η επικινδυνότητα του αστικού χώρου για τους πεζούς εξαρτάται άμεσα από τη δομή του οδικού δικτύου και τον χώρο που αντιστοιχεί στον πεζό. Ένας σωστά δομημένος και οργανωμένος χώρος μπορεί να προστατεύσει τον πεζό από τυχόν ανεπιθύμητες εμπλοκές με τα οχήματα. Οι πεζόδρομοι είναι η πλέον ασφαλής λύση, καθώς προσφέρουν στον πεζό

χώρο αποκλειστικά για τη δική του μετακίνηση, αποφεύγοντας την όποια αλληλεπίδραση του με κάποιο όχημα.

Επομένως, είναι δυνατή η μείωση των ατυχημάτων όπου εμπλέκονται πεζοί, εάν ληφθούν κατάλληλα μέτρα, τα οποία θα παρέχουν χώρο στον πεζό και θα τον προστατεύουν από τον κίνδυνο του αυτοκινήτου. Πρόκειται δηλαδή, για μία αλλαγή χωρικού διαχωρισμού.

Άνεση και ευχαρίστηση στη μετακίνηση του πεζού – Κοινωνικοποίηση

Κατασκευάζοντας οδούς αποκλειστικής κυκλοφορίας πεζών, παρέχεται η άνετη και ευχάριστη μετακίνηση αυτών, ενώ ταυτόχρονα αποτρέπεται και η χρήση του αυτοκινήτου για μικρές αποστάσεις. Η ανεμπόδιστη κυκλοφορία των πεζών στους πεζοδρόμους αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα, το οποίο πρέπει να το εκμεταλλευτεί η πολιτεία, ώστε να αναδομήσει τις πόλεις με σωστό τρόπο.

Η πεζοδρόμηση ενός μεγάλου οδικού δρόμου βοηθάει τον πεζό να κυκλοφορεί ανενόχλητος, κάνοντας τις αγορές του ήρεμα και ευχάριστα. Μάλιστα, μια τέτοια κίνηση μπορεί να επιφέρει και μεγάλες αλλαγές στην οικονομία της περιοχής, ενισχύοντάς την. Από την άλλη πλευρά, η πεζοδρόμηση μικρών τοπικών δρόμων, ενισχύει την έννοια της "γειτονιάς", δημιουργώντας ένα καλύτερο περιβάλλον γι' αυτή. Οι πεζόδρομοι, δημιουργούν συνθήκες για μία καλύτερη επαφή και επικοινωνία μεταξύ των ανθρώπων, ιδιαίτερα όσων ζουν σε αστικά κέντρα. Και στις δύο περιπτώσεις όμως, η προσφορά ενός ευχάριστου περιβάλλοντος πεζοδρόμησης, ωθεί τον άνθρωπο να περπατήσει αποφεύγοντας τη χρήση οχήματος και έτσι επέρχεται ο συμβιβασμός μεταξύ των εννοιών «πόλη» και «ποιότητας ζωής». Ένας ελκυστικός δρόμος είναι ικανός να βελτιώσει ικανοποιητικά την υφιστάμενη κατάσταση των πόλεων.

Μείωση της ατμοσφαιρικής μόλυνσης και της ηχορύπανση

Η πεζοδρόμηση είναι μία κίνηση αρκετά φιλική προς το περιβάλλον, καθώς απομακρύνει την κύρια πηγή ατμοσφαιρικών ρύπων, το αυτοκίνητο. Με την απομάκρυνση των οχημάτων από μια οδό, αυτόματη η συγκέντρωση των ατμοσφαιρικών ρύπων μειώνεται. Το ποσοστό αυτό βέβαια, εξαρτάται από τις γενικές ατμοσφαιρικές συνθήκες μιας

περιοχής, αλλά και από τους διάφορους άλλους παράγοντες που συνοδεύουν την πεζοδρόμηση, όπως η φύτευση δένδρων στην προκείμενη οδό.

Σε πολλές περιπτώσεις που η πεζοδρόμηση μια οδού συνοδεύεται και από δενδροφύτευση, διαπιστώνεται πως το ποσοστό των χρηστών της οδού αλλά και το ποσοστό μείωσης της συγκέντρωσης ατμοσφαιρικών ρύπων παρουσιάζουν μεγάλη αύξηση. Σε αντίθετη περίπτωση, που το πλάτος του πεζοδρόμου δεν είναι ικανό για την δενδροφύτευση παρατηρείται πως τα αντίστοιχα ποσοστά δεν παρουσιάζουν σημαντική αλλαγή, καθώς η κυκλοφορία της γύρω περιοχής επηρεάζει αισθητά την οδό που πεζοδρομήθηκε.

Επιπρόσθετα, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η πεζοδρόμηση μιας οδού συνεπάγεται την απομάκρυνση των οχημάτων από την οδό, γεγονός που επιτυγχάνει μείωση στα επίπεδα του θορύβου. Επιδιώκεται δηλαδή, η ανενόχλητη κίνηση του πεζού, προστατεύοντας το ακουστικό περιβάλλον.

Η ατμοσφαιρική ρύπανση, όπως και η ηχορύπανση προκαλούν σημαντικά προβλήματα στο περιβάλλον, τα οποία στη σύγχρονη εποχή έχουν πάρει τεράστιες διαστάσεις και τείνουν να γίνουν ανεξέλεγκτα. Γι' αυτό οποιοσδήποτε τρόπος μείωσης των τιμών τους μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές βελτιώσεις της υφιστάμενης κατάστασης.

Αισθητική βελτίωση της πόλης

Ο πεζόδρομος είναι ένα μέσο ενίσχυσης της πολιτιστικής κληρονομιάς μιας περιοχής. Η ορθή χωροθέτηση του πεζοδρόμου μπορεί να αναδείξει παραδοσιακά κτίρια, αρχαιολογικούς χώρους και ιστορικούς οικισμούς. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η πεζοδρόμηση της Διονυσίου Αρεοπαγίτου στο κέντρο της Αθήνας, η οποία αποτελείται από νεοκλασικά κτίρια και το μουσείο της Ακρόπολης. Προσφέρει στον πεζό μια ευχάριστη και αξιόλογη διαδρομή, η οποία τον παροτρύνει στην εκμάθηση της ιστορία της περιοχής. Ένας τέτοιος πεζόδρομος έχει και επιμορφωτικό χαρακτήρα.

Επομένως, ο βασικός στόχος που επιδιώκεται με τη δημιουργία πεζοδρόμων είναι η ενθάρρυνση της μετακίνησης με τα πόδια ως έναν εναλλακτικό τρόπο μεταφοράς, μέσα από την αναβίωση της σημασίας του δρόμου ως υπαίθριου δημόσιου χώρου. Μια διαδρομή με ταυτότητα που αναδεικνύει τη φυσιογνωμία και το χαρακτήρα της πόλης είναι ικανή να ενθαρρύνει τον πολίτη να περπατήσει, απορρίπτοντας το αυτοκίνητο ως μέσο μετακίνησης. Έτσι επιτυγχάνεται η αναβάθμιση του δομημένου περιβάλλοντος και

των κοινόχρηστων χώρων, δημιουργώντας εμπορικούς, ψυχαγωγικούς και πολιτιστικούς άξονες.

Από όλα τα παραπάνω, συμπεραίνεται πως είναι απαραίτητη η αναδιαμόρφωση των πόλεων, λαμβάνοντας υπόψη στη σχεδίαση τους πεζοδρόμους και τις θετικές επιπτώσεις που επιφέρουν. Ο σωστός σχεδιασμός έχει ως αποτέλεσμα την κατασκευή ενός χώρου με στοιχεία λειτουργικότητας, αρχιτεκτονικής πληρότητας και αισθητικού ενδιαφέροντος.

2.3.3 Είδη πεζοδρόμων

Οι πεζόδρομοι κατασκευάζονται με σκοπό να διασφαλίζεται η συνεχής, άνετη και χωρίς εμπόδια κίνηση των πεζών σε όλη την επιφάνεια, ενώ απαραίτητη καθίσταται και η χρήση τους από άτομα με ειδικές ανάγκες. Ωστόσο, ανάλογα με την μορφή του τμήματος η κατασκευή του πεζοδρόμου πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η διέλευση των οχημάτων έκτακτης ανάγκης ή οχημάτων τροφοδοσίας, όπου και όποτε κρίνεται αναγκαίο. Συνεπώς, οι πεζόδρομοι κατηγοριοποιούνται με βάση δύο κριτήρια:

1. Το βαθμό ανοχής έναντι του αυτοκινήτου
2. Τις χρήσεις που εξυπηρετούνται

Βαθμός ανοχής έναντι του αυτοκινήτου

- *Αμιγείς πεζόδρομοι*

Οι πεζόδρομοι αυτής της κατηγορίας μπορούν να διακριθούν σε δύο ομάδες.

Στους πεζοδρόμους της πρώτης ομάδας, οι συνθήκες και η διαμόρφωση δεν επιτρέπουν την κίνηση σε κάθε τροχοφόρο. Οι κλίσεις και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (πλάτος, στροφές) ή η διαμόρφωση (σκαλιά, εμπόδια) αποκλείουν τη διέλευση αυτών των τύπων οχημάτων. Στην ομάδα αυτή ανήκουν οι στοές καθώς επίσης και οι εμπορικοί δρόμοι.



Εικόνα 2. 1: Μύκονος. Δρόμος αποκλειστικής κυκλοφορίας πεζών. Αμιγής πεζόδρομος.

(Πηγή: The Green Eye)



Εικόνα 2. 2: Σαντορίνη. Δρόμος αποκλειστικής κυκλοφορίας πεζών. Αμιγής πεζόδρομος.

(Πηγή: Wonder Greece)

Στη δεύτερη ομάδα ανήκουν όλοι οι συνήθεις «αμιγείς» πεζόδρομοι, που όμως για λόγους ασφαλείας επιτρέπουν την έκτακτη διάβαση οχημάτων σε περιπτώσεις ανάγκης, όπως ασθενοφόρα, πυροσβεστικά, απορριμματοφόρα, καθώς και με ειδική άδεια οχήματα τροφοδοσίας. (Αραβαντινός, 1997)

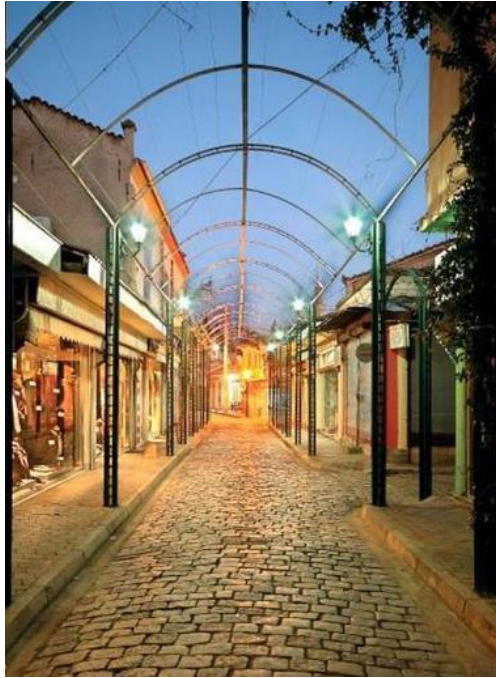
- *Πεζόδρομοι με πρόσβαση τροχοφόρων για ορισμένες ώρες*

Πρόκειται για περιπτώσεις πεζοδρόμων συνήθως με καταστήματα ή άλλες χρήσεις που απαιτούν ανεφοδιασμό. Η τροφοδοσία τους με αυτοκίνητα που τα προσεγγίζουν μέσω του πεζοδρόμου επιτρέπεται ορισμένες ώρες του 24ώρου, συνήθως τις ώρες που η εμπορική κίνηση δεν είναι έντονη. Φυσικά και γι' αυτήν την περίπτωση, η μετακίνηση οχημάτων έκτακτης ανάγκης επιτρέπεται όλο το 24ωρο.



Εικόνα 2. 3: Τρίκαλα. Δρόμος που επιτρέπει την κυκλοφορία συγκεκριμένων οχημάτων συγκεκριμένες ώρες της ημέρας.

(www.trikalanews.gr)



Εικόνα 2. 4: Κομοτηνή. Εμπορικός πεζόδρομος

(www.wikimapia.org)

- *Πεζόδρομοι με πρόσβαση για ορισμένες κατηγορίες οχημάτων*

Σε αυτή την κατηγορία, εντάσσονται τα τμήματα των πεζοδρόμων, στα οποία επιτρέπεται η κίνηση των οχημάτων στον πεζοδρόμο μόνο για λόγους στάθμευσης. Τα σημεία στάθμευσης βρίσκονται είτε σε κοινόχρηστους χώρους, είτε σε ιδιωτικούς χώρους. Επιπλέον, επιτρέπεται η κίνηση οχημάτων έκτακτης ανάγκης, καθώς επίσης και ήπια κίνηση των δημόσιων μέσων μεταφοράς, με μειωμένες κατά το δυνατό ταχύτητες.



Εικόνα 2. 5: Βόλος. Πεζόδρομοι όπου επιτρέπεται η είσοδος των οχημάτων μόνο για στάθμευση.

(Πηγή: Θ. Βλαστός, Τ. Μπιρμπίλη, 2001)

- *Πεζόδρομοι με «ήπια» κυκλοφορία τροχοφόρων*

Η κατηγορία αυτή, επιτρέπει την αρμονική συνύπαρξη των πεζών με μία περιορισμένη κίνηση του αυτοκινήτου. Η κίνηση των οχημάτων εξυπηρετείται είτε από έναν κατάλληλα διαμορφωμένο διάδρομο στο εσωτερικό του πεζοδρομίου, είτε από το ίδιο το δάπεδο του πεζοδρομίου, το οποίο είναι ενιαίο. Και στις δύο περιπτώσεις, ο πεζός έχει προτεραιότητα σε όλο το πλάτος του πεζοδρομίου, ενώ η κίνηση των τροχοφόρων γίνεται υποχρεωτικά με πολύ μικρή ταχύτητα.

Στην περίπτωση που η κίνηση των οχημάτων θα εξυπηρετείται από έναν διάδρομο ξεχωριστό από τον πεζόδρομο, η κατασκευή αυτού θα πρέπει να ακολουθεί τη ροή του πεζοδρόμου και η μορφή του να μην θυμίζει σε καμία περίπτωση τη μορφή ενός κανονικού οδοστρώματος.



Εικόνα 2. 6: Κηφισιά. Δρόμος ήπιας κυκλοφορίας με ενιαία στάθμη. Η κίτρινη ζώνη όδευσης τυφλών λειτουργεί ως όριο μεταξύ λωρίδας ποδηλάτου και πεζοδρόμου.

(Πηγή: Ε. Μπακογιάννης, Μ. Σίτη, Χ. Κυριακίδης, 2017)

Χρήσεις που εξυπηρετούνται

Οι λόγοι που υπαγορεύουν την κατάταξη των πεζοδρόμων ανάλογα με τις χρήσεις που εξυπηρετούν, σχετίζονται κυρίως με τις ειδικές προδιαγραφές μορφής και εξοπλισμού που απαιτούνται για κάθε κατηγορία. Οι πεζόδρομοι διακρίνονται:

- Πεζόδρομοι περιοχών κατοικίας
- Πεζόδρομοι κέντρων πόλεων και ειδικότερα εμπορικοί πεζόδρομοι
- Πεζόδρομοι ιστορικών ή παραδοσιακών τμημάτων οικισμού
- Πεζόδρομοι περιοχών δευτερογενούς τομέα
- Τουριστικοί πεζόδρομοι
- Πεζόδρομοι σε περιοχές ψυχαγωγικών εγκαταστάσεων
- Πεζόδρομοι / μονοπάτια ενταγμένα στα πάρκα, στους αρχαιολογικούς χώρους, σε αθλητικές εγκαταστάσεις και σε άλλους ελεύθερους χώρους

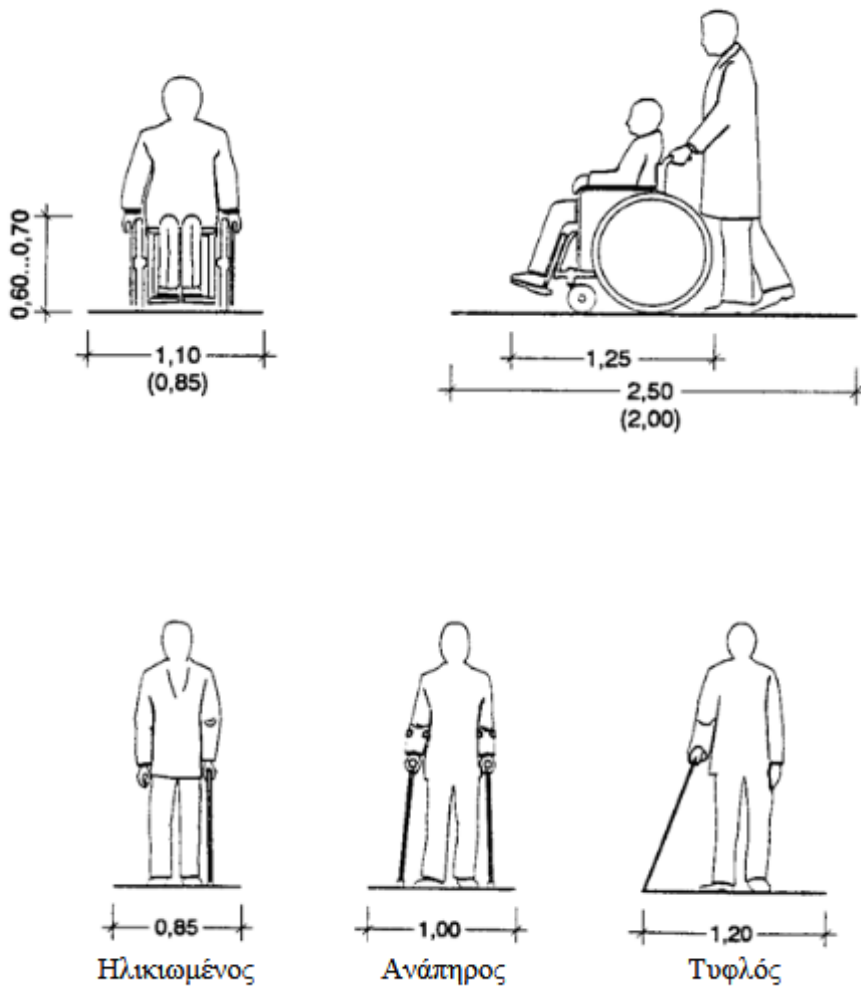
2.3.4 Πρόβλεψη στο σχεδιασμό για τα ΑΜΕΑ

Σύμφωνα με τον άρθρο 32 του νόμου 1566/85 (ΦΕΚ167/85), άτομα με ειδικές ανάγκες θεωρούνται τα πρόσωπα τα οποία από οργανικά, ψυχικά ή κοινωνικά αίτια παρουσιάζουν καθυστερήσεις, αναπηρίες ή διαταραχές στη γενικότερη ψυχοσωματική κατάσταση ή στις επιμέρους λειτουργίες τους και σε βαθμό που δυσκολεύεται ή παρεμποδίζεται σοβαρά η παρακολούθηση της γενικής και επαγγελματικής εκπαίδευσης, η δυνατότητα ένταξής τους στην παραγωγική διαδικασία και η αλληλοαποδοχή τους με το κοινωνικό σύνολο. Τα εμπόδια που συναντούν τα άτομα αυτά σχετίζονται άμεσα με το είδος της αναπηρίας.

Σύμφωνα με τον ΟΗΕ, το ποσοστό των ατόμων με ειδικές ανάγκες στις περισσότερες χώρες του κόσμου ανέρχεται στο ποσοστό 8–10%. Το ποσοστό αυτό είναι μεγαλύτερο για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, καθώς ανέρχεται στα 10-15%. Στην Ελλάδα το ακριβές ποσοστό των ατόμων με αναπηρία είναι 9.3%. Την τελευταία δεκαετία, τα ποσοστά παρουσιάζουν αύξηση της τάξης 2-6%, γεγονός που οφείλεται, μεταξύ των άλλων και στον αυξημένο αριθμό των τροχαίων ατυχημάτων που αφήνουν χρόνια προβλήματα στα θύματά τους.

Παρατηρείται επομένως, πως το ποσοστό των ατόμων με κάποια μορφή αναπηρίας είναι αρκετά μεγάλο. Αφορά μάλιστα άτομα τα οποία είναι ενεργά στην κοινωνία και οφείλει η πολιτεία να τους εντάξει σε αυτήν ομαλά. Για το λόγο αυτό, στο σχεδιασμό των πόλεων δεν παραλείπεται η κατάλληλη μέριμνα για τα άτομα με ειδικές ανάγκες, ώστε να τους παρέχεται μία εύκολη, ευχάριστη, αλλά πάνω από όλα ασφαλής μετακίνηση. Απαιτείται, δηλαδή ο ορθός σχεδιασμός των δαπέδων κυκλοφορίας για την αποφυγή οποιουδήποτε κινδύνου.

Σύμφωνα με τις Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ), το απαραίτητο πλάτος που χρειάζεται για την κίνησή του στο πεζοδρόμιο ένα άτομο που για την μετακίνησή του χρησιμοποιεί ειδικό αμαξίδιο, είναι 1.25m. Ενώ στις άλλες κατηγορίες των ατόμων με αναπηρίες το επιθυμητό πλάτος είναι μικρότερο.



Εικόνα 2. 7: Βασικές διαστάσεις για τον καθορισμό του απαιτούμενου πλάτους πεζοδρομου ή πεζοδρομίου

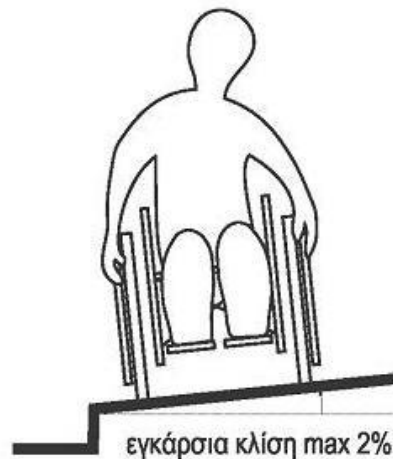
(Πηγή: ΟΜΟΕ / Τεύχος 4: Κύριες αστικές οδοί)

Πέρα όμως από τα πλάτη του πεζοδρομίου, στο σχεδιασμό βασικό ρόλο παίζει και οι τεχνικές προδιαγραφές που χρησιμοποιούνται για την συνολική κατασκευή του. Μερικές από αυτές είναι οι εξής:

- Η απόσταση της ελεύθερης ζώνης όδευσης πεζών από το κράσπεδο του πεζοδρομίου πρέπει να είναι τουλάχιστον 35cm, για την τοποθέτηση πινακίδων σήμανση ή/και προστατευτικών κιγκλιδωμάτων.
- Υφιστάμενα πεζοδρόμια σε αστικές περιοχές, με πλάτος πεζοδρομίου μικρότερο από 1.00m, δεν καθιστά εύκολη τη διακίνηση αμαξιδίων, γι' αυτό προτείνεται ο

υποβιβασμός του πεζοδρομίου στο επίπεδο του δρόμου ή το αντίθετο, γεγονός που δεν συνιστάται καθώς διακινδυνεύεται η ασφαλής μετακίνησή τους.

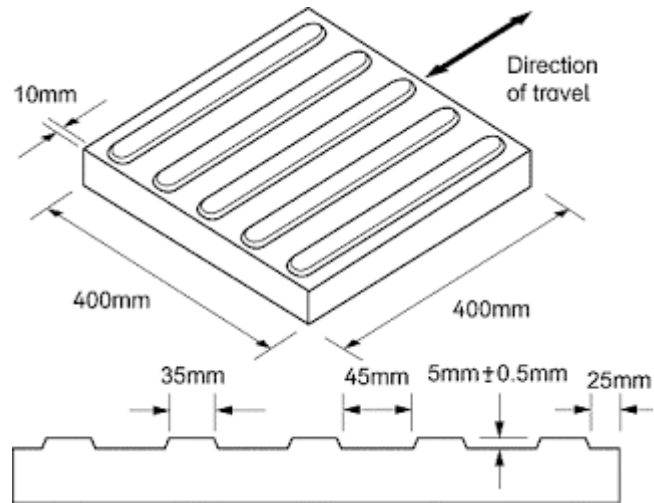
- Τα πεζοδρόμια πρέπει να διαμορφώνονται και να συνδέονται κατάλληλα με το οδόστρωμα με ράμπες κλίσης 6%.
- Η μέγιστη εγκάρσια κλίση των πεζοδρομίων ή πεζοδρόμων κάθετα προς τη ζώνη όδευσης για λόγους απορροής όμβριων ορίζεται στο 2%. Μεγαλύτερες κλίσεις αποτελούν κίνδυνο ανατροπής για τα αναπηρικά αμαξίδια.



Εικόνα 2. 8: Μέγιστη εγκάρσια κλίση πεζοδρομίου ή πεζοδρόμων

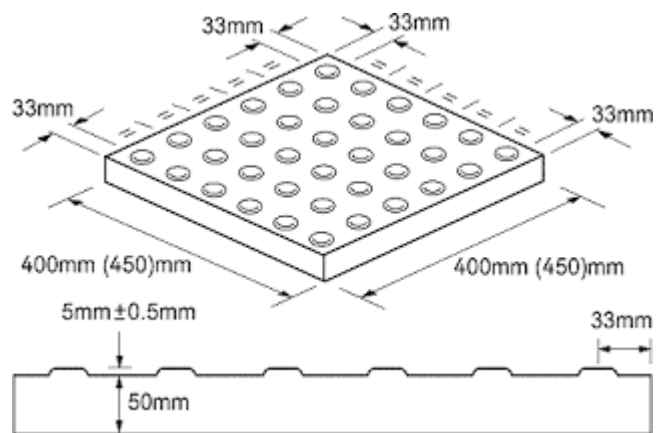
(Πηγή: ΟΜΟΕ)

- Θα πρέπει να υπάρχει ειδικός οδηγός όδευσης τυφλών. Πρόκειται για ειδική λωρίδα του δαπέδου από πλάκες διαφορετικής υφής και χρώματος από το υλοποιημένο δάπεδο, που αποσκοπεί στην καθοδήγηση και την ασφαλή διακίνηση των ατόμων με πρόβλημα όρασης. Μάλιστα, το ανάγλυφο της πλάκας αλλάζει ανάλογα με το μήνυμα που θέλει να δώσει στο άτομο, π.χ. προειδοποίηση για την είσοδο σε δρόμο. Το ελάχιστο πλάτος των πλακών που χρησιμοποιούνται είναι 40cm.



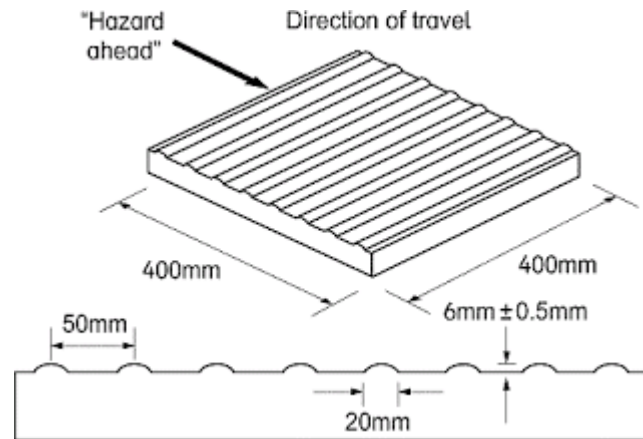
Εικόνα 2. 9: Οδηγός όδευσης τυφλών. Ειδική πλάκα πορείας.

(Πηγή: ΟΜΟΕ)



Εικόνα 2. 10: Οδηγός όδευσης τυφλών. Ειδική πλάκα προειδοποίησης για την είσοδο σε οδόστρωμα.

(Πηγή: ΟΜΟΕ)



Εικόνα 2. 11: Οδηγός όδευσης τυφλών. Ειδική πλάκα προειδοποίησης στην αρχή και στο τέλος κεκλιμένων δαπέδων.

(Πηγή: ΟΜΟΕ)

2.4 ΓΕΝΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ

2.4.1 Μέθοδοι επίλυσης

Για την επίλυση δύσκολων προβλημάτων βελτιστοποίησης υψηλής πολυπλοκότητας, έχουν αναπτυχθεί δύο κατηγορίες μεθόδων επίλυσης, η καθεμία από τις οποίες έχει διαφορετική προσέγγιση. Η κατηγοριοποίηση εξαρτάται κυρίως στον τύπο λύσης που αυτές παράγουν. Οι δύο κατηγορίες είναι οι αναλυτικοί αλγόριθμοι και οι προσεγγιστικοί αλγόριθμοι.

Οι αναλυτικοί αλγόριθμοι ακολουθούν μία μέθοδο που απαιτεί υψηλή υπολογιστική προσπάθεια, χρόνο και μνήμη, ειδικά σε μεγάλου μεγέθους προβλήματα, καθώς ερευνούν όλο το χώρο λύσεων προκειμένου να καταλήξουν στην καθολική βέλτιστη λύση. Πάντοτε καταλήγουν στη βέλτιστη λύση, γεγονός που αποδεικνύει τη σημαντικότητά τους και την αναμφισβήτητη παρουσία τους στο πεδίο της βελτιστοποίησης προβλημάτων. Χαρακτηριστικό τους μειονέκτημα αποτελεί ο αυξημένος απαιτούμενος υπολογιστικός χρόνος (Γεωργόπουλος Α., 2014).

Οι προσεγγιστικοί αλγόριθμοι ακολουθούν ή την ευρετική μέθοδο ή την μετα-ευρετική. Η ευρετική μέθοδος αποτελεί μία λογική ακολουθία βημάτων, όπου σταδιακά προγραμματίζονται δραστηριότητες, η σειρά προγραμματισμού των οποίων στηρίζεται σε δεδομένους κανόνες προτεραιότητας, συνυφασμένες με τους υφιστάμενους περιορισμούς, μέχρι να δημιουργηθεί μία προσεγγιστική, καλή λύση, ή οποία είναι ικανή να εφαρμοστεί στην πράξη. Από την άλλη μεριά, η μετα-ευρετική μέθοδος αρχίζει από μία πιθανή προσεγγιστική λύση, που έχει παραχθεί από κάποια δομική ευρετική μέθοδο, και με κατάλληλες επαναληπτικές διαδικασίες μετασχηματίζει την αρχική λύση σε μία βελτιωμένη λύση. Η μετα-ευρετική μέθοδος είναι μία πολύπλοκη υπολογιστική διαδικασία, μέσω την οποία αυξάνεται η πιθανότητα να προσεγγίσουν μία καλύτερη ή και τη βέλτιστη λύση του προβλήματος σε σύντομο χρονικό διάστημα. Στην κατηγορία των μετα-ευτικών μεθόδων ανήκουν:

- Γενετικοί αλγόριθμοι (genetic algorithm)
- Μέθοδος προσομοιωμένης απόψησης (simulated annealing)
- Αναζήτηση ταμπού (tabu search)

Για την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος επιλέχθηκε ο γενετικός αλγόριθμος, ο οποίος και θα περιγραφεί στη συνέχεια.

2.4.2 Γενετικός αλγόριθμος

Οι γενετικοί αλγόριθμοι αναπτύχθηκαν ως μία μετα-ευρετική στρατηγική επίλυσης δύσκολων προβλημάτων συνδυαστικής βελτιστοποίησης από τον Holland το 1975 (Wikipedia). Ανήκουν στην ευρετική οικογένεια των εξελικτικών αλγορίθμων και είναι εμπνευσμένη από τη φυσική διαδικασία της βιολογικής εξέλιξης και της γενετικής, και ειδικότερα της κληρονομικότητας των γενετικών αλγορίθμων και της εξέλιξης αυτών από γενιά σε γενιά.

Οι γενετικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούν ορολογία δανεισμένη από το χώρο της Φυσικής Γενετικής (Γεωργόπουλος Α., 2014). Αναφέρονται σε άτομα (individual) ή γονότυπους (genotypes) μέσα σε έναν πληθυσμό. Κάθε άτομο ή γονότυπος αποτελείται από ένα χρωμόσωμα (chromosomes). Στους γενετικούς αλγορίθμους η αναφορά γίνεται,

συνήθως, σε άτομα με ένα μόνο χρωμόσωμα, οπότε στην περίπτωση αυτή οι έννοιες του ατόμου ή του γονότυπου και του χρωμοσώματος ταυτίζονται. Τα χρωμοσώματα με τη σειρά τους αποτελούνται από γονίδια (genes) που είναι διατεταγμένα σε γραμμική ακολουθία, ικανά να επηρεάσουν την κληρονομικότητα των χαρακτηριστικών. Τέλος, στη διαδικασία επίλυσης ενός προβλήματος με το γενετικό αλγόριθμο αναφέρονται οι έννοιες της διασταύρωσης (crossover) και της μετάλλαξης (mutation).

2.4.3 Βήματα της διαδικασίας

Βήμα 1^ο : Αρχικός πληθυσμός

Η διαδικασία επίλυσης ενός Γ.Α. ξεκινά από τον υπολογισμό ενός αρχικού πληθυσμού (initial population) με τυχαίο τρόπο. Ο αρχικός πληθυσμός αποτελείται από εφικτές λύσεις παραγόμενες από ευρετική διαδικασία ή μία τυχαία διαδικασία επιλογής.

Βήμα 2^ο: Διαδικασία αξιολόγησης

Ο αρχικός πληθυσμός αποτελείται από n (ζυγός ακέραιος αριθμός) χρωμοσώματα. Για κάθε ένα χρωμόσωμα υπολογίζεται η τιμή της καταλληλότητας, μέσω της συνάρτησης αξιολόγησης (fitness function), όπου υποδηλώνεται η αξία της κάθε λύσης. Οι σχετικά «καλές» λύσεις αναπαράγονται, ενώ οι σχετικά «κακές» λύσεις απομακρύνονται. Ακολουθείται, δηλαδή, μία μέθοδος επιλογής (selection method).

Βήμα 3^ο: Δημιουργία νέων μελών

Ο αρχικός πληθυσμός, ο οποίος έχει υποστεί τη διαδικασία της επιλογής, χωρίζεται σε τυχαία ζεύγη ατόμων-γονέων, σε κάθε ένα από τα οποία εφαρμόζεται η διαδικασία της διασταύρωσης, όπου παράγονται δύο νέα άτομα-απόγονοι μέσα από τους κανόνες συνδυασμού των γενετικών στοιχείων των γονέων. Κατά τη μετάλλαξη πραγματοποιούνται τυχαίες αλλαγές στη δομή του χρωμοσώματος τους απογόνου. Η διαδικασία της μετάλλαξης εξυπηρετεί την εισαγωγή νέων πιθανών λύσεων, διαφορετικών από τις υπάρχουσες, στον ήδη υπάρχοντα πληθυσμό.

Ύστερα από τις διαδικασίες της εξέλιξης δημιουργείται ένας πληθυσμός μεγέθους $2*n$ αποτελούμενος από γονείς και απογόνους. Επαναλαμβάνεται η διαδικασία της

επιλογής μέσω της συνάρτησης αξιολόγησης και προκύπτει ένας νέος πληθυσμός, ο οποίος αποτελείται από n χρωμοσώματα με την καλύτερη τιμή καταλληλότητας, τα οποία θα αποτελέσουν τον αρχικό πληθυσμό της επόμενης γενιάς.

Βήμα 4^ο: Τερματισμός του Γ.Α.

Ο αλγόριθμος ολοκληρώνεται όταν επέλθει ο μέγιστος αριθμός επιτρεπόμενων γενεών λύσεων ή όταν ο καθορισμένος αποδεκτός υπολογιστικός χρόνος υπερβεί το επιτρεπτό όριο.

2.4.4 Πλεονεκτήματα Γ.Α.

Οι Γ.Α. πλεονεκτούν αισθητά στη λύση προβλημάτων αναζήτησης και βελτιστοποίησης από ότι οι παραδοσιακές μέθοδοι (Γεωργόπουλος Ε., 2000). Η επιλογή του Γ.Α. ως μέσω επίλυσης του συγκεκριμένου προβλήματος, έγινε λόγω των παρακάτω πλεονεκτημάτων:

- Δουλεύουν με μία κωδικοποίηση του συνόλου τιμών που μπορούν να λάβουν οι μεταβλητές και όχι με τις ίδιες τις μεταβλητές του προβλήματος
- Κάνουν αναζήτηση σε πολλά σημεία ταυτόχρονα και όχι μόνο σε ένα
- Χρησιμοποιούν μόνο τη συνάρτηση αξιολόγησης και καμία επιπρόσθετη πληροφορία για την αξιολόγηση της καταλληλότητας του πληθυσμού
- Χρησιμοποιούν πιθανο-θεωρητικούς κανόνες μετάβασης και όχι ντετερμινιστικούς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΠΕΖΟΔΡΟΜΩΝ

3.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

3.1.1 Διαμόρφωση μοντέλου

Όπως έχει προαναφερθεί, μια αντίστοιχη έρευνα πραγματοποιήθηκε από τους Wu, et, al, (2005) και ασχολείται με ένα διακριτό πρόβλημα σχεδιαστικού δικτύου ισορροπίας (NDP). Στόχος της είναι η ανάπτυξη ενός αναλυτικού μοντέλου, το οποίο θα βοηθήσει στη χωροθέτηση πεζοδρόμων σε ένα πολυτροπικό σύστημα μεταφοράς με μηχανοκίνητους και μη τρόπους μετακίνησης. Για τη βέλτιστη προσέγγιση του θέματος, προτάθηκε ένα μοντέλο δύο επιπέδων, το οποίο επιλύθηκε με τη χρήση του μετα-ευρετικού αλγορίθμου, προσομοιωμένης απόπτωσης (simulated annealing). Συγκεκριμένα, με δεδομένο το πολυτροπικό δίκτυο μεταφορών, που όλοι οι δρόμοι είναι υποψήφιοι προς πεζοδρόμηση, το πρόβλημα είναι να βρεθεί το σύνολο εκείνων των οποίων η πεζοδρόμηση θα ωφελήσει στη λειτουργία του συνολικού δικτύου και θα επιφέρει βελτίωση της κυκλοφοριακής κατάστασης. Στο προτεινόμενο μοντέλο δύο επιπέδων, ο πρωταρχικός – ανώτερο στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους του συστήματος, δεδομένου ότι η ελαστικότητα της ζήτησης στο σχετικό πρόβλημα σχεδίασης θεωρείται αμελητέα. Ως κόστος στο πολυτροπικό σύστημα μεταφορών λαμβάνεται ο χρόνος ταξιδιού. Ο δευτερεύον – χαμηλότερου επιπέδου στόχος είναι η κατάσταση ισορροπίας των χρηστών. Κάθε χρήστης του πολυτροπικού συστήματος έχει στόχο την επιλογή της συντομότερης διαδρομής για να φτάσει στον προορισμό του. Το πολυτροπικό σύστημα του δικτύου επιτρέπει αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διάφορων τρόπων μεταφοράς, οι οποίες πρέπει να συμπεριληφθούν στο σχεδιαστικό πρόβλημα. Με άλλα λόγια, η πεζοδρόμηση ενός τμήματος του οδικού δικτύου έχει διάφορες επιπτώσεις στους χρήστες με διαφορετικό τρόπο μεταφοράς. Στόχος είναι να ελέγχονται τα οφέλη ή τα μειονεκτήματα του κάθε χρήστη και να επέρχεται ισορροπία του συστήματος.

Το μοντέλο των Wu, et, al, (2005) είναι αρκετά περίπλοκο σε μαθηματικό επίπεδο, καθώς έχει ως στόχο τη βέλτιστη χωροθέτηση πεζοδρόμων λαμβάνοντας υπόψη κυρίως χρονικά κριτήρια, μεταξύ των οποίων και το χρόνο που χρειάζεται ο πεζός για να κινηθεί. Ωστόσο, δεν αναφέρεται στα περιβαλλοντικά στοιχεία της περιοχής σαν κριτήριο και δεν αναλύει τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των οδικών τμημάτων. Η παρούσα μελέτη, αφορά τη χωροθέτηση πεζοδρόμων σε ένα αρκετά μεγαλύτερο δίκτυο, με κριτήρια που αφορούν τη συγκοινωνιακή μορφή του δικτύου αλλά και την περιβαλλοντική κατάσταση της περιοχής. Για την επιλογή του βέλτιστου συνδυασμού των συνδέσμων επεξεργάζονται βασικά στοιχεία επιλογής συνδέσμου, όπως η χωρητικότητα. Μια επιπλέον βασική διαφορά είναι πως στη συγκεκριμένη μελέτη, για την επιλογή των κατάλληλων συνδέσμων για πεζοδρόμηση χρησιμοποιείται γενετικός αλγόριθμος, ο οποίος είναι πιο σύγχρονος, έγκυρος και αξιόπιστος. Μάλιστα, πολλές έρευνες που εξετάζουν τη διαφορά του γενετικού αλγορίθμου από τη μέθοδο προσομοιωμένης απόδοσης, συμπεραίνουν πως τα αποτελέσματα του γενετικού αλγορίθμου είναι πιο κοντά στη βέλτιστη λύση (π.χ. Manikas W. T., Cain T. J., 1996). Τέλος, λαμβάνονται υπόψη διάφοροι περιορισμοί, οι οποίοι επηρεάζουν την επιλογή και οδηγούν σε ένα πιο ρεαλιστικό αποτέλεσμα.

Στο πλαίσιο της μετατροπής ενός οδικού τμήματος από ενεργό κομμάτι της κυκλοφορίας σε πεζόδρομο, ποικίλουν τα κριτήρια και οι κανόνες, τα οποία πρέπει να εξεταστούν για να προσδιοριστεί η δυνατότητα ή όχι του κάθε τμήματος να πεζοδρομηθεί. Για να επιτευχθεί η βελτιστοποίηση, παράγονται μοντέλα αριστοποίησης ή αλλιώς μοντέλα μαθηματικού προγραμματισμού. Ένα τέτοιο μοντέλο αποτελείται από μία αντικειμενική συνάρτηση και από ένα σύνολο περιορισμών.

Αντικειμενική συνάρτηση

Η αντικειμενική συνάρτηση έχει τη μορφή:

$$Z = \beta_1 * \sum L_{walkingway} + \beta_2 * \sum TC$$

(εξίσωση 3.1)

, όπου β_1 & β_2 : τα βάρη της εξίσωσης

Μεταβλητές απόφασης

Στο ζήτημα της χωροθέτησης ως μεταβλητές απόφασης ορίζονται:

- Συνολικό μήκος των πεζοδρόμων ($\Sigma L_{\text{walkingway}}$)
- Οχηματοώρες (ΣΤC), που αποτελεί και το μοναδικό κόστος του προβλήματος

Περιορισμοί

Το σύνολο των περιορισμών που χρησιμοποιούνται σε ένα πρόβλημα εξαρτάται από το περιβάλλον που αναπτύσσεται η δραστηριότητά του. Τα κριτήρια επιλογής των οδικών τμημάτων που πρόκειται να μετατραπούν σε πεζόδρομο εξαρτώνται από παράγοντες που αφορούν τη σύνθεση και την τοποθέτησή τους στο χώρο και στο αστικό υπόβαθρο. Στην παρούσα εργασία, οι περιορισμοί διακρίνονται σε δύο είδη, σε αυτούς που επηρεάζουν άμεσα την επιλογή των συνδέσμων που πρόκειται να πεζοδρομηθούν και σε αυτούς που χρησιμοποιούνται ως έμμεσα κριτήρια στην επιλογή τους.

Το αρχικό πλάτος του κάθε συνδέσμου και η ταχύτητα εξυπηρέτησης της οδικής μετακίνησης καθορίζουν κατά κύριο λόγο την επιλογή των συνδέσμων που πρόκειται να πεζοδρομηθούν.

Αρχικό πλάτος του συνδέσμου

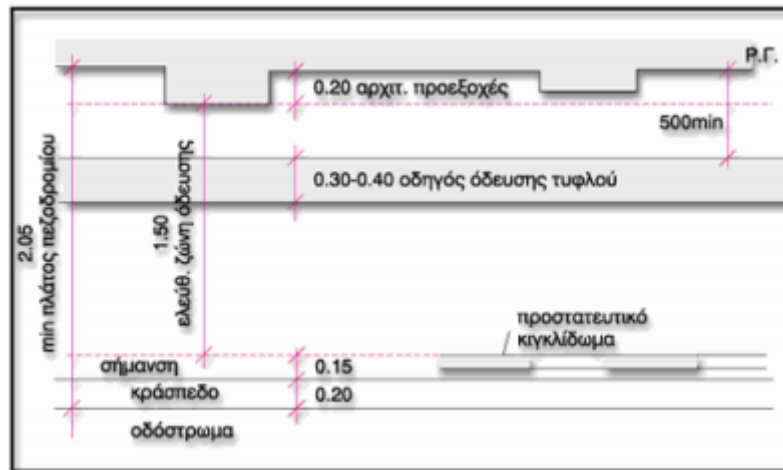
Το πρωτεύον κριτήριο που καθορίζει την μορφή του πεζοδρόμου είναι το συνολικό πλάτος της οδού. Ανάλογα με το αρχικό πλάτος προσδιορίζεται και ο τύπος της πεζοδρόμησης, ολική ή μερική.

Το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας ορίζει ως πλάτος πεζοδρομίου την απόσταση από την ρυμοτομική γραμμή μέχρι την ακμή του κρασπέδου. Ανάλογα με το πλάτος του δρόμου, κρίνεται και το ελάχιστο πλάτος τους πεζοδρομίου. Μάλιστα, το Υ.ΠΕ.ΚΑ. προτείνει τα παρακάτω, σχετικά με το ελάχιστο πλάτος πεζοδρομίου:

- για δρόμους πλάτους άνω των 12.00μ , ελάχιστο πλάτος πεζοδρομίου 2.05μ
- για δρόμους πλάτους από 9.00-12.00μ, υποχρεωτικό πλάτος πεζοδρομίου 2.05μ

- ο για δρόμους πλάτους από 6.00-9.00μ, ελάχιστο πλάτος 1.50μ (όσο η ελεύθερη ζώνη όδευσης πεζών) και επιθυμητό κατά το δυνατόν 2.05μ
- ο για δρόμους πλάτους μικρότερου των 6.00μ, προτείνεται η πεζοδρόμηση τους.

Για την επίτευξη των παραπάνω πλατών, συνίσταται το μοντέλο να εμβαθύνει όχι μόνο στην ολική πεζοδρόμηση σε τμήματα του οδικού δικτύου, αλλά και στη διαπλάτυνση του πεζοδρομίου σε μερικά οδικά τμήματα που θεωρείται απαραίτητη.



Εικόνα 3. 1: Πλάτος πεζοδρομίου

Οι κανόνες προσδιορισμού του απαραίτητου πλάτους πεζοδρόμησης είναι οι εξής:

1. Οδοί με πλάτος μικρότερο ή ίσο με 7μ.:

Οι οδοί αυτοί πεζοδρομούνται υποχρεωτικά ολόκληρες, δίνοντας το δικαίωμα στους πεζούς να κινούνται ελεύθερα και απαγορεύοντας την οποιαδήποτε κίνηση των οχημάτων, εκτός αυτών της έκτακτης ανάγκης.

2. Οδοί με πλάτος μεγαλύτερο από 7μ. και μικρότερο από 10μ.:

Οι οδοί αυτοί, εφόσον είναι αμφίδρομοι, μονοδρομούνται υποχρεωτικά και δίνεται το δικαίωμα στάθμευσης μόνο από τη μία πλευρά του δρόμου. Η τελική φορά κίνησης των οχημάτων καθορίζεται από τις διάφορες κυκλοφοριακές συνθήκες και μελέτες. Το πεζοδρόμιο σε αυτή την κατηγορία έχει επιπλέον πλάτος (π):

$\pi = (\Pi - 5,3)/2$ μ., όπου Π : το αρχικό πλάτος του δρόμου μετρημένο από τις ρυμοτομικές γραμμές.

3. Οδοί με πλάτος μεγαλύτερο από 10μ. και μικρότερο από 13μ.:

Οι οδοί αυτοί, εφόσον είναι αμφίδρομες, μονοδρομούνται και δίνεται το δικαίωμα στάθμευσης και από τις δύο πλευρές. Η τελική φορά κίνησης καθορίζεται από τις κυκλοφοριακές συνθήκες και μελέτες που εκπονούνται. Το πεζοδρόμιο σε αυτή την κατηγορία έχει επιπλέον πλάτος (π):

$\pi = (\Pi - 7,3)/2$ μ., όπου Π : το αρχικό πλάτος του δρόμου μετρημένο από τις ρυμοτομικές γραμμές.

4. Οδοί με πλάτος μεγαλύτερο από 13μ.:

Οι οδοί αυτοί, εφόσον είναι αμφίδρομες, μονοδρομούνται και επιτρέπεται η στάθμευση και από τις δύο πλευρές. Η τελική φορά κίνησης καθορίζεται από τις κυκλοφορικές συνθήκες και μελέτες. Το πεζοδρόμιο σε αυτή την κατηγορία έχει επιπλέον πλάτος (π):

$\pi = (\Pi - 9,8)/2$ μ., όπου Π : το αρχικό πλάτος του δρόμου μετρημένο από τις ρυμοτομικές γραμμές.

Η παρούσα μελέτη δηλαδή, δεν ασχολείται μόνο με την ολική πεζοδρόμηση, αλλά και με τη διαπλάτυνση πεζοδρομίου. Δηλαδή, υπολογίζεται και το πλάτος του πεζοδρόμου, αλλά και του τμήματος που θα δοθεί τελικά στην κυκλοφορία.

Από τους παραπάνω κανονισμούς παρατηρείται πως στις οδούς με πλάτος μεγαλύτερο των 7m, που προτείνεται η διαπλάτυνση του πεζοδρομίου, επιτρέπεται και η στάθμευση των οχημάτων, είτε από τη μία πλευρά της οδού είτε και από τις δύο. Σύμφωνα με τον Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας με τον όρο στάθμευση ορίζεται «Η ακινησία του οχήματος για οποιονδήποτε λόγο, πλην της ανάγκης αποφυγής εμπλοκής του με άλλο όχημα που χρησιμοποιεί την οδό ή σύγκρουσης με εμπόδιο ή για τη συμμόρφωσή του με τους κανονισμούς κυκλοφορίας, εφόσον η χρονική περίοδος ακινητοποίησης του οχήματος δεν περιορίζεται στον απαιτούμενο χρόνο για την επιβίβαση ή αποβίβαση επιβατών ή φόρτωση ή εκφόρτωση πραγμάτων». Μάλιστα, ο τύπος στάθμευσης που προτείνεται από τους κανονισμούς είναι η παράλληλη στάθμευση, καθώς χρησιμοποιεί το μικρότερο πλάτος από κάθε άλλο τύπο.

Με βάση την ταχύτητα εξυπηρέτησης

Η ταχύτητα εξυπηρέτησης των οχημάτων στον εκάστοτε οδικό σύνδεσμο του δικτύου είναι το κριτήριο που καθορίζει αν τελικά θα πεζοδρομηθεί ο σύνδεσμος ή όχι. Αρχικά, πρέπει να εξεταστεί ο ρόλος ενός οδικού τμήματος στην κυκλοφορία, αν αυτός αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι αυτής ή όχι. Η λειτουργική ιεράρχηση ενός οδικού δικτύου έχει σκοπό να δώσει σε κάθε τμήμα (οδικό σύνδεσμο) του δικτύου ένα χαρακτήρα, ο οποίος προσδίδεται από το είδος της εξυπηρέτησης που καλείται να προσφέρει.

Πίνακας 3. 1:

Επιδιωκόμενη ταχύτητα διαδρομής ανά κατηγορία οδού

| | Χαρακτηρισμός οδού | Κατηγορία οδού | Εύρος ταχυτήτων διαδρομής [km/h] | | |
|-------------------------------|---|----------------|----------------------------------|---------------|-------------------|
| | | | εργάσιμες ημέρες | ημέρες αργιών | περίοδοι διακοπών |
| Υπερασπικές οδοί | Αυτοδρόμος-Οδός ταχείας κυκλοφ. | A I | 70 - 100 | 60 - 80 | 60 – 90 |
| | Οδός μεταξύ νομών / επαρχιών | A II | 60 - 90 | 50 - 70 | 50 – 80 |
| | Οδός μεταξύ επαρχιών/οικισμών | A III | 50 - 80 | 40 - 60 | 40 – 70 |
| | Οδός μεταξύ μικρών οικισμών Συλλεκτήρια οδός | A IV | 40 - 60 | 40 - 50 | 40 – 60 |
| | Δευτερεύουσα οδός Αγροτική οδός | A V | καμία | καμία | Καμία |
| | Τριτεύουσα οδός Δασική οδός | A VI | καμία | καμία | Καμία |
| Ημισιαστικές και Αστικές οδοί | Αστικός αυτοκινητόδρομος | B I | 50 - 60 | 50 - 60 | 50 – 60 |
| | Αστική οδός ταχείας κυκλοφορίας | B II | 40 - 50 | 40 - 50 | 40 - 60 |
| | Αστική αρτηρία | B III | 30 -40 | 30 - 40 | 30 - 50 |
| | Κύρια συλλεκτήρια οδός | B IV | 30 | 30 | 30 - 40 |
| Αστικές οδοί | Αστική αρτηρία | Γ III | 30 - 40 | 30 - 40 | 30 - 50 |
| | Κύρια συλλεκτήρια οδός | Γ IV | 30 | 30 | 30 - 40 |
| | Συλλεκτήρια οδός | Δ IV | 20 - 30 | 20 - 30 | 20 - 30 |
| | Τοπική οδός | Δ V | καμία | καμία | καμία |
| | Τοπική οδός | E V | καμία | καμία | καμία |
| | Τοπική οδός κατοικιών | E VI | καμία | καμία | καμία |

(Πηγή: αρχείο ΟΜΟΕ-ΛΚΟΔ)

Από τον παραπάνω Πίνακα παρατηρείται πως οι 5 τελευταίες κατηγορίες είναι αυτές που αφορούν μόνο οδικά τμήματα αστικών περιοχών, όπως η περιοχή στην οποία γίνεται η αναφορά της έρευνας. Οι συγκεκριμένες οδοί χαρακτηρίζονται από μικρό όριο ταχύτητας και παρουσιάζουν ενδιαφέρον και για τους πεζούς. Παρατηρείται μάλιστα, πως η μέγιστη

ταχύτητα παρουσιάζεται την περίοδο των διακοπών και ανέρχεται στα 50km/h. Ωστόσο, τις εργάσιμες μέρες, χρονικό διάστημα μεγαλύτερο, η μέγιστη ταχύτητα που αναπτύσσεται ανέρχεται στα 30-40km/h, αναφερόμενη σε κεντρική αστική αρτηρία. Για την πιο ρεαλιστική προσέγγιση του προβλήματος, αναφέρεται πως οι κεντρικές αρτηρίες του δικτύου αποκλείονται από τη διαδικασία επιλογής των πεζοδρόμων, καθώς δρόμοι που προσφέρουν ικανοποιητικές ταχύτητες για μια άνετη και γρήγορη μετακίνηση δεν είναι επιθυμητό να πεζοδρομούνται. Συνεπώς, οι δρόμοι που επιτρέπεται η πεζοδρόμηση είναι αυτοί με ταχύτητα μικρότερη ή ίση με 30km/h.

Εκτός όμως αυτών των κριτηρίων, πρέπει να οριστούν κάποια επιπλέον κριτήρια, τα οποία αναφέρονται στην κατάσταση της περιοχής και αποσκοπούν στη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης. Η πεζοδρόμηση είναι κατ' εξοχήν μία κίνηση φιλική προς το περιβάλλον και ουσιαστική για την βελτίωση της ποιότητας της ζωής των ανθρώπων σε αστικές περιοχές με έντονα κυκλοφοριακά προβλήματα. Είναι απαραίτητο και λογικό, πως για την επιλογή ενός οδικού τμήματος κατάλληλου για πεζοδρόμηση θα ληφθούν υπόψη περιβαλλοντικά στοιχεία για την βελτίωση της κατάστασης του εκάστοτε οδικού συνδέσμου. Επομένως, τα όρια των ατμοσφαιρικών ρύπων και της ηχορύπανσης θεωρούνται απαραίτητα κριτήρια για την επιλογή και την μετέπειτα μετατροπή ενός συνδέσμου σε πεζόδρομο. Χρησιμοποιούνται στο μοντέλο ως κριτήρια μαζί με τον αριθμό των τροχαίων ατυχημάτων, από τα οποία επηρεάζεται το τελικό αποτέλεσμα, το οποίο έχει ως στόχο την ελαχιστοποίηση των τιμών τους, ώστε να μην ξεπερνάνε κατά πολύ την οριακή τιμή.

Ατμοσφαιρικά κριτήρια

Τα αιωρούμενα σωματίδια, το μονοξείδιο του άνθρακα και το τροποσφαιρικό όζον αναγνωρίζονται ως οι τρεις πιο σημαντικοί ρύποι από την άποψη των επιπτώσεων για την υγεία του ανθρώπου. Περίπου το 90% του ευρωπαϊκού αστικού πληθυσμού εκτίθεται σε συγκεντρώσεις ρύπων που υπερβαίνουν τα όρια ποιότητας του αέρα, τα οποία κρίνονται επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία.

Σκοπός της έρευνας είναι η επιλογή εκείνου του οδικού τμήματος, που ξεπερνάει τα όρια της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, έτσι ώστε η πεζοδρόμησή του, δηλαδή η απομάκρυνση των οχημάτων, κύρια εκπομπή ρύπων, να λειτουργήσει ως αρωγός στην βελτίωση της κατάστασης και στην μετατροπή του σε ένα ευχάριστο και άνετο τμήμα εξυπηρέτησης

πεζών. Τα βασικά στοιχεία της ατμόσφαιρας, τα οποία επηρεάζουν άμεσα την ποιότητα ζωής του ανθρώπου και ταυτόχρονα επηρεάζονται από τους κυκλοφοριακούς ρύπους είναι το μονοξείδιο του άνθρακα. Συγκεκριμένα, ο κινητήρας εσωτερικής καύσης ενός οχήματος λειτουργεί χρησιμοποιώντας ως καύσιμα τους υδρογονάνθρακες, οι οποίοι όταν εξέρχονται στην ατμόσφαιρα έρχονται σε επαφή με το οξυγόνο και παράγουν την καύση. Στην ιδεατή περίπτωση, που τα καύσιμα είναι καθαρά και η καύση τέλεια, η μετακίνηση των οχημάτων δε συντελεί στη ρύπανση της ατμόσφαιρας. Στην πραγματικότητα όμως, κατά τη διάρκεια της καύσης υπάρχουν προσμίξεις άλλων στοιχείων στα καύσιμα, με αποτέλεσμα να γεννιέται το πρόβλημα που επηρεάζει αισθητά τον αέρα της ατμόσφαιρας.

Το ανώτατο όριο ύπαρξης των ατμοσφαιρικών ρύπων κρίνεται από την οριακή τους τιμή, η οποία προσδιορίζεται βάσει επιστημονικών γνώσεων, με σκοπό να αποφεύγονται, να προλαμβάνονται ή να μειώνονται οι επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και στο σύνολο του περιβάλλοντος. Από στοιχεία του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας, το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), που μετέχει στην ατμοσφαιρική ρύπανση έχει οριακή τιμή $10\text{mg}/\text{m}^3$ σε 8ωρη βάση.

Κριτήριο ηχορύπανσης

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο και συγκεκριμένα στην υποενότητα 2.3.1 «Επιπτώσεις παρόδιας κυκλοφορίας», η ηχορύπανση είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες υποβάθμισης του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής. Μία από τις κυριότερες πηγές παραγωγής ήχου είναι η κυκλοφορία των μέσων μεταφοράς, συνεπώς οι αστικές περιοχές είναι εκείνες που παρουσιάζουν ιδιαίτερο πρόβλημα ηχορύπανσης.

Ο θόρυβος μετράται σε dB και το ανθρώπινο αυτί αντιλαμβάνεται μέχρι τα 130dB, καταβάλλοντας μεγάλη προσπάθεια ανοχής. Στον παρακάτω Πίνακα παρουσιάζεται το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο του θορύβου ανάλογα την περιοχή εκδήλωσής του.

Πίνακας 3. 2:
Ανώτατο επιτρεπόμενο όριο ανά περιοχή

| Περιοχή | Ανώτατο επιτρεπόμενο όριο (dB) |
|---|--------------------------------|
| Νομοθετημένες Βιομηχανικές περιοχές | 70 |
| Περιοχές με επικρατέστερο στοιχείο το βιομηχανικό | 65 |
| Περιοχές με βιομηχανικό και αστικό στοιχείο | 55 |
| Περιοχές με επικρατέστερο στοιχείο το αστικό | 50 |

(Πηγή: Προεδρικό διάταγμα: Αριθμ.1180/81)

Παρατηρείται λοιπόν, πως σε περιοχές με βιομηχανικό στοιχείο, το επιτρεπόμενο όριο είναι μεγαλύτερο απ'ότι σε περιοχές αστικού χαρακτήρα. Συνεπώς, η κλίμακα ανεκτικότητας του θορύβου διαμορφώνεται ως εξής:

Πίνακας 3. 3:
Κλίμακα ανεκτικότητας θορύβου

| <u>Ηχητική στάθμη (dB)</u> | <u>Κατάσταση</u> |
|----------------------------|--------------------------|
| >81 | Απαράδεκτη κατάσταση |
| 78 – 80 | Πολύ θορυβώδης κατάσταση |
| 75 – 77 | Θορυβώδης κατάσταση |
| 72 – 74 | Σχεδόν ανεκτή κατάσταση |
| 69 – 71 | Καλή κατάσταση |
| <68 | Άνετη κατάσταση |

Συμπεραίνεται, πως η μέση επιτρεπόμενη τιμή του θορύβου για μία περιοχή αστικού και εμπορικού χαρακτήρα, όπως η περιοχή μελέτης μας είναι 68dB. Συνεπώς, σύνδεσμοι με ηχητική στάθμη μεγαλύτερη των 74dB θεωρούνται ενοχλητικοί για την καθημερινή έκθεση του ανθρώπου και κρίνεται απαραίτητο να ληφθούν μέτρα βελτιστοποίησης της κατάστασης.

Τροχαία ατυχήματα

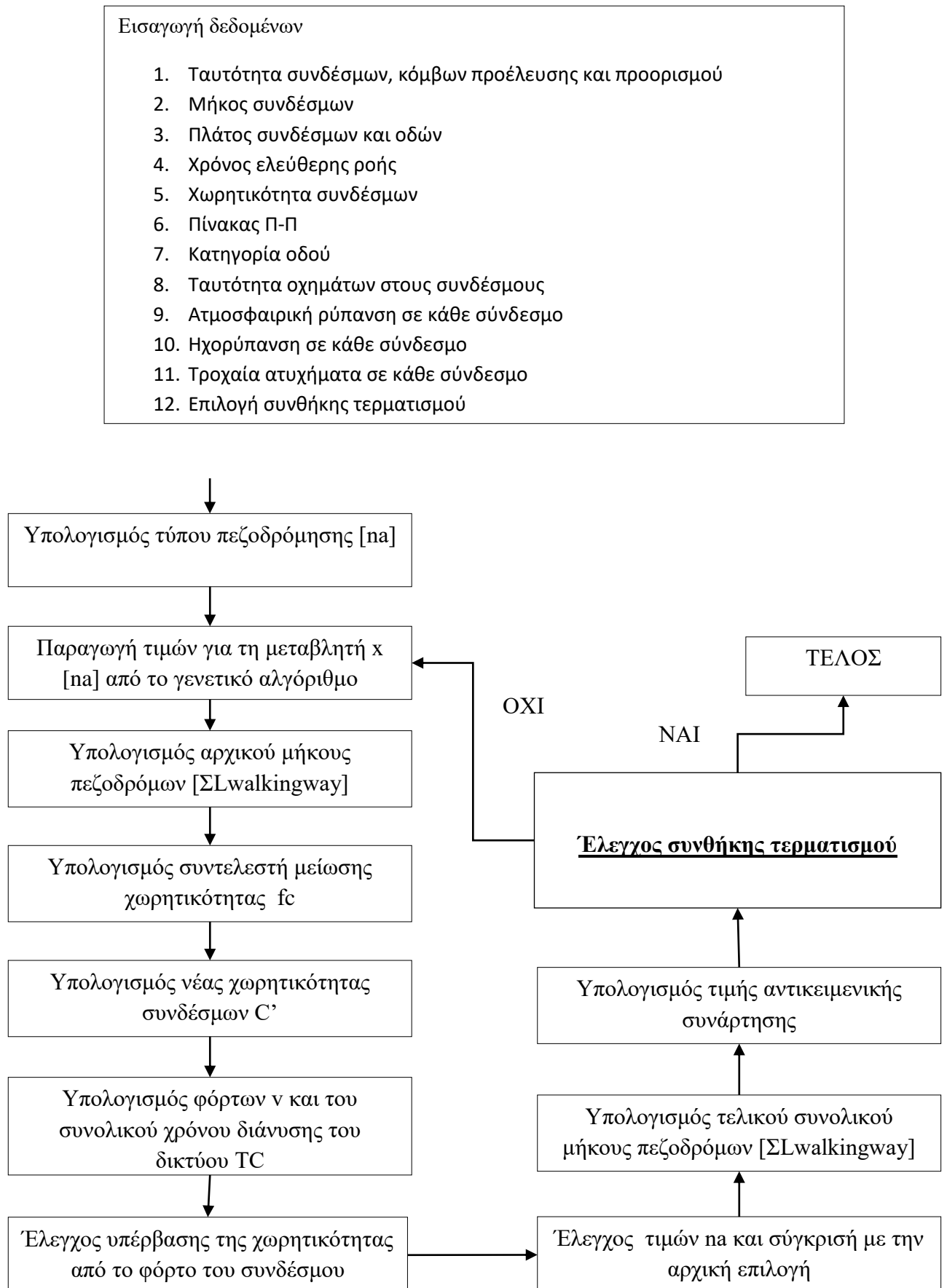
Ένας επιπλέον σημαντικός παράγοντας επιλογής των συνδέσμων του συνόλου του οδικού δικτύου για πεζοδρόμηση, αποτελούν τα τροχαία ατυχήματα. Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, τα τροχαία ατυχήματα αποτελούν μία από τις σοβαρότερες αιτίες θανάτου, οπότε κρίνεται απαραίτητη η λήψη μέτρων για τη μείωση του ποσοστού τους.

3.2 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός μοντέλου, το οποίο θα προσδιορίζει όχι μόνο τη βέλτιστη θέση πεζοδρόμων, αλλά θα εντοπίζει και εκείνα τα τμήματα που κρίνεται κατάλληλη και σημαντική για το σύστημα, η διαπλάτυνση του πεζοδρομίου.

Σε αυτή την ενότητα περιγράφεται η διαμόρφωση ενός τέτοιου μοντέλου. Το μοντέλο εκτός από τη δυνατότητα καθορισμού των συνδέσμων κατάλληλων για πεζοδρόμηση, θα επιλέγει και τον τύπο της πεζοδρόμησης, ολική ή μερική. Είναι ένα μοντέλο που εγγυάται τη βέλτιστη προσαρμογή των πεζοδρόμων στο σύνολο του οδικού δικτύου, εξασφαλίζοντας τη ομαλή κυκλοφοριακή κατάσταση.

Η διαδικασία που ακολουθεί το μοντέλο για τον προσδιορισμό των βέλτιστων θέσεων πεζοδρόμησης είναι η εξής:



Διάγραμμα 3. 1:

Διάγραμμα ροής βέλτιστης χωροθέτησης πεζοδρόμων σε αστικό οδικό δίκτυο

3.2.1 Παραδοχές και προϋποθέσεις για την ανάπτυξη του μοντέλου

Το δίκτυο που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί, αποτελείται από κόμβους και συνδέσμους μονής ή διπλής κυκλοφορίας. Από τα δεδομένα του προβλήματος θεωρείται πως είναι γνωστά ο κωδικός (ID) του κάθε συνδέσμου, το μήκος του και το συνολικό πλάτος της κάθε οδού, η ταχύτητα εξυπηρέτησης της κίνησης των οχημάτων, η χωρητικότητα του κάθε συνδέσμου ανά λωρίδα, η τιμή της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, τα επίπεδα της ηχορύπανσης, ο αριθμός των τροχαίων ατυχημάτων σε κάθε σύνδεσμο, καθώς και ο πίνακας Προέλευσης – Προορισμού.

Για την ρεαλιστική αντιμετώπιση του θέματος, αρχικά βρέθηκαν οι οδοί διπλής κατεύθυνσης και διαχωρίστηκαν, προσδιορίζοντας τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κάθε συνδέσμου. Αμέσως επόμενη διαδικασία είναι ο υπολογισμός των λωρίδων κάθε κατεύθυνσης. Τέλος, με τα παραπάνω δεδομένα, προσδιορίζεται η αρχική χωρητικότητα του κάθε συνδέσμου.

Επομένως, για τους συνδέσμου διπλής κατεύθυνσης, υπολογίζεται το πλάτος της κάθε κατεύθυνσης:

$$w_i = \frac{w_{si}}{2}$$

(εξίσωση 3.2)

,όπου

w_i : το πλάτος του κάθε συνδέσμου

w_{si} : το πλάτος της οδού

Για τον υπολογισμό του αριθμού των λωρίδων σε κάθε σύνδεσμο είναι απαραίτητο το ικανοποιητικό πλάτος κυκλοφορίας για μία λωρίδα. Από τους κανονισμούς του ΟΜΟΕ, για τις οδούς που βρίσκονται σε αστικό δίκτυο και χρησιμοποιούνται και από βαρέα οχήματα, το ικανοποιητικό πλάτος κυμαίνεται ανάμεσα στα 3,00 – 3,50m.

Πίνακας 3. 4:
Προτεινόμενο πλάτος λωρίδας

| Φόρτοι λεωφορείων γραμμής και βαρέων οχημάτων εκφρασμένοι σε ποσοστό επί του συνόλου των οχημάτων (σύνθεση κυκλοφορίας) | Πλάτος λωρίδας σε βαθμό: | |
|---|--------------------------|--------------|
| | Ικανοποιητικό | Περιορισμένο |
| Υψηλοί ποσοστό > 20% | 3.50 m | 3.25 m |
| Μεσαίοι ποσοστό ≈ 5 - 20% | 3.25 m | 3.00 m |
| Μικροί ποσοστό < 5% | 3.00 m | 2.75 m |

(Πηγή: κανονισμός ΟΜΟΕ για αστικές οδούς)

Συνεπώς, για ποσοστό των βαρέων οχημάτων 15% σε σχέση με το συνολικό φόρτο κυκλοφορίας, το ικανοποιητικό πλάτος για μία λωρίδα είναι τα 3,25m. Η εξίσωση που χρησιμοποιείται στο excel για τον υπολογισμό των λωρίδων είναι η εξής:

$$N_i = INT\left(\frac{w_i}{3.25}\right)$$

(εξίσωση 3.3)

,ενώ το πλάτος της κάθε λωρίδας:

$$w_{li} = \frac{w_i}{N_i}$$

(εξίσωση 3.4)

,όπου

w_i : το πλάτος της μίας λωρίδας

N_i : ο αριθμός των λωρίδων ανά κατεύθυνση

w_i : το πλάτος στο σύνδεσμο ανά λωρίδα

Έχοντας πλέον ως δεδομένα και τον αριθμό των λωρίδων του κάθε συνδέσμου και το πλάτος της μίας λωρίδας, είναι δυνατός ο προσδιορισμός της αρχικής χωρητικότητας του συνδέσμου. Δηλαδή:

$$C_i = C_{ii} * N_i$$

(εξίσωση 3.5)

,όπου

C_i : η αρχική χωρητικότητα του συνδέσμου

C_{ii} : η αρχική χωρητικότητα του συνδέσμου ανά λωρίδα

Έχοντας γνωστά όλα τα απαραίτητα στοιχεία, πλέον καθίσταται εφικτή η διαμόρφωση του μοντέλου για την αρχική επιλογή των συνδέσμων που είναι κατάλληλοι για πεζοδρόμηση. Στόχος είναι η χωροθέτηση πεζοδρόμων με την ταυτόχρονη ομαλή εξυπηρέτηση των κινούμενων οχημάτων. Συνεπώς, με βάση το αρχικό συνολικό πλάτος της οδού, που αποτελεί την πρώτη προϋπόθεση επιλογής, γίνεται ο διαχωρισμός των οδών που κρίνονται θετικά στην πλήρη πεζοδρόμηση και σε εκείνους που προορίζονται για μερική πεζοδρόμηση, δηλαδή διαπλάτυνση των υφιστάμενων πεζοδρομίων τους. Με την μερική πεζοδρόμηση της οδού, επιτρέπεται και η παράλληλη στάθμευση από τη μία πλευρά της οδού ή και από τις δύο, ανάλογα με το πλάτος.

$$\text{αν } w_{si} = \left\{ \begin{array}{l} w_{si} \leq 7.00\text{m}, \text{ επιτρέπεται ολική πεζοδρόμηση της οδού} \\ 7.00 < w_{si} \leq 10.00\text{m}, \text{ συνιστάται μερική πεζοδρόμηση της οδού} \\ \quad \text{με επιπλέον πλάτος πεζοδρομίου:} \\ \quad \quad \pi = \frac{\Pi - 5.3}{2} \\ \quad \text{και συνιστάται η παράλληλη στάθμευση οχημάτων} \\ \quad \quad \text{από τη μία πλευρά της οδού} \\ 10.00 < w_{si} \leq 13.00\text{m}, \text{ συνιστάται μερική πεζοδρόμηση της οδού} \\ \quad \text{με επιπλέον πλάτος πεζοδρομίου:} \\ \quad \quad \pi = \frac{\Pi - 7.3}{2} \\ \quad \text{και συνιστάται η παράλληλη στάθμευση οχημάτων} \\ \quad \quad \text{και από τις δύο πλευρές της οδού} \\ w_{si} < 13.00\text{m}, \text{ συνιστάται μερική πεζοδρόμηση της οδού} \\ \quad \text{με επιπλέον πλάτος πεζοδρομίου:} \\ \quad \quad \pi = \frac{\Pi - 9.8}{2} \\ \quad \text{και συνιστάται η παράλληλη στάθμευση οχημάτων} \\ \quad \quad \text{και από τις δύο πλευρές της οδού} \end{array} \right.$$

(σχέση 3.6)

Στους συνδέσμους όπου συνιστάται η μερική πεζοδρόμηση, επιτρέπεται η παράλληλη στάθμευση των οχημάτων, δηλαδή τα οχήματα σταθμεύουν παράλληλα με το μήκος της οδού. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της παράλληλης στάθμευσης, σύμφωνα με το ΦΕΚ 167/Δ/2-3-93, είναι 5.50 x 2.50 μέτρα, δηλαδή το πλάτος που απαιτείται είναι 2.50m.



Εικόνα 3. 2: Διαστάσεις θέσεων παράλληλης στάθμευσης.

Εισάγοντας τη δεύτερη προϋπόθεση επιλογής, που είναι το κριτήριο της ταχύτητας, διαχωρίζονται οι σύνδεσμοι που κρίνονται κατάλληλοι για πεζοδρόμηση.

$$αν\ u_i = \begin{cases} u_i \leq 30.00 \frac{km}{h}, & \text{επιτρέπεται η πεζοδρόμηση του συνδέσμου} \\ u_i > 30.00 \frac{km}{h}, & \text{απαγορεύεται η πεζοδρόμηση του συνδέσμου} \end{cases}$$

(σχέση 3.7)

Το κριτήριο της ταχύτητας διαδραματίζει καταλυτικό ρόλο στην επιλογή των συνδέσμων που πρόκειται τελικώς να πεζοδρομηθούν, καθώς στόχος είναι η εξομάλυνση του κυκλοφοριακού προβλήματος και όχι η επιδείνωσή του, με την αφαίρεση εκείνων των συνδέσμων από το συνολικό δίκτυο που προσφέρουν στους οδηγούς μια εύκολη μετακίνηση. Με κριτήριο την ταχύτητα λοιπόν, αμέσως εξαιρούνται εκείνοι οι οδικοί σύνδεσμοι που προσφέρουν γρήγορη και άνετη μετακίνηση.

Επιπλέον, το μοντέλο απαγορεύει την πεζοδρόμηση, είτε ολική είτε μερική, συνδέσμων αν πρόκειται για κεντρική αρτηρία. Συνεπώς, προσδιορίζεται ο συντελεστής κατηγορίας δρόμου f_{sr} :

$$f_{sr} = \begin{cases} 0, & \text{εάν πρόκειται για κεντρική αρτηρία} \\ 1, & \text{για όποια άλλη κατηγορία} \end{cases}$$

(σχέση 3.8)

Τρίτη και βασικότερη προϋπόθεση του μοντέλου αποτελεί η δυνατότητα του συνδέσμου να εξυπηρετεί τον απαιτούμενο φόρτο, έτσι ώστε να ικανοποιείται η ζήτηση και να μην καταρρεύσει το δίκτυο. Για να γίνει αυτό, πρέπει ο απαιτούμενος φόρτος του εκάστοτε συνδέσμου να μην υπερβαίνει η νέα μειωμένη χωρητικότητά του. Δηλαδή:

$$\frac{v_i}{C'_i} \leq 1$$

(εξίσωση 3.9)

, όπου

v_i : ο απαιτούμενος φόρτος του συνδέσμου i

C'_i : η νέα μειωμένη χωρητικότητα του συνδέσμου i .

Το βασικό μοντέλο προσδιορισμού των κατάλληλων συνδέσμων για πεζοδρόμηση, ολοκληρώνεται προσθέτοντας τους περιβαλλοντικούς περιορισμούς, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την τελική αξιολόγηση του αποτελέσματος. Επιλέγονται εκείνοι οι σύνδεσμοι των οποίων η πεζοδρόμηση θα επιφέρει μείωση στις τιμές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, της ηχορύπανσης και αύξηση της οδικής ασφάλειας. Οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

$$NoisePollution^i \leq 74dB$$

(εξίσωση 3.10)

$$AirPollution^i \leq 10.00 mg/m^3$$

(εξίσωση 3.11)

$$CarAccidents^i \leq \text{οριακή τιμή περιοχής}$$

(εξίσωση 3.12)

Ολοκληρώνεται και η διαδικασία συμπλήρωσης των δεδομένων, καθορίζοντας τα στάδια που ακολουθεί και τους κανονισμούς που επιλέγει το κατασκευαζόμενο μοντέλο. Τα δεδομένα του προβλήματος πλέον είναι:

- Ο κωδικός του κάθε συνδέσμου [ID]
- Το μήκος του συνδέσμου
- Το πλάτος του συνδέσμου
- Ο αριθμός λωρίδων του συνδέσμου
- Το πλάτος της κάθε λωρίδας
- Οι κόμβοι προέλευσης – προορισμού
- Η αρχική χωρητικότητα του συνδέσμου
- Η ατμοσφαιρική ρύπανση σε κάθε σύνδεσμο
- Η ηχορύπανση σε κάθε σύνδεσμο
- Τα τροχαία ατυχήματα σε κάθε σύνδεσμο

Για να επιλυθεί το πρόβλημα θα πρέπει να υπολογιστούν οι νέες μειωμένες χωρητικότητες του εκάστοτε συνδέσμου και οι απαιτούμενοι φόρτοι από τον πίνακα Π – Π. Για το υπολογισμό του φόρτου των συνδέσμων, λύνεται το πρόβλημα καταμερισμού κυκλοφορίας υπό τη θεώρηση της ισορροπίας των χρηστών, ενώ για τον υπολογισμό της νέας χωρητικότητας του εκάστοτε συνδέσμου προσδιορίζεται ο συντελεστής μεταβολής της χωρητικότητας λόγω της επιλογής πεζοδρόμησης. Η διαδικασία προσδιορισμού των παραπάνω τιμών περιγράφεται αναλυτικά στις επόμενες ενότητες.

3.2.2 Πρόβλημα καταμερισμού κυκλοφορίας υπό τη θεώρηση της κατάστασης ισορροπίας των χρηστών

Για την επίλυση του προβλήματος χρησιμοποιείται η θεώρηση της κατάστασης ισορροπίας των χρηστών, σύμφωνα με την οποία οι χρήστες του οδικού δικτύου επιλέγουν να χρησιμοποιήσουν τη συντομότερη διαδρομή με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους τους. Ο κάθε οδηγός επιλέγει τη συντομότερη διαδρομή για να φτάσει στον προορισμό του, και έτσι δημιουργείται μία κατάσταση ισορροπίας στο δίκτυο, αφού κανένας χρήστης δεν μπορεί να ελαττώσει το κόστος μετακίνησής του επιλέγοντας διαφορετική διαδρομή. Επομένως, οι διαδρομές που χρησιμοποιούνται έχουν το λιγότερο δυνατό κόστος για τους χρήστες, ενώ εκείνες που δεν χρησιμοποιούνται έχουν μεγαλύτερο ή ίσο κόστος. Ο χρόνος της κάθε διαδρομής εξαρτάται αποκλειστικά και μόνο από τους φόρτους και τους υπόλοιπους συνδέσμους του δικτύου. Η θεωρία αυτή στηρίζεται στην αρχές του Wardrop.

Για την επίλυση προβλημάτων καταμερισμού της κυκλοφορίας σε κατάσταση ισορροπίας των χρηστών, ευρέως διαδεδομένος είναι ο αλγόριθμος των Frank&Wolfe. Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιείται γιατί είναι εύκολος στην εφαρμογή του, αλλά και γιατί χρειάζεται μικρή απαίτηση μνήμης ακόμα και για μεγάλα δίκτυα. Η διαδικασία που ακολουθείται αποτελείται από τα εξής βήματα:

Βήμα 1^ο:

Αρχικά προσδιορίζεται μία αρχική εφικτή λύση μέσα από την επίλυση του καταμερισμού «όλα ή τίποτα». Θεωρείται ο αρχικό φόρτος των συνδέσμων ίσος με το μηδέν και έτσι υπολογίζονται ο φόρτος για τον κάθε σύνδεσμο του δικτύου. Μέσω του αλγορίθμου Dijkstra προσδιορίζονται οι συντομότερες διαδρομές για κάθε ζεύγος προέλευσης – προορισμού και γίνεται καταμερισμός της ζήτησης στο δίκτυο. Τέλος, προσδιορίζονται οι νέοι φόρτοι του δικτύου.

Βήμα 2^ο:

Έχοντας προσδιοριστεί οι φόρτοι του δικτύου, υπολογίζονται οι νέοι ανανεωμένοι χρόνοι διαδρομής μέσω της συνάρτησης του Bureau of Public Road (BPR) – Federal Highway Administration:

$$t_i = t_i^0 * [1 + 0,15 * (\frac{v_i}{c_i})^4]$$

(εξίσωση 3.13)

,όπου

t_i : ο χρόνος διαδρομής όταν ο φόρτος είναι v_i

t_i^0 : ο χρόνος υπό συνθήκες ελεύθερης ροής

v_i : ο φόρτος (οχήματα/ώρα)

c_i : η χωρητικότητα (οχήματα/ώρα)

Επαναλαμβάνεται η διαδικασία του καταμερισμού «όλα ή τίποτα» θέτοντας τώρα τις βοηθητικές ροές ίσες με μηδέν. Ο αλγόριθμος Dijkstra προσδιορίζει τις συντομότερες διαδρομές του δικτύου μέσω των νέων χρόνων διαδρομής που προσδιορίστηκαν και γίνεται και πάλι καταμερισμός της ζήτησης κάθε διαδρομής στους βοηθητικούς φόρτους των αντίστοιχων συνδέσμων. Τέλος, ανανεώνονται οι φόρτοι του δικτύου για όλους τους συνδέσμους, υπολογίζεται η διαφορά του νέου φόρτου από τον βοηθητικό φόρτο και προστίθεται στον τελικό φόρτο του συνδέσμου.

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για το δίκτυο έως ότου να ικανοποιηθεί η συνθήκη τερματισμού. Σε κάθε επανάληψη υπολογίζεται ο συνολικός φόρτος του δικτύου και το συνολικό κόστος σε οχηματοώρες, που αποτελεί μία από τις μεταβλητές απόφασης της αντικειμενικής συνάρτησης.

3.2.3 Ανάλυση του καταμερισμού «Όλα ή Τίποτα» και του αλγορίθμου Dijkstra

Για την επίλυση του καταμερισμού κυκλοφορίας σε ένα οδικό δίκτυο απαιτείται ο προσδιορισμός των κανόνων ή του κανόνα επιλογής διαδρομής. Η επιλογή μιας διαδρομής από έναν οδηγό είναι αποτέλεσμα ενός συνόλου παραγόντων. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή μιας διαδρομής μπορεί να είναι ο χρόνος, η κυκλοφοριακή συμφόρηση, το μήκος της διαδρομής, το κόστος των καυσίμων, ο τύπος της οδού και πολλοί άλλοι αντίστοιχοι παράγοντες. Ωστόσο, είναι αδύνατο να προσδιοριστούν και να χρησιμοποιηθούν όλοι οι παράγοντες στο λογισμικό προσδιορισμού, γι' αυτό γίνονται οι προσεγγίσεις.

Σε ένα αστικό δίκτυο με έντονο κυκλοφοριακό πρόβλημα, ο κυριότερος παράγοντας επιλογής διαδρομής είναι ο χρόνος. Πολλές φορές, σημαντικό κριτήριο αποτελεί και το μήκος της διαδρομής, καθώς και το κόστος. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ο κανόνας που χρησιμοποιείται για την επιλογή της διαδρομής είναι μονάχα ο χρόνος.

Τα μοντέλα καταμερισμού της κυκλοφορίας με κανόνα το χρόνο διαδρομής είναι δύο:

- Καταμερισμός «Όλα ή Τίποτα»: Σε αυτά τα μοντέλα, ο χρόνος της διαδρομής θεωρείται ανεξάρτητος από το φόρτο της κυκλοφορίας κάθε συνδέσμου.
- Καταμερισμός «Ισορροπίας»: Σε αυτά τα μοντέλα ο χρόνος διαδρομής επηρεάζεται άμεσα από την κυκλοφοριακή συμφόρηση. Θεωρούν, λοιπόν, πως ο χρόνος διαδρομής εξαρτάται άμεσα από το φόρτο του κάθε συνδέσμου και επηρεάζεται το αποτέλεσμα από τυχόν αλλαγή του.

Καταμερισμός «Όλα ή Τίποτα»

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η μέθοδος καταμερισμού «Όλα ή Τίποτα» χρησιμοποιεί ως κανόνα το χρόνο διαδρομής, χωρίς να επηρεάζεται από το φόρτο της κυκλοφορίας. Η αύξηση του φόρτου για έναν σύνδεσμο δεν συνεπάγει αυτόματα και την αύξηση του χρόνου διαδρομής.

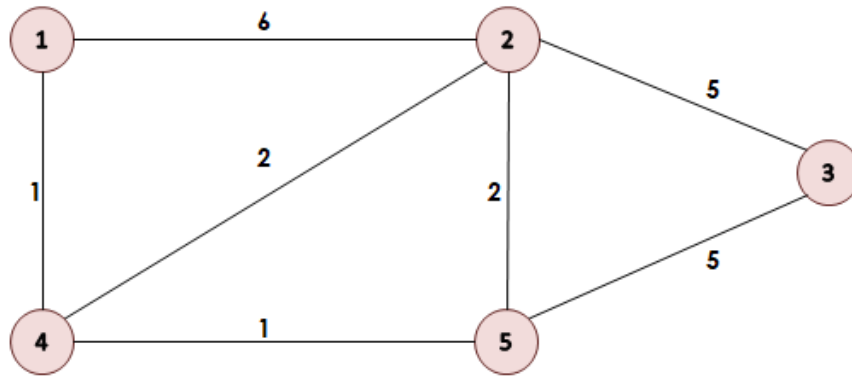
Με δεδομένο τον πίνακα Π-Π, εκτιμώνται μέσω αυτής της διαδικασίας:

1. Οι συντομότερες διαδρομές που θα ακολουθήσουν οι μετακινούμενοι
2. Ο φόρτος για κάθε σύνδεσμο του οδικού δικτύου
3. Ο χρόνος διαδρομής κάθε συνδέσμου του οδικού δικτύου.

Αλγόριθμος «Dijkstra»

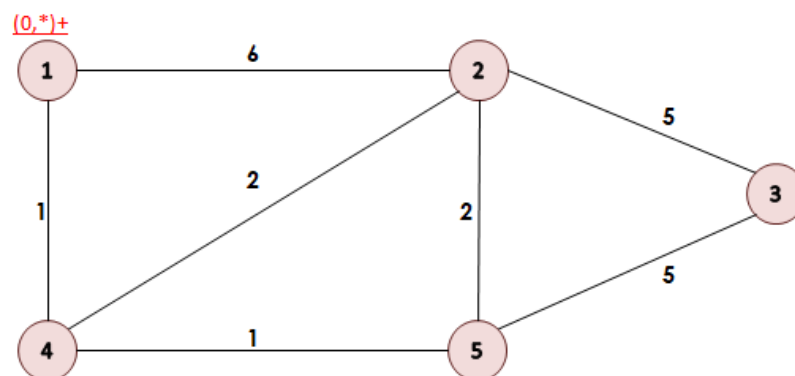
Ο αλγόριθμος Dijkstra χρησιμοποιείται για την εύρεση της συντομότερης διαδρομής από έναν κόμβο προέλευσης των μετακινήσεων προς όλους του άλλους κόμβους, με την παραδοχή ότι κανένας σύνδεσμος δεν μπορεί να έχει αρνητικό κόστος. Για κάθε κόμβο υπολογίζεται ένας δείκτης, που αντικατοπτρίζει το ελάχιστο κόστος, ελάχιστο χρόνο, από ένα κόμβο προέλευσης μέχρι τον υπόψη κόμβο. Το κόστος αυτό δεν μπορεί να πάρει αρνητική τιμή. Επίσης, για κάθε κόμβο ορίζεται και ένας ακόμη δείκτης ο οποίος αφορά τον προηγούμενο κόμβο στη συντομότερη διαδρομή. Τέλος, κατασκευάζεται μία λίστα, η οποία διατηρείται και ενημερώνεται σε κάθε επανάληψη, μιας και η διαδικασία αυτή είναι επαναληπτική.

Για την πλήρη κατανόηση της χρήσης του συγκεκριμένου αλγορίθμου ακολουθεί παράδειγμα και περιγραφή του κάθε βήματος:

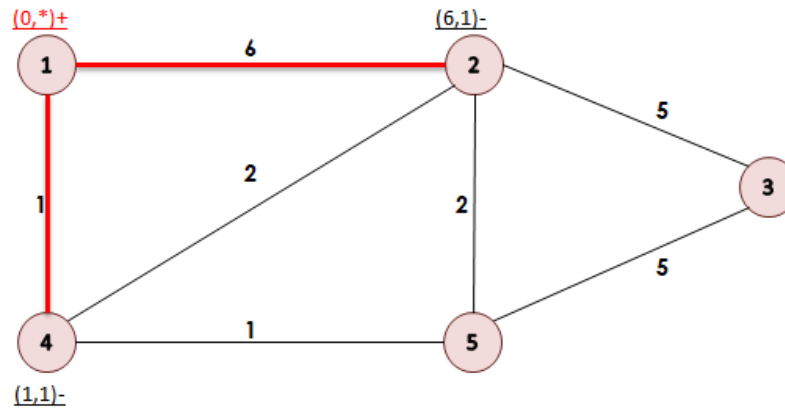


Έστω ένα δίκτυο με την παραπάνω μορφή, που έχει ως αφετηρία τον κόμβο «1» και ως τελικό προορισμό τον κόμβο «3». Ο κόμβος «1» αποτελεί τον κόμβο Προέλευσης και ο κόμβος «3» αποτελεί τον κόμβο Προορισμού, οι υπόλοιποι είναι απλώς ενδιάμεσοι κόμβοι. Οι γραμμές που συνδέουν τους κόμβους είναι οι σύνδεσμοι του δικτύου και οι αριθμοί είναι οι απαιτούμενοι χρόνοι διαδρομής, δηλαδή τα κόστη τους. Η διαδικασία που ακολουθείται για την εύρεση της συντομότερης διαδρομής στο παραπάνω δίκτυο είναι η εξής:

- Εφόσον ο κόμβος «1» αποτελεί αφετηρία του δικτύου, το κόστος του είναι ίσο με το 0.

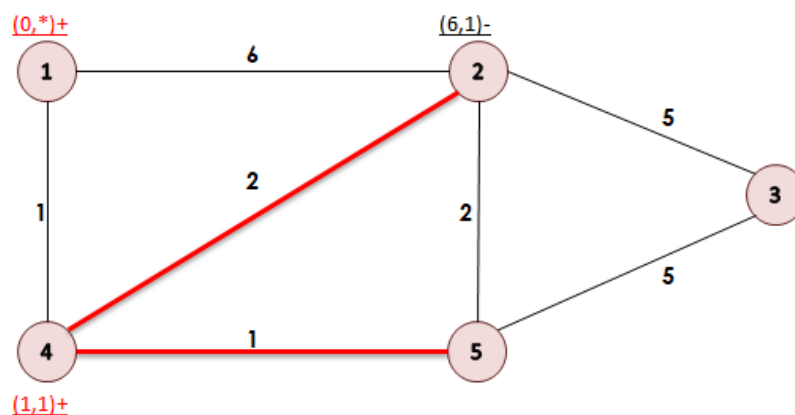


- Στόχος είναι από όλες τις πιθανές διαδρομές να βρεθεί εκείνη με το μικρότερο κόστος. Οι πιθανές διαδρομές από το κόμβο «1» είναι προς τους κόμβους «2» και «4», με κόστη 6 και 1 αντίστοιχα.



Από τον κόμβο «1», η συντομότερη διαδρομή είναι προς τον κόμβο «4» με κόστος 1. Ο κόμβος «2» έχει και άλλες πιθανές διαδρομές, που μπορεί να οριστούν ως συντομότερη από την παρούσα διαδρομή. Για το λόγο αυτό, παραμένει υπό εξέταση. Ωστόσο, για τον κόμβο «4» θεωρείται πως δεν υπάρχει συντομότερη διαδρομή, άρα «κλειδώνει» και συμβολίζεται με $(1,1)^+$, όπου ο πρώτος αριθμός συμβολίζει το κόστος, δηλαδή το χρόνο διαδρομής και ο δεύτερος αριθμός συμβολίζει τον προηγούμενο κόμβο. Το “+” συμβολίζει πως ο κόμβος είναι σταθερός, ενώ το “-” συμβολίζει αβεβαιότητα και ο κόμβος αυτός επανεξετάζεται για τυχόν μικρότερο κόστος από άλλες προελεύσεις, δηλαδή ο κόμβος είναι προσωρινός.

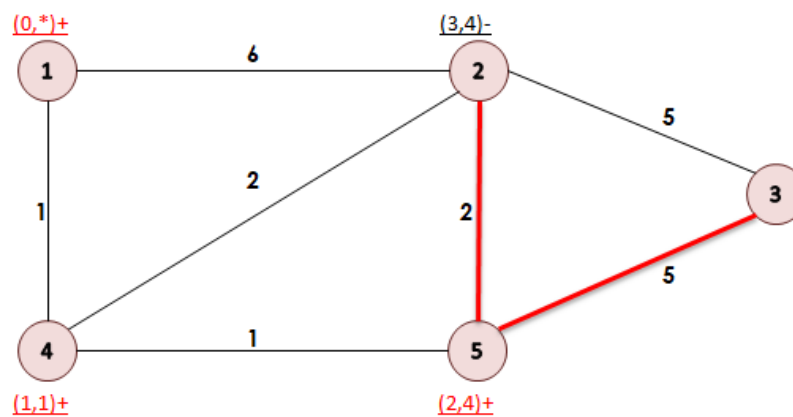
- Από το κόμβο «4» οι επόμενοι κόμβοι είναι ο «2» και ο «5». Ο κόμβος «5» έχει κόστος 2 ενώ ο «2» έχει κόστος 3. Συντομότερη επομένως, θεωρείται η διαδρομή προς τον κόμβο «5» και «κλειδώνει» και αυτή. Για το κόμβο «2», η διαδρομή επανεξετάζεται αφού έχει και άλλες πιθανές συντομότερες διαδρομές.



• Οι διαδρομές που «φεύγουν» από τον κόμβο «5» είναι προς τους κόμβους «2» και «3» με κόστη 4 και 3 αντίστοιχα. Για τον κόμβο «2» υπάρχουν οι εξής πιθανές διαδρομές:

- Από τον κόμβο «1» με κόστος 6
- Από τον κόμβο «4» με κόστος 3
- Από τον κόμβο «5» με κόστος 4

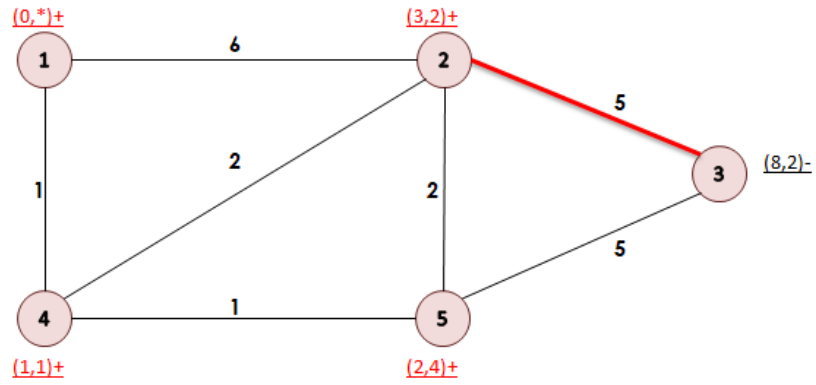
Η διαδρομή προς τον κόμβο «2» που προέρχεται από τον κόμβο «4» είναι εκείνη με το ελάχιστο κόστος και «κλειδώνει» ως συντομότερη. Η διαδρομή που απομένει να οριστεί είναι αυτή προς τον κόμβο «3». Από τον κόμβο «5» το κόστος της διαδρομής είναι 7, ωστόσο μένει να εξετάσουμε το κόστος και από τον κόμβο «2» που πλέον έχει «κλειδώσει».



• Για τον κόμβο «3», που θεωρείται και ο προορισμός του συνολικού δικτύου, υπάρχουν οι εξής διαδρομές:

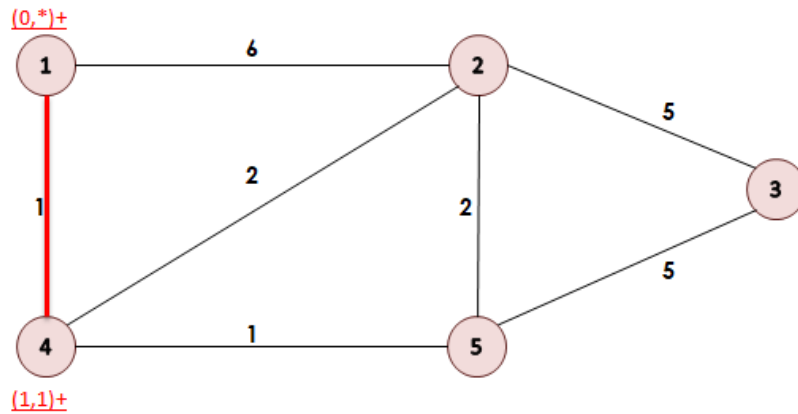
- Από τον κόμβο «2» με κόστος 8
- Από τον κόμβο «5» με κόστος 7

Συνεπώς, ως συντομότερη διαδρομή επιλέγεται εκείνη που προέρχεται από τον κόμβο «5» και «κλειδώνει». Σε αυτό το σημείο, ο αλγόριθμος τερματίζει, αφού κατάφερε να προσδιορίσει τη συντομότερη διαδρομή από την προέλευση (κόμβος «1») στον προορισμό (κόμβος «3»).

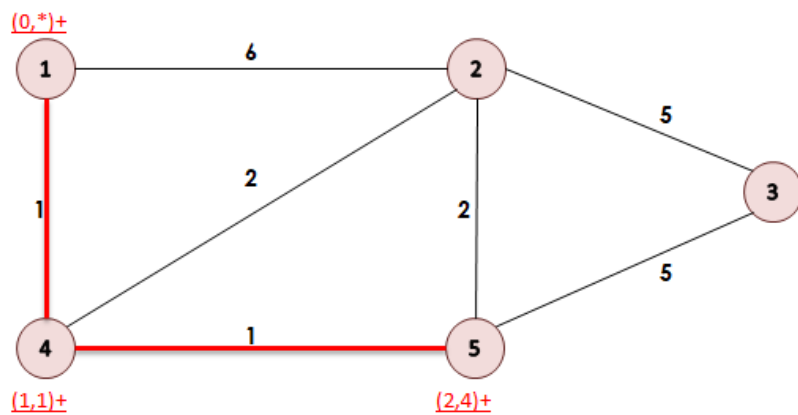


Οι συντομότερες διαδρομές που προέκυψαν με αντίστοιχα κόστη, απεικονίζονται στις παρακάτω εικόνες:

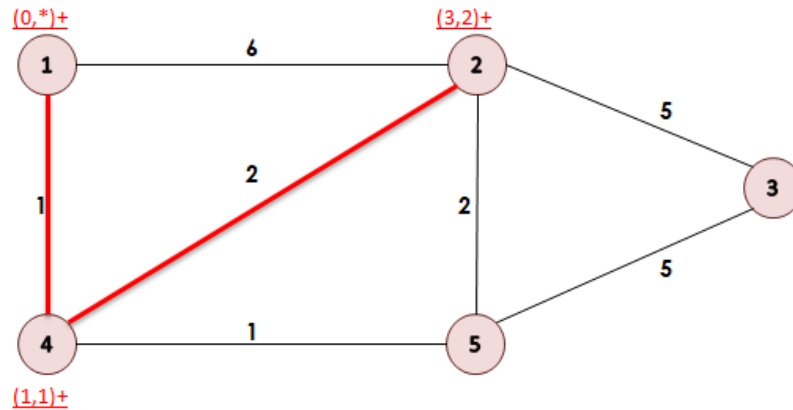
➤ Προς τον κόμβο «4»:



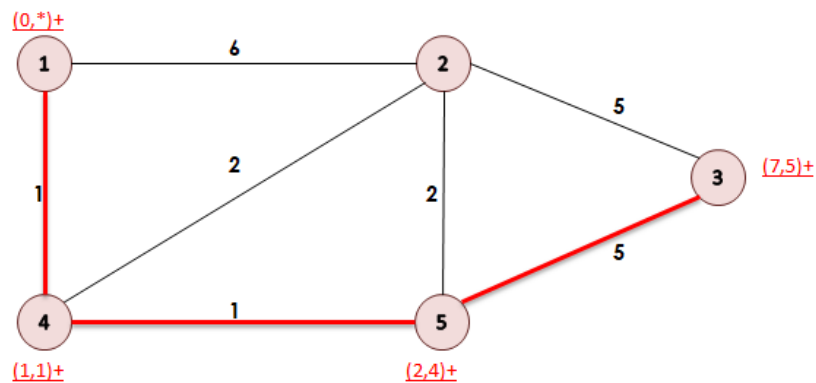
➤ Προς τον κόμβο «5»:



➤ Προς τον κόμβο «2»:



➤ Προς τον τελικό προορισμό – κόμβο «3»:



3.2.5 Υπολογισμός μήκους τμημάτων πεζοδρόμησης

Μία από τις μεταβλητές απόφασης της αντικειμενικής συνάρτησης (εξίσωση 3.1) αποτελεί το συνολικό μήκος των τμημάτων που αναφέρονται αποκλειστικά στην πεζή μετακίνηση, απαγορεύοντας την οποιαδήποτε μετακίνηση οχημάτων. Όπως προαναφέρθηκε, η τελική τιμή της μεταβλητής σχεδιασμού να καθορίζεται από την απαίτηση του μοντέλου να εξυπηρετεί όλους του συνδέσμους. Συγκεκριμένα, πρέπει ο απαιτούμενος φόρτος σε κάθε σύνδεσμο να είναι μικρότερος ή ίσο με τη νέα χωρητικότητα, έτσι ώστε να αποφεύγονται τυχόν κυκλοφοριακά προβλήματα. Συνεπώς, το μήκος των συνδέσμων που

συμπεριλαμβάνεται στην αντικειμενική συνάρτηση αποτελείται από το συνολικό μήκος των τμημάτων που κρίνονται κατάλληλα για πεζοδρόμηση, είτε ολικώς είτε μερικώς.

$$L_{walkingway\ i} = \begin{cases} 0, & \text{εάν } na = 0 \\ L_{συνδέσμου\ i}, & \text{εάν } na = 1 \text{ ή } 2 \end{cases}$$

(σχέση 3.14)

Συνεπώς, στην εξίσωση 3.1 η πρώτη μεταβλητή απόφασης έχει τη μορφή:

$$\sum L_{walkingway} = \sum_{i=1}^I L_{walkingway\ i}$$

(εξίσωση 3.15)

3.2.6 Εξίσωση συντελεστή μεταβολής της χωρητικότητας λόγω πεζοδρόμησης ορισμένων τμημάτων του δικτύου

Για τον υπολογισμό της νέας χωρητικότητας του συνδέσμου λόγω της πεζοδρόμησης ορισμένων τμημάτων του δικτύου αρκεί ο προσδιορισμός ενός νέου συντελεστή, ο οποίος αντικατοπτρίζει το ποσοστό μεταβολής της χωρητικότητας. Στα τμήματα που απαγορεύεται η πεζοδρόμηση, είναι λογικό πως η νέα χωρητικότητα είναι μηδέν, καθώς αυτή δεν υπόκειται σε καμία μεταβολή. Αντίθετα, στους συνδέσμους όπου προτείνεται η ολική πεζοδρόμηση, η χωρητικότητα μηδενίζεται αυτομάτως, καθιστώντας τη μετακίνηση των οχημάτων κατά μήκος του συνδέσμου αδύνατη. Τέλος, σε εκείνες τις οδούς διπλής κυκλοφορίας που προτείνεται η μερική πεζοδρόμηση, δηλαδή η διαπλάτυνση του υπάρχοντος πεζοδρομίου, η χωρητικότητα στο σύνδεσμο που πεζοδρομείται αυτομάτως μηδενίζεται, ενώ η χωρητικότητα στο αντίθετο ρεύμα που παραμένει ενεργό στην κυκλοφορία, μπορεί είτε να αυξηθεί είτε να μειωθεί, αυτό εξαρτάται αποκλειστικά από το τελικό διαθέσιμο πλάτος του συνδέσμου. Είναι σαφές πως η τιμή του συντελεστή

εξαρτάται άμεσα από την αλλαγή του πλάτους της λωρίδας, καθώς αυτό τροποποιείται ανάλογα με το αρχικό πλάτος της οδού και της επιτρεπόμενης στάθμευσης.

Για τον προσδιορισμό της νέα χωρητικότητας του συνδέσμου που παραμένει ενεργό κομμάτι της κυκλοφορίας για την οδό που συνίσταται η μερική πεζοδρόμηση εφαρμόζεται η εξίσωση που προτείνεται από το Highway Capacity Manual:

$$C_i = 1800 * N_i * f_{wi} * f_{HVi}$$

(εξίσωση 3.16)

,όπου

f_w : ο συντελεστής προσαρμογής λόγω πλάτους λωρίδας (w_{li}):

$$f_{wi} = 1 + \frac{w_{li} - 3.6}{9.0}$$

(εξίσωση 3.17)

f_{HV} : ο συντελεστής προσαρμογής λόγω βαρέων οχημάτων:

$$f_{HVi} = \frac{100}{100 + (\text{ποσοστό επί της \% των βαρέων οχημάτων})}$$

(εξίσωση 3.18)

Στην περίπτωση που προτείνεται η μερική πεζοδρόμηση του συνδέσμου, η εξίσωση 3.16 διαμορφώνεται ως εξής:

$$C_i' = 1800 * N' * f'_{wi} * f'_{HVi}$$

(εξίσωση 3.19)

Εφόσον αναφερόμαστε σε μία αστική περιοχή, ο αριθμός των βαρέων οχημάτων δεν μεταβάλλεται, καθώς η κίνησή τους εντός της πόλης κρίνεται απαραίτητη. Συνεπώς, ο συντελεστής προσαρμογής λόγω βαρέων οχημάτων $[f_{HV}]$ παραμένει ίδιος. Οι υπόλοιποι συντελεστές της εξίσωσης μεταβάλλονται, καθώς εξαρτώνται άμεσα από το πλάτος του συνδέσμου, το οποίο μετά την εφαρμογή του μοντέλου αλλάζει. Οπότε,

$$f'_{HVi} = f_{HVi}$$

(εξίσωση 3.20)

$$f'_{wi} = \frac{1 + (w'_{li} - 3.6)}{9}$$

(εξίσωση 3.21)

$$N'_i = INT\left(\frac{w'_i}{3.25}\right)$$

(εξίσωση 3.22)

,όπου

$$w'_{li} = \begin{cases} w_{si} - \pi_i - w_p, \text{ εάν } 7m < w_{si} \leq 10m \\ w_{si} - \pi_i - 2 * w_p, \text{ εάν } 10m < w_{si} \end{cases}$$

(σχέση 3.23)

$$w'_{li} = \frac{w'_i}{N'_i}$$

(εξίσωση 3.24)

,όπου

C'_i : χωρητικότητα του συνδέσμου μετά την πεζοδρόμηση

f'_{wi} : συντελεστής πλάτους μετά την πεζοδρόμηση

f'_{HN} : συντελεστής προσαρμογής λόγω βαρέων οχημάτων μετά την πεζοδρόμηση

w_{si} : συνολικό αρχικό πλάτος της οδού

$w'i$: συνολικό πλάτος του συνδέσμου μετά την πεζοδρόμηση

π_i : επιπλέον πλάτος πεζοδρομίου στην οδό

$w'li$: πλάτος ανά λωρίδα στο σύνδεσμο μετά την πεζοδρόμηση

$N'i$: αριθμός λωρίδων στο σύνδεσμο μετά την πεζοδρόμηση

w_p : πλάτος παράλληλης στάθμευσης, ίσο με 2.50m

Συγκεκριμένα, ο συντελεστής μεταβολής της χωρητικότητας έχει την εξής μορφή:

$$f_c = \frac{f'_w * N'}{f_w * N}$$

(εξίσωση 3.25)

,όπου

f_{ci} : συντελεστής μεταβολής χωρητικότητας λόγω της μερικής πεζοδρόμησης της οδού

Επομένως:

$$f_c = \begin{cases} 1, \text{ \acute{e}\alpha\nu } na = 0 \text{ και } na' = 0 \\ 0, \text{ \acute{e}\alpha\nu } na = 1 \\ 0, \text{ \acute{e}\alpha\nu } na = 2 \\ \frac{f'_w * N'}{f_w * N}, \text{ \acute{e}\alpha\nu } na = 0 \text{ και } na' = 2 \end{cases}$$

(σχέση 3.26)

,όπου

na : μεταβλητή σχεδιασμού για το σύνδεσμο της οδού

na' : μεταβλητή σχεδιασμού για το αντίθετο ρεύμα της ίδιας οδού

Συνεπώς, η νέα χωρητικότητα του συνδέσμου προσδιορίζεται ως εξής:

$$C'_i = f_{ci} * C_i$$

(εξίσωση 3.27)

Η νέα χωρητικότητα στους συνδέσμους που παραμένουν ενεργοί στην κυκλοφορία για τις οδούς που προτείνεται η μερική πεζοδρόμηση, ενδέχεται να παρουσιάσει μείωση ή αύξηση. Μείωση παρουσιάζει στην περίπτωση που οι τιμές των συντελεστών του πλάτους και των λωρίδων του συνδέσμου είναι μικρότερες από τις αρχικές, ενώ στην αντίθετη περίπτωση παρουσιάζει αύξηση. Η αύξηση της χωρητικότητας στους συνδέσμους που παραμένουν ενεργά τμήματα της κυκλοφορίας βοηθάει στην εξυπηρέτηση της ζήτησης.

3.2.7 Μεταβολή τιμών λόγω πεζοδρόμησης ορισμένων τμημάτων του δικτύου

Η αποκοπή των οχημάτων από ορισμένα τμήματα της κυκλοφορίας επιφέρει πολλά πλεονεκτήματα στο σύνολο του δικτύου. Αρχικά, μειώνεται η όποια κυκλοφοριακή συμφόρηση, παροτρύνοντας τους χρήστες του δικτύου στη μετακίνησή τους μέσω των πεζοδρόμων, αποφεύγοντας τη χρήση των οδικών τμημάτων. Επακόλουθο αυτού του πλεονεκτήματος είναι η βελτίωση της περιβαλλοντικής κατάστασης της περιοχής και η μείωση των τροχαίων ατυχημάτων στα επιμέρους τμήματα. Σε αυτή την ενότητα, περιγράφεται ο τρόπος μεταβολής των παραπάνω περιορισμών του μοντέλου από τη διαδικασία πεζοδρόμησης.

Ηχορύπανση

Η μεταβολή στις τιμές της ηχορύπανσης διαμορφώνεται ως εξής:

$$NP'i = \begin{cases} NPi, \text{ \acute{e}\acute{\alpha}\nu na = 0 \text{ και } na' = 0 \\ 0, \text{ \acute{e}\acute{\alpha}\nu na = 1 \text{ ή } na = 2 \\ \frac{NPi * v'}{v}, \text{ \acute{e}\acute{\alpha}\nu na = 0 \text{ και } na' = 2 \end{cases}$$

(σχέση 3.28)

Δηλαδή, στα τμήματα όπου προτείνεται η πλήρης πεζοδρόμηση, οι τιμές της ηχορύπανσης λόγω των οχημάτων μηδενίζεται, ενώ σε εκείνα όπου προτείνεται η μερική πεζοδρόμηση οι τιμές μεταβάλλονται ανάλογα με την αλλαγή στο φόρτο του συνδέσμου. Είναι λογικό, πως η αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου, δηλαδή η αύξηση του αριθμού των οχημάτων σε ένα σύνδεσμο μία δεδομένη χρονική στιγμή, επιφέρει αισθητή αύξηση στις τιμές της ηχορύπανσης, αλλά και το αντίθετο. Δηλαδή, η μείωση του κυκλοφοριακού φόρτου επιφέρει μείωση στις τιμές της ηχορύπανσης του εκάστοτε συνδέσμου. Τέλος, στους συνδέσμους όπου απαγορεύεται η πεζοδρόμηση, οι τιμές της ηχορύπανσης παραμένουν αμετάβλητες.

Ατμοσφαιρική ρύπανση

Οι τιμές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στον κάθε σύνδεσμο ανάλογα με τη μορφή της πεζοδρόμησης που του προτείνεται διαμορφώνεται ως εξής:

$$AP'i = \begin{cases} APi, \text{ \acute{e}\acute{\alpha}\nu na = 0 \text{ και } na' = 0 \\ APi * 0,60, \text{ \acute{e}\acute{\alpha}\nu na = 1 \text{ ή } na = 2 \\ APi, \text{ \acute{e}\acute{\alpha}\nu na = 0 \text{ και } na' = 2 \end{cases}$$

(σχέση 3.29)

Σύμφωνα με μια έρευνα που διεξάχθηκε από τον Lloyd Wright το 2004, η μετατροπή ενός τμήματος της κυκλοφορίας από ενεργό κομμάτι σε πεζόδρομο επιφέρει 40% μείωση των ρύπων. Επέρχεται δηλαδή, στο 60% της υπάρχουσας τιμής της συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων. Στους υπόλοιπους συνδέσμους, όπου απαγορεύεται η πεζοδρόμηση ή προτείνεται η μερική πεζοδρόμηση, το ποσοστό συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων δεν υπόκειται σε καμία αισθητή μεταβολή.

Τροχαία ατυχήματα

Η μεταβολή του αριθμού των τροχαίων ατυχημάτων στους συνδέσμους του δικτύου έχει ως εξής:

$$CA'i = \begin{cases} CAi, \text{ \acute{e}\acute{\alpha}\nu na = 0 \text{ και } na' = 0 \\ 0, \text{ \acute{e}\acute{\alpha}\nu na = 1 \text{ ή } na = 2 \\ \frac{CAi * \nu'}{\nu}, \text{ \acute{e}\acute{\alpha}\nu na = 0 \text{ και } na' = 2 \end{cases}$$

(σχέση 3.30)

Όπως είναι λογικό, ο αριθμός των τροχαίων ατυχημάτων μηδενίζεται στην περίπτωση της ολικής πεζοδρόμησης, ενώ στην περίπτωση των συνδέσμων όπου απαγορεύεται η πεζοδρόμηση, η μεταβολή του αριθμού είναι μηδενική. Τέλος, στα τμήματα του δικτύου όπου προτείνεται η μερική πεζοδρόμηση, η μεταβολή του αριθμού των τροχαίων ατυχημάτων εξαρτάται αποκλειστικά από το νέο φόρτο του συνδέσμου. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η μείωση της κυκλοφορίας σε μια δεδομένη χρονική διάσταση σε ένα σύνδεσμο με τη βελτίωση του συνδέσμου σε κατασκευαστικό επίπεδο, έχει ως απόρροια τη μείωση των ατυχημάτων.

Σημειώνεται πως αυτές είναι οι τελικές τιμές των περιορισμών που χρησιμοποιούνται από το μοντέλο για την λήψη της απόφασης των συνδέσμων που πρόκειται να πεζοδρομηθούν.

3.2.8 Τελικό μοντέλο

Αρχικά, υπενθυμίζεται πως στόχος του μοντέλου είναι ο προσδιορισμός του μέγιστου μήκους των συνδέσμων που κρίνονται κατάλληλοι για πεζοδρόμηση έχοντας όσο το δυνατόν λιγότερες επιπτώσεις στο συνολικό δίκτυο της περιοχής. Ο όρος βελτιστοποίηση του συστήματος αναφέρεται στο μέγιστο μήκος του δικτύου που πεζοδρομείται, έχοντας τις λιγότερες επιπτώσεις στο συνολικό χρόνο διάνυσης του δικτύου. Σκοπός είναι η βέλτιστη επιλογή των συνδέσμων που θα πεζοδρομηθούν, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι περιβαλλοντικοί ρύποι, τα τροχαία ατυχήματα και να βελτιωθεί αν είναι δυνατόν ή έστω να παραμείνει σταθερή η κυκλοφοριακή κατάσταση της περιοχής.

Η αντικειμενική συνάρτησης που προτείνεται για την επίλυση του προβλήματος της χωροθέτησης πεζοδρόμων έχει την εξής μορφή:

Από την εξίσωση 3.1:

$$\text{maximize } Z = \text{maximize} \left(\beta_1 * \sum L_{\text{walkingway}} - \beta_2 * \sum TC \right)$$

Τα β_1 και β_2 αποτελούν τα βάρη της αντικειμενικής συνάρτησης, των οποίων η τιμή προσαρμόζεται ανάλογα, έτσι ώστε τα δύο αθροίσματα να έχουν την ίδια τάξη μεγέθους. Για την εύρεση των κατάλληλων τιμών των β_1 και β_2 γίνεται κανονικοποίηση. Η διαδικασία αυτή βοηθά τον γενετικό αλγόριθμο να προσδιορίσει με μεγαλύτερη ευκολία και ακρίβεια τη βέλτιστη λύση του προβλήματος.

Τα αρχικά στοιχεία που είναι γνωστά για τους συνδέσμους του συνολικού δικτύου είναι:

1. Ο αριθμός και η ταυτότητα των συνδέσμων
2. Ο αριθμός και η ταυτότητα των κόμβων Προέλευσης – Προορισμού
3. Το μήκος του συνδέσμου
4. Το συνολικό πλάτος της οδού
5. Η χωρητικότητα ανά λωρίδα στο σύνδεσμο
6. Ο χρόνος ελεύθερης ροή για τον σύνδεσμο
7. Η ταχύτητα του συνδέσμου

8. Η κατηγορία του συνδέσμου
9. Ο πίνακας Προέλευσης – Προορισμού
10. Η ηχορύπανση σε κάθε σύνδεσμο
11. Η ατμοσφαιρική ρύπανση σε κάθε σύνδεσμο
12. Τα τροχαία ατυχήματα σε κάθε σύνδεσμο

Από τα αρχικά στοιχεία του δικτύου υπολογίστηκαν και κάποια συμπληρωματικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για την επεξεργασία του προβλήματος και είναι τα εξής:

1. Ο αρχικό αριθμός των λωρίδων του συνδέσμου
2. Το πλάτος της κάθε λωρίδας του συνδέσμου
3. Το πλάτος του κάθε συνδέσμου
4. Η αρχική χωρητικότητα του συνδέσμου

Οι συμβολισμοί των παραπάνω μεγεθών είναι οι εξής:

I : πλήθος των συνδέσμων

L_i : μήκος του συνδέσμου i

w_i : συνολικό πλάτος του συνδέσμου i

C_i : χωρητικότητα του συνδέσμου i

wl_i : πλάτος λωρίδας του συνδέσμου i

N_i : αριθμός λωρίδων του συνδέσμου i

o : κόμβος Προέλευσης

d : κόμβος Προορισμού

f_{ST} : συντελεστής κατηγορίας οδού

Τα βήματα που ακολουθούνται για την διαμόρφωση του μοντέλου είναι τα εξής:

Βήμα 1^ο:

Αρχικά υπολογίζεται ο τύπος πεζοδρόμησης του κάθε συνδέσμου [na], έχοντας ως κριτήρια το συνολικό αρχικό πλάτος της οδού και προσδιορίζεται ένα σύνολο πιθανών λύσεων λαμβάνοντας υπόψη και την ταχύτητα εξυπηρέτησης της μηχανοκίνητης μετακίνησης. Η τιμή της μεταβλητής σχεδιασμού na μπορεί να πάρει τις τιμές 0,1,2. Με την τιμή 0 αντιπροσωπεύονται οι σύνδεσμοι στους οποίους δεν επιτρέπεται η πεζοδρόμηση, με την τιμή 1 εκείνοι που κρίνονται κατάλληλοι για την πλήρη πεζοδρόμηση και τέλος με την τιμή 2 εκείνοι στους οποίους προτείνεται η πεζοδρόμηση από τη μερική πεζοδρόμηση της οδού, δηλαδή απαγορεύεται η κυκλοφορία οχημάτων στο σύνδεσμο, επιτρέποντας όμως την κυκλοφορία στο σύνδεσμο του αντίθετου ρεύματος της οδού.

Από το συνολικό πλάτος της οδού και έχοντας λάβει υπόψη τα κριτήρια πεζοδρόμησης, υπολογίζεται το πλάτος που προτείνεται να πεζοδρομηθεί σε κάθε οδό. Με μοναδικό κριτήριο το πλάτος της οδού διαχωρίζονται εκείνοι οι οδοί στις οποίες προτείνεται η ολική πεζοδρόμηση από εκείνες που επιλέγεται η μερική.

Από τη σχέση 3.6:

$$\text{αν } w_{si} = \left\{ \begin{array}{l} w_{si} \leq 7.00m, \text{ επιτρέπεται ολική πεζοδρόμηση του συνδέσμου } [na^0 = 1] \\ \\ 7.00 < w_{si} \leq 10.00m, \text{ συνιστάται μερική πεζοδρόμηση του συνδέσμου} \\ \text{με επιπλέον πλάτος πεζοδρομίου:} \\ \pi = \frac{\Pi - 5.3}{2} \\ \text{και συνιστάται η παράλληλη στάθμευση οχημάτων} \\ \text{από τη μία πλευρά του συνδέσμου } [na^0 = 2] \\ \\ 10.00 < w_{si} \leq 13.00m, \text{ συνιστάται μερική πεζοδρόμηση του συνδέσμου} \\ \text{με επιπλέον πλάτος πεζοδρομίου:} \\ \pi = \frac{\Pi - 7.3}{2} \\ \text{και συνιστάται η παράλληλη στάθμευση οχημάτων} \\ \text{και από τις δύο πλευρές του συνδέσμου } [na^0 = 2] \\ \\ w_{si} < 13.00m, \text{ συνιστάται μερική πεζοδρόμηση του συνδέσμου} \\ \text{με επιπλέον πλάτος πεζοδρομίου:} \\ \pi = \frac{\Pi - 9.8}{2} \\ \text{και συνιστάται η παράλληλη στάθμευση οχημάτων} \\ \text{και από τις δύο πλευρές του συνδέσμου } [na^0 = 2] \end{array} \right.$$

Λαμβάνοντας υπόψη και την ταχύτητα που εξυπηρετεί ο κάθε σύνδεσμος ο τύπος της πεζοδρόμησης διαμορφώνεται ως εξής:

Από τη σχέση 3.8:

$$αν\ u_i = \begin{cases} u_i \leq 50.00 \frac{km}{h}, \text{ επιτρέπεται η πεζοδρόμηση του συνδέσμου } [na^1 = 1 \text{ ή } 2] \\ u_i > 50.00 \frac{km}{h}, \text{ απαγορεύεται η πεζοδρόμηση του συνδέσμου } [na^1 = 0] \end{cases}$$

Η τελική τιμή του na καθορίζεται από την κατηγορία της οδού. Αν ο σύνδεσμος είναι κεντρική αρτηρία τότε απαγορεύεται ρητά η πεζοδρόμηση του.

Από τη σχέση 3.9:

$$f_{sr} = \begin{cases} 0, \text{ εάν επρόκειτο για κεντρική αρτηρία} \\ 1, \text{ για όποια άλλη κατηγορία} \end{cases}$$

Επομένως:

$$na^2 = na^1 * f_{sr}$$

(εξίσωση 3.31)

,με

$$na^2 = \begin{cases} 0, \text{ δεν επιτρέπεται η πεζοδρόμηση} \\ 1, \text{ επιτρέπεται η ολική πεζοδρόμηση} \\ 2, \text{ προτείνεται η μερική πεζοδρόμηση της οδού,} \end{cases}$$

Η μεταβλητή σχεδιασμού na αναφέρεται στο σύνδεσμο του δικτύου και όχι στην οδό. Δηλαδή μέχρι αυτό το στάδιο, η μεταβλητή απόφασης na έχει την ίδια τιμή στους

συνδέσμους μίας οδού. Μάλιστα, και στους δύο συνδέσμους της οδού που προτείνεται για μερική πεζοδρόμηση η μεταβλητή απόφασης παίρνει την τιμή 2, καθώς δεν έχει αποφασιστεί ακόμα ποιος σύνδεσμος από τους δύο θα πεζοδρομηθεί. Αυτό θα γίνει σε επόμενο στάδιο. Επίσης, αν για κάποιο σύνδεσμο δεν προτείνεται η πεζοδρόμησή του για οποιονδήποτε λόγο, τότε μπορεί η τιμή του να οριστεί κατευθείαν ίση με το 0.

Βήμα 2^ο:

Επόμενη λειτουργία του μοντέλου είναι η εφαρμογή του γενετικού αλγορίθμου. Ο γενετικός αλγόριθμος κατά την εφαρμογή του παράγει τυχαίες τιμές για τη μεταβλητή σχεδιασμού na . Μοναδική προϋπόθεση σε αυτό το στάδιο είναι η διατήρηση της μορφής της πεζοδρόμησης. Δηλαδή, αν από το 1^ο στάδιο η πεζοδρόμηση που προτείνεται για ένα σύνδεσμο είναι η μερική, τότε στο δεύτερο στάδιο δεν γίνεται να προταθεί η ολική πεζοδρόμηση. Το ίδιο ισχύει και για την αντίθετη περίπτωση. Το μόνο που μπορεί να οριστεί από αυτό το στάδιο είναι η εφαρμογή ή όχι της πεζοδρόμησης.

Ο γενετικός αλγόριθμος επιλέγει τυχαίες τιμές για τη μεταβλητή na , ώστε να βρει εκείνο τον συνδυασμό των τιμών που θα οδηγήσουν στη μεγιστοποίηση της πρώτης μεταβλητής απόφασης της αντικειμενικής συνάρτησης ($\Sigma L_{walkingway}$).

Με την επεξεργασία των τιμών ώστε να διατηρηθεί η μορφή τη πεζοδρόμησης, οι δυνατές τιμές της μεταβλητής σχεδιασμού σε κάθε περίπτωση είναι:

$$\text{αν } na^2 = 0: \text{ τότε } na^3 = \{0, \text{ δεν επιτρέπεται η πεζοδρόμηση}\}$$

$$\text{αν } na^2 = 1: \text{ τότε } na^3 = \begin{cases} 0, \text{ δεν επιτρέπεται η πεζοδρόμηση} \\ 1, \text{ επιτρέπεται η ολική πεζοδρόμηση} \end{cases}$$

$$\text{αν } na^2 = 2: \text{ τότε } na^3 = \begin{cases} 0, \text{ δεν επιτρέπεται η πεζοδρόμηση} \\ 2, \text{ επιτρέπεται η μερική πεζοδρόμηση} \end{cases}$$

Έτσι, υπολογίζεται το αρχικό μήκος πεζοδρόμησης για το σύνολο του δικτύου.

Από τη σχέση 3.14:

$$αν L_{walkingway i} = \begin{cases} 0, \text{ \acute{e}\acute{\alpha}\nu na = 0 \\ L_{walkingway i}, \text{ \acute{e}\acute{\alpha}\nu na = 1 \\ L_{walkingway i}, \text{ \acute{e}\acute{\alpha}\nu na = 2 \end{cases}$$

Βήμα 3^ο:

Σε αυτό το στάδιο προσδιορίζεται η νέα χωρητικότητα του συνδέσμου λόγω της πεζοδρόμησης ορισμένων τμημάτων του δικτύου. Για τον υπολογισμό της νέας χωρητικότητας αρκεί ο εκ νέου υπολογισμός του τύπου της χωρητικότητας (εξίσωση 3.16) ορίζοντας εξ' αρχής τους συντελεστές της εξίσωσης (εξίσωση 3.19). Η διαδικασία αυτή εφαρμόζεται μονάχα στον σύνδεσμο που δεν πεζοδρομείται στην οδό, για την οποία προτείνεται η μερική πεζοδρόμηση, διότι αλλάζει το συνολικό πλάτος του συνδέσμου και κατ' επέκταση αλλάζουν ο συντελεστής πλάτους και ο αριθμός των λωρίδων του συνδέσμου. Στους συνδέσμους που προτείνεται η ολική πεζοδρόμηση ο συντελεστής μεταβολής της χωρητικότητας είναι ίσος με 0, καθώς η χωρητικότητα στον εκάστοτε σύνδεσμο μηδενίζεται. Το ίδιο ισχύει και για τους συνδέσμους που προτείνεται η πεζοδρόμησή τους στις οδούς, που κρίνεται κατάλληλη η μερική πεζοδρόμηση.

Από τη σχέση 3.26 και την εξίσωση 3.27:

$$f_c = \begin{cases} 1, \text{ \acute{e}\acute{\alpha}\nu na = 0 \text{ και } na' = 0 \\ 0, \text{ \acute{e}\acute{\alpha}\nu na = 1 \\ 0, \text{ \acute{e}\acute{\alpha}\nu na = 2 \\ \frac{f'_w * N'}{f_w * N}, \text{ \acute{e}\acute{\alpha}\nu na = 0 \text{ και } na' = 2 \end{cases}$$

$$C'_i = C_i * f_{pi}$$

προκύπτει ότι:

$$C_i' = \begin{cases} C_i, & \text{εάν } na = 0 \text{ και } na' = 0 \\ 0, & \text{εάν } na = 1 \text{ ή } na = 2 \\ C_i', & \text{εάν } na = 0 \text{ και } na' = 2 \end{cases}$$

(σχέση 3.32)

Βήμα 4^ο:

Η κατασκευή του μοντέλου έχει ως στόχο την ορθή επιλογή των συνδέσμων που θα πεζοδρομηθούν και θα επιτευχθεί με τη μεγιστοποίηση της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης. Μία από τις μεταβλητές απόφασης της αντικειμενικής συνάρτησης είναι το συνολικό κόστος του δικτύου, δηλαδή ο συνολικός χρόνος διάνυσης. Για τον υπολογισμό αυτής της μεταβλητής εφαρμόζεται ο αλγόριθμος Frank – Wolfe, έχοντας ως δεδομένο τη νέα τελική χωρητικότητα των συνδέσμων $[C_i']$. Ο αλγόριθμος τυπώνει το φόρτο v_i του κάθε συνδέσμου και το συνολικό κόστος μετακίνησης του δικτύου σε οχηματοώρες $[TC]$.

Ο αλγόριθμος Frank – Wolfe, όπως έχει προαναφερθεί, είναι μεταφρασμένος στον κώδικα της Python και τρέχει σε κάθε επανάληψη του σεναρίου.

Βήμα 5^ο:

Για την ικανοποίηση όλων των ζευγών Προέλευσης – Προορισμού πρέπει να ισχύει η σχέση 3.9, δηλαδή να ικανοποιείται ο περιορισμός όπου ο απαιτούμενος φόρτος για κάθε σύνδεσμο να μην υπερβαίνει κατά πολύ τη νέα χωρητικότητα του συνδέσμου. Επομένως, η τελική διαμόρφωση της χωρητικότητας του συνδέσμου είναι η εξής:

$$C_i'' = \begin{cases} C_i', & \text{εάν } v_i \leq C_i' \\ C_i, & \text{εάν } v_i > C_i' \end{cases}$$

(εξίσωση 3.33)

Αυτή είναι η τιμή της χωρητικότητας που χρησιμοποιείται στον αλγόριθμο Frank – Wolfe για τον υπολογισμό του φόρτου του συνδέσμου.

Σε αυτή τη φάση, προσδιορίζεται η τελική τιμή της μεταβλητής σχεδιασμού n_a . Ήδη με την εφαρμογή του γενετικού αλγορίθμου και των παραμέτρων στο 2^ο βήμα, προσδιορίζεται η τιμή της μεταβλητής n_a , ωστόσο τα δεδομένα που εισέρχονται στο γενετικό αλγόριθμο αφορούν τον κάθε σύνδεσμο ξεχωριστά. Για προσδιοριστούν ορθά οι σύνδεσμοι προς πεζοδρόμηση θα πρέπει να αποτελέσματα του γενετικού αλγορίθμου να υποστούν επιπρόσθετη επεξεργασία. Εκ νέου υπολογίζεται και το συνολικό μήκος του δικτύου που πεζοδρομείται. Αυτό γίνεται, καθώς ο παραπάνω περιορισμός μπορεί να απαγορεύσει την πεζοδρόμηση ενός δικτύου που προηγουμένως είχε προταθεί ως κατάλληλη. Συνεπώς:

$$\text{αν } L'_{walkway\ i} = \begin{cases} L_{walkway\ i}, & \text{εάν } C'i = C''i \\ 0, & \text{εάν } C'i \neq C''i \end{cases}$$

(εξίσωση 3.34)

Βήμα 6^ο:

Στην τελική επιλογή των συνδέσμων που κρίνονται κατάλληλοι για πεζοδρόμηση καταλυτικό ρόλο έχουν οι περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής και η οδική ασφάλεια. Οι τιμές της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, της ηχορύπανσης και των τροχαίων ατυχημάτων αξιολογούνται με βάση την οριακή τιμή και επιλέγεται ο συνδυασμός των συνδέσμων που επιφέρουν τη μεγαλύτερη μείωση στις ποσότητες τους. Από τις εξισώσεις 3.10, 3.11 & 3.12:

$$NoisePollution^i \leq 74dB$$

$$AirPollution^i \leq 10.00\ mg/m^3$$

$$CarAccidents^i \leq \text{οριακή τιμή περιοχής}$$

, καθορίζονται οι περιορισμοί του μοντέλου. Ενώ, από τις εξισώσεις 3.28, 3.29 & 3.30:

$$NP'i = \begin{cases} NP_i, \text{ \acute{e}\acute{\alpha}\nu na = 0 \text{ και } na' = 0 \\ 0, \text{ \acute{e}\acute{\alpha}\nu na = 1 \text{ ή } na = 2 \\ \frac{NP_i * N'}{N}, \text{ \acute{e}\acute{\alpha}\nu na = 0 \text{ και } na' = 2 \end{cases}$$

$$AP'i = \begin{cases} AP_i, \text{ \acute{e}\acute{\alpha}\nu na = 0 \text{ και } na' = 0 \\ AP_i * 0,60, \text{ \acute{e}\acute{\alpha}\nu na = 1 \text{ ή } na = 2 \\ AP_i, \text{ \acute{e}\acute{\alpha}\nu na = 0 \text{ και } na' = 2 \end{cases}$$

$$CA'i = \begin{cases} CA_i, \text{ \acute{e}\acute{\alpha}\nu na = 0 \text{ και } na' = 0 \\ 0, \text{ \acute{e}\acute{\alpha}\nu na = 1 \text{ ή } na = 2 \\ \frac{CA_i * N'}{N}, \text{ \acute{e}\acute{\alpha}\nu na = 0 \text{ και } na' = 2 \end{cases}$$

, καθορίζονται οι νέες τροποποιημένες τιμές λόγω της εφαρμογής του μοντέλου.

Βήμα 7^ο:

Τελικό βήμα του μοντέλο αποτελεί ο υπολογισμός της αντικειμενικής συνάρτησης. Πρώτα υπολογίζεται το σύνολο του μήκους του δικτύου που πεζοδρομείται, είτε ολικώς είτε μερικώς και εν συνεχεία υπολογίζεται η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης. Συνεπώς, η εξίσωση 3.1 διαμορφώνεται τελικώς ως εξής:

$$Z = \sum_{i=1}^I L_{walkway}^i - TC$$

Τα βήματα 2 έως 7 επαναλαμβάνονται έως ότου ικανοποιηθεί η συνθήκη τερματισμού. Συνθήκη τερματισμού αποτελεί η ολοκλήρωση 1.000 επαναλήψεων του γενετικού αλγορίθμου, ώστε να βρεθεί η βέλτιστη λύση της εξίσωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.1 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Η εφαρμογή του μοντέλου πραγματοποιείται σε ένα αστικό δίκτυο με 303 οδούς διπλής κατεύθυνσης, δηλαδή 606 συνδέσμους και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους παρακάτω χάρτες. Η ψηφιοποίηση του δικτύου υλοποιήθηκε στο πρόγραμμα QGIS, το οποίο είναι ένα λογισμικό Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών ανοιχτού κώδικα. Έχει τη δυνατότητα να διαχειριστεί δεδομένα raster, vector, να υποστηρίξει τις βασικότερες γεωγραφικές βάσεις δεδομένων και να παρέχει στο χρήστη ένα μεγάλο πλήθος λειτουργιών ανάλυσης και χαρτογραφικής απεικόνισης. Το QGIS μπορεί να απεικονίσει, διαχειριστεί, επεξεργαστεί και να αναλύσει δεδομένα, καθώς επίσης και να συνθέσει χάρτες. Η αρχική μορφή του δικτύου, στο οποίο γίνεται αναφορά, δηλαδή η μορφή του δικτύου χωρίς καμία ακόμα παρέμβαση έχει την παρακάτω μορφή.



Χάρτης 4. 1:
Οδικό δίκτυο σχεδιασμού

Έχοντας συλλέξει όλα τα απαραίτητα στοιχεία, η διαμόρφωση του μοντέλου ολοκληρώνεται με την ορθή ταξινόμηση των εξισώσεων στο υπολογιστικό φύλλο του Excel, τη σύνδεση του με τον κώδικα της Python και τη σωστή τοποθέτηση των παραμέτρων στο πρόγραμμα xLOptimizer. Σημειώνεται πως για την εφαρμογή του μοντέλου χρησιμοποιούνται τα δεδομένα του δικτύου της Αλεξανδρούπολης, μίας αστικής πόλης με αρκετά πυκνό αστικό δίκτυο.

- Διαμόρφωση μοντέλου στο Excel

Αρχικά, εισάγονται και επεξεργάζονται κατάλληλα τα δεδομένα της περιοχής. Έχοντας γνωστά τα χρήσιμα στοιχεία, προστίθενται τα κριτήρια πεζοδρόμησης με βάση το συνολικό πλάτος, την κατηγορία του συνδέσμου και την ταχύτητα. Όσοι σύνδεσμοι

πληρούν αυτά τα κριτήρια είναι κατάλληλοι προς πεζοδρόμηση. Ωστόσο, πριν την τελική απόφαση, ελέγχεται η ροή των συνδέσμων να μην ξεπερνάει τη νέα χωρητικότητα, αφαιρώντας τους συνδέσμους που η ζήτηση είναι μεγαλύτερη από τη χωρητικότητα, ώστε να μην καταρρεύσει το δίκτυο. Στόχος του μοντέλου είναι να επιλέξει εκείνους τους συνδέσμους που η ζήτησή τους μπορεί να μηδενιστεί, στέλνοντας τα οχήματα από την αμέσως επόμενη συντομότερη διαδρομή, χωρίς να προκαλείται πρόβλημα στο δίκτυο. Το κριτήριο αυτό, διαμορφώνει την τελική επιλογή των συνδέσμων που πρόκειται να πεζοδρομηθούν. Επίσης προστίθενται και οι περιορισμοί που είναι η ατμοσφαιρική ρύπανση, η ηχορύπανση και τα τροχαία ατυχήματα, εκτιμώνται οι νέες τιμές τους μετά την εφαρμογή του μοντέλου και αυτές εισάγονται στο πρόγραμμα του xLOptimizer, με σκοπό την μέγιστη βελτιστοποίηση της υφιστάμενης κατάστασης. Τέλος, υπολογίζεται η πρώτη μεταβλητή της αντικειμενικής συνάρτησης, το συνολικό μήκος των συνδέσμων που τελικώς πεζοδρομούνται.

- Σύνδεση του Excel με τον κώδικα της Python

Για τον γρηγορότερο και πιο αξιόπιστο υπολογισμό της τιμής του συνολικού κόστους του δικτύου, που αποτελεί τη δεύτερη μεταβλητή απόφασης της αντικειμενικής συνάρτησης η διαδικασία του αλγορίθμου Frank – Wolfe κωδικοποιείται στη γλώσσα της Python. Η Python είναι μία ευρέως διαδεδομένη γλώσσα προγραμματισμού υψηλού επιπέδου για προγραμματισμό γενικής χρήσης. Σχεδιάστηκε στα τέλη της δεκαετία του 1980, ενώ η πρώτη εφαρμογή της πραγματοποιήθηκε το Δεκέμβριο του 1989 από τον Guido van Rossum. Πρόκειται για μία γλώσσα προγραμματισμού πολλαπλών παραδειγμάτων, με εξαιρετικά προσόντα. Αρχικά, πρόκειται για μία γλώσσα αρκετά εύκολη και αναγνώσιμη με ξεκάθαρη οπτική διάταξη. Η γλώσσα που χρησιμοποιείται είναι η αγγλική. Συγκριτικά με άλλες γλώσσες προγραμματισμού, όπως η C++ και η Java, η Python δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες της να εκφράζουν έννοιες και εντολές σε λιγότερες γραμμές του κώδικα. Ακολουθεί μία συνοπτική σχεδιαστική φιλοσοφία που την κάνει να υπερτερεί έναντι των άλλων γλωσσών προγραμματισμού.

(Η κωδικοποίηση του συγκεκριμένου μοντέλου στη γλώσσα της Python φαίνεται στο Παράρτημα.)

- Διαμόρφωση σεναρίου στο πρόγραμμα xLOptimizer

Για την ολοκλήρωση του μοντέλου και την ομαλή επανάληψη των βημάτων κατά σειρά χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα xLOptimizer. Αρχικά, ορίζεται ο κύριος στόχος του προβλήματος, που είναι η μεγιστοποίηση της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης. Εν συνεχεία, ορίζονται οι μεταβλητές που υποβάλλονται στη μελέτη του γενετικού αλγορίθμου και οι περιορισμοί της ατμοσφαιρικής ρύπανση, της ηχορύπανσης και των τροχαίων ατυχημάτων. Η σύγκριση των τιμών των περιορισμών γίνεται με τις οριακές τιμές που για την κάθε κατηγορία είναι οι εξής:

1. Για την προσαρμογή του κριτηρίου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο στάδιο της επεξεργασίας των τιμών για την επιλογή του πλέον κατάλληλου δρόμου προς πεζοδρόμηση, χρησιμοποιείται ως οριακή τιμή το $1,00 \text{ mg/m}^3$, τιμή κοντά στο μέσο όρο των τιμών του μονοξειδίου του άνθρακα στην περιοχή της Αλεξανδρούπολης. Συνεπώς, στα οδικά τμήματα του δικτύου που έχουν τιμή ανώτερη ή ίση με το 1 mg/m^3 θεωρείται απευθείας απαραίτητη η πεζοδρόμηση, ως προς αυτό το κριτήριο.

$$AirPollution^i \leq 1.00 \text{ mg/m}^3$$

(σχέση 4.1)

2. Οι σύνδεσμοι με ηχητική στάθμη μεγαλύτερη των 74dB θεωρούνται ενοχλητικοί για την καθημερινή έκθεση του ανθρώπου και κρίνεται απαραίτητο να ληφθούν μέτρα βελτιστοποίησης της κατάστασης. Συνεπώς, η οριακή τιμή της ηχορύπανσης θεωρούνται τα 74dB.

$$NoisePollution^i \leq 74 \text{ dB}$$

(σχέση 4.2)

3. Ο αριθμός των τροχαίων ατυχημάτων στο συγκεκριμένο οδικό δίκτυο δεν είναι μεγάλος, λόγω του ότι γίνεται αναφορά στο κέντρο της πόλης που οι ταχύτητες είναι μικρές και η συμφόρηση της κυκλοφορίας υπαρκτή. Για το λόγο αυτό, οριακή τιμή των τροχαίων ατυχημάτων για την περιοχή αποτελεί η μέση τιμή, δηλαδή 3 ατυχήματα/έτος.

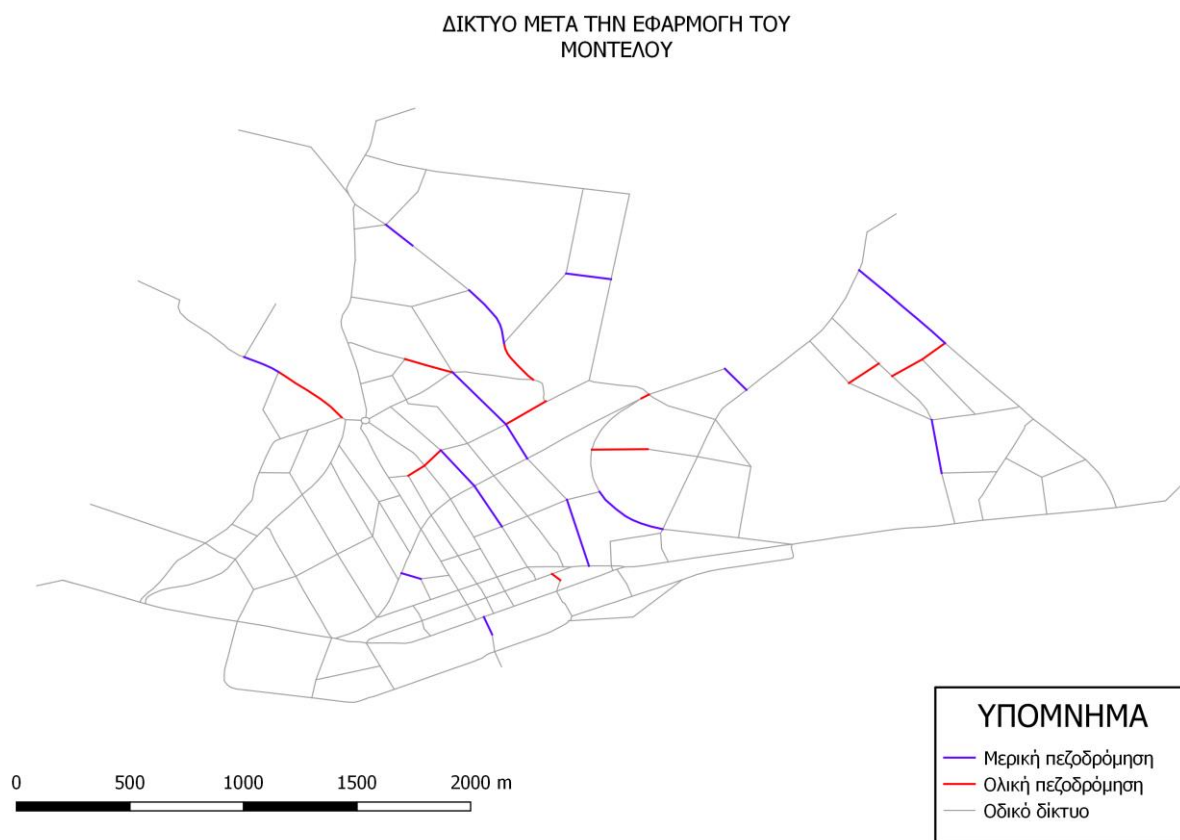
$$CarAccidents^i \leq 3ca/y$$

(σχέση 4.3)

Τέλος, κατασκευάζεται το σενάριο, στο οποίο ορίζεται η συνθήκη τερματισμού και καθορίζεται ο τρόπος εκτέλεσης των εντολών. Συγκεκριμένα, πρώτο βήμα στην εφαρμογή αποτελεί ο προσδιορισμός των πράξεων στο υπολογιστικό φύλλο excel, έχοντας επιλέξει ο γενετικός αλγόριθμος τις τιμές για τη μεταβλητή σχεδιασμού [na] και ύστερα εκτελείται η μακροεντολή της Python που υπολογίζει την τιμή του συνολικού κόστους μεταφοράς.

4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Από την εφαρμογή της αντικειμενικής συνάρτησης μέσω της εξίσωσης 3.1 και των διαφόρων παραμέτρων που λήφθηκαν υπόψη στην επεξεργασία του μοντέλου, η αρχική μορφή του δικτύου τροποποιήθηκε. Συγκεκριμένα, μερικά τμήματα του οδικού δικτύου από ενεργά τμήματα της κυκλοφορίας μετατράπηκαν σε πεζοδρόμους. Στους επόμενους χάρτες απεικονίζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του μοντέλου σχεδιασμού.



Χάρτης 4. 2:

Οδικό δίκτυο μετά την εφαρμογή του μοντέλου σχεδιασμού

ΘΕΣΕΙΣ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗΣ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ



Χάρτης 4. 3:
Θέσεις παράλληλης στάθμευσης

Υπενθυμίζεται, πως στις οδούς που προτείνεται η μερική πεζοδρόμηση, επιτρέπεται και η στάθμευση των οχημάτων, από τη μία πλευρά της οδού ή και από τις δύο. Στο Χάρτη 4.3 με τις θέσεις παράλληλης στάθμευσης ως «Στάθμευση Νο1» συμβολίζονται οι οδοί, στους οποίους επιτρέπεται η στάθμευση από τη μία πλευρά, ενώ ως «Στάθμευση Νο2» συμβολίζονται οι οδοί, στους οποίους επιτρέπεται η στάθμευση και από τις δύο πλευρές της.

Από την εφαρμογή του μοντέλου στο δίκτυο σχεδιασμού προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα:

- Οι 15 οδοί του δικτύου πεζοδρομούνται μερικώς. Το μήκος που αντιστοιχεί στους συνδέσμους που πεζοδρομούνται μερικώς είναι 3,05km

- Οι 12 οδοί του δικτύου πεζοδρομούνται ολικώς. Το μήκος που αντιστοιχεί στους συνδέσμους που πεζοδρομούνται ολικώς είναι 3,18km
- Ο συνολικός χρόνος διάνυσης του δικτύου είναι 1.747,67 οχηματοώρες

Για την καλύτερη αντίληψη της βελτίωσης των συνθηκών που υφιστάμενου οδικού δικτύου από την εφαρμογή του μοντέλου, μελετάται το ποσοστό βελτίωσης ή επιδείνωσης των περιβαλλοντικών συνθηκών της περιοχής και της οδικής ασφάλειας. Η σύγκριση των τιμών γίνεται με τις τιμές της υφιστάμενης κατάστασης και χρησιμοποιείται ο μέσος όρος αυτών.

Για την εκτίμηση των επιπτώσεων των αλλαγών σε θέματα οδικής ασφάλειας υπολογίζεται ο συντελεστής μείωσης συγκρούσεων (CRFs). Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται για την εκτίμηση που επιφέρουν οι παρακάτω βελτιώσεις στην οδική ασφάλεια:

- Βελτίωση στη γεωμετρία ενός συγκεκριμένου τμήματος οδού ή ενός κόμβου.
- Βελτίωση της σήμανσης, που χρησιμοποιείται σε τμήμα οδού ή κόμβου.
- Βελτίωση της σηματοδότησης που χρησιμοποιείται στον κόμβο.
- Βελτίωση των ζωνών ασφαλείας παρά την οδό ή του εξοπλισμού ασφαλείας.

Ο όρος «βελτίωση» χρησιμοποιείται για να περιγράψει οποιαδήποτε αλλαγή στη γεωμετρία της οδού, της σήμανσης ή της σηματοδότησης ή οποιασδήποτε άλλης παραμέτρου που μπορεί να επηρεάσει την οδική ασφάλεια της οδού. Η πεζοδρόμηση είναι μία διαδικασία βελτίωσης του συνολικού δικτύου. Για τον υπολογισμό του συντελεστή μείωσης συγκρούσεων εφαρμόζεται η εξίσωση:

$$CRF = 1 - \frac{N_w}{N_w/o}$$

(εξίσωση 4.4)

, όπου

CRF: συντελεστής μείωσης συγκρούσεων που σχετίζεται με την αλλαγή της γεωμετρία του συνολικού δικτύου

N_w : αναμενόμενος συνολικός αριθμός ατυχημάτων μετά τη βελτίωση

$N_{w/o}$: σύνολο ατυχημάτων χωρίς τη βελτίωση.

Συνεπώς:

Πίνακας 4. 1:
Αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου και σύγκριση τιμών ως προς τους περιορισμούς

| Περιορισμοί μοντέλου | Μέσος όρος | | Ποσοστό αύξησης [+] /μείωσης[-] |
|---------------------------|----------------------|---------------------|------------------------------------|
| | Εφαρμογή μοντέλου | Αρχική κατάσταση | |
| Ηχορύπανση | 43,69 | 60,64 | -27,95% |
| Ατμοσφαιρική ρύπανση | 1,04 | 1,07 | -2,57% |
| CRF (από την εξίσωση 4.4) | | | |
| Τροχαία ατυχήματα | 2,441 | 3,003 | 0,19 |

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 4.1, η εφαρμογή του μοντέλου στο δίκτυο σχεδιασμού επιφέρει μεγάλη βελτίωση στην περιβαλλοντική κατάσταση της περιοχής, μειώνοντας τις τιμές της ηχορύπανσης κατά 27,95%, ποσοστό αρκετά υψηλό για μία αστική πόλη και τη συγκέντρωση των ατμοσφαιρικών ρύπων κατά 2,57%. Μάλιστα, μειώνονται και τα τροχαία ατυχήματα με το συντελεστή μείωσης των συγκρούσεων να ανέρχεται στην τιμή 0,19. Σημειώνεται δηλαδή, πως η χωροθέτηση πεζοδρόμων στο αστικό δίκτυο προσφέρει σημαντικές βελτιώσεις, χωρίς να παρουσιάζει προβλήματα στην κυκλοφορία των οχημάτων.

Πίνακας 4. 2

Αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου και σύγκριση τιμών ως προς το συνολικό χρόνο διαδρομής

| Σύνολο οχηματοωρών | Όριο ταχύτητας: 40km/h | Όριο ταχύτητας: 30km/h | Διαφορά |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|---------|
| Οχηματοώρες | 1747,67 | 1248,71 | 498,96 |

Από τον παραπάνω Πίνακα γίνεται αντιληπτό πως ο χρόνος διαδρομής μετά της εφαρμογή της πεζοδρόμησης ανέρχεται σε φυσιολογικά επίπεδα, φανερώνοντας πως δεν υπάρχουν προβλήματα έντονης κυκλοφοριακής συμφόρησης.

4.3 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ (GA CALIBRATION)

Το μοντέλο που εφαρμόζεται στο δίκτυο σχεδιασμού χρησιμοποιεί τον Γενετικό Αλγόριθμο, του οποίου όπως έχει προαναφερθεί και στο 2^ο κεφάλαιο, ο τρόπος λειτουργία του είναι εμπνευσμένος από τη Βιολογία. Συγκεκριμένα, οι Γενετικοί Αλγόριθμοι διατηρούν ένα πληθυσμός πιθανών λύσεων, τον οποίο επεξεργάζονται ώστε να βρεθεί η βέλτιστη λύση, μέσω μίας επαναληπτικής διαδικασίας, που θα φέρει το πρόβλημα πιο κοντά στο στόχο, που είναι η μεγιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης. Οι τιμές της μεταβλητής μ , που ορίζονται από τον γενετικό αλγόριθμο πρέπει να κωδικοποιούνται με τρόπο που να αναπαρασταθούν από μία μεταβλητή που περιέχει σειρά δυαδικών ψηφίων. Ο αρχικός πληθυσμός αποτελείται από ένα σύνολο τυχαίων λύσεων, που ονομάζονται γονιδιώματα. Οι πιο ικανές λύσεις για το πρόβλημα, συνεχίζουν να εξελίσσονται και συνδυάζονται τυχαία, μέσω της διαδικασίας της διασταύρωσης, μέχρις ότου να βρεθεί εκείνο το σύνολο λύσεων που θα ικανοποιούν την αντικειμενική συνάρτηση στο βέλτιστο βαθμό. Στην ομοιόμορφη διασταύρωση χρησιμοποιείται μία σταθερή αναλογία ανάμειξης μεταξύ των δύο γονέων.

Οι τιμές που μπορεί να πάρει ο πληθυσμός και η πιθανότητα της διασταύρωσης ποικίλουν και τα αποτελέσματα για τις διάφορες τιμές μπορεί να διαφέρουν. Οι τιμές αυτές τροποποιούνται, έτσι ώστε να εφαρμοστεί το μοντέλο και το αποτέλεσμα να είναι

πιο κοντά στο στόχο, ο οποίος είναι η μεγιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται βαθμονόμηση (GA Calibration) και είναι μια συστηματική διαδικασία εκτίμησης των τιμών των παραμέτρων ενός μοντέλου, με τρόπο ώστε τα αποτελέσματα του μοντέλου, ως προς ένα σύνολο παραμέτρων να προσαρμόζονται όσο το δυνατόν καλύτερα σε ένα αντίστοιχο σύνολο πραγματικών αποτελεσμάτων του φυσικού ή μαθηματικού συστήματος που αναπαριστά το μοντέλο. Στην ουσία, επιλέγονται οι κατάλληλοι παράμετροι του μαθηματικού μοντέλου, για το οποίο διαμορφώνεται μία ρεαλιστική παραμετροποίηση. Σύμφωνα με μία έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε αστικό δίκτυο για τις θέσεις στάθμευσης επί της οδού, η βέλτιστη λύση επέρχεται όταν η τιμή του πληθυσμού είναι ίση με 50 και η πιθανότητα διασταύρωσης ίση με 0,4 (Γκίνη Χ.). Συνεπώς, το μοντέλο επιλύθηκε με αυτές τις τιμές και τα αποτελέσματα του μοντέλου περιγράφηκαν στην προηγούμενη ενότητα.

4.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

Πολλές από τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για την εύρεση της βέλτιστης λύσης αλλάζουν και προσδίδουν στο πρόβλημα νέα δεδομένα. Συνεπώς, μαζί με την εύρεση της βέλτιστης λύσης, απαραίτητη είναι και η δυνατότητα διερεύνησης σεναρίων που αφορούν τη φύση και την έκταση των μεταβολών για εκείνες τις παραμέτρους του μοντέλου, που μπορούν να ανατρέψουν την άριστη απόφαση. Υλοποιείται δηλαδή, η Ανάλυση Ευαισθησίας. Ως Ανάλυση Ευαισθησίας ορίζεται η ανάλυση που μελετά τις συνέπειες που υφίσταται η βέλτιστη λύση του γραμμικού μοντέλου, ως συνέπεια διαφόρων αλλαγών στις τιμές των παραμέτρων του.

Με όριο τις 1.000 επαναλήψεις πραγματοποιήθηκε Ανάλυση Ευαισθησίας, τροποποιώντας διάφορες παραμέτρους του μοντέλου που θεωρούνται σημαντικές για το τελικό αποτέλεσμα. Συγκεκριμένα, δημιουργούνται σενάρια τροποποιώντας τις τιμές των παρακάτω παραμέτρων:

1. του ορίου ταχύτητας, βάσει του οποίου κρίνεται η επιλογή των συνδέσμων προς πεζοδρόμηση
2. του ορίου του πλάτους που επιτρέπεται η ολική πεζοδρόμηση μίας οδού
3. των συντελεστών της αντικειμενικής συνάρτησης

Στις επόμενες υποενότητες μελετώνται τα αποτελέσματα των σεναρίων και συγκρίνονται με τα αντίστοιχα αποτελέσματα από την εφαρμογή του αρχικού μοντέλου, ως προς το μήκος και τον αριθμό των συνδέσμων που πεζοδρομούνται, το συνολικό χρόνο διάνυσης του δικτύου και το ποσοστό μεταβολής των περιορισμών του μοντέλου.

4.3.1 Μεταβολή της τιμής του ορίου ταχύτητας

Όπως έχει περιγραφεί στο προηγούμενο κεφάλαιο, η επιλογή των συνδέσμων που κρίνονται κατάλληλοι για πεζοδρόμηση εξαρτώνται άμεσα από το συνολικό πλάτος της οδού και από την ταχύτητα εξυπηρέτησης των οχημάτων. Όταν μεταβληθεί η μία εκ των δύο τιμών, τότε τα αποτελέσματα αλλάζουν. Το όριο της ταχύτητας, που επιτρέπει την πεζοδρόμηση στο σύνδεσμο, είναι εκείνο το κριτήριο που καθορίζει το σύνολο των συνδέσμων κατάλληλων προς πεζοδρόμηση. Για την εφαρμογή της ανάλυσης ευαισθησίας, το όριο ταχύτητας αλλάζει και γίνεται ανάλυση των νέων αποτελεσμάτων.

Η αλλαγή του ορίου ταχύτητας που επιτρέπει την πεζοδρόμηση του συνδέσμου, συνεπάγει και την αύξηση του συνόλου των συνδέσμων που κρίνονται κατάλληλοι προς πεζοδρόμηση.

Σενάριο 1^ο: όριο ταχύτητας που επιτρέπει την πεζοδρόμηση ίσο με 40km/h:

Η σχέση 3.8 του μοντέλου τροποποιείται παίρνοντας τη μορφή:

$$\text{αν } u_i = \begin{cases} u_i \leq 40.00 \frac{km}{h}, \text{ επιτρέπεται η πεζοδρόμηση του συνδέσμου} \\ u_i > 40.00 \frac{km}{h}, \text{ απαγορεύεται η πεζοδρόμηση του συνδέσμου} \end{cases}$$

(σχέση 4.5)

, σύμφωνα με την οποία οι σύνδεσμοι με ταχύτητα από 0-40km/h είναι διαθέσιμοι προς πεζοδρόμηση. Τα αποτελέσματα του σεναρίου εμφανίζονται στους παρακάτω Πίνακες.

Πίνακας 4. 3:

Αποτελέσματα 1^{οο} σεναρίου και σύγκριση τιμών ως προς το μήκος και τον αριθμό των συνδέσμων που πεζοδρομούνται

| Τύπος πεζοδρόμησης | Μήκος συνδέσμων | | Διαφορά |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|---------|
| | Όριο ταχύτητας: 40km/h | Όριο ταχύτητας: 30km/h | |
| Μερική πεζοδρόμηση | 2,47 | 3,05 | -0,58 |
| Ολική πεζοδρόμηση | 3,14 | 3,18 | -0,04 |
| | Αριθμός οδών | | |
| Μερική πεζοδρόμηση | 16 | 15 | 1 |
| Ολική πεζοδρόμηση | 14 | 12 | 2 |

Πίνακας 4. 4:

Αποτελέσματα 1^{οο} σεναρίου και σύγκριση τιμών ως προς το χρόνο διάνυσης του συνολικού δικτύου

| Σύνολο οχηματοωρών | Όριο ταχύτητας: 40km/h | Όριο ταχύτητας: 30km/h | Διαφορά |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|----------|
| Οχηματοώρες | 2.851,37 | 1.747,67 | 1.103,69 |

Πίνακας 4. 5:

Αποτελέσματα 1^{οο} σεναρίου και σύγκριση τιμών ως προς τους περιορισμούς του μοντέλου

| Περιορισμοί μοντέλου | Μέσος όρος | | Ποσοστό αύξησης [+] /μείωσης[-] |
|----------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| | Όριο ταχύτητας: 40km/h | Όριο ταχύτητας: 30km/h | |
| Ηχορύπανση | 31,459 | 43,69 | -28,00% |
| Ατμοσφαιρική ρύπανση | 1,042 | 1,04 | -0,23% |
| | CRF (από την εξίσωση 4.4) | | |
| Τροχαία ατυχήματα | 1,973 | 2,44 | 0,19 |

Η αύξηση του ορίου ταχύτητας που επιτρέπει την πεζοδρόμηση των συνδέσμων επιφέρει εντυπωσιακή βελτίωση στις περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής, καθώς και στην οδική ασφάλεια του δικτύου, σε σχέση με την εφαρμογή του αρχικού μοντέλου. Ωστόσο, παρατηρείται πως ενώ ο αριθμός των οδών που πεζοδρομούνται αυξάνεται κατά 3, το μήκος αυτών μειώνεται κατά 0,62km. Ταυτόχρονα όμως, αυξάνεται σημαντικά και ο συνολικό χρόνος διαδρομής, δηλαδή το κόστος του δικτύου. Το συνολικό κόστος του δικτύου είναι κατά 1.103,69 οχηματοώρες μεγαλύτερο από το αρχικό μοντέλο, τιμή αρκετά υψηλή. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι το παρόν σενάριο επιτρέπει την ολική πεζοδρόμηση μίας οδού, όπου κατά την αρχική κατάσταση, αλλά και στην εφαρμογή του μοντέλου ο φόρτος ήταν μεγαλύτερος των 500 οχημάτων/ώρα. Συνεπώς, η πεζοδρόμηση αυτής της οδού επιφέρει σημαντικό κυκλοφοριακό πρόβλημα στο δίκτυο.

Σενάριο 2^ο: όριο ταχύτητας που επιτρέπει η πεζοδρόμηση ίσο με 50km/h:

Η σχέση 3.8 του μοντέλου τροποποιείται παίρνοντας τη μορφή:

$$αν\ u_i = \begin{cases} u_i \leq 50.00 \frac{km}{h}, & \text{επιτρέπεται η πεζοδρόμηση του συνδέσμου} \\ u_i > 50.00 \frac{km}{h}, & \text{απαγορεύεται η πεζοδρόμηση του συνδέσμου} \end{cases}$$

(σχέση 4.6)

, επιτρέποντας την πεζοδρόμηση των συνδέσμων με ταχύτητα εξυπηρέτησης μικρότερη ή ίση των 50km/h. Τα αποτελέσματα του σεναρίου εμφανίζονται στους παρακάτω Πίνακες.

Πίνακας 4. 6:

Αποτελέσματα 2^ο σεναρίου και σύγκριση τιμών ως προς το μήκος και τον αριθμό των συνδέσμων που πεζοδρομούνται

| Τύπος πεζοδρόμησης | Μήκος συνδέσμων | | Διαφορά |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|---------|
| | Όριο ταχύτητας: 50km/h | Όριο ταχύτητας: 30km/h | |
| Μερική πεζοδρόμηση | 0,93 | 3,05 | -2,12 |
| Ολική πεζοδρόμηση | 2,1 | 3,18 | -1,08 |
| | Αριθμός οδών | | |
| Μερική πεζοδρόμηση | 8 | 15 | -7 |
| Ολική πεζοδρόμηση | 11 | 12 | -1 |

Πίνακας 4. 7:

Αποτελέσματα 2^ο σεναρίου και σύγκριση τιμών ως προς το χρόνο διάνυσης του συνολικού δικτύου

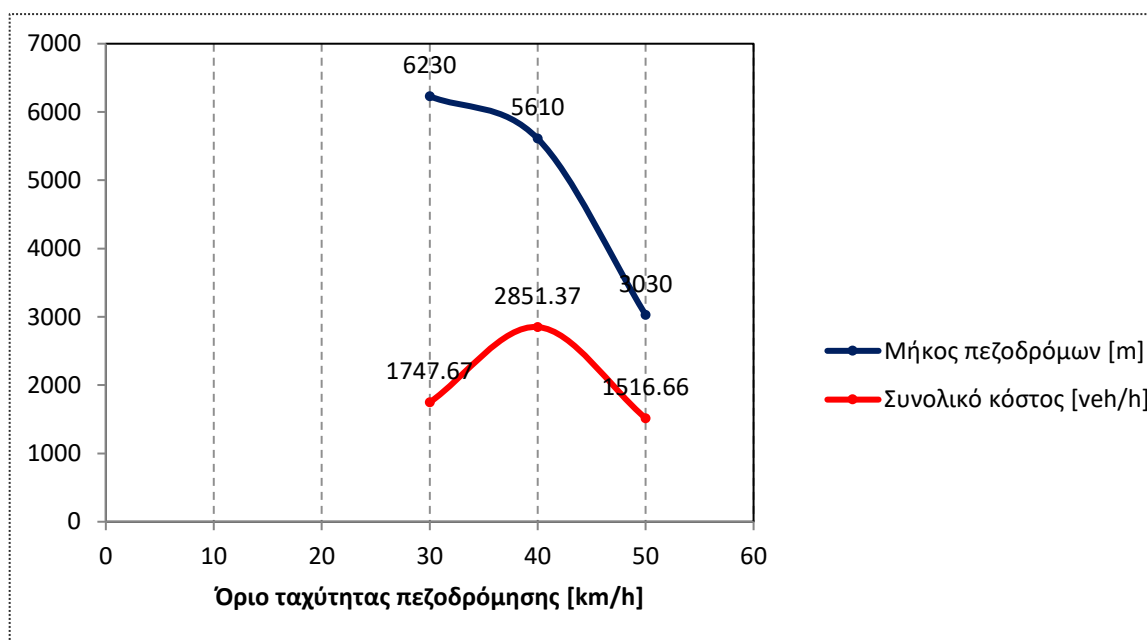
| Σύνολο οχηματοωρών | Όριο ταχύτητας: 50km/h | Όριο ταχύτητας: 30km/h | Διαφορά |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|---------|
| Οχηματοώρες | 1516,66 | 1747,67 | -231,02 |

Πίνακας 4. 8:

Αποτελέσματα 2^ο σεναρίου και σύγκριση τιμών ως προς τους περιορισμούς του μοντέλου

| Περιορισμοί μοντέλου | Μέσος όρος | | Ποσοστό αύξησης [+] /μείωσης[-] |
|----------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| | Όριο ταχύτητας: 50km/h | Όριο ταχύτητας: 30km/h | |
| Ηχορύπανση | 26,482 | 43,69 | -39,39% |
| Ατμοσφαιρική ρύπανση | 1,05 | 1,04 | 0,50% |
| | CRF (από την εξίσωση 4.4) | | |
| Τροχαία ατυχήματα | 1,96 | 2,44 | 0,20 |

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή αυτού του σεναρίου παρουσιάζει μία σημαντική διαφορά στο κόστος του δικτύου, το οποίο μειώνεται κατά 231,02 οχηματοώρες από το αρχικό μοντέλο. Παράλληλα όμως, μειώνεται και ο αριθμός των οδών που πεζοδρομούνται κατά 8, οι 7 εκ των οποίων αφορούν τη μερική πεζοδρόμηση. Μάλιστα, οι οδοί που απευθύνονται αποκλειστικά και μόνο σε πεζούς μειώνονται κατά 2,10km. Τέλος, οι τιμές της ηχορύπανσης και των τροχαίων ατυχημάτων παρουσιάζουν εντυπωσιακή βελτίωση. Πρόκειται για ένα σενάριο, το οποίο πεζοδρομώντας 19 οδούς του δικτύου, βελτιώνει σημαντικά τις περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής και την οδική ασφάλεια του δικτύου, χωρίς να προκαλεί σημαντικές αλλαγές στην υφιστάμενη κυκλοφοριακή κατάσταση, καθώς ο χρόνος διάνυσης του δικτύου αυξάνεται μόλις 267,95 οχηματοώρες.



Διάγραμμα 4. 1:

Μεταβολή μεταβλητών απόφασης για διάφορες τιμές του ορίου ταχύτητας που επιτρέπεται η πεζοδρόμηση

Όπως φαίνεται στο παραπάνω Διαγράμματα, τα καλύτερα αποτελέσματα προκύπτουν από την εφαρμογή του αρχικού μοντέλου, καθώς παρέχει το μεγαλύτερο μήκος πεζοδρόμων με το συνολικό κόστος να κυμαίνεται σε κοντινές τιμές με το 2^ο σενάριο, όπου το όριο ταχύτητας αυξάνεται στα 50km/h. Σε αυτό το σενάριο το κόστος

του δικτύου ανέρχεται πολύ κοντά στα επίπεδα της υφιστάμενης κατάστασης, ωστόσο το συνολικό αποτέλεσμα δείχνει πως η χωροθέτηση των πεζοδρόμων εφαρμόζεται καλύτερα με τις παραμέτρους του αρχικού μοντέλου.

4.3.2 Μεταβολής της τιμής του ορίου του πλάτους

Το συνολικό πλάτος της οδού του δικτύου είναι το μοναδικό κριτήριο που καθορίζει τον τύπο της πεζοδρόμησης και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού. Η τροποποίηση της οριακής τιμής που επιτρέπει την πλήρη πεζοδρόμηση της οδού, μπορεί να αλλάξει εντελώς τα αποτελέσματα και να ανατρέψει την τιμή της βέλτιστης λύση του εφαρμοσμένου μοντέλου.

Η ουσιαστική διαφορά των επόμενων σεναρίων είναι η αλλαγή στον τύπο πεζοδρόμησης των συνδέσμων. Συγκεκριμένα, αυξάνεται το σύνολο των συνδέσμων, των οποίων κρίνεται ικανή η ολική πεζοδρόμηση και μειώνεται το σύνολο εκείνων των συνδέσμων, των οποίων προτείνεται η μερική πεζοδρόμηση.

Σενάριο 3^ο: όριο πλάτους που επιτρέπει την πλήρη πεζοδρόμηση ίσο με 8m

Η σχέση 3.6 του μοντέλου τροποποιείται παίρνοντας τη μορφή:

$$\text{αν } w_{si} = \left\{ \begin{array}{l} w_{si} \leq 8.00m, \text{ επιτρέπεται ολική πεζοδρόμηση της οδού} \\ 8.00 < w_{si} \leq 10,00m, \text{ συνιστάται μερική πεζοδρόμηση της οδού} \\ \quad \text{με επιπλέον πλάτος πεζοδρομίου:} \\ \quad \quad \pi = \frac{\Pi - 5.3}{2} \\ \quad \text{και συνιστάται η παράλληλη στάθμευση οχημάτων} \\ \quad \quad \text{από τη μία πλευρά της οδού} \\ 10.00 < w_{si} \leq 13.00m, \text{ συνιστάται μερική πεζοδρόμηση της οδού} \\ \quad \text{με επιπλέον πλάτος πεζοδρομίου:} \\ \quad \quad \pi = \frac{\Pi - 7.3}{2} \\ \quad \text{και συνιστάται η παράλληλη στάθμευση οχημάτων} \\ \quad \quad \text{και από τις δύο πλευρές της οδού} \\ w_{si} < 13.00m, \text{ συνιστάται μερική πεζοδρόμηση της οδού} \\ \quad \text{με επιπλέον πλάτος πεζοδρομίου:} \\ \quad \quad \pi = \frac{\Pi - 9.8}{2} \\ \quad \text{και συνιστάται η παράλληλη στάθμευση οχημάτων} \\ \quad \quad \text{και από τις δύο πλευρές της οδού} \end{array} \right.$$

(σχέση 4.7)

, δηλαδή η ολική πεζοδρόμηση επιτρέπεται σε οδούς με πλάτος μικρότερο ή ίσο των 8m και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του τρίτου σεναρίου μαζί με τις συγκρίσεις από το πρωταρχικό μοντέλο παρουσιάζονται παρακάτω.

Πίνακας 4. 9:

Αποτελέσματα 3^{ου} σεναρίου και σύγκριση τιμών ως προς το μήκος και τον αριθμό των συνδέσμων που πεζοδρομούνται

| Τύπος πεζοδρόμησης | Μήκος συνδέσμων | | Διαφορά |
|--------------------|------------------|------------------|---------|
| | Όριο πλάτους: 8μ | Όριο πλάτους: 7μ | |
| Μερική πεζοδρόμηση | 2,39 | 3,05 | -0,66 |
| Ολική πεζοδρόμηση | 3,94 | 3,18 | 0,76 |
| | Αριθμός οδών | | |
| Μερική πεζοδρόμηση | 12 | 15 | -3 |
| Ολική πεζοδρόμηση | 17 | 12 | 5 |

Πίνακας 4. 10:

Αποτελέσματα 3^{ου} σεναρίου και σύγκριση τιμών ως προς το χρόνο διάνυσης του συνολικού δικτύου

| Σύνολο οχηματοωρών | Όριο πλάτους: 8μ | Όριο πλάτους: 7μ | Διαφορά |
|--------------------|------------------|------------------|---------|
| Οχηματοώρες | 1427,34 | 1747,67 | -320,34 |

Πίνακας 4. 11:

Αποτελέσματα 3^{ου} σεναρίου και σύγκριση τιμών ως προς τους περιορισμούς του μοντέλου

| Περιορισμοί μοντέλου | Μέσος όρος | | Ποσοστό αύξησης [+] /μείωσης[-] |
|----------------------|---------------------------|------------------|------------------------------------|
| | Όριο πλάτους: 8μ | Όριο πλάτους: 7μ | |
| Ηχορύπανση | 39,92 | 43,69 | -8,62% |
| Ατμοσφαιρική ρύπανση | 1,037 | 1,04 | -0,67% |
| | CRF (από την εξίσωση 4.4) | | |
| Τροχαία ατυχήματα | 2,22 | 2,44 | 0,09 |

Σε αυτό το σενάριο, το μήκος των συνδέσμων που προτείνεται η πεζοδρόμηση είναι αρκετά κοντά στο μήκος των πεζοδρόμων που προκύπτει από την εφαρμογή του αρχικού μοντέλου, με το μήκος των οδών που κρίνεται κατάλληλη η ολική πεζοδρόμηση να είναι κατά 0,76km περισσότερο. Μάλιστα, το συνολικό κόστος του δικτύου δέχεται μεγάλη μείωση, ενώ και οι περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής και η οδική ασφάλεια του δικτύου βελτιώνονται ελαφρώς. Πρόκειται δηλαδή, για ένα σενάριο το οποίο προσφέρει αποτελέσματα ελαφρώς βελτιωμένα σε σχέση με το αρχικό μοντέλο.

Σενάριο 4^ο: όριο πλάτους που επιτρέπει την πλήρη πεζοδρόμηση ίσο με 9m

Η σχέση 3.6 του μοντέλου τροποποιείται παίρνοντας τη μορφή:

$$\text{αν } w_{si} = \left\{ \begin{array}{l} w_{si} \leq 9.00m, \text{ επιτρέπεται ολική πεζοδρόμηση της οδού} \\ 9.00 < w_{si} \leq 10,00m, \text{ συνιστάται μερική πεζοδρόμηση της οδού} \\ \quad \text{με επιπλέον πλάτος πεζοδρομίου:} \\ \quad \quad \pi = \frac{\Pi - 5.3}{2} \\ \quad \text{και συνιστάται η παράλληλη στάθμευση οχημάτων} \\ \quad \quad \text{από τη μία πλευρά της οδού} \\ 10.00 < w_{si} \leq 13.00m, \text{ συνιστάται μερική πεζοδρόμηση της οδού} \\ \quad \text{με επιπλέον πλάτος πεζοδρομίου:} \\ \quad \quad \pi = \frac{\Pi - 7.3}{2} \\ \quad \text{και συνιστάται η παράλληλη στάθμευση οχημάτων} \\ \quad \quad \text{και από τις δύο πλευρές της οδού} \\ w_{si} < 13.00m, \text{ συνιστάται μερική πεζοδρόμηση της οδού} \\ \quad \text{με επιπλέον πλάτος πεζοδρομίου:} \\ \quad \quad \pi = \frac{\Pi - 9.8}{2} \\ \quad \text{και συνιστάται η παράλληλη στάθμευση οχημάτων} \\ \quad \quad \text{και από τις δύο πλευρές της οδού} \end{array} \right.$$

(σχέση 4.8)

, προτείνοντας την ολική πεζοδρόμηση των οδών με πλάτος μικρότερο ή ίσο με 9m και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του σεναρίου μαζί με τις συγκρίσεις από το πρωταρχικό μοντέλο παρουσιάζονται παρακάτω.

Πίνακας 4. 12:

Αποτελέσματα 4^ο σεναρίου και σύγκριση τιμών ως προς το μήκος και τον αριθμό των συνδέσμων που πεζοδρομούνται

| Τύπος πεζοδρόμησης | Μήκος συνδέσμων | | Διαφορά |
|--------------------|------------------|------------------|---------|
| | Όριο πλάτους: 9μ | Όριο πλάτους: 7μ | |
| Μερική πεζοδρόμηση | 1,72 | 3,05 | -1,33 |
| Ολική πεζοδρόμηση | 5,96 | 3,18 | 2,78 |
| | Αριθμός οδών | | |
| Μερική πεζοδρόμηση | 9 | 15 | -6 |
| Ολική πεζοδρόμηση | 21 | 12 | 9 |

Πίνακας 4. 13:

Αποτελέσματα 4^ο σεναρίου και σύγκριση τιμών ως προς το χρόνο διάνυσης του συνολικού δικτύου

| Σύνολο οχηματοωρών | Όριο πλάτους: 9μ | Όριο πλάτους: 7μ | Διαφορά |
|--------------------|------------------|------------------|---------|
| Οχηματοώρες | 2258,31 | 1747,67 | 510,631 |

Πίνακας 4. 14:

Αποτελέσματα 4^ο σεναρίου και σύγκριση τιμών ως προς τους περιορισμούς του μοντέλου

| Περιορισμοί μοντέλου | Μέσος όρος | | Ποσοστό αύξησης [+]/μείωσης[-] |
|----------------------|------------------|------------------|-----------------------------------|
| | Όριο πλάτους: 9μ | Όριο πλάτους: 7μ | |
| Ηχορύπανση | 38,72 | 43,69 | -11,37% |
| Ατμοσφαιρική ρύπανση | 1,03 | 1,04 | -1,02% |

Πίνακας 4.14

Συνέχεια

| | | | |
|-------------------|---------------------------|------|-------|
| | CRF (από την εξίσωση 4.4) | | |
| Τροχαία ατυχήματα | 2,11 | 2,44 | 0,134 |

Όπως είναι λογικό, η αύξηση του συνόλου των συνδέσμων, των οποίων κρίνεται κατάλληλη η ολική πεζοδρόμηση, επιφέρει αύξηση στο μήκος των συνδέσμων που πεζοδρομούνται ολικώς. Αναλυτικότερα, ο αριθμός των οδών, στις οποίες επιτρέπεται η ολική πεζοδρόμηση ανέρχεται στις 21. Επίσης, οι τιμές της ηχορύπανσης και ο αριθμός των τροχαίων ατυχημάτων εμφανίζουν μία αξιόλογη βελτίωση. Ταυτόχρονα, όμως το συνολικό κόστος του δικτύου αυξάνεται κατά 510,63 οχηματοώρες. Αυτό σημαίνει πως η πεζοδρόμηση του συνόλου των συνδέσμων που επιλέχθηκε από το παρόν σενάριο επιφέρει μεγαλύτερο πρόβλημα στην κυκλοφοριακή κατάσταση, απ' ό τι το αρχικό μοντέλο.

Σενάριο 5^ο: όριο πλάτους που επιτρέπει την πλήρη πεζοδρόμηση ίσο με 10m

Η σχέση 3.6 του μοντέλου τροποποιείται παίρνοντας τη μορφή:

$$\text{αν } w_{si} = \left\{ \begin{array}{l}
 w_{si} \leq 10.00m, \text{ επιτρέπεται ολική πεζοδρόμηση της οδού} \\
 10.00 < w_{si} \leq 13.00m, \text{ συνιστάται μερική πεζοδρόμηση της οδού} \\
 \quad \text{με επιπλέον πλάτος πεζοδρομίου:} \\
 \quad \quad \pi = \frac{\Pi - 7.3}{2} \\
 \quad \text{και συνιστάται η παράλληλη στάθμευση οχημάτων} \\
 \quad \text{και από τις δύο πλευρές της οδού} \\
 w_{si} < 13.00m, \text{ συνιστάται μερική πεζοδρόμηση της οδού} \\
 \quad \text{με επιπλέον πλάτος πεζοδρομίου:} \\
 \quad \quad \pi = \frac{\Pi - 9.8}{2} \\
 \quad \text{και συνιστάται η παράλληλη στάθμευση οχημάτων} \\
 \quad \text{και από τις δύο πλευρές της οδού}
 \end{array} \right.$$

(σχέση 4.9)

Συνεπώς, οι οδοί με πλάτος μικρότερο ή ίσο με 10m κρίνονται κατάλληλοι προς ολική πεζοδρόμηση. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του σεναρίου μαζί με τις συγκρίσεις από το πρωταρχικό μοντέλο παρουσιάζονται παρακάτω.

Πίνακας 4. 15:

Αποτελέσματα 5^{ου} σεναρίου και σύγκριση τιμών ως προς το μήκος και τον αριθμό των συνδέσμων που πεζοδρομούνται

| Τύπος πεζοδρόμησης | Μήκος συνδέσμων | | Διαφορά |
|--------------------|-------------------|------------------|---------|
| | Όριο πλάτους: 10μ | Όριο πλάτους: 7μ | |
| Μερική πεζοδρόμηση | 0,91 | 3,05 | -2,14 |
| Ολική πεζοδρόμηση | 6,88 | 3,18 | 3,7 |
| | Αριθμός οδών | | |
| Μερική πεζοδρόμηση | 4 | 15 | -11 |
| Ολική πεζοδρόμηση | 23 | 12 | 11 |

Πίνακας 4. 16:

Αποτελέσματα 5ου σεναρίου και σύγκριση τιμών ως προς το χρόνο διάνυσης του συνολικού δικτύου

| Σύνολο οχηματοωρών | Όριο πλάτους: 10μ | Όριο πλάτους: 7μ | Διαφορά |
|--------------------|-------------------|------------------|---------|
| Οχηματοώρες | 1433,12 | 1747,67 | -314,55 |

Πίνακας 4. 17:

Αποτελέσματα 5ου σεναρίου και σύγκριση τιμών ως προς τους περιορισμούς του μοντέλου

| Περιορισμοί μοντέλου | Μέσος όρος | | Ποσοστό αύξησης [+] /μείωσης[-] |
|----------------------|-------------------|------------------|------------------------------------|
| | Όριο πλάτους: 10μ | Όριο πλάτους: 7μ | |
| Ηχορύπανση | 36,48 | 43,69 | -16,51% |
| Ατμοσφαιρική ρύπανση | 1,04 | 1,04 | -0,89% |

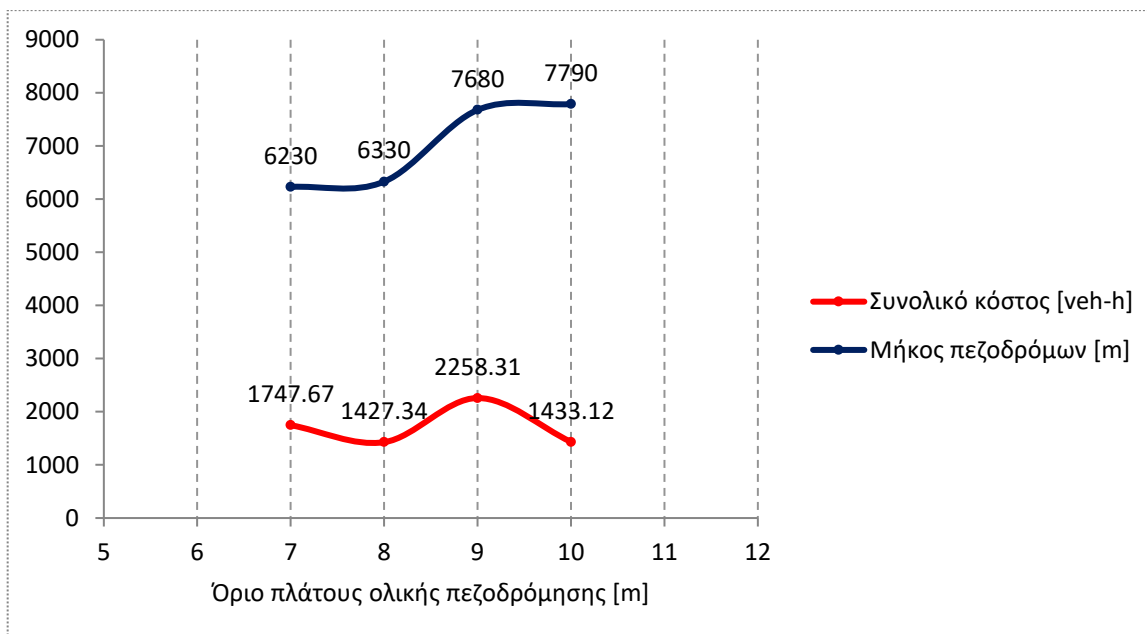
Πίνακας 4.17

Συνέχεια

| | CRF (από την εξίσωση 4.4) | | |
|-------------------|---------------------------|------|-------|
| Τροχαία ατυχήματα | 1,94 | 2,44 | 0,204 |

Με βάση το κριτήριο του πλάτους και της ταχύτητας διαμορφώνεται ένα σενάριο πιθανών λύσεων. Όπως έχει αναφερθεί και στο προηγούμενο κεφάλαιο, δεν είναι κατάλληλη η πεζοδρόμηση όλων των συνδέσμων. Πολλοί από τους συνδέσμους του δικτύου αφαιρούνται από το σύνολο των πιθανών λύσεων, καθώς οι τιμές των παραμέτρων ξεπερνούν τις οριακές τιμές. Στο συγκεκριμένο σενάριο, το σύνολο των πιθανών λύσεων αποτελείται από 302 συνδέσμους εκ των οποίων στους 51 συνδέσμους επιτρέπεται η μερική πεζοδρόμηση και στους υπόλοιπους 251 επιτρέπεται η ολική πεζοδρόμηση. Αυτός είναι ο λόγος που ο αριθμός και το μήκος των συνδέσμων, των οποίων προτείνεται η ολική πεζοδρόμηση είναι αρκετά αυξημένο. Συγκεκριμένα, το μήκος της ολικής πεζοδρόμησης είναι κατά 3,7km μεγαλύτερο από αυτό που προτείνει το αρχικό μοντέλο. Είναι το μοντέλο με τον μεγαλύτερο αριθμό συνδέσμων κατάλληλων προς ολική πεζοδρόμηση. Ωστόσο, η αύξηση του μήκους πεζοδρόμησης προκαλεί βελτίωση της κυκλοφοριακής κατάστασης και της οδικής ασφάλειας του δικτύου, αλλά και των περιβαλλοντικών συνθηκών της περιοχής. Είναι ένα σενάριο με εμφανώς καλύτερα αποτελέσματα.

Η λογική των αποτελεσμάτων του συγκεκριμένου σεναρίου έγκειται στο γεγονός πως το σύνολο των συνδέσμων όπου κρίνεται κατάλληλη η ολική πεζοδρόμηση, έχει αυξηθεί με αποτέλεσμα να παρέχεται η δυνατότητα στο μοντέλο να πεζοδρομεί και τους δύο συνδέσμους της οδού, αν αυτό είναι επιτρεπτό και από τα υπόλοιπα κριτήρια. Συνεπώς, το μήκος της οδού στην οποία προτείνεται η ολική πεζοδρόμηση λαμβάνεται δύο φορές στο συνολικό μήκος των πεζοδρόμων.



Διάγραμμα 4. 2:

Μεταβολή της αντικειμενική συνάρτησης για διάφορες τιμές του ορίου του πλάτους που επιτρέπεται η ολική πεζοδρόμηση

Στο παραπάνω Διάγραμμα φαίνεται πως το μήκος των πεζοδρόμων αυξάνεται αρκετά στα δύο τελευταία σενάρια, όπου η οριακή τιμή του πλάτους της οδού που επιτρέπει την ολική πεζοδρόμηση του δικτύου αυξάνεται σε 9m και 10m αντίστοιχα. Ωστόσο, όταν η οριακή τιμή του πλάτους παίρνει την τιμή 9, τότε το συνολικό κόστος του δικτύου αυξάνεται αρκετά. Στο σενάριο όμως, που η οριακή τιμή του πλάτους είναι 10m, το συνολικό κόστος του δικτύου παρουσιάζει μία μικρή βελτίωση σε σχέση με το αρχικό μοντέλο. Συνεπώς, καλύτερα αποτελέσματα παρουσιάζονται από την εφαρμογή του σεναρίου, όπου η οριακή τιμή του πλάτους είναι 10m. Μάλιστα, στο συγκεκριμένο σενάριο το μεγαλύτερο μήκος των πεζοδρόμων αποτελείται από τις οδούς που πεζοδρομούνται ολικά. Έχει εντοπίσει το κατάλληλο σύνολο των συνδέσμων, των οποίων η μετατροπή από ενεργά τμήματα της κυκλοφορίας σε τμήματα αποκλειστικής κυκλοφορίας πεζών δεν επιφέρει μεγάλο χρονικό κόστος στο δίκτυο.

4.3.3 Μεταβολή των συντελεστών της αντικειμενικής συνάρτησης

Η αντικειμενική συνάρτηση του μοντέλου έχει τη μορφή:

Από τη σχέση 3.1:

$$Z = \beta_1 * \sum walkingway + \beta_2 * \sum TC$$

, όπου β_1 και β_2 τα κανονικοποιημένα βάρη της συνάρτησης. Συνεπώς, το λόγος των αθροισμάτων είναι ίσος περίπου με τη μονάδα. Δηλαδή:

$$\frac{\beta_1 * \sum walkingway}{\beta_2 * \sum TC} \approx 1$$

Τροποποιώντας τα βάρη της αντικειμενικής συνάρτησης, τροποποιείται αυτόματα ο λόγος των αθροισμάτων και εξετάζονται οι περιπτώσεις όπου μία εκ των δύο μεταβλητών απόφασης επηρεάζει περισσότερο το αποτέλεσμα της αντικειμενικής συνάρτησης.

Σενάριο 6^ο: οι συντελεστές της αντικειμενικής συνάρτησης έχουν λόγο ίσο με 2,00

Με το παρόν σενάριο εξετάζεται τι γίνεται στην περίπτωση που ο λόγος των αθροισμάτων της αντικειμενικής συνάρτησης είναι ίσος με το 2.00. Δηλαδή:

$$\frac{\beta_1 * \sum walkingway}{\beta'_2 * \sum TC} \approx 2$$

Συνεπώς, στην αντικειμενική συνάρτηση δίνεται μεγαλύτερη βάση στο συνολικό κόστος του δικτύου, δηλαδή στο συνολικό χρόνο διάνυσης του δικτύου και έχει την εξής μορφή:

$$Z = \beta_1 * \sum walkingway + \beta'_2 * \sum TC$$

(εξίσωση 4.10)

Πίνακας 4. 18:

Αποτελέσματα 6^{οο} σεναρίου και σύγκριση τιμών ως προς το μήκος και τον αριθμό των συνδέσμων που πεζοδρομούνται

| Τύπος πεζοδρόμησης | Μήκος συνδέσμων | | Διαφορά |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|---------|
| | Συντλεστές α.σ. : 2.00 | Συντλεστές α.σ. : 1.00 | |
| Μερική πεζοδρόμηση | 3.18 | 3.05 | 0.13 |
| Ολική πεζοδρόμηση | 3.86 | 3.18 | 0.68 |
| | Αριθμός οδών | | |
| Μερική πεζοδρόμηση | 14 | 15 | -1 |
| Ολική πεζοδρόμηση | 15 | 12 | 3 |

Πίνακας 4. 19:

Αποτελέσματα 6^{οο} σεναρίου και σύγκριση τιμών ως προς το χρόνο διάνυσης του συνολικού δικτύου

| Σύνολο οχηματοωρών | Συντλεστές α.σ. : 2.00 | Συντλεστές α.σ. : 1.00 | Διαφορά |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|----------|
| Οχηματοώρες | 1445.176 | 1747.67 | -302.498 |

Πίνακας 4. 20:

Αποτελέσματα 6^{οο} σεναρίου και σύγκριση τιμών ως προς τους περιορισμούς του μοντέλου

| Περιορισμοί μοντέλου | Μέσος όρος | | Ποσοστό αύξησης [+] /μείωσης[-] |
|----------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| | Συντλεστές α.σ. : 2.00 | Συντλεστές α.σ. : 1.00 | |
| Ηχορύπανση | 43.294 | 43.69 | -0.91% |

Πίνακας 4.20

Συνέχεια

| | | | |
|----------------------|---------------------------|------|--------|
| Ατμοσφαιρική ρύπανση | 1.040 | 1.04 | -0.40% |
| | CRF (από την εξίσωση 4.4) | | |
| Τροχαία ατυχήματα | 2.383 | 2.44 | 0.024 |

Στο συγκεκριμένο σενάριο, το συνολικό κόστος του δικτύου έχει τη μεγαλύτερη βαρύτητα στην αντικειμενική συνάρτηση. Αυτό σε συνδυασμό με το στόχο του μοντέλου που είναι η μεγιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του μήκους των πεζοδρόμων, η οποία ανέρχεται στα 0,81km. Ουσιαστικά, η αντικειμενική συνάρτηση δίνει μεγαλύτερη βαρύτητα στο συνολικό κόστος, μειώνοντας το συνολικό χρόνο διαδρομής κατά 302,50 οχηματοώρες, ωστόσο το μοντέλο προκαλεί αύξηση της θετικής μεταβλητής στην αντικειμενική συνάρτηση, ώστε να επιτευχθεί ο στόχος και να επέλθει η ισορροπία. Τέλος, οι τιμές της ηχορύπανσης, οι συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων και ο αριθμός των τροχαίων ατυχημάτων παρουσιάζουν μία πολύ μικρή βελτίωση σε σχέση με το αρχικό μοντέλο.

Σενάριο 8^ο: οι συντελεστές της αντικειμενικής συνάρτησης έχουν λόγο ίσο με 0,50

Σε αυτό το σενάριο εξετάζεται η περίπτωση που ο λόγος των αθροισμάτων της αντικειμενικής συνάρτησης είναι ίσο με το 0,50. Δηλαδή:

$$\frac{\beta_1 * \sum walkingnway}{\beta''_2 * \sum TC} \approx 0,50$$

Συνεπώς, στην αντικειμενική συνάρτηση δίνεται μεγαλύτερη βάση στο συνολικό μήκος που διατίθεται προς πεζοδρόμηση και έχει την εξής μορφή:

$$Z = \beta_1 * \sum walkingway + \beta''_2 * \sum TC$$

(εξίσωση 4.11)

Πίνακας 4. 21:

Αποτελέσματα 7^{ου} σεναρίου και σύγκριση τιμών ως προς το μήκος και τον αριθμό των συνδέσμων που πεζοδρομούνται

| Τύπος πεζοδρόμησης | Μήκος συνδέσμων | | Διαφορά |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|---------|
| | Συντλεστές α.σ. : 0.50 | Συντλεστές α.σ. : 1.00 | |
| Μερική πεζοδρόμηση | 2.25 | 3.05 | -0.8 |
| Ολική πεζοδρόμηση | 3.62 | 3.18 | 0.44 |
| | Αριθμός οδών | | |
| Μερική πεζοδρόμηση | 12 | 15 | -3 |
| Ολική πεζοδρόμηση | 15 | 12 | 3 |

Πίνακας 4. 22:

Αποτελέσματα 7^{ου} σεναρίου και σύγκριση τιμών ως προς το χρόνο διάνυσης του συνολικού δικτύου

| Σύνολο οχηματοωρών | Συντλεστές α.σ. : 0.50 | Συντλεστές α.σ. : 1.00 | Διαφορά |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|---------|
| Οχηματοώρες | 2626.421 | 1747.67 | 878.746 |

Πίνακας 4. 23:

Αποτελέσματα 7^{ου} σεναρίου και σύγκριση τιμών ως προς τους περιορισμούς του μοντέλου

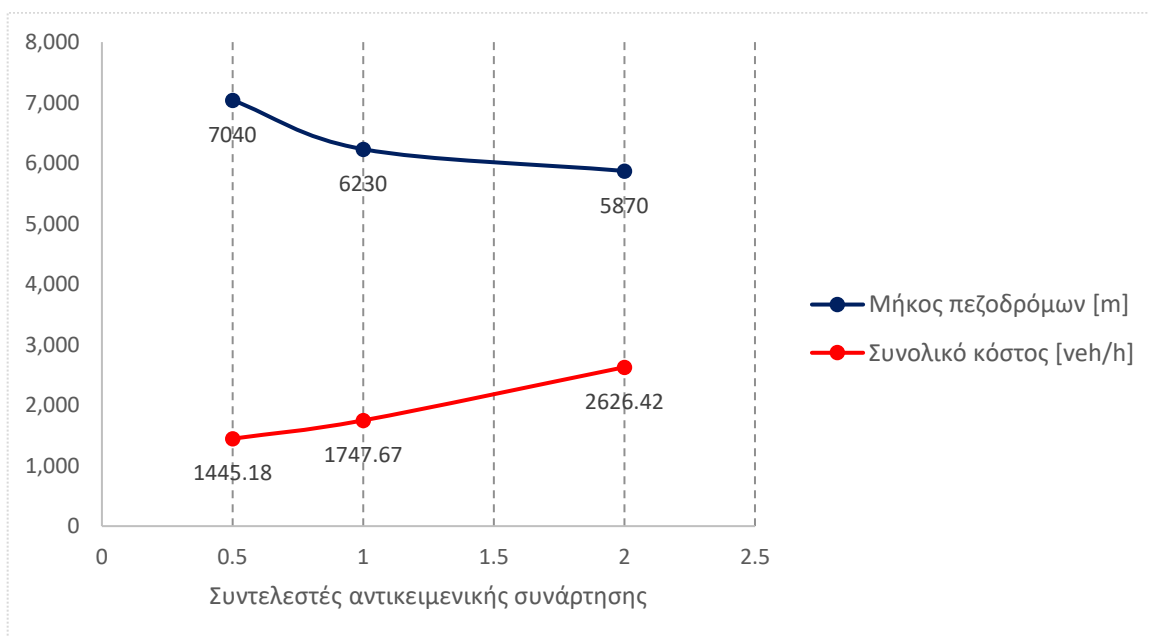
| Περιορισμοί μοντέλου | Μέσος όρος | | Ποσοστό αύξησης [+] /μείωσης[-] |
|----------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| | Συντλεστές α.σ. : 0.50 | Συντλεστές α.σ. : 1.00 | |
| Ηχορύπανση | 43.644 | 43.69 | -0.11% |

Πίνακας 4.23

Συνέχεια

| | | | |
|----------------------|---------------------------|------|--------|
| Ατμοσφαιρική ρύπανση | 1.038 | 1.04 | -0.58% |
| | CRF (από την εξίσωση 4.4) | | |
| Τροχαία ατυχήματα | 2.403 | 2.44 | 0.016 |

Στόχος όλων των σεναρίων είναι η μεγιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης. Εφόσον αλλάζουν οι συντελεστές της αντικειμενικής συνάρτησης και δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στο μήκος που πεζοδρομείται, είναι λογικό το μοντέλο θα «υποστηρίξει» το κόστος του δικτύου, ώστε να επέλθει η ισορροπία. Πιο αναλυτικά, ο συνολικός χρόνος διάνυσης του δικτύου αυξάνεται κατά 878,75 οχηματοώρες, προκαλώντας πρόβλημα κυκλοφοριακής συμφόρησης στο δίκτυο. Συνεπάγεται πως το σύνολο των συνδέσμων που προτείνεται για πεζοδρόμηση, παρ' όλο που είναι μικρότερο, δεν είναι το πιο κατάλληλο. Τέλος, οι περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής, καθώς και η οδική ασφάλεια του δικτύου παραμένουν σχεδόν αμετάβλητες σε σχέση με το αρχικό μοντέλο.



Διάγραμμα 4.3:

Μεταβολή αντικειμενικής συνάρτησης για διάφορες τιμές του λόγου των συντελεστών της αντικειμενικής συνάρτησης

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω Διάγραμμα, πιο κοντά στη βέλτιστη λύση, που είναι η μεγιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης είναι το σενάριο όπου δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στο συνολικό κόστος του δικτύου. Από τα αποτελέσματα αυτού του σεναρίου και σε σύγκριση με το αρχικό μοντέλο, το μήκος που πεζοδρομείται είναι εμφανώς μεγαλύτερο, ενώ το συνολικό κόστος του δικτύου είναι μικρότερο.

Εν κατακλείδι, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα από όλα τα σενάρια, διαπιστώνεται πως το σενάριο που παρέχει στο δίκτυο το μεγαλύτερο μήκος πεζοδρόμων με όσο το δυνατόν μικρότερο χρόνο διαδρομής είναι εκείνο που αυξήθηκε το όριο του πλάτους ολικής πεζοδρόμησης στα 10m. Αυξάνοντας το όριο του πλάτους, αυξάνεται και το σύνολο των πιθανών συνδέσμων όπου κρίνεται δυνατή η ολική πεζοδρόμηση. Δίνεται δηλαδή, η δυνατότητα να πεζοδρομηθούν και οι δύο σύνδεσμοι μίας οδού, αν επιτρέπεται και από τα υπόλοιπα κριτήρια. Μάλιστα, στο συγκεκριμένο σενάριο μειώνεται η τιμή της ηχορύπανσης και ο αριθμός των τροχαίων ατυχημάτων. Συνεπώς, πρόκειται για μία συνολική βελτίωση των αποτελεσμάτων και όχι μεμονωμένη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αυξανόμενη παροχή χώρου στην κυκλοφορία των οχημάτων, δηλαδή η διαπλάτυνση των οδοστρωμάτων, οδηγεί σε συνεχόμενη αύξηση της ζήτησης στα οδικά δίκτυα. Ωστόσο, η διαδικασία διαπλάτυνσης των οδοστρωμάτων έχει σοβαρό αντίκτυπο στο χαρακτήρα των πόλεων, ο οποίος αλλοιώνεται, ενώ εκφυλλίζεται η κοινωνική και πολιτιστική του δομή. Δημιουργούνται πόλεις απρόσωπες που κύριος στόχος τους είναι η εξυπηρέτηση των οχημάτων, θέτοντας σε δεύτερη μοίρα την ασφαλή και ευχάριστη μετακίνηση των πεζών και των ποδηλάτων. Απόρροια αυτής της κατάστασης είναι πως και οι τελευταίοι με τη σειρά τους καταφεύγουν στη χρήση του οχήματος, ακόμα και για μικρές αποστάσεις. Αυτό αποτελεί μία από τις σημαντικότερες αιτίες της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Πέρα των ανωτέρω, η έντονη κυκλοφορία των οχημάτων προκαλεί και ισχυρά περιβαλλοντικά προβλήματα.

Για την έγκαιρη αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκαλεί η κυκλοφοριακή συμφόρηση, κρίνεται επιτακτική η μείωση των οχημάτων στην κυκλοφορία μέσω νέων εναλλακτικών τρόπων μετακίνησης. Η πεζή μετακίνηση είναι εξίσου απαραίτητη με την μετακίνηση των οχημάτων, καθώς για να φτάσει κάποιος στον ακριβή προορισμό του περπατάει, έστω και από το χώρο στάθμευσης. Η βασική διαφορά της πεζής μετακίνησης από την μετακίνηση των οχημάτων είναι η απουσία δελεαστικών και πάνω απ' όλα επαρκών υποδομών. Η διαπλάτυνση των οδοστρωμάτων οδήγησε σε μείωση του ικανοποιητικού πλάτους των πεζοδρομίων, καθιστώντας την πρόσβαση των πεζών δύσκολη, έως και ακατόρθωτη. Τα αποτελέσματα της διαδικασίας της πεζοδρόμησης στη βελτίωση της κυκλοφοριακής, αλλά και περιβαλλοντικής κατάστασης, ορίζουν αυτομάτως τους πεζοδρόμους το σημαντικότερο μέτρο αντιμετώπισης των ανωτέρω προβλημάτων. Η χωροθέτηση πεζοδρόμων σε ένα οδικό δίκτυο με ήδη αυξημένη ζήτηση, μπορεί να προκαλέσει μείωση της χωρητικότητας, για το λόγο αυτό η χωθέτηση δεν γίνεται αυθαίρετα, αλλά χρήζει προσεκτικής μελέτης. Πιο αναλυτικά, πριν τη χωροθέτηση των πεζοδρόμων, πραγματοποιείται έρευνα που μελετά το μέγιστο αριθμό του μήκους του δικτύου που μπορεί να προσφερθεί στην πεζή μετακίνηση, αλλά και την κατάλληλη θέση

των πεζοδρόμων. Στόχος του σχεδιασμού είναι η αξιοποίηση του δυνατού χώρου του δικτύου, χωρίς όμως να προκληθούν προβλήματα οδικής ασφάλειας ή κυκλοφοριακής συμφόρησης από τη χωροθέτηση των πεζοδρόμων. Το κατασκευαζόμενο μοντέλο που μελετάται στην παρούσα διπλωματική εργασία έχει τη δυνατότητα να προσδιορίσει τους συνδέσμους που κρίνονται κατάλληλοι προς πεζοδρόμηση και να επιλέξει το είδος πεζοδρόμησης της οδού, λαμβάνονται υπόψη σημαντικά κριτήρια και περιορισμούς. Τα είδη της πεζοδρόμησης είναι δύο, η μερική πεζοδρόμηση και η ολική. Η επιλογή τους βασίζεται στο κριτήριο του συνολικού πλάτους της οδού.

Το μοντέλο που μελετάται στην παρούσα έρευνα αναπτύσσεται σαν ένα διεπίπεδο πρόβλημα βελτιστοποίησης. Αποτελείται από δύο επίπεδα επίλυσης, το ανώτερο και το κατώτερο. Στο ανώτερο επίπεδο επιλύεται το ακέραιο πρόβλημα, στο οποίο υπολογίζεται το μέγιστο μήκος του δικτύου προς πεζοδρόμηση, αλλά και η νέα χωρητικότητα του δικτύου, ενώ στο κατώτερο πρόβλημα επιλύεται το πρόβλημα καταμερισμού της κυκλοφορίας, προσδιορίζοντας τις επιπτώσεις της χωροθέτησης στο συνολικό χρόνο διάνυση του δικτύου. Το μοντέλο εφαρμόστηκε σε δίκτυο της Αλεξανδρούπολης με 303 οδούς διπλής κατεύθυνσης, με χρήση των λογισμικών Excel και xLOptimizer για την επίλυση του προβλήματος του ανωτέρου επιπέδου και του λογισμικού της Python για την επίλυση του προβλήματος του κατώτερου επιπέδου. Μάλιστα, ο γενετικός αλγόριθμος του λογισμικού xLOptimizer προσδιορίζει με τυχαίο τρόπο την ύπαρξη πεζοδρόμησης και τον τύπο αυτής σε κάθε οδό, έχοντας ως στόχο τη μεγιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης, δηλαδή τη μεγιστοποίηση του μήκους του δικτύου που κρίνεται κατάλληλο για να πεζοδρομηθεί. Γίνεται επεξεργασία των τιμών, λαμβάνοντας υπόψη σημαντικές παραμέτρους της διαδικασίας της πεζοδρόμησης και έτσι προσδιορίζεται η τελική μορφή του δικτύου. Σε πολλές οδούς του δικτύου, παρά το γεγονός ότι το συνολικό πλάτος της οδού και η ταχύτητα του εκάστοτε συνδέσμου επιτρέπουν την πεζοδρόμηση της οδού, ο γενετικός αλγόριθμος την απαγορεύει. Δηλαδή, η πεζοδρόμηση ενός συνδέσμου μπορεί να κρίνεται λογική με βάση τα κριτήρια, ωστόσο η ζήτηση του συγκεκριμένου συνδέσμου να μην την καθιστά ικανή. Σε περίπτωση που πραγματοποιούταν η πεζοδρόμηση ενός τέτοιου συνδέσμου, θα υπήρχε ρήξη του δικτύου. Φαίνεται δηλαδή, πως το συνολικό όφελος του δικτύου υπερνικά τη μεμονωμένη κατάσταση.

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του ανωτέρου μοντέλου έδειξαν ότι σε ένα αστικό δίκτυο με 303 οδούς διπλής κατεύθυνσης, ο αριθμός των οδών που κρίνονται κατάλληλοι προς πεζοδρόμηση είναι 27, εκ των οποίων οι 12 προσδιορίζονται για ολική πεζοδρόμηση

και οι 15 προς μερική πεζοδρόμηση. Οι πεζόδρομοι αφορούν το 6,87% του συνολικού δικτύου, ποσοστό που σχετικά υψηλό. Σε αυτό το σημείο τονίζεται, πως η επιλογή των συνδέσμων κατάλληλων για πεζοδρόμηση εξαρτάται από το μητρώο ζήτησης του δικτύου. Η ζήτηση στο συγκεκριμένο δίκτυο κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα, γεγονός που δικαιολογεί το αποτέλεσμα. Μάλιστα, το δίκτυο δεν παρουσιάζει προβλήματα συμφόρησης και πριν την εφαρμογή του μοντέλου. Πιο αναλυτικά, υπάρχουν σύνδεσμοι στο δίκτυο που η ζήτησή τους είναι χαμηλή, οπότε κατά την εφαρμογή του μοντέλου καθίσταται δυνατή η απομάκρυνση των οχημάτων από αυτό το σύνδεσμο και η πρόταση μίας νέας σύντομης διαδρομής, χωρίς να δημιουργείται πρόβλημα κυκλοφοριακής συμφόρησης στο δίκτυο. Σε περίπτωση που η ζήτηση του δικτύου αυξηθεί, το ποσοστό των συνδέσμων που κρίνεται κατάλληλο για πεζοδρόμηση θα ανέλθει σε φυσιολογικά επίπεδα. Συμπεραίνεται, πως η βελτίωση των περιβαλλοντικών συνθηκών της περιοχής και της οδικής ασφάλειας του μετά τη χωροθέτηση των πεζοδρόμων είναι αρκετά ικανοποιητική, ωστόσο επειδή η πραγματικότητα πολλές φορές εκπλήσσει του ερευνητές, οπότε συνιστάται η αξιολόγηση του νέου δικτύου, ώστε να μελετηθούν τα νέα επίπεδα συμφόρησης και οι δείκτες της οδικής ασφάλειας και να κριθούν οι τιμές τους ως αποδεκτές ή μη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Appleyard D. (1981). Liveable Streets. University of California Press, Berkeley.
2. Drezner Z., Wesolowsky G. (2003). Network design: selection and design of links and facility location. *Transportation Research Part A*, 37:241–256.
3. Frank M., Wolfe P. (1956). An algorithm for quadratic programming. *Naval Research Logistics (NRL)*, Wiley Online Library.
4. Galway Cycling Campaign. (1999). Area Wide Traffic Calming. Galway Cycling Campaign - Feachtas Rothaiochta na Gaillimhe. Διαθέσιμο στο:
«http://www.eirbyte.com/gcc/info/calming.html#_edn»
5. Kumar S., Ross W. (2006). Effects of pedestrianisation on the commercial and retail areas: Study in Khao San Road, Bangkok. *World Transport Policy & Practice*, 13:37-47
6. Lamm R., Ψαριανός Β., Κάτσιος Δ., Σοϊλεμέζογλου Γ., Δρυμαλίτου Δ. (2001). Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων, Τεύχος 4: Κύριες Αστικές Οδοί. Υπουργείο περιβάλλοντος χωροταξίας & δημοσίων έργων.
7. Lamm R., Ψαριανός Β., Κονταράτος Μ., Κάτσιος Δ., Σοϊλεμέζογλου Γ., Δρυμαλίτου Δ. (2001). Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων, Τεύχος 2: Διατομές. Υπουργείο περιβάλλοντος χωροταξίας & δημοσίων έργων.
8. Lamm R., Ψαριανός Β., Μαράτου Δ., Κάτσιος Δ., Σοϊλεμέζογλου Γ., Δρυμαλίτου Δ. (2001). Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων, Τεύχος 1: Λειτουργική Κατάταξη Οδικού Δικτύου. Υπουργείο περιβάλλοντος χωροταξίας & δημοσίων έργων.
9. Litman T. (2004). Economic Value of Walkability. Victoria Transport Policy Institute, Canada
10. Manikas W. T., Cain T. J. (1996). Genetic Algorithms vs. Simulated Annealing: A Comparison of Approaches for Solving the Circuit Partitioning Problem. Southern Methodist University.
11. Monheim R. (1992). The importance of accessibility for downtown retail and its perception by retailers and customers, The attraction of retail locations, IGUSymposium, Vol. I, Kallmünz/Regensburg: Verlag M. Laßleben. 19- 46

12. OICA (χ.χ.). Στατιστικά στοιχεία παραγωγής αυτοκινήτων 2015. Διαθέσιμο στο: <http://www.oica.net/category/production-statistics/2015-statistics/>. Πρόσβαση: 15 Ιουλίου 2017
13. Schlabbach K. (1997). Traffic Calming in Europe. ITE Journal. Διαθέσιμο στο: «http://www.ite.org/traffic/documents/JGA_97A38.pdf»
14. Schrank D., Eisele B., Lomax T., Bak J. (2015). 2015 Urban Mobility Scorecard. Texas A&M Transportation Institute and INRIX.
15. Whitelegg J. (1993). Transport for sustainable future: The case of Europe. Belhaven Press, London
16. Wikipedia (χ.χ.). John Henry Holland. Διαθέσιμο στο: «https://en.wikipedia.org/wiki/John_Henry_Holland». Πρόσβαση: 25 Μαΐου 2017
17. Wikipedia (χ.χ.) Optimization problem. Διαθέσιμο στο: https://en.wikipedia.org/wiki/Optimization_problem. Πρόσβαση: 18 Σεπτεμβρίου 2017
18. Wikipedia (χ.χ.). Genetic algorithm. Διαθέσιμο στο: https://en.wikipedia.org/wiki/Genetic_algorithm. Πρόσβαση: 4 Δεκεμβρίου 2017
19. Wikipedia (χ.χ.). Python (programming language). Διαθέσιμο στο: https://en.wikipedia.org/wiki/Python_%28programming_language%29. Πρόσβαση: 25 Σεπτεμβρίου 2017
20. Wright L., Montezuma R. (2004). Reclaiming public space: The economic, environmental, and social impacts of Bogotá's transformation.
21. Wu Z.X., Lam William H.K., Chan K.S. (2005). Multi-modal network design: Selection of pedestrianisation location. Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies, 6:2275-2290.
22. Αντωνίου Κ., Σπυροπούλου Ι. (2015). Αρχές κυκλοφοριακής τεχνικής και προσομοίωσης. Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/5793>. Πρόσβαση: 20 Αυγούστου 2017
23. Αραβαντινός Α. (1997). Πολεοδομικός σχεδιασμός για μια βιώσιμη ανάπτυξη του αστικού χώρου. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
24. Γεωργόπουλος Α. (2014). Προγραμματισμός έργων προκαθορισμένης προσπάθειας με ευέλικτα προφίλ πόρων και γενετικές σχέσεις προτεραιότητας. Διδακτορική Διατριβή.

25. Γεωργόπουλος Ε. (2000). Χρήση Γενετικών Αλγορίθμων για τη βελτίωση της απόδοσης τεχνικών νευρωτικών δικτύων. Διδακτορική Διατριβή. Πανεπιστήμιο Πάτρας.
26. Θεονύμφη Π., Κλαίρη Μ. (χ.χ.). Στατιστικά τροχαίων ατυχημάτων. Διαθέσιμο στο: <https://sites.google.com/site/lykmdrivesafe/trohaia-atyhimata/aitia-k-statistika-trochaion-atychematon>». Πρόσβαση: 23 Αυγούστου 2017
27. Κανδηλά Θ. (2006). Οργάνωση πεζοδρόμων και ποδηλατοδρόμων σε πόλεις μικρού μεγέθους. Η περίπτωση της πόλης της Καρδίτσας. Διπλωματική Εργασία. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
28. Λαλιώτης Σ. (2008). Η πεζοδρόμηση μεγάλων αστικών δρόμων και η αξία τους στις σύγχρονες μεγαλουπόλεις καθώς και η συμβολή τους στην αναβάθμιση του περιβάλλοντος. Διπλωματική Εργασία. ΤΕΙ Πειραιά.
29. Παπαγιάννης Ι. (2009). Αρνητικές επιπτώσεις από την εκτεταμένη χρήση αυτοκινήτου, Πόλεις φιλικές προς τον άνθρωπο. Διαθέσιμο στο: http://cityforpeople.blogspot.gr/2009/04/blog-post_07.html». Πρόσβαση: 15 Ιουλίου 2017
30. Πετρίδου Κ. (2012). Ελεύθερη ζώνη όδευσης πεζών, Τεχνικές προδιαγραφές για πεζοδρόμια, πεζόδρομους και πλατείες. Διαθέσιμο στο: <http://neaprosvasipezo.blogspot.gr/>». Πρόσβαση: 12 Νοεμβρίου 2017
31. Τάτση Κ. (χ.χ.). Ηχορύπανση. Εθνικό Κέντρο Τεκμηρίωσης. Διαθέσιμο στο: http://reader.ekt.gr/bookReader/show/index.php?lib=EDULLL&item=1240&bitstream=1240_01#page/1/mode/2up». Πρόσβαση 5 Ιουλίου 2017
32. Φρατζεσκάκης Ι.Μ., Γκόλιας Ι.Κ. (1994). Οδική Ασφάλεια. 2^η έκδοση. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
33. Φρατζεσκάκης Ι.Μ., Γκόλιας Ι.Κ., Πιτσιαβά-Λατινοπούλου Μ.Χ. (2009). Κυκλοφοριακή Τεχνική. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
34. Ελληνική Αστυνομία (χ.χ.). Στατιστικά στοιχεία τροχαίας 2016. Διαθέσιμο στο: http://www.astynomia.gr/index.php?option=ozo_content&perform=view&id=70427&Itemid=86&lang. Πρόσβαση: 12 Ιουλίου 2017
35. Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (2008). Ατμοσφαιρική ρύπανση: η ατμοσφαιρική ρύπανση βλάπτει την υγεία βλάπτει την υγεία του ανθρώπου και το περιβάλλον. Διαθέσιμο στο: <https://www.eea.europa.eu/el/themes/air/intro>». Πρόσβαση: 3 Οκτωβρίου 2017

36. Πρωτοβουλία Πολιτών για τα Δικαιώματα των Πεζών (2003). Πεζοίυπό διωγμό. Διαθέσιμο στο: <https://www.pezh.gr/sites/pezh.gr/files/pezh.gr/hmerida/epifan.htm>. Πρόσβαση: 30 Ιουλίου 2017
37. Σημειώσεις του μαθήματος «Συστήματα Μεταφορών» με Διδάσκοντες τους Επ. Καθηγητή Κεπαπτσόγλου Κ. και Αναπλ. Καθηγητή Αντωνίου Κ., (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο), Κατανομή των μετακινήσεων.
38. Σημειώσεις του μαθήματος «Συστήματα Μεταφορών» με Διδάσκοντες τους Επ. Καθηγητή Κεπαπτσόγλου Κ. και Αναπλ. Καθηγητή Αντωνίου Κ., (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο), Καταμερισμός στο Δίκτυο.
39. Σημειώσεις του μαθήματος «Οδοποιία Ι» με Διδάσκοντα τον Καθηγητή Ψαριανό Β. (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο), Συντελεστές Μεταβολής Ατυχημάτων (2011).
40. Τεχνικές αριστοποίησης. Διαθέσιμο στο: «<http://www.samos.aegean.gr/actuar/dlekkas/Epixirisiaki%20ereyna/EE9/Chapter09.pdf>». Πρόσβαση: 25 Οκτωβρίου 2017.
41. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (2017). Ημερήσιο δελτίο τιμών ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Διαθέσιμο στο: <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=708>. Πρόσβαση: 11 Σεπτεμβρίου 2017
42. Υπουργική Απόφαση 98728/7722/93. Προδιαγραφές για την κατασκευή χώρων στάθμευσης αυτοκινήτων που εξυπηρετούν τα κτίρια. ΦΕΚ 167/Δ/2-3-93. 15 Δεκεμβρίου 1992.
43. Χαρακτηρισμός πεζοδρόμων / Κανονισμός κυκλοφορίας επί πεζοδρόμων / Κανονισμός διαμόρφωσης πεζοδρόμων και οδών / Κανονισμός κατασκευής πεζοδρόμων. Διαθέσιμο στο: «<http://www.acharnes.gr/ContentFiles/60/Documents/%CE%9A%CE%91%CE%9D%CE%9F%CE%9D%CE%99%CE%A3%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%95%CE%A3%20%CE%A0%CE%A1%CE%91%CE%9E%CE%95%CE%99%CE%A3%CE%A4%CE%95%CE%9B%CE%99%CE%9A%CE%9F%CE%A3%20%CE%9A%CE%91%CE%9D%CE%9F%CE%9D%CE%99%CE%A3%CE%9C%CE%9F%CE%A3%20%CE%A0%CE%95%CE%96%CE%9F%CE%94%CE%A1%CE%9F%CE%9C%CE%A9%CE%9D%20-%20%CE%A0%CE%95%CE%96%CE%9F%CE%94%CE%A1%CE%9F%CE%9C%CE%99%CE%A9%CE%9D.doc>». Πρόσβαση: 31 Ιουνίου 2017

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Αλγόριθμος επίλυσης προβλήματος καταμερισμού κυκλοφορίας σε κατάσταση ισορροπίας χρηστών – Αλγόριθμος Frank - Wolfe

```
# -*- coding: utf-8 -*-
```

```
# -*- coding: utf-8 -*-
```

```
#import csv
```

```
#import math
```

```
import heapq
```

```
import copy
```

```
import sys
```

```
import xlwings as xw
```

```
from xlwings import Book, Range
```

```
#shortest path function
```

```
#we dont need an if to update, we just keep multiple labels for each node and heapop picks the smallest
```

```
#Connelly Barnes version of Dijkstra algorithm
```

```
def shortestPath(graph, start, end):
```

```
    queue = [(0, start, [])]
```

```
    seen = set()
```

```
    while True:
```

```

(cost, v, path) = heapq.heappop(queue)

if v not in seen:

    path = path + [v]

    seen.add(v)

    if v == end:

        return cost, path

    for (next, c) in graph[v].iteritems():

        if next not in seen:

            heapq.heappush(queue, (cost + c, next, path))

```

#BPR formula

```

def BPR(ff,x,c):

    d=c

    bpr=ff*(1+0.15*pow((x/d),4))

    return bpr

```

#Davidson's formula

```

#def Dav(ff,x,c):

# if x>0.8*c: x=0.8*c

# dav=ff*(1+0.25*(x/(c-x)))

# return dav

```

#derivative of objective function

#travel times are in minutes so we divide by 60 to convert to hours

def f(a):

 b=0

 for node in flow:

 for (next,c) in flow[node].iteritems():

 ff=G[node][next]

 x=flow[node][next]

 c=C[node][next]

 di=aux[node][next]-x

 b=b+di*(BPR(ff,(x+a*di),c))/60

 #the following modification gives SO for BPR

 #b=b+di*((BPR(ff,(x+a*di),c))+ff*0.6*pow(((x+a*di)/(0.9*c)),4))/60

 return b

#bisection method to find root of f

def bisection(a,b,tol):

 c = (a+b)/2.0

 while (b-a)/2.0 > tol:

 if abs(f(c)) <= 0.0000000001:

 return c

 elif f(a)*f(c) < 0:

 b = c

 else :

 a = c

$$c = (a+b)/2.0$$

return c

G={}

C={}

wb=Book(r'C:\Users\tseli\Desktop\Diplomatiki\data_diplwmatikis.xlsx') #LINE 78

sht=wb.sheets['Origins']

Origins=sht.range('A1:A210').value #insert Origins from Excel sheet named "Origins"

Origins=[int(i) for i in Origins] #turn everything to intergers

kost2=wb.sheets('FFT').range('A1:C606').value #the excel sheet "FFT" contains
head,tail,free flow time

#create dictionaries

#G has free flow travel time for each link

#C has capacity for each link

for z in range(len(Origins)):

 b=Origins[z]

 G[b]={}

```
for y in range(len(kost2)):
```

```
    if kost2[y][0]==b:
```

```
        G[b][kost2[y][1]]=kost2[y][2]
```

```
cap2=wb.sheets('Capacity').range('A1:C606').value
```

```
#sundesmoi=Range('SUND','A2:C607').table.value
```

```
for w in range(len(Origins)):
```

```
    p=Origins[w]
```

```
    C[p]={}
```

```
    for n in range(len(cap2)):
```

```
        if cap2[n][0]==p:
```

```
            C[p][cap2[n][1]]=cap2[n][2]
```

```
Demand2=wb.sheets('Demand').range('A1:C10').value
```

```
#sheet "Demand" contains Origin, Destination, Demand
```

```
OD={}
```

```
for i in range(len(Origins)):
```

```
    a=Origins[i]
```

```
OD[a]={ }

for j in range(len(Demand2)):

    if Demand2[j][0]==a :

        OD[a][Demand2[j][1]]=Demand2[j][2] # = OD[Origin][Destination]=Demand

#create dictionaries to store link attributes

#GNEW stores the updated travel time

#flow stores the current flow

#aux stores the auxiliary flow

flow=copy.deepcopy(G)

aux=copy.deepcopy(G)

GNEW=copy.deepcopy(G)

#set all flows zero

for node in flow:

    for (next,c) in flow[node].iteritems():

        flow[node][next]=0

        aux[node][next]=0

#INITIALIZE
```

```

#for every origin

for node in OD:

    #for every destination

    for (next,c)in OD[node].iteritems():

        #find SP (ShortestPath) between them based on Free flow travel times which are
        stored in G

        SP=shortestPath(G,node,next) #SP prints (fft, [head, tail])

        dem=OD[node][next]

        #for links on SP assign all OD demand

        for node2 in SP[1]:

            #if its not the last one

            if node2!=SP[1][-1]:

                # SP[1][SP[1].index(node2)+1] is the next link on the path

                #increase link flow by OD-pair demand

                flow[node2][SP[1][SP[1].index(node2)+1]]+=dem

        #END FOR

#store total network cost and link flow for every iteration in lists

value=[]

```

```
tt=[]

#set counter 0

i=0

while True:

    #UPDATE TRAVEL TIME IN GNEW

    for node in flow:

        for (next,c) in flow[node].iteritems():

            ff=G[node][next]

            x=flow[node][next]

            c=C[node][next]

            GNEW[node][next]=BPR(ff,x,c)

    #END FOR

    #print GNEW,G

#SET ZERO AUXILIARY FLOWS

for node in aux:

    for (next,c) in aux[node].iteritems():

        aux[node][next]=0
```

```

#END FOR

#FIND NEW SHORTEST PATH AND AUX FLOW

#for every origin

for node in OD:

    #for every destination

        for (next,c)in OD[node].iteritems():

            #find SP between them based on new cost stored in GNEW

            SP2=shortestPath(GNEW,node,next)

            #demand of the OD pair

            dem=OD[node][next]

            #for links on SP assign all OD demand

            for node2 in SP2[1]:

                #if its not the last one

                if node2!=SP2[1][-1]:

                    # SP[1][SP[1].index(node2)+1] is the next node on the path,assign path flow
                    as aux to link

                    aux[node2][SP2[1][SP2[1].index(node2)+1]]+=dem

```

```

#END FOR

#print aux

#tol=0.0000001

a=bisection(0,1,0.0000001)

#UPDATE FLOWS

#costsum= $\Sigma(t*x)$  for all links

costsum=0

# flowsum is sum of flows X before update

flowsum=0

#change is the sum  $\Sigma(X_{n+1}-X_n)^2=\Sigma[a(Y_n-X_n)]^2$ 

change=0

for node in flow:

    for (next,c) in flow[node].iteritems():

        costsum=costsum+(GNEW[node][next]/60)*flow[node][next]

        change+=pow((a*(aux[node][next]-flow[node][next])),2)

        flowsum =flowsum+flow[node][next]

        #move to  $X_{n+1}$ 

        flow[node][next]=flow[node][next]+a*(aux[node][next]-flow[node][next])

#END FOR

```



```

value.append(flowsum)

tt.append(costsum)

i+=1

#if square root of sum of flow change over previous flowsum less than ε: STOP LOOP
if (pow(change,0.5))/value[-1]<0.003: break

#END WHILE LOOP

#compute total cost and flow sum for last iteration

finaltt=0

finalflow=0

for node in GNEW:

    for next,c in GNEW[node].iteritems():

        ff=G[node][next]

        x=flow[node][next]

        c=C[node][next]

        GNEW[node][next]=BPR(ff,x,c)

        finaltt+=(GNEW[node][next]/60)*flow[node][next]

        finalflow+=flow[node][next]

#END FOR

#print "iterations", i

```

```

#print "flows progression", value,finalflow

#print "total network cost", tt,finaltt

#Assertion: flow now has the UE flow pattern

#FINDS BOTTLENECKED LINKS BASED ON V/C and print their cost vs free flow
cost

#for node in flow:

#  for (next,c) in flow[node].iteritems():

#    if flow[node][next]>1.4*C[node][next]:

#      print "congested link",node,next,"travel time vs ff : %0.2f" %
GNEW[node][next],G[node][next],"flow vs capacity: %0.2f"
%flow[node][next],C[node][next]

      #if we reduce the value -1.4- then we can use lower values for flows and capacities

wb.sheets('PARADEIGMA').range('AO3').value=finaltt

Zitisi=wb.sheets('ZITISI').range('A1:B606').value #sheet "ZITISI" contains origin,
destination

#make sure that Zitisi contains only intergers

for p in range(len(Zitisi)):

    for k in range(len(Zitisi[i])):

        Zitisi[p][k]=int(Zitisi[p][k])

```

```

#SUM_VEH_H=0

metritis=2

for vima in Origins:

    for vima2 in Zitisi:

        #print(type(vima2[1]).__name__)

        #print (vima + " " + vima2[1])

        if vima==vima2[0]:

            #if Origins[vima]==Zitisi[vima2][0]:

                wb.sheets('NewFlow').range('A'+ str(metritis)).value=flow[vima][vima2[1]]

                #Range('Output','E'+ str(metritis)).table.value=GNEW[vima][vima2[1]]

#SUM_VEH_H=SUM_VEH_H+((GNEW[vima][vima2[1]]/60)*(flow[vima][vima2[1]]))

        #Range('Output','F'+
str(metritis)).table.value=(GNEW[vima][vima2[1]])*(flow[vima][vima2[1]])

        metritis+=1

```