



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μοντέλο Βέλτιστης Χωροθέτησης Θέσεων Στάθμευσης Επί της Οδού
σε Αστικό Δίκτυο**

ΓΚΙΝΗ ΧΡΥΣΑΝΘΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΚΕΠΑΠΤΣΟΓΛΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2016

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω πρωτίστως τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Κωνσταντίνο Κεραπτσόγλου, Επίκουρο Καθηγητή της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ, για την ανάθεση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας καθώς και για την καθοδήγηση, την υποστήριξη και τις πολύτιμες συμβουλές που μου προσέφερε.

Ακόμη, θα ήθελα να εκφράσω την αμέριστη ευγνωμοσύνη μου στην οικογένεια μου που με στήριξε καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου, στους καθηγητές της σχολής μου για τις πολύτιμες γνώσεις που μου παρείχαν και ιδιαιτέρως στους καθηγητές του τομέα Συγκοινωνιακής Τεχνικής, που μου ενέπνευσαν το ενδιαφέρον για την μελέτη των Μεταφορών.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στην υποψήφια διδάκτορα της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ, Δις Χριστίνα Ηλιοπούλου για την καθοριστικής σημασίας βοήθεια που μου παρείχε κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Γκίνη Χρυσάνθη,

Αθήνα Οκτώβριος 2016

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η στάθμευση επί του οδοστρώματος επιφέρει σημαντική μείωση στην κυκλοφοριακή ικανότητα της οδού και για τον λόγο αυτό η εφαρμογή της συνήθως αποφεύγεται. Ωστόσο, μπορεί να καταστεί αναγκαία όταν η ζήτηση υπερβαίνει την προσφορά θέσεων στάθμευσης του δικτύου. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η εκτίμηση του αριθμού θέσεων στάθμευσης επιβατικών οχημάτων ιδιωτικής χρήσης που μπορεί να προσφέρει ένα αστικό δίκτυο με το λιγότερο δυνατό κόστος. Συγκεκριμένα, αναπτύσσεται ένα μαθηματικό μοντέλο το οποίο λαμβάνοντας υπόψη την μείωση της χωρητικότητας που επιφέρει η παράδια στάθμευση, εντοπίζει τους συνδέσμους στους οποίους θεωρείται βέλτιστη η χωροθέτηση στάθμευσης επί της οδού και καθορίζει τον τύπο των θέσεων στάθμευσης, επιλέγοντας ανάμεσα στην παράλληλη, κάθετη και υπό γωνία στάθμευση. Το πρόβλημα διαμορφώνεται ως διεπίπεδο πρόβλημα βελτιστοποίησης. Στο ανώτερο επίπεδο υπολογίζεται ο συνολικός αριθμός θέσεων στάθμευσης, ενώ στο κατώτερο επιλύεται ο αλγόριθμος Frank – Wolfe και υπολογίζεται το συνολικό κόστος για το δίκτυο. Η βέλτιστη λύση του προβλήματος επιτυγχάνεται όταν η διαφορά των δύο μεγεθών γίνει μέγιστη. Για την εφαρμογή του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν το πρόγραμμα Excel και ο γενετικός αλγόριθμος του λογισμικού Evolver.

Λέξεις Κλειδιά: Στάθμευση επί της οδού, Κυκλοφοριακή ικανότητα, Προσφορά θέσεων στάθμευσης, Παράλληλη, κάθετη και υπό γωνία στάθμευση, Διεπίπεδο πρόβλημα βελτιστοποίησης, Αλγόριθμος Frank – Wolfe, Γενετικός αλγόριθμος

ABSTRACT

On-street parking causes a significant reduction of road capacity and for that reason it is usually forbidden. However, if parking demand exceeds parking supply, the implementation of on-street parking can become necessary. The aim of this thesis is the evaluation of the number of parking spaces that an urban network can offer at a minimum cost. In particular, having taken into account the capacity reduction caused by on-street parking, the proposed model is able to locate the links that are ideal for parking placement as well as determine the angle at which the vehicles should be parked (0°, 45°, 90°). The problem belongs to the bi-level optimization problem category. The outer level optimization task is to calculate the summation of parking places, while the inner 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 remainder becomes maximum. Microsoft Excel and the genetic algorithm provided by Evolver were utilized for the execution of the model.

Key Words: On-street parking, Road capacity, Parking supply, Parallel, perpendicular and angle parking, Bi-level optimization problem, Frank – Wolfe algorithm, Genetic algorithm

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1. ΓΕΝΙΚΑ.....	1
1.2. ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	2
1.3. ΔΟΜΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	2
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	4
2.1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ.....	4
2.2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	11
2.3. ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΘΕΣΕΩΝ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ ΕΠΙ ΤΗΣ ΟΔΟΥ.....	13
2.3.1.ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΠΑΡΟΔΙΑΣ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ.....	13
2.3.2.ΕΙΔΗ ΘΕΣΕΩΝ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ.....	16
2.3.3.ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΛΩΡΙΔΩΝ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ.....	23
2.3.4.ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΘΕΣΕΙΣ ΑΤΟΜΩΝ ΜΕ ΕΙΔΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ.....	24
2.4. ΓΕΝΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ.....	25
3. ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΘΕΣΕΩΝ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ ΕΠΙ ΤΗΣ ΟΔΟΥ.....	27
3.1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	27
3.2. ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	32
3.2.1.ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	34
3.2.2.ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΥΠΟ ΤΗΝ ΘΕΩΡΗΣΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ ΧΡΗΣΤΩΝ.....	36
3.2.3.ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ DIJKSTRA.....	37
3.2.4.ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΛΟΓΩ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ.....	41
3.2.5.ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΣΕΩΝ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ.....	47
3.2.6.ΤΕΛΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.....	48
4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	57

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ.....	65
5.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	65
5.2. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	66
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	69
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	73

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

1. Εικόνα 2.1: Παράδειγμα Πίνακα Προέλευσης - Προορισμού.....	6
2. Εικόνα 2.2: Τρίγωνα ορατότητας απ' ευθείας διάσχισης.....	9
3. Εικόνα 2.3: Τρίγωνα ορατότητας στάσης πριν τη διάσχιση.....	9
4. Εικόνα 2.4: Διαστάσεις θέσεων παράλληλης στάθμευσης.....	17
5. Εικόνα 2.5: Διαστάσεις θέσεων στάθμευσης υπό γωνία 30°.....	18
6. Εικόνα 2.6: Διαστάσεις θέσεων στάθμευσης υπό γωνία 45°.....	18
7. Εικόνα 2.7: Διαστάσεις θέσεων στάθμευσης υπό γωνία 60°.....	19
8. Εικόνα 2.8: Διαστάσεις θέσεων κάθετης στάθμευσης 90°.....	19
9. Εικόνα 2.9: Ελάχιστες διαστάσεις θέσεων κάθετης στάθμευσης για ΑΜΕΑ.....	24
10. Εικόνα 2.10: Ελάχιστες διαστάσεις θέσεων παράλληλης στάθμευσης για ΑΜΕΑ.....	25
11. Εικόνα 2.11: Ρυθμιστική πινακίδα Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας για ΑΜΕΑ.....	25
12. Εικόνα 3.1: Διάγραμμα ροής μοντέλου βέλτιστης χωροθέτησης θέσεων στάθμευσης επί της οδού.....	33
13. Εικόνα 4.1: Μεταβολή της αντικειμενικής συνάρτησης για διάφορες τιμές του συντελεστή εναλλαγής στάθμευσης.....	64
14. Εικόνα 4.2: Μεταβολή της αντικειμενικής συνάρτησης για διάφορες τιμές του συντελεστή μείωσης του χρόνου εξόδου από τη θέση στάθμευσης.....	64

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

1. Πίνακας 2.3.1: Οδικά ατυχήματα σε τοπικές οδούς.....	14
2. Πίνακας 2.3.2: Λειτουργική ιεράρχηση δικτύου και είδος ατυχημάτων.....	15
3. Πίνακας 2.3.3: Αριθμός θέσεων ανά είδος στάθμευσης για μήκος οδού 100 μέτρα.....	20
4. Πίνακας 2.3.4: Ελάχιστες διαστάσεις θέσεων στάθμευσης και ελάχιστο απαιτούμενο πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας.....	21
5. Πίνακας 2.3.5: Διαστάσεις θέσεων για άνετη στάθμευση και απαιτούμενο πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας.....	21
6. Πίνακας 2.3.6: Σύγκριση παράλληλης και υπό γωνίας στάθμευσης.....	22
7. Πίνακας 3.2.1: Συντελεστής μείωσης χωρητικότητας σύμφωνα με το HCM.....	42
8. Πίνακας 3.2.2: Προκαθορισμένες τιμές μανούβρων από το HCM.....	44
9. Πίνακας 4.1.1: Αποτελέσματα του μοντέλου ως προς τις θέσεις στάθμευσης.....	62
10. Πίνακας 4.1.2: Αποτελέσματα του μοντέλου ως προς το συνολικό χρόνο διάνυσης του δικτύου.....	62
11. Πίνακας 4.1.3: Αποτελέσματα του μοντέλου ως προς τον αριθμό των συνδέσμων στους οποίους θα επιτραπεί η στάθμευση επί της οδού.....	63

ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΑΡΤΩΝ

1. Χάρτης 4.1: Δίκτυο Σχεδιασμού.....	57
2. Χάρτης 4.2: Αποτελέσματα εξίσωσης 6.5.3 για την κατεύθυνση ΒΝ – ΔΑ.....	58
3. Χάρτης 4.3: Αποτελέσματα εξίσωσης 6.5.3 για την κατεύθυνση ΝΒ – ΑΔ.....	59
4. Χάρτης 4.4: Αποτελέσματα εξίσωσης 6.5.6 για την κατεύθυνση ΒΝ – ΔΑ.....	60
5. Χάρτης 4.5: Αποτελέσματα εξίσωσης 6.5.6 για την κατεύθυνση ΝΒ – ΑΔ.....	61

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ήδη από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα, με την ολοένα και αυξανόμενη ιδιοκτησία επιβατικών οχημάτων ιδιωτικής χρήσης, άρχισαν να παρατηρούνται φαινόμενα έντονης συμφόρησης στις κεντρικές περιοχές αστικών δικτύων. Για τον λόγο αυτό εφαρμόστηκαν τεχνικές με σκοπό την αύξηση της κυκλοφοριακής ικανότητας του δικτύου, σημαντικότερη εκ των οποίων ήταν η δημιουργία νέων δρόμων. Όταν όμως έπαυε να είναι δυνατή η αναβάθμιση της υποδομής ενός δικτύου με την κατασκευή νέων οδών, η επόμενη διαθέσιμη λύση ήταν η απαγόρευση της στάθμευσης επί του οδοστρώματος και η κατασκευή περισσότερων κλειστών χώρων στάθμευσης. Αρχικά, η εφαρμογή αυτών των μέτρων διευκόλυνε αισθητά την κυκλοφορία. Ωστόσο, η αύξηση της ιδιοκτησίας οχημάτων και κατά συνέπεια της ζήτησης θέσεων στάθμευσης, οδήγησε σύντομα στην υπέρβαση των δυνατοτήτων των δικτύων για προσφορά κλειστών χώρων στάθμευσης, οπότε προέκυψε και πάλι η ανάγκη διάθεσης τμήματος του οδοστρώματος για στάθμευση. Αυτή την φορά, ήταν εμφανές ότι για την επιτυχή εφαρμογή της στάθμευσης επί της οδού, ήταν απαραίτητη η οργάνωση και ο ορθολογικός σχεδιασμός ολόκληρου του δικτύου, διότι λύση στο πρόβλημα δεν είναι δυνατό να προσφέρει μόνο η παρόδια στάθμευση. Θα πρέπει να εκτιμηθεί ο αριθμός των κλειστών χώρων στάθμευσης που μπορεί να διαθέσει η υπό εξέταση περιοχή και οι κατάλληλες τοποθεσίες αυτών για την μέγιστη δυνατή εξυπηρέτηση της ζήτησης. Ακόμη, θα πρέπει να ενισχυθεί κατάλληλα το δίκτυο δημόσιων συγκοινωνιών ώστε να αποθαρρύνεται η χρήση του ιδιωτικού αυτοκινήτου.

Ο ορθολογικός σχεδιασμός ενός δικτύου ως προς τη στάθμευση επί της οδού, περιλαμβάνει την μελέτη για την σωστή εκτίμηση: α) του αριθμού των θέσεων που είναι ικανό να προσφέρει το δίκτυο (προσφορά θέσεων στάθμευσης), β) των αναγκών του δικτύου (ζήτηση θέσεων στάθμευσης) και γ) της σχέσης μεταξύ αυτών (ισοζύγιο στάθμευσης).

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας αποτελεί η ανάπτυξη ενός μαθηματικού μοντέλου το οποίο θα υπολογίζει την προσφορά θέσεων παρόδιας στάθμευσης επιβατικών αυτοκινήτων ιδιωτικής χρήσης. Για την εκτίμηση της προσφοράς των θέσεων στάθμευσης του δικτύου, θα

πρέπει να προσδιοριστούν οι επιπτώσεις της στάθμευσης και να γίνει η επιλογή του κατάλληλου γεωμετρικού σχεδιασμού των λωρίδων στάθμευσης. Ακόμη και σήμερα, η έρευνα για την ποσοτική εκτίμηση των επιπτώσεων της στάθμευσης επί της οδού, δεν έχει ολοκληρωθεί.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η δημιουργία ενός μαθηματικού μοντέλου, το οποίο λαμβάνοντας υπ' όψη τις μέχρι τώρα γνωστές ποσοτικές επιπτώσεις της παρόδιας στάθμευσης στο δίκτυο :

- θα εντοπίζει τους συνδέσμους στους οποίους είναι δυνατόν να επιτραπεί η παρόδια στάθμευση
- θα εκτιμά το είδος στάθμευσης (παράλληλη ή υπό γωνία στάθμευση)
- και θα υπολογίζει τον μέγιστο αριθμό των θέσεων στάθμευσης

με την όσο το δυνατόν λιγότερη χρονική επιβάρυνση για το σύνολο του δικτύου. Ο αριθμός αυτός, ορίζεται ως ο βέλτιστος αριθμός θέσεων στάθμευσης που δύναται να προσφέρει το δίκτυο.

Το πρόβλημα ανήκει στην κατηγορία των διεπίπεδων προβλημάτων βελτιστοποίησης. Στο ανώτερο επίπεδο διαμορφώνεται πρόβλημα ακέραιου προγραμματισμού με τη βοήθεια του οποίου υπολογίζεται ο αριθμός των θέσεων στάθμευσης. Στο κατώτερο επίπεδο επιλύεται το γραμμικό πρόβλημα καταμερισμού κυκλοφορίας υπό την θεώρηση κατάστασης ισορροπίας χρηστών με στόχο την εύρεση του συνολικού χρόνου διάνυσης του δικτύου (συνολικό κόστος).

1.3 ΔΟΜΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια συμπεριλαμβανομένου και του παρόντος κεφαλαίου. Η δομή της διπλωματικής εργασίας αναπτύχθηκε με κριτήριο τη λογική συνέχεια των κεφαλαίων και στόχο την διευκόλυνση του αναγνώστη στην πλήρη κατανόηση του περιεχομένου της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο με τίτλο θεωρητικό υπόβαθρο, επεξηγούνται οι κυριότερες έννοιες που επαναλαμβάνονται διαρκώς στα επόμενα κεφάλαια, ενώ επίσης γίνεται αναφορά στις σημαντικότερες μελέτες που σχετίζονται με την εκτίμηση των επιπτώσεων της στάθμευσης επί του οδοστρώματος και την ανάπτυξη του μοντέλου βέλτιστης χωροθέτησης θέσεων στάθμευσης επιβατικών οχημάτων ιδιωτικής χρήσης σε αστικά δίκτυα. Ακόμη, αναλύονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της στάθμευσης παρά της οδού, τα είδη των θέσεων στάθμευσης και ο γεωμετρικός σχεδιασμός των λωρίδων στάθμευσης όπως προτείνεται από την Ελληνική νομοθεσία και τις Γερμανικές οδηγίες. Τέλος, γίνεται μία σύντομη περιγραφή των γενετικών αλγορίθμων.

Περιεχόμενο του τρίτου κεφαλαίου αποτελεί η αναλυτική επεξήγηση της διαδικασίας που ακολουθήθηκε για την διαμόρφωση του μοντέλου. Συγκεκριμένα αναφέρονται: η περιγραφή της μελέτης επί της οποίας βασίστηκε η ανάπτυξη του μοντέλου που πραγματεύεται η διπλωματική εργασία, με τίτλο «Προσδιορισμός στάθμευσης επί της οδού σε αστικά οδικά δίκτυα με χρήση του μεθυστικού αλγόριθμου εύρεσης αρμονίας», οι παραδοχές και οι προϋποθέσεις ανάπτυξης του μοντέλου, η διαδικασία επίλυσης του προβλήματος καταμερισμού κυκλοφορίας υπό την θεώρηση κατάστασης ισορροπίας χρηστών, ο αλγόριθμος εύρεσης συντομότερων διαδρομών (αλγόριθμος Dijkstra), οι εξισώσεις υπολογισμού του συντελεστή μείωσης της χωρητικότητας από την παρόδια στάθμευση και η διαδικασία υπολογισμού των θέσεων στάθμευσης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται εφαρμογή του μοντέλου και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.

Τελευταίο κεφάλαιο αποτελεί το κεφάλαιο πέντε, στο οποίο παρατίθενται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Μετά από την βιβλιογραφία, η εργασία διαθέτει παράρτημα στο οποίο παρουσιάζεται ο αλγόριθμος επίλυσης του προβλήματος καταμερισμού κυκλοφορίας σε κατάσταση ισορροπίας χρηστών, ανεπτυγμένος στην προγραμματιστική γλώσσα Python.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

Το παρόν υποκεφάλαιο πραγματεύεται την επεξήγηση βασικών εννοιών που θα χρησιμοποιηθούν επανειλημμένα στα επόμενα κεφάλαια.

Στάθμευση επί της οδού

Σύμφωνα με τον Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας, με τον όρο στάθμευση επί της οδού 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 την 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. »

Κυκλοφοριακός Φόρτος

Με τον όρο κυκλοφοριακός φόρτος ορίζεται ο συνολικός αριθμός των οχημάτων που διέρχονται από ένα σημείο ή μια διατομή οδού στην μονάδα του χρόνου. Η διαφορά του από τη ζήτηση είναι ότι ζήτηση ονομάζεται ο φόρτος που θέλει να εξυπηρετηθεί από τη διατομή, ενώ ο φόρτος είναι ο αριθμός των οχημάτων που εξυπηρετούνται από την διατομή. Δηλαδή, η ζήτηση αναφέρεται στα οχήματα που φτάνουν, ενώ ο φόρτος στα οχήματα που αποχωρούν.

(Φραντζεσκάκης et al., 2009)

Χωρητικότητα

Χωρητικότητα ή αλλιώς κυκλοφοριακή ικανότητα, ονομάζεται ο μέγιστος ωριαίος ρυθμός ροής οχημάτων (κυκλοφοριακός φόρτος) που μπορεί να διέλθει από μία διατομή ή ένα ομοιόμορφο τμήμα λωρίδας κυκλοφορίας ή οδού, που εξυπηρετούν από κοινού μία κατεύθυνση, υπό τις επικρατούσες οδικές και κυκλοφοριακές συνθήκες καθώς και συνθήκες σηματοδότησης.

(Φραντζεσκάκης et al., 2009)

Κόμβος

Ο κόμβος αντιστοιχεί σε μία πραγματική ή ιδεατή διασταύρωση. Κόμβος Προέλευσης ονομάζεται ο κόμβος απ' όπου ξεκινούν μία ή περισσότερες μετακινήσεις, ενώ κόμβος Προορισμού ο κόμβος που καταλήγουν.

(Αντωνίου & Σπυροπούλου, 2014)

Σύνδεσμος

Ο σύνδεσμος αντιστοιχεί σε ένα οδικό τμήμα μεταξύ δύο κόμβων που εξυπηρετεί μία φορά κίνησης οχημάτων. Δηλαδή ένας δρόμος διπλής κατεύθυνσης αναπαρίσταται από δύο συνδέσμους. Ο σύνδεσμος δεν ταυτίζεται με την έννοια της λωρίδας.

(Αντωνίου & Σπυροπούλου, 2014)

Πίνακας Προέλευσης – Προορισμού Μετακινήσεων

Ο Πίνακας Προέλευσης – Προορισμού είναι 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.

	A	B	Γ	Δ	Ε
A	100	200	50	60	40
B	60	40	30	70	100
Γ	20	40	50	60	100
Δ	10	20	30	20	90
Ε	10	30	80	100	10

Εικόνα 2.1: Παράδειγμα Πίνακα Προέλευσης – Προορισμού.

(Αντωνίου & Σπυροπούλου, 2014)

Χρόνος Ελεύθερης Ροής (Free Flow Travel Time)

Ο χρόνος στον οποίο διανύεται ο σύνδεσμος σε συνθήκες ελεύθερης ροής (όταν ο κυκλοφοριακός φόρτος είναι πολύ χαμηλός, δεν υπάρχει σηματοδότηση, διασταυρώσεις κ.ά.). Στην περίπτωση αυτή το κινούμενο όχημα δεν θα καθυστερούσε λόγω της αλληλεπίδρασης με οποιοδήποτε άλλο όχημα που βρίσκεται στον ίδιο σύνδεσμο.

(Αντωνίου & Σπυροπούλου, 2014)

Μακροσκοπικό πρότυπο ροής κυκλοφορίας

Με βάση το επίπεδο λεπτομέρειας, τα μαθηματικά πρότυπα ροής κυκλοφορίας διακρίνονται σε μακροσκοπικά και μικροσκοπικά. Στα μακροσκοπικά πρότυπα η κυκλοφορία των οχημάτων εξετάζεται συνολικά και στόχος είναι η διερεύνηση του συνολικού συστήματος της κυκλοφορίας με βάση τις σχέσεις των βασικών κυκλοφοριακών μεγεθών (φόρτος, ταχύτητα και πυκνότητα). Προσομοιώνουν την κίνηση των οχημάτων με τη ροή των ρευστών και βασίζονται στην υπόθεση του συνεχούς μέσου. Αντίθετα, τα μικροσκοπικά μαθηματικά πρότυπα βασίζονται στην περιγραφή της κίνησης κάθε οχήματος κατά μήκος οδού ξεχωριστά από ένα διάνυσμα με συνιστώσες τη θέση στο χώρο, την ταχύτητα και την επιτάχυνση.

(Φραντζεσκάκης et al., 2009)

Μανούβρα

Με τον όρο “μανούβρα” περιγράφεται η κίνηση του οχήματος κατά την εγκατάλειψη της θέσης στάθμευσης καθώς και την κίνηση κατά την είσοδο στην θέση στάθμευσης. Η έννοια της μανούβρας διαφέρει από εκείνη του ελιγμού. Ελιγμός ορίζεται η κάθε κίνηση που πραγματοποιεί το όχημα στην προσπάθεια του οδηγού να εισέλθει πλήρως στη θέση στάθμευσης καθώς και στην προσπάθεια του να εξέλθει από αυτή. Η διαφορά του ελιγμού από την μανούβρα είναι ότι για παράδειγμα στην περίπτωση εγκατάλειψης της θέσης στάθμευσης θεωρούμε ότι εκτελείται μία μόνο μανούβρα ενώ οι ελιγμοί μπορεί να είναι πολλαπλοί. Μερικοί από τους παράγοντες που επηρεάζουν τον αριθμό των ελιγμών είναι ο τύπος του οχήματος, ο οδηγός, ο τύπος στάθμευσης κ.ά.

Εναλλαγή στάθμευσης (Parking Turnover)

Ο αριθμός των διαφορετικών οχημάτων που σταθμεύουν σε μια συγκεκριμένη θέση στάθμευσης κατά τη διάρκεια μιας ορισμένης χρονικής περιόδου. Η εναλλαγή στάθμευσης ή αλλιώς δείκτης εναλλαγής, εκφράζει το ρυθμό χρησιμοποίησης της θέσης ή της περιοχής στάθμευσης.

$$\text{Δείκτης Εναλλαγής} = \frac{\text{αριθμός οχημάτων που στάθμευσαν στη περίοδο σχεδιασμού}}{\text{αριθμός θέσεων της περιοχής σχεδιασμού}}$$

(Φραντζεσκάκης *et al.*, 2002)

Ροή Κορεσμού

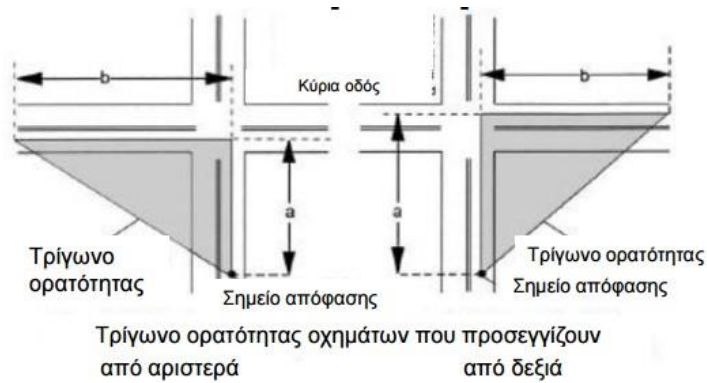
Ο μέγιστος κυκλοφοριακός φόρτος που μπορεί να διέλθει από μία διατομή ή ομάδα λωρίδων που εξυπηρετούν από κοινού μια κατεύθυνση υπό τις επικρατούσες οδικές και κυκλοφοριακές συνθήκες (με την παραδοχή 100% χρησιμοποιούμενου χρόνου πράσινης ένδειξης).

(Φραντζεσκάκης *et al.*, 2009)

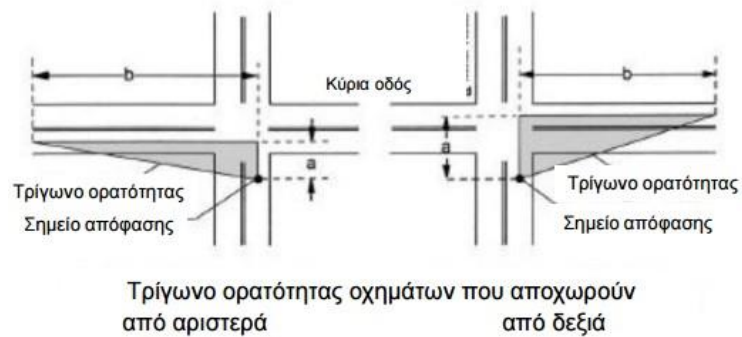
Τρίγωνο ορατότητας

Η τριγωνική περιοχή, που πρέπει να περιλαμβάνει κάθε τεταρτημόριο μιας διασταύρωσης, χωρίς εμπόδια που μπορεί να περιορίσουν το οπτικό πεδίο ενός οδηγού που προσεγγίζει τον κόμβο και να αποκρύψουν εμπλεκόμενα οχήματα. Το μήκος του κάθε σκέλους της τριγωνικής αυτής επιφάνειας, κατά μήκος των διασταυρούμενων οδών, πρέπει να είναι τέτοιο ώστε οι οδηγοί να μπορούν να δουν τυχόν πιθανά εμπλεκόμενα οχήματα σε χρόνο αρκετό ώστε να μειώσουν

ταχύτητα ή να ακινητοποιηθούν προτού συγκρουστούν με αυτά στη διασταύρωση. Οι διαστάσεις των τριγώνων ορατότητας εξαρτώνται από την ταχύτητα μελέτης και τον τύπο ελέγχου της πρόσβασης.



Εικόνα 2.2: Τρίγωνα ορατότητας απ' ευθείας διάσχισης.



Εικόνα 2.3: Τρίγωνα ορατότητας στάσης πριν τη διάσχιση.

(Αντωνίου, Παπαδημητρίου & Σπυροπούλου, 2015)

Αντικειμενική συνάρτηση (Objective Function)

Πρόκειται για μία συνάρτηση (Z) η οποία περιγράφει το πρόβλημα, δηλαδή την ποσότητα ή τον συνδυασμό ποσοτήτων προς μεγιστοποίηση ή ελαχιστοποίηση. Για παράδειγμα εάν

επιδιώκεται η μεγιστοποίηση των καθαρών ετήσιων εσόδων ενός νοικοκυριού, η διατύπωση της αντικειμενικής συνάρτησης είναι η ακόλουθη :

« μεγιστοποίησε τα καθαρά έσοδα »

ή

maximize Z

$$\text{όπου } Z = \sum_1^{12} \text{μηνιαίου εισοδήματος} - \sum_1^{12} \text{μηνιαίων εξόδων}$$

Διακριτό Πρόβλημα Σχεδιασμού Δικτύων (Discrete Network Design Problem)

Ο όρος Διακριτό Πρόβλημα Σχεδιασμού Δικτύων αποτελεί ένα από τα τρία είδη προβλημάτων σχεδιασμού δικτύων, μαζί με τα Συνεχή και τα Μικτά προβλήματα σχεδιασμού δικτύων. Τα Συνεχή Προβλήματα σχετίζονται με τις παραμέτρους του δικτύου (π.χ. πρόβλημα επέκτασης χωρητικότητας), τα Διακριτά με την τοπολογία του δικτύου (π.χ. πρόβλημα πρόσθεσης νέων συνδέσμων στο δίκτυο) και τα Μικτά συνδυάζουν τη τοπολογία με τις παραμέτρους του δικτύου (π.χ. πρόβλημα αύξησης υποδομών και επέκτασης χωρητικότητας).

(Πηγή: Wikipedia)

Κατάσταση Ισορροπίας Χρηστών (User Equilibrium)

Όταν οι χρήστες ενός δικτύου έχουν πλήρη γνώση των συνθηκών που επικρατούν, σύμφωνα με τις αρχές του Wardrop, επιλέγουν τη διαδρομή με το ελάχιστο κόστος. Αυτή η εγωιστική συμπεριφορά των χρηστών, συντελεί στην δημιουργία κατάστασης ισορροπίας στο δίκτυο. Η ισορροπία επιτυγχάνεται όταν κανένας χρήστης δεν μπορεί να ελαττώσει το κόστος μετακίνησής του επιλέγοντας διαφορετική διαδρομή. Ως αποτέλεσμα, οι χρησιμοποιημένες διαδρομές έχουν

ίδιο, ελάχιστο κόστος, ενώ οι μη χρησιμοποιημένες έχουν είτε ίδιο είτε μεγαλύτερο κόστος. Υπό την συγκεκριμένη θεώρηση, οι χρόνοι διαδρομής των συνδέσμων εξαρτώνται από τους φόρτους και τους υπόλοιπους συνδέσμους του δικτύου.

2.2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Η βιβλιογραφία ως προς την στάθμευση επί της οδού θεωρείται αρκετά περιορισμένη σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο. Το πρόβλημα απασχολεί τους μελετητές από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα, ωστόσο η έρευνα για τις ποσοτικές επιπτώσεις τις παρόδιας στάθμευσης βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο. Στην συνέχεια παρατίθενται οι σημαντικότερες μελέτες των οποίων τα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

Η Sisiopiku (2001) μελέτησε τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χωροθέτησης θέσεων στάθμευσης επί της οδού και τις τεχνικές διαχείρισης παρόδιας στάθμευσης. Επισήμανε ότι παρά το γεγονός ότι η στάθμευση επί του οδοστρώματος μειώνει την χωρητικότητα, εμποδίζει την κυκλοφορία και αυξάνει τις πιθανότητες εμφάνισης ατυχημάτων, υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες οι χρήσεις γης την καθιστούν αναγκαία. Επίσης σημείωσε ότι λόγω της αυξημένης επικινδυνότητας της υπό γωνία στάθμευσης συγκριτικά με την παράλληλη, θα πρέπει να εφαρμόζεται μόνο σε περιπτώσεις όπου ο φόρτος είναι σημαντικά μικρότερος της χωρητικότητας. Ο Shourp (1997, 2004) υποστήριξε ότι ένα σημαντικό ποσοστό των χρηστών του δικτύου αποτελούν οι οδηγοί που αναζητούν θέση στάθμευσης καταναλώνοντας περιττό χρόνο και χρήμα ενώ παράλληλα επιβαρύνουν το περιβάλλον.

Οι Yousif και Purnawan (1999) εκτίμησαν ποσοτικά τις επιπτώσεις του τύπου στάθμευσης στο χρονικό διάστημα εκτέλεσης των μανούβρων στάθμευσης. Ο Johnston (1960) συνέκρινε την παράλληλη με την υπό - γωνία στάθμευση και ερεύνησε τις απαιτήσεις τους σε πλάτος και χρόνο εκτέλεσης των μανούβρων. Από τις παραπάνω μελέτες προέκυψε ότι η διάρκεια εκτέλεσης των μανούβρων στάθμευσης διαφέρει σημαντικά από οδηγό σε οδηγό, ανάλογα με την εμπειρία του και την προτίμησή του στη εμπρόσθια και οπίσθια στάθμευση. Ο Ye (2011) μελέτησε τις καθυστερήσεις που επέφεραν οι μανούβρες στάθμευσης ανάλογα με τη διάρκεια του κύκλου σηματοδότησης της πλησιέστερης διασταύρωσης. Απέδειξε ότι οι κύκλοι σηματοδότησης με μεγαλύτερη διάρκεια παρήγαγαν μεγαλύτερες καθυστερήσεις. Οι Guo et al. (2011) ανέπτυξαν ένα

μοντέλο κινδύνου διαρκείας για να μελετήσουν την επίπτωση στη διάρκεια μίας διαδρομής που προκαλούσε η στάθμευση παρά την οδό. Έκριναν ότι οι σημαντικότεροι παράγοντες επηρεασμού της διάρκειας διαδρομής ήταν το πλάτος των λωρίδων, ο αριθμός των μανούβρων, ο μεγάλος δείκτης εναλλαγής και το ποσοστό κατάληψης της θέσης στάθμευσης. Οι Portilla et al. (2009) ποσοτικοποίησαν τις επιπτώσεις της λανθασμένης στάθμευσης στους χρόνους διαδρομής των συνδέσμων του δικτύου. Διαπίστωσαν αύξηση της τάξεως του 15%-199% στο μέσο χρόνο διαδρομής και μείωση της τάξεως του 6% - 55% στη χωρητικότητα. Οι Kladeftiras & Antoniou (2012) εκτίμησαν τις επιπτώσεις της παραβατικότητας στη στάθμευση με χρήση μικροσκοπικής προσομοίωσης ως προς τη μέση ταχύτητα, τη καθυστέρηση και το χρόνο σε στάση. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο περιορισμός της παραβατικής συμπεριφοράς μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της μέσης ταχύτητας κατά 10% - 15% και σε μείωση της καθυστέρησης και του χρόνου σε στάση σε ποσοστό 20%.

Οι Wijayaratna και Wijayaratna (2014) μελέτησαν τις επιπτώσεις της στάθμευσης επί του οδοστρώματος στην χωρητικότητα της οδού και πρότειναν μια νέα εξίσωση υπολογισμού του συντελεστή μείωσης της χωρητικότητας λόγω στάθμευσης.

Οι Ceylan et al (2014) δημιούργησαν ένα διεπίπεδο μοντέλο βελτιστοποίησης για τον καθορισμό των συνδέσμων ενός αστικού δικτύου, στους οποίους θεωρείτο βέλτιστη η χωροθέτηση λωρίδων παρόδιας στάθμευσης. Στο ανώτερο επίπεδο, το μοντέλο επέλεγε τους κατάλληλους συνδέσμους χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο εύρεσης αρμονίας. Οι σύνδεσμοι που επιλέγονταν για την χωροθέτηση λάμβαναν την τιμή 1, ενώ σε αντίθετη περίπτωση λάμβαναν την τιμή 0. Στο κατώτερο επίπεδο, η αντίδραση των οδηγών στο νέο σχεδιασμό του δικτύου εκτιμήθηκε από το λογισμικό VISUM επιλέγοντας καταμερισμό κυκλοφορίας υπό την θεώρηση κατάστασης ισορροπίας χρηστών. Το μοντέλο αδυνατούσε να συμπεριλάβει τις καθυστερήσεις που προκαλούσαν οι μανούβρες στάθμευσης και κατά συνέπεια τα αποτελέσματα δεν μπορούσαν να θεωρηθούν ρεαλιστικά.

Όπως επισημαίνεται από την βιβλιογραφία, η χωροθέτηση θέσεων παρόδιας στάθμευσης αποτελεί ένα αρκετά περίπλοκο πρόβλημα, γεγονός το οποίο αντανακλάται στην δυσκολία διαμόρφωσης μίας καθολικής προσέγγισης για την αντιμετώπισή του. Η εργασία αποτελεί την πρώτη προσπάθεια συμπερίληψης όλων των μέχρι τώρα γνωστών ποσοτικών επιπτώσεων της στάθμευσης επί της οδού σε ένα μοντέλο βέλτιστης χωροθέτησης. Πρωτοτυπία της εργασίας

συνιστά επίσης το γεγονός ότι εξετάζεται η χωροθέτηση όχι μόνον της παράλληλης αλλά και της υπό γωνίας στάθμευσης.

2.3 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΘΕΣΕΩΝ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ ΕΠΙ ΤΗΣ ΟΔΟΥ

Παράλληλα με την ανάπτυξη των περισσότερων χωρών, παρατηρείται αύξηση στην αγορά και χρήση αυτοκινήτων με αποτέλεσμα να αυξάνονται συνεχώς οι απαιτήσεις σε χώρους στάθμευσης. Μια συνήθης πρακτική για την αντιμετώπιση του παραπάνω ζητήματος, αποτελεί η κατασκευή πολυώροφων κτιρίων, επίγειων και υπόγειων χώρων στάθμευσης. Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις όπου η ανέγερση νέων κτιρίων απαγορεύεται και οι πολιτικές αρχές προσπαθούν να επιτύχουν μία περισσότερο προσοδοφόρα αξιοποίηση των ήδη υπαρχόντων, από την χρήση τους ως χώρους στάθμευσης.

Από την άλλη πλευρά, σε χώρες όπου ήδη επιτρέπεται η στάθμευση επί της οδού, όπως συμβαίνει και στην περίπτωση της Ελλάδας, παρατηρείται διαρκώς παράνομη ή λανθασμένη στάθμευση.

Τα παραπάνω ζητήματα αποτελούν τις κυριότερες αιτίες για τις οποίες η ανάγκη δημιουργίας και οργάνωσης των θέσεων στάθμευσης επί της οδού, κρίνεται επιτακτική.

2.3.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΠΑΡΟΔΙΑΣ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα ήταν σημαντικό να σημειωθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της δημιουργίας θέσεων στάθμευσης επί του οδοστρώματος, ως προς το περιβάλλον, την ασφάλεια, την οικονομία και τη χωρητικότητα.

Περιβάλλον

Όταν η ζήτηση για θέσεις στάθμευσης ξεπερνά τις δυνατότητες του δικτύου, οι οδηγοί δαπανούν αρκετό χρόνο και βενζίνη στην αναζήτηση της πλησιέστερης ως προς τον προορισμό τους, θέσης

στάθμευσης. Επίσης, παράγουν σημαντική ποσότητα ρύπων που επιβαρύνουν το περιβάλλον όπως ο θόρυβος και αέρια που συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Οι Gantelet και Lefauconnier εκτιμούν ότι στη Γαλλία το 2006 δαπανήθηκαν περίπου 70 εκατομμύρια ώρες στην αναζήτηση θέσεων στάθμευσης και ότι το ποσοστό των χρηστών του δικτύου που αναζητούσε θέση στάθμευσης άγγιζε το 60% σε μικρούς τοπικούς δρόμους και το 10% συνολικά στις πόλεις. Ο Shourp (2004) αναφέρει ότι στο εμπορικό τμήμα του Los Angeles, η αναζήτηση ελεύθερης θέσης στάθμευσης οδηγεί ετησίως στην κατανάλωση 178.000 λίτρων βενζίνης και στην παραγωγή 730 τόνων διοξειδίου του άνθρακα.

Ασφάλεια

Η ασφάλεια αναφορικά με τη στάθμευση αποτελεί ένα τομέα όπου οι επιστημονικές απόψεις δίστανται. Σε έρευνα που διεξήχθη από την αστυνομία του Σικάγο το 1974 διαπιστώθηκε ότι η σύγκρουση κινούμενου οχήματος με σταθμευμένο όχημα αποτέλεσε την αιτία για το 2% των θανάσιμων ατυχημάτων. Από τον Πίνακα 2.3.1 γίνεται αντιληπτό ότι σε τοπικές οδούς, η κύρια πηγή ατυχημάτων είναι η στάθμευση στην οδό.

Πίνακας 2.3.1: Οδικά ατυχήματα σε τοπικές οδούς.

Ατυχήματα ανά χιλιόμετρο οδού κατ' έτος				
Είδος περιοχής	Στάθμευση στην οδό	Είσοδοι – Έξοδοι σε παρόδιες ιδιοκτησίες	Πεζοί και ποδήλατα	Λοιπά
Μονοκατοικίες	0.65	0.09	0.08	0.07
Πολυκατοικίες	1.93	0.28	0.16	0.32
Γραφεία - Καταστήματα	2.18	1.03	0.12	0.45
Βιομηχανία	0.71	0.59	0.02	0.12

(Πηγή: Φραντζεσκάκης et al., 2002)

Στον Πίνακα 2.3.2 παρουσιάζεται η συσχέτιση της ιεράρχησης του δικτύου με την παρόδια στάθμευση.

Πίνακας 2.3.2: Λειτουργική ιεράρχηση δικτύου και είδος ατυχημάτων.

Αιτία Ατυχήματος	Ατυχήματα %					
	Κύριες Οδοί		Συλλεκτήριες Οδοί		Τοπικές Οδοί	
	Κατεύθυνση					
	Μία	Δύο	Μία	Δύο	Μία	Δύο
Άνοιγμα πόρτας	2	3	0	1	1	13
Ελιγμοί για στάθμευση	8	5	11	1	2	0
Σταθμευμένο όχημα	29	21	49	50	61	74
Ελιγμοί από αναχώρηση	21	13	15	13	6	0
Συνολικά ατυχήματα από στάθμευση	60	42	75	65	70	87

(Πηγή: Φραντζεσκάκης *et al.*, 2002)

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα νούμερα αυτά θα μπορούσαν να είναι πολύ μεγαλύτερα καθώς ανταποκρίνονται μόνο σε ατυχήματα όπου έχει καταγραφεί και διαπιστωθεί ότι ενεπλάκη σταθμευμένο όχημα. Ένα ακόμα μειονέκτημα της στάθμευσης επί της οδού ως προς την ασφάλεια, είναι ότι ανάλογα με τον τύπο του σταθμευμένου οχήματος, είναι δυνατόν να περιοριστεί σημαντικά η ορατότητα οδηγών και πεζών, με αποτέλεσμα τον αιφνιδιασμό τους και την έκθεσή τους σε μεγαλύτερο κίνδυνο. Ωστόσο, αρκετοί μηχανικοί υποστηρίζουν ότι τα σταθμευμένα

οχήματα μπορούν να λειτουργήσουν ως ένας αποτελεσματικός φράχτης ανάμεσα στα κινούμενα οχήματα και τους πεζούς που κινούνται στο πεζοδρόμιο, μειώνοντας τις πιθανότητες σοβαρού τραυματισμού. Επίσης, μειώνονται και οι πιθανότητες ατυχήματος λόγω αυξημένης ταχύτητας, καθώς σε περιοχές όπου επιτρέπεται η στάθμευση, επιβάλλεται τα όρια ταχύτητας να είναι αισθητά χαμηλότερα απ' ό τι θα ήταν στον ίδιο δρόμο εάν η στάθμευση επί αυτού απαγορευόταν.

Οικονομία

Προφανώς η διάθεση χώρων στάθμευσης επί του οδοστρώματος προσφέρει μεγαλύτερη προσβασιμότητα και συνεπώς μεγαλύτερη επισκεψιμότητα. Σύμφωνα με τους Innes et al (1990), η επιλογή της τοποθεσίας στην οποία θα επιλέξει κάποιος να πραγματοποιήσει τις αγορές του, έχει να κάνει περισσότερο με τον αν υπάρχει διαθέσιμος χώρος στάθμευσης και με το πόσο προσβάσιμο θεωρείται το κατάστημα. Επομένως μπορεί να υποτεθεί ότι με τη δημιουργία χώρων στάθμευσης, το καταναλωτικό κοινό παροτρύνεται να ψωνίσει. Ακόμα, σε άκρως εμπορικούς δρόμους, συνιστάται η διάθεση χώρων στάθμευσης έναντι εύλογου ποσού, καθώς μπορεί να προσφέρει σημαντικά έσοδα στην τοπική αυτοδιοίκηση.

Χωρητικότητα

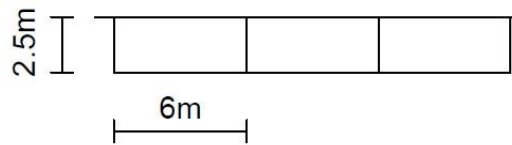
Η μείωση της χωρητικότητας του δρόμου θεωρείται η πιο άμεση συνέπεια της στάθμευσης επί της οδού και διαθέτει χωρικό και χρονικό χαρακτήρα. Ο χωρικός χαρακτήρας προκύπτει από το γεγονός ότι «χάνεται» μία λωρίδα η οποία θα μπορούσε να χρησιμοποιείται από κινούμενα οχήματα, ενώ ο χρονικός χαρακτήρας προκύπτει από τη διάρκεια των ελιγμών εισόδου στη διαθέσιμη θέση καθώς και από τους ελιγμούς εγκατάλειψής της, οι οποίοι έχουν σαν άμεσο αποτέλεσμα τη μείωση της χωρητικότητας της παρακείμενης λωρίδας κυκλοφορίας.

2.3.2 ΕΙΔΗ ΘΕΣΕΩΝ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ

Η κατηγοριοποίηση των θέσεων στάθμευσης γίνεται σύμφωνα με την γωνία υπό την οποία πραγματοποιείται η στάθμευση των οχημάτων σε σχέση με το πεζοδρόμιο και τη γενικότερη

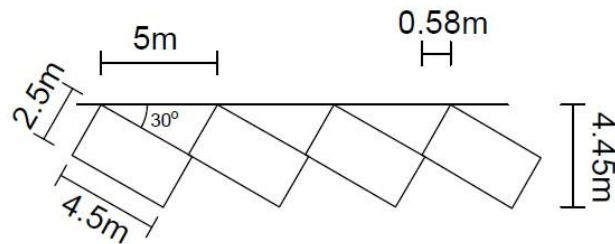
γεωμετρία της οδού. Τα είδη θέσεων στάθμευσης είναι τα ακόλουθα :

- Παράλληλη στάθμευση: Τα οχήματα σταθμεύουν παράλληλα με το μήκος της οδού. Συγκριτικά με την υπό γωνία στάθμευση, η παράλληλη στάθμευση προσφέρει καλύτερη ορατότητα κατά τον ελιγμό εγκατάλειψης της θέσης, με αποτέλεσμα να εμποδίζονται λιγότερο τα κινούμενα οχήματα από το σταθμευμένο όχημα που αναχωρεί. Για τον λόγο αυτό θεωρείται περισσότερο ασφαλής. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο Κάνσας, κατά την οποία πραγματοποιήθηκε αλλαγή στάθμευσης από υπό γωνία σε παράλληλη, ο αριθμός των ατυχημάτων ανά οικοδομικό τετράγωνο ανά έτος μειώθηκε από πέντε σε ένα μόνο ατύχημα. Το μειονέκτημα αυτού του τύπου στάθμευσης είναι ωστόσο, ότι απαιτείται μεγαλύτερος αριθμός ελιγμών κατά την κατάληψη της θέσης και συνεπώς το δίκτυο επιβαρύνεται χρονικά περισσότερο απ' ότι στην περίπτωση της υπό γωνίας στάθμευσης. Ακόμη, λόγω των απαιτούμενων γεωμετρικών χαρακτηριστικών των παράλληλων θέσεων στάθμευσης (6 x 2.5 μέτρα), σε δεδομένο μήκος οδού, προκύπτουν λιγότερες θέσεις στάθμευσης απ' ότι θα προέκυπτε εάν οι θέσεις τοποθετούνταν υπό γωνία. Αν όπου L το μήκος του δρόμου και N ο αριθμός των θέσεων τότε: $L = 6 * N$.



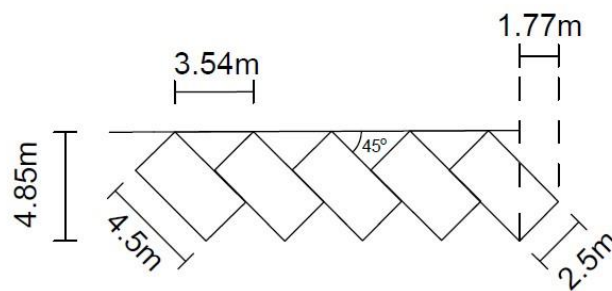
Εικόνα 2.4: Διαστάσεις θέσεων παράλληλης στάθμευσης.

- Στάθμευση υπό γωνία 30°: Στην περίπτωση αυτή, τα οχήματα σταθμεύουν υπό γωνία τριάντα μοιρών ως προς το πεζοδρόμιο. Ο συγκεκριμένος τύπος στάθμευσης δεν είναι ιδιαίτερα συνηθισμένος λόγω της μεγάλης επιφάνειας που απαιτεί, ωστόσο χρησιμοποιείται σε ορισμένες περιπτώσεις εξ' αιτίας της ευκολίας που προσφέρει στην πραγματοποίηση των ελιγμών εισόδου και εξόδου. Ο αριθμός των θέσεων στάθμευσης N, για μήκος οδού L, προκύπτει από την ακόλουθη εξίσωση: $L = 5 * N + 0.58$.



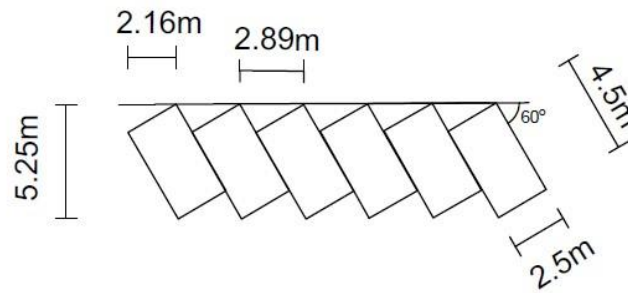
Εικόνα 2.5: Διαστάσεις θέσεων στάθμευσης υπό γωνία 30°.

- Στάθμευση υπό γωνία 45°: Από το σχήμα που ακολουθεί, παρατηρείται ότι με την αύξηση της γωνίας που σχηματίζεται με το πεζοδρόμιο, αυξάνεται και ο αριθμός των προσφερόμενων θέσεων στάθμευσης. Αν όπου L το μήκος του δρόμου, το πλήθος των θέσεων στάθμευσης N υπολογίζεται από την εξίσωση: $L = 3.54 * N + 1.77$.



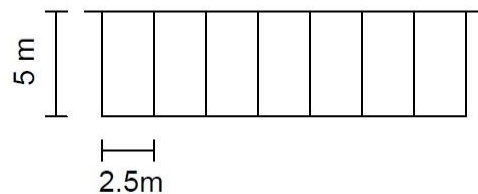
Εικόνα 2.6: Διαστάσεις θέσεων στάθμευσης υπό γωνία 45°.

- Στάθμευση υπό γωνία 60°: Ακολουθώντας την κατεύθυνση κίνησης των οχημάτων, οι θέσεις στάθμευσης τοποθετούνται υπό γωνία εξήντα μοιρών ως προς το πεζοδρόμιο. Οι θέσεις στάθμευσης που προκύπτουν είναι περισσότερες απ' ότι στην περίπτωση της στάθμευσης υπό γωνία 45°. Η εξίσωση υπολογισμού του αριθμού των θέσεων στάθμευσης N , για μήκος οδού L , είναι η ακόλουθη: $L = 2.89 * N + 2.16$.



Εικόνα 2.7: Διαστάσεις θέσεων στάθμευσης υπό γωνία 60°.

- Στάθμευση υπό γωνία 90° ή κάθετη στάθμευση: Η κάθετη στο πεζοδρόμιο στάθμευση αποτελεί τη συνηθέστερη περίπτωση υπό γωνίας στάθμευσης καθώς προσφέρει τον μέγιστο αριθμό θέσεων. Η ορατότητα όμως των οδηγών κατά τον ελιγμό εξόδου από την θέση, είναι ελάχιστη συγκριτικά με τους υπόλοιπους τύπους στάθμευσης. Αν όπου L το μήκος του δρόμου και N ο αριθμός των θέσεων τότε: $L = 2.5 * N$.



Εικόνα 2.8: Διαστάσεις θέσεων κάθετης στάθμευσης.

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι όσο αυξάνεται η γωνία στάθμευσης, τόσο περισσότερο αυξάνονται οι θέσεις που μπορούν να διατεθούν, αλλά ταυτόχρονα μειώνεται η ορατότητα και κατά συνέπεια η οδική ασφάλεια. Για τον λόγο αυτό, η υπό γωνία στάθμευση ενδείκνυται μόνο σε περιπτώσεις όπου ο φόρτος είναι σημαντικά μικρότερος της κυκλοφοριακής ικανότητας της οδού.

Πίνακας 2.3.3: Αριθμός θέσεων ανά είδος στάθμευσης για μήκος οδού 100 μέτρα.

Γωνία Στάθμευσης (σε μοίρες)	Αριθμός Θέσεων Στάθμευσης για μήκος οδού 100 μέτρα
0°	16
30°	19
45°	27
60°	33
90°	40

Από τον Πίνακα 2.3.3 γίνεται αντιληπτό ότι η κάθετη στάθμευση προσφέρει τουλάχιστον διπλάσιο αριθμό θέσεων στάθμευσης από ότι προσφέρει η παράλληλη στάθμευση.

Στην εργασία αυτή, οι τύποι στάθμευσης που επιλέχθηκαν να εξεταστούν είναι η παράλληλη, η κάθετη και η στάθμευση υπό γωνία 45° καθώς αποτελούν τις συνηθέστερες μορφές στάθμευσης. Στους πίνακες 2.3.4 και 2.3.5 ακολουθούν οι ελάχιστες διαστάσεις θέσεων στάθμευσης και οι διαστάσεις για άνετη στάθμευση αντίστοιχα, σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία και τις Γερμανικές οδηγίες.

Πίνακας 2.3.4: Ελάχιστες διαστάσεις θέσεων στάθμευσης και ελάχιστο απαιτούμενο πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας.

Γωνία Στάθμευσης (σε μοίρες)	Ελάχιστες διαστάσεις θέσεων στάθμευσης		Ελάχιστο απαιτούμενο πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας (μέτρα)
	Μήκος (μέτρα)	Πλάτος (μέτρα)	
0°	5.50	2.50	3.00
	5.50	2.00	3.50
45°	2.25	4.50	3.00
	2.50	4.50	2.75
90°	2.25	4.50	5.40
	2.70	4.50	4.50

(Πηγή: Φραντζεσκάκης et al.,2002)

Πίνακας 2.3.5: Διαστάσεις θέσεων για άνετη στάθμευση και απαιτούμενο πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας.

Γωνία Στάθμευσης (σε μοίρες)	Διαστάσεις θέσεων για άνετη στάθμευση		Απαιτούμενο πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας (μέτρα)	Απαιτούμενο πλάτος λωρίδας στάθμευσης (μέτρα)
	Μήκος (μέτρα)	Πλάτος (μέτρα)		
0°	6.00	2.50	3.50	2.50
45°	2.50	4.50	3.00	4.85
90°	2.50	5.00	5.00	5.00

(Πηγή: Φραντζεσκάκης et al.,2002)

Πίνακας 2.3.6: Σύγκριση παράλληλης και υπό γωνίας στάθμευσης.

Είδος Στάθμευσης	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<u>Υπό Γωνία</u>	Δημιουργούνται περισσότερες θέσεις απ' ότι θα συνέβαινε στον ίδιο δρόμο εάν εφαρμοζόταν παράλληλη στάθμευση	Μεγαλύτερη επικινδυνότητα λόγω μειωμένης ορατότητας κατά τον ελιγμό εγκατάλειψης της θέσης στάθμευσης
		Απαιτεί μεγάλο πλάτος δρόμου και κόστος κατασκευής πεζοδρομίου
	Ο ελιγμός εισόδου στην διαθέσιμη θέση απαιτεί πολύ μικρό χρονικό διάστημα	Είναι δύσκολος ο εντοπισμός ελεύθερης θέσης με αποτέλεσμα την απότομη μείωση ταχύτητας του οδηγού και τον αιφνιδιασμό των υπολοίπων οδηγών
<u>Παράλληλη</u>	Ο ελιγμός εγκατάλειψης της θέσης επιβαρύνει λιγότερο το δίκτυο ως προς τη μεταβλητή του χρόνου	Ο ελιγμός εισόδου στην διαθέσιμη θέση απαιτεί περισσότερο χρόνο από την περίπτωση της υπό γωνίας στάθμευσης
	Περισσότερο ασφαλής καθώς παρέχει επαρκή ορατότητα στον οδηγό κατά τον ελιγμό εγκατάλειψης της θέσης στάθμευσης	
	Απαιτεί λιγότερο πλάτος δρόμου	Χειρότερη αξιοποίηση του μήκους της οδού - Δημιουργία μικρότερου αριθμού θέσεων

2.3.3 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΛΩΡΙΔΩΝ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ

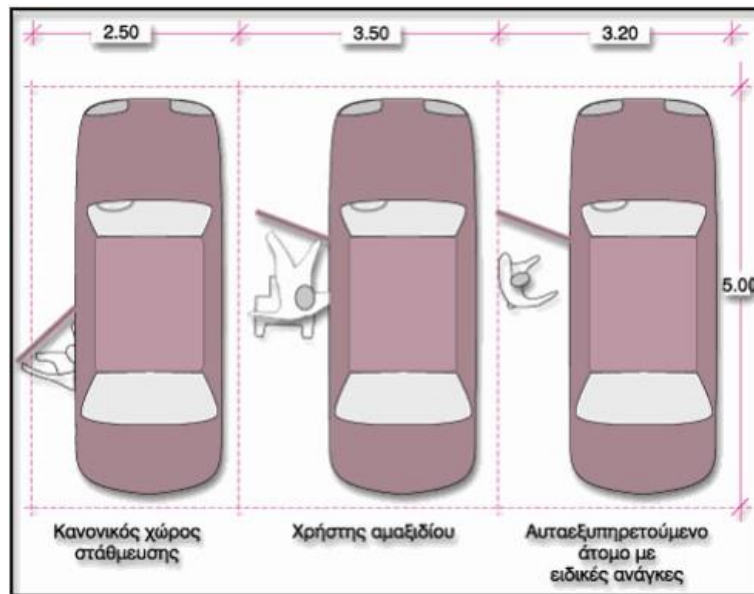
Σε περιοχές όπου έχει επιτραπεί η στάθμευση επί της οδού, παρατηρείται πολύ συχνά λανθασμένη στάθμευση και ακόμη πιο συχνά παράνομη. Για την αποφυγή τέτοιων φαινομένων θα πρέπει αφ' ενός να εφαρμόζεται επαρκής και συστηματική αστυνόμευση, αφ' ετέρου ο σχεδιασμός των θέσεων στάθμευσης επί της οδού να επιβάλλει στους χρήστες του δικτύου τη σωστή στάθμευση. Συγκεκριμένα προτείνεται η επισήμανση των ορίων των θέσεων στάθμευσης επί της οδού με άσπρο ή κίτρινο, κατά την ελληνική νομοθεσία, χρώμα.

Με την εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου, αποφεύγονται φαινόμενα κατάληψης δύο θέσεων στάθμευσης από ένα μόνο όχημα, προεξοχής τμήματος του αυτοκινήτου επί της λωρίδας κίνησης οχημάτων, στάθμευσης επί του χώρου κίνησης των πεζών, στάθμευσης παράπλευρα άλλου σταθμευμένου οχήματος («διπλοπαρκάρισμα»), ενώ εξασφαλίζεται ευχέρεια ελιγμών. Σε μελέτη των Buirge και Morgen που δημοσιεύτηκε το 1957, βρέθηκε μείωση της τάξης του 43% του απαιτούμενου χρόνου για στάθμευση σε σημασμένες θέσεις συγκριτικά με τις μη σημασμένες. Σημειώνεται ότι στη περίπτωση των θέσεων στάθμευσης περιορισμένων διαστάσεων, δεν ενδείκνυται η σήμανση των ορίων τους διότι οι πιθανότητες αντικανονικής στάθμευσης είναι μεγάλες.

Ακόμη θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στις διασταυρώσεις οδών, όπου συχνά παρατηρείται παράνομη στάθμευση επί της γωνίας που σχηματίζει το πεζοδρόμιο, καθώς στην περίπτωση αυτή εμποδίζεται η ορατότητα των οδηγών με αποτέλεσμα τη συχνή εμφάνιση ατυχημάτων. Επομένως, στην περιοχή που ορίζεται ως τρίγωνο ορατότητας, θα πρέπει η κατασκευή της λωρίδας στάθμευσης και του πεζοδρομίου να μην επιτρέπει τη στάθμευση. Το τρίγωνο ορατότητας διαφέρει ανάλογα με την υπό εξέταση διασταύρωση. Στην Ελλάδα ορίζεται κατ' ελάχιστο πέντε μέτρα από την διασταύρωση, ενώ στην Αμερική το κατώτατο όριο που προτείνει η AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) είναι τα έξι μέτρα.

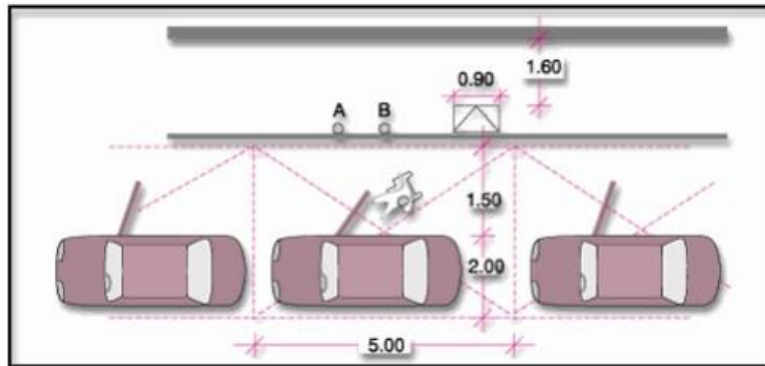
2.3.4 ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΘΕΣΕΙΣ ΑΤΟΜΩΝ ΜΕ ΕΙΔΙΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ

Κατά το στάδιο σχεδιασμού των θέσεων στάθμευσης δεν θα πρέπει να παραληφθεί η κατάλληλη μέριμνα για τις θέσεις στάθμευσης ατόμων με ειδικές ανάγκες (ΑΜΕΑ). Η ελληνική νομοθεσία ορίζει ότι ο αριθμός τους θα πρέπει να αγγίζει το 5% των συνολικών θέσεων του δικτύου, ενώ επίσης προτείνεται να μελετώνται τα στατιστικά στοιχεία της περιοχής ώστε να καλυφθούν σίγουρα οι απαιτήσεις των χρηστών του δικτύου. Οι θέσεις αυτές θα πρέπει να διαφέρουν από τις υπόλοιπες, καθώς όπως φαίνεται στις εικόνες 2.9 και 2.10, οι απαιτούμενες διαστάσεις για την διευκόλυνση των χρηστών είναι μεγαλύτερες. Ακόμη, θα πρέπει να συνοδεύονται από την αντίστοιχη σήμανση επί του οδοστρώματος αλλά και με την ρυθμιστική πινακίδα στάθμευσης P-71 του Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας (εικόνα 2.11).



Εικόνα 2.9: Ελάχιστες διαστάσεις θέσεων κάθετης στάθμευσης για ΑΜΕΑ.

(Πηγή: ΥΠΕΚΑ)



Εικόνα 2.10: Ελάχιστες διαστάσεις θέσεων παράλληλης στάθμευσης για ΑΜΕΑ.

(Πηγή: ΥΠΕΚΑ)



(P - 71)

Χώρος στάθμευσης αποκλειστικά για οχήματα Ατόμων με Αναπηρίες (ΑμεΑ), ύστερα από ειδική άδεια.

Εικόνα 2.11: Ρυθμιστική πινακίδα Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας για ΑΜΕΑ.

(Πηγή: Υπουργείο Μεταφορών και Επικοινωνιών)

2.4 ΓΕΝΕΤΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ

Οι γενετικοί αλγόριθμοι ανήκουν στην κλάση των εξελικτικών αλγορίθμων και έχουν επηρεαστεί σημαντικά από τους μεθευρετικούς. Ενεπνευσμένοι από τη θεωρία εξέλιξης του Δαρβίνου χρησιμοποιούν εργαλεία (τελεστές) μετάλλαξης, διασταύρωσης και επιλογής.

Πρώτο βήμα ενός γενετικού αλγόριθμου αποτελεί η τυχαία (συνήθως) παραγωγή τιμών που αποτελούν πιθανές λύσεις του προβλήματος και ονομάζονται αρχικός πληθυσμός. Κάθε λύση εξετάζεται σύμφωνα με τη συνάρτηση εκτίμησης του μέτρου ικανότητας ως προς το πόσο κοντά οδηγεί στην βέλτιστη λύση. Το μέτρο ικανοποίησης εκφράζεται συνήθως από την τιμή που λαμβάνει η αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος βελτιστοποίησης. Οι πιο ικανές λύσεις επιλέγονται στοχαστικά από τον πληθυσμό, υφίστανται τυχαία μετάλλαξη και ανασυνδυασμό. Δημιουργείται έτσι ένας νέος πληθυσμός που χρησιμοποιείται στην επόμενη επανάληψη της παραπάνω διαδικασίας. Ο αλγόριθμος τερματίζει όταν έχει επιτευχθεί έστω μία από τις παρακάτω συνθήκες :

- Η παραγωγή του απαιτούμενου αριθμού πληθυσμών.
- Η ολοκλήρωση συγκεκριμένου αριθμού επαναλήψεων.
- Εάν έχει παρέλθει συγκεκριμένος χρόνος.
- Εάν ο ρυθμός βελτιστοποίησης των λύσεων γίνει μικρότερος από τον αποδεκτό.

Κυριότερα πλεονεκτήματα των γενετικών αλγορίθμων αποτελούν η ταχύτητά τους, η απλή υλοποίησή τους, οι δυνατότητες παραγωγής υψηλής ποιότητας λύσεων, ταυτόχρονης αναζήτησης σε πολλά σημεία, εύκολης εξέλιξής τους και συνεργασίας τους με άλλα μοντέλα καθώς και το γεγονός ότι δεν απαιτούν περιορισμούς.

Διαθέτουν ωστόσο ορισμένα μειονεκτήματα που θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη. Ανάλογα με την πολυπλοκότητα της συνάρτησης ικανότητας και των συνθηκών τερματισμού, μπορεί να απαιτούνται πολλαπλές ώρες ή και μέρες για την ολοκλήρωσή τους. Επίσης, η επιλογή της τελικής λύσης εξαρτάται από τις υπόλοιπες λύσεις. Επομένως, εάν αναλογιστούμε ότι η αρχική λύση παράγεται τυχαία, γίνεται αντιληπτό ότι εάν η διαδικασία επαναλαμβανόταν, είναι δυνατόν η δεύτερη τελική λύση να προέκυπτε καλύτερη από την πρώτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΘΕΣΕΩΝ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ ΕΠΙ ΤΗΣ ΟΔΟΥ

3.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Η ιδέα ανάπτυξης του μαθηματικού μοντέλου υπολογισμού βέλτιστου αριθμού θέσεων στάθμευσης, προήλθε από το πρόβλημα που μελετήθηκε από τους Ceylan , Baskan , Ozan και Gulhan, με τίτλο «Προσδιορισμός στάθμευσης επί της οδού σε αστικά οδικά δίκτυα με χρήση του μεθευρετικού αλγόριθμου εύρεσης αρμονίας» (Determining On-Street Parking Places in Urban Road Networks Using Meta-Heuristic Harmony Search Algorithm) .

Σκοπός της μελέτης ήταν η ανάπτυξη ενός μοντέλου βελτιστοποίησης που θα αποφασίζει εάν θα επιτραπεί ή όχι η στάθμευση σε κάθε τμήμα του δικτύου. Το πρόβλημα διαμορφώθηκε ως μη γραμμικό πρόβλημα ακέραιου προγραμματισμού μορφής 0 – 1 . Επιλέχθηκε να επιλυθεί στα πλαίσια του Διακριτού Σχεδιασμού Δικτύων (Discrete Network Design Problem), χρησιμοποιώντας τον Αλγόριθμο Εύρεσης Αρμονίας για την επιλογή της βέλτιστης λύσης. Για τον προσδιορισμό των αντιδράσεων των οδηγών στο σχεδιασμό, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό VISUM υπό την θεώρηση κατάστασης ισορροπίας χρηστών (user equilibrium).

Η αρχική μαθηματική διατύπωση του προβλήματος έχει ως εξής:

A	=	το σύνολο των συνδέσμων
M	=	το σύνολο συνδέσμων όπου θα επιτραπεί η στάθμευση επί της οδού
K	=	το σύνολο διαδρομών μεταξύ κόμβων Προέλευσης - Προορισμού
R	=	το σύνολο κόμβων Προέλευσης
S	=	το σύνολο κόμβων Προορισμού
c_a	=	η χωρητικότητα συνδέσμου
D_{rs}	=	η ζήτηση ανάμεσα σε κόμβο προέλευσης r και κόμβο προορισμού s
f_{rs}^k	=	ο φόρτος διαδρομής k
L_a	=	το μήκος συνδέσμου a
t_a^o	=	ο χρόνος ελεύθερης ροής στο σύνδεσμο a
t_a	=	ο χρόνος διαδρομής στο σύνδεσμο a
v_a	=	ο φόρτος του συνδέσμου a
α	=	συντελεστής ποινής
$\delta_{a,k}^{rs}$	=	$\left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ αν η διαδρομή } k \text{ χρησιμοποιεί το σύνδεσμο } a \\ 0, \text{ αν η διαδρομή } k \text{ δεν χρησιμοποιεί το σύνδεσμο } a \end{array} \right.$

Ο καθορισμός των συνδέσμων που θα επιτραπεί η στάθμευση προκύπτει από την μεγιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης :

$$\max \sum_{i=1}^m u_i l_i$$

Υπό τον περιορισμό :

$$\frac{v_m}{c_m} \leq 1 \quad (\forall m \in M)$$

Όπου u $\left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ αν ο σύνδεσμος } m \text{ θα διαθέτει παρόδια στάθμευση} \\ 0, \text{ διαφορετικά} \end{array} \right.$

Γίνεται δηλαδή η προσπάθεια μεγιστοποίησης του αθροίσματος των μηκών των συνδέσμων όπου θα επιτραπεί η στάθμευση επί της οδού, υπό τον περιορισμό ότι ο φόρτος του κάθε συνδέσμου δεν θα μπορεί να ξεπερνά την χωρητικότητα, ώστε να αποφευχθεί το ενδεχόμενο κατάρρευσης του δικτύου.

Ο υπολογισμός των φόρτων των συνδέσμων, προκύπτει από το ακόλουθο πρόβλημα:

$$\min_x Z = \sum_{a \in A} \int_0^{v_a} t_a(x) dx$$

Υπό τους εξής περιορισμούς :

$$\begin{aligned} \sum_{k \in K} f_k^{rs} &= D_{rs} & \forall r \in R, \quad s \in S, \quad k \in K_{rs} \\ v_a &= \sum_{rs} \sum_{k \in K} f_k^{rs} & \forall r \in R, \quad s \in S, \quad a \in A, \quad k \in K_{rs} \\ f_k^{rs} &\geq 0 & \forall r \in R, \quad s \in S, \quad k \in K_{rs} \end{aligned}$$

Ο πρώτος περιορισμός δηλώνει ότι θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί όλη η ζήτηση. Ο δεύτερος περιορισμός τοποθετεί στο φόρτο του κάθε συνδέσμου που συμμετέχει στην διαδρομή τη ζήτηση της διαδρομής, ενώ ο τρίτος περιορισμός εξασφαλίζει ότι οι φόρτοι των διαδρομών είναι μη αρνητικοί αριθμοί.

Το πρώτο βήμα επίλυσης του αλγόριθμου βελτιστοποίησης είναι ο καθορισμός των αρχικών παραμέτρων του αλγορίθμου εύρεσης αρμονίας και ο ορισμός του κριτηρίου τερματισμού.

Επόμενο βήμα αποτελεί η εισαγωγή μιας αρχικής λύσης που αποτελείται από τυχαία επιλογή τιμών 0 – 1. Ύστερα υπολογίζονται οι φόρτοι των συνδέσμων μέσω του εργαλείου προσομοίωσης του λογισμικού VISUM. Για να ελεγχθεί η περίπτωση υπέρβασης της χωρητικότητας από το φόρτο του συνδέσμου, ορίζεται η συνάρτηση :

$$G_i(v_i) = \begin{cases} a, & \text{αν } (v_i/c_i) > 1, \quad i \in M \\ 0, & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

και το πρόβλημα διαμορφώνεται ως εξής :

$$\max \left(\sum_{i=1}^m u_i l_i - G_i(v_i) \right)$$

Τρίτο βήμα αποτελεί η παραγωγή νέων τιμών 0 – 1 (τιμές μεταβλητών απόφασης), από τον αλγόριθμο εύρεσης αρμονίας. Έπειτα υπολογίζονται νέες τιμές των φόρτων των συνδέσμων και προκύπτει νέα λύση του προβλήματος η οποία συγκρίνεται με την προηγούμενη. Αν η νέα λύση είναι καλύτερη από την παλιά, επιλέγεται η νέα λύση.

Το τέταρτο βήμα είναι ο έλεγχος της συνθήκης τερματισμού και σε περίπτωση που δεν ικανοποιείται, η διαδικασία επαναλαμβάνεται για τα βήματα τρία και τέσσερα. Διαφορετικά ο αλγόριθμος τερματίζει.

Για τον υπολογισμό των χρόνων διαδρομής των συνδέσμων προτάθηκε η χρήση της συνάρτησης του Bureau of Public Roads (BPR) – Federal Highway Administration :

$$t_i = t_i^0 \left[1 + 0.15 \left(v_i / c_i \right)^4 \right]$$

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)

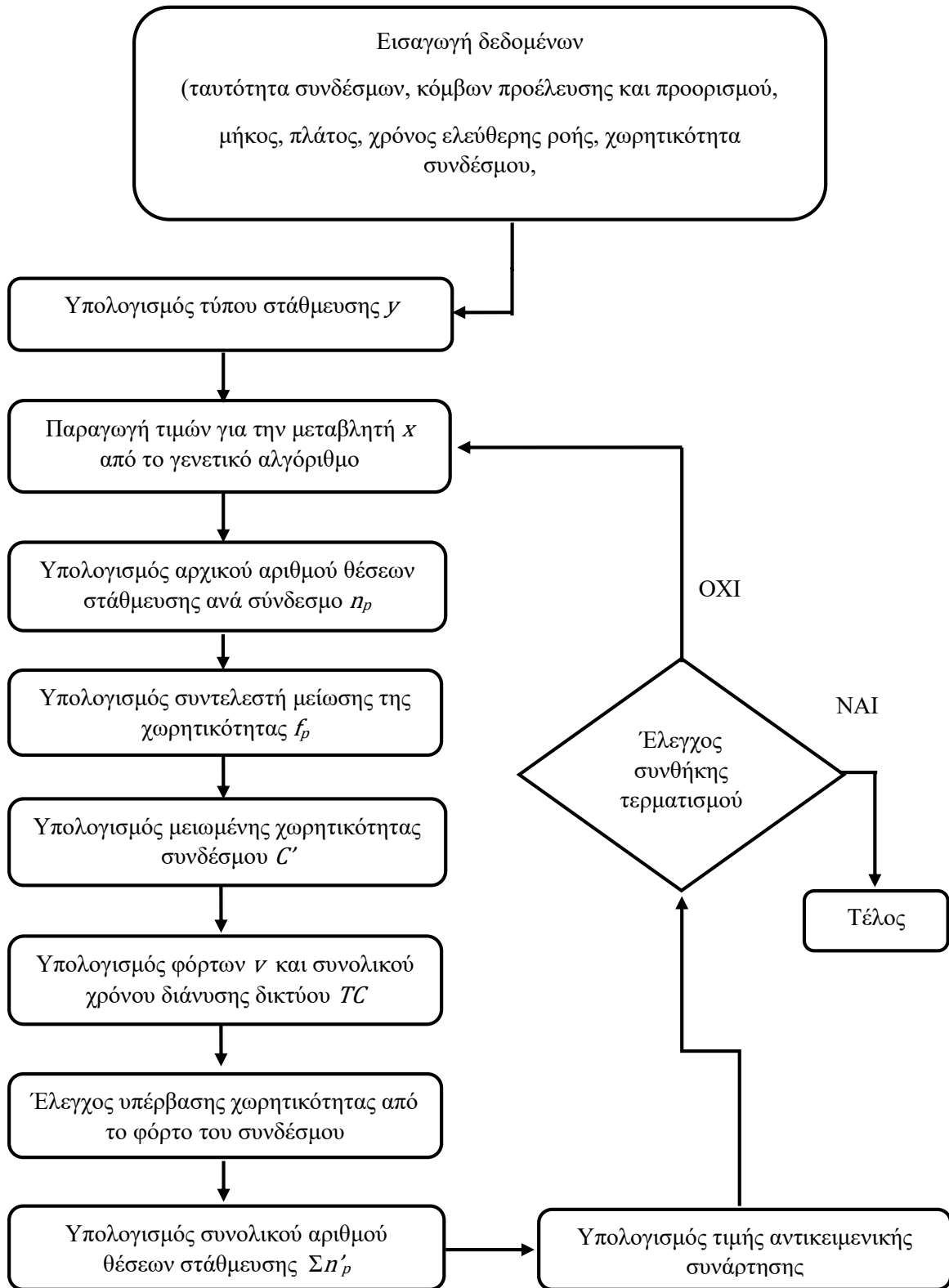
Από την αναλυτική διατύπωση του μοντέλου που πρότειναν οι Ceylan, Baskan, Ozan και Gulhan, γίνεται αντιληπτό ότι δεν έχει ληφθεί υπ' όψη η μείωση της χωρητικότητας των συνδέσμων που επιφέρει η στάθμευση επί της οδού. Η παράμετρος μείωσης της χωρητικότητας είναι εξαιρετικά σημαντικό να συμπεριλαμβάνεται σε κάθε επανάληψη αναζήτησης της βέλτιστης λύσης, διότι κάθε φορά που επιτρέπεται σε μέρος των συνδέσμων η παρόδια στάθμευση, η χωρητικότητα μειώνεται σημαντικά, με πιθανό αποτέλεσμα την αδυναμία εξυπηρέτησης των υπολογισμένων φόρτων των συνδέσμων. Εξίσου σημαντικό μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι δεν συμπεριλήφθηκαν στο μοντέλο οι καθυστερήσεις που προκύπτουν από τους ελιγμούς των οχημάτων που χρησιμοποιούν τις θέσεις στάθμευσης, με αποτέλεσμα να θεωρείται ανεπηρέαστη

η κίνηση των υπόλοιπων οχημάτων και να γίνεται λανθασμένη εκτίμηση των χρόνων διαδρομής.

3.2 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Όπως ανέφεραν οι συγγραφείς της μελέτης που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο υπό-κεφάλαιο, το προτεινόμενο μοντέλο δεν συμπεριλάμβανε τις καθυστερήσεις που προκύπτουν από τις μανούβρες των οχημάτων που χρησιμοποιούν τις θέσεις στάθμευσης, με αποτέλεσμα να δημιουργείται η ανάγκη ανάπτυξης ενός μοντέλου το οποίο θα προσφέρει περισσότερο ρεαλιστικά αποτελέσματα. Στην ενότητα αυτή, επιχειρείται η διαμόρφωση ενός τέτοιου μοντέλου. Συγκεκριμένα, το μοντέλο που θα αναπτυχθεί όχι μόνο θα παρέχει τη δυνατότητα καθορισμού των συνδέσμων του δικτύου όπου θα θεωρείται βέλτιστη η χωροθέτηση θέσεων στάθμευσης επί της οδού, αλλά θα επιλέγει και τον τύπο στάθμευσης σύμφωνα με τις καθυστερήσεις που επιφέρουν η παράλληλη και η υπό γωνία στάθμευση.

Τα βήματα επίλυσης του μοντέλου τα οποία θα αναλυθούν στην συνέχεια, παρουσιάζονται συνοπτικά στο διάγραμμα ροής που ακολουθεί:



Εικόνα 3.1: Διάγραμμα ροής μοντέλου βέλτιστης χωροθέτησης θέσεων στάθμευσης επί της οδού.

3.2.1 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Έστω ένα τυχαίο δίκτυο σε αστική περιοχή στο οποίο είναι επιθυμητό να επιτραπεί η στάθμευση επί της οδού για επιβατικά αυτοκίνητα. Το δίκτυο διαθέτει συνδέσμους διπλής κατεύθυνσης με γνωστή χωρητικότητα, μήκος και χρόνους ελεύθερης ροής. Δεδομένα αποτελούν επίσης ο Πίνακας Προέλευσης – Προορισμού των μετακινήσεων του δικτύου και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των οδών (πλάτος ή και αριθμός λωρίδων) .

Αρχικά, πρέπει να βρεθούν οι σύνδεσμοι των οποίων το πλάτος και ο αριθμός λωρίδων επαρκεί για να τοποθετηθούν λωρίδες στάθμευσης. Για την κατασκευή λωρίδας στάθμευσης και την ταυτόχρονη εξυπηρέτηση των κινούμενων οχημάτων, απαιτούνται σύνδεσμοι με τουλάχιστον δύο λωρίδες. Στην Ελλάδα παρατηρείται μέσο πλάτος λωρίδων παράλληλης στάθμευσης 2,1 μέτρα, δηλαδή ελάχιστα μεγαλύτερο από το μέσο πλάτος επιβατικών αυτοκινήτων (1,8 μέτρα). Στα πλαίσια του ορθολογικού σχεδιασμού λωρίδων στάθμευσης επί της οδού, με στόχο την διευκόλυνση των οδηγών κατά την εκτέλεση ελιγμών (κυρίως σε περιόδους που παρατηρούνται φόρτοι αιχμής), αλλά και την μεγαλύτερη άνεση των οδηγών που κινούνται στην παράπλευρη λωρίδα (λωρίδα κυκλοφορίας), σύμφωνα με τις γερμανικές οδηγίες οι οποίες εφαρμόζονται και στην Ελλάδα, θεωρείται ελάχιστο αποδεκτό πλάτος λωρίδας παράλληλης στάθμευσης, τα 2,5 μέτρα. Στην περίπτωση της κάθετης στάθμευσης, οι απαιτήσεις είναι ακόμα μεγαλύτερες καθώς το ελάχιστο πλάτος θέσης στάθμευσης είναι 5 μέτρα. Το πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας θεωρείται ίσο με 3,5 μέτρα.

Επιλέγοντας την περίπτωση της άνετης στάθμευσης, σύμφωνα με το υποκεφάλαιο 2.3, θα ισχύει ότι:

$$\text{αν } w = \begin{cases} < 6 \text{ m} , \text{δεν επιτρέπεται η στάθμευση} \\ 6 \leq w < 8.35 \text{ m} , \text{επιτρέπεται η παράλληλη στάθμευση} \\ 8.35 \leq w < 10 \text{ m} , \text{επιτρέπεται η στάθμευση υπό γωνία } 45^\circ \\ \geq 10 \text{ m} , \text{επιτρέπεται η κάθετη στάθμευση} \end{cases}$$

όπου w , το πλάτος του συνδέσμου.

(Σχέση 3.1)

Δεύτερη προϋπόθεση αποτελεί η δυνατότητα του συνδέσμου να εξυπηρετεί τον αναμενόμενο φόρτο ώστε να αποφευχθεί η κατάρρευση του δικτύου. Επομένως θα πρέπει η νέα μειωμένη χωρητικότητα του συνδέσμου, να εξακολουθεί να είναι μεγαλύτερη από τον υπολογισμένο φόρτο. Δηλαδή θα πρέπει να ισχύει:

$$\frac{v_i}{c_i} < 1 , \text{ όπου } i \text{ ο σύνδεσμος του δικτύου}$$

(Σχέση 3.2)

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2, στην περίπτωση της υπό γωνίας στάθμευσης απαιτείται ο φόρτος να είναι σημαντικά μικρότερος της χωρητικότητας. Δηλαδή θα πρέπει να ισχύει :

$$\begin{cases} \frac{v_i}{c_i} < 1.0 , & \text{αν η στάθμευση είναι παράλληλη} \\ \frac{v_i}{c_i} < 0.6 , & \text{αν η στάθμευση είναι υπό γωνία} \end{cases}$$

(Σχέση 3.3)

Επίσης, το μοντέλο θα πρέπει να παρέχει τη δυνατότητα καθορισμού της κατηγορίας του δρόμου, καθώς εάν θεωρείται αρτηρία, η στάθμευση θα πρέπει να απαγορεύεται ρητά.

$$\text{Συντελεστής κατηγορίας δρόμου } f_{st} = \begin{cases} 0, & \text{εάν ο δρόμος είναι αρτηρία} \\ 1, & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

(Σχέση 3.4)

Ύστερα από το στάδιο συμπλήρωσης των δεδομένων, τα στοιχεία που γνωρίζουμε για τους συνδέσμους είναι : ο κωδικός τους (ID) , το μήκος, το πλάτος, προαιρετικά ο αριθμός των λωρίδων, οι κόμβοι Προέλευσης και Προορισμού που συνδέουν, και η χωρητικότητα τους πριν τη τοποθέτηση λωρίδων στάθμευσης. Θα πρέπει συνεπώς να εκτιμηθούν οι νέες χωρητικότητες, και οι φόρτοι κάθε συνδέσμου από τους φόρτους διαδρομής που δίνονται από το Πίνακα Προέλευσης – Προορισμού. Για τον υπολογισμό των φόρτων των συνδέσμων, θα λυθεί το πρόβλημα καταμερισμού κυκλοφορίας υπό τη θεώρηση ισορροπίας χρηστών, ενώ για την εκτίμηση της μείωσης της χωρητικότητας κάθε συνδέσμου προτείνονται δύο εξισώσεις που θα αναλυθούν στη συνέχεια.

3.2.2 ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΥΠΟ ΤΗΝ ΘΕΩΡΗΣΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ ΧΡΗΣΤΩΝ

Ο πιο συνηθισμένος αλγόριθμος επίλυσης προβλημάτων καταμερισμού κυκλοφορίας σε κατάσταση ισορροπίας χρηστών, είναι ο αλγόριθμος Frank – Wolfe. Οι λόγοι για τους οποίους προτιμάται είναι η εύκολη εφαρμογή του και η μικρή απαίτηση μνήμης ακόμα και για μεγάλα δίκτυα.

Ο αλγόριθμος ξεκινά με μία αρχική εφικτή λύση που παράγεται μέσω του καταμερισμού όλα ή τίποτα : για κάθε σύνδεσμο ο φόρτος θεωρείται ίσος με μηδέν και υπολογίζεται ο χρόνος διαδρομής του. Με την εφαρμογή του αλγόριθμου Dijkstra, υπολογίζονται οι συντομότερες διαδρομές για κάθε ζεύγος Προέλευσης – Προορισμού και γίνεται ο καταμερισμός της ζήτησης

για κάθε συντομότερη διαδρομή. Οι φόρτοι κάθε διαδρομής κατανέμονται σε κάθε σύνδεσμο που συμμετέχει σε αυτή.

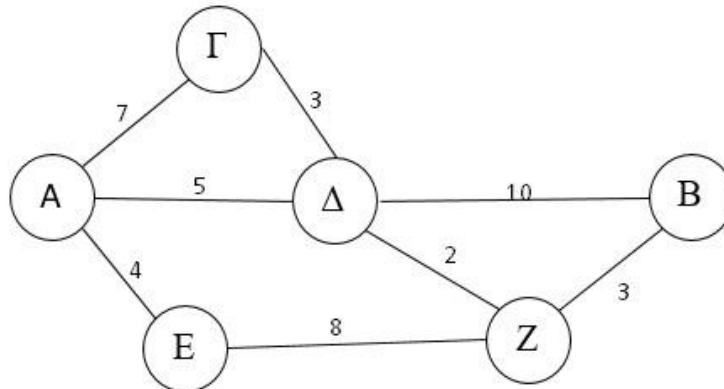
Δεύτερο βήμα αποτελεί η ανανέωση των χρόνων διαδρομής των συνδέσμων μέσω της συνάρτησης BPR και η επανάληψη του καταμερισμού όλα ή τίποτα όπου θέτονται οι βοηθητικές ροές ίσες με μηδέν, βρίσκονται οι συντομότερες διαδρομές με χρήση των ανανεωμένων χρόνων διαδρομής που υπολογίστηκαν προηγουμένως, και κατανέμεται η ζήτηση κάθε διαδρομής στους βοηθητικούς φόρτους των αντίστοιχων συνδέσμων της. Ύστερα γίνεται ανανέωση των φόρτων όλων των συνδέσμων, κατά την οποία υπολογίζεται η διαφορά κάθε φόρτου από τον αντίστοιχο βοηθητικό, και προστίθεται στο φόρτο του συνδέσμου.

Η διαδικασία από το δεύτερο βήμα επαναλαμβάνεται μέχρι να ισχύσει η συνθήκη τερματισμού. Τέλος υπολογίζεται ο συνολικός φόρτος του δικτύου και το συνολικό κόστος σε οχηματοώρες.

(Ο αλγόριθμος επίλυσης του προβλήματος καταμερισμού κυκλοφορίας σε κατάσταση ισορροπίας χρηστών, γράφτηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Python και βρίσκεται στο Παράρτημα.)

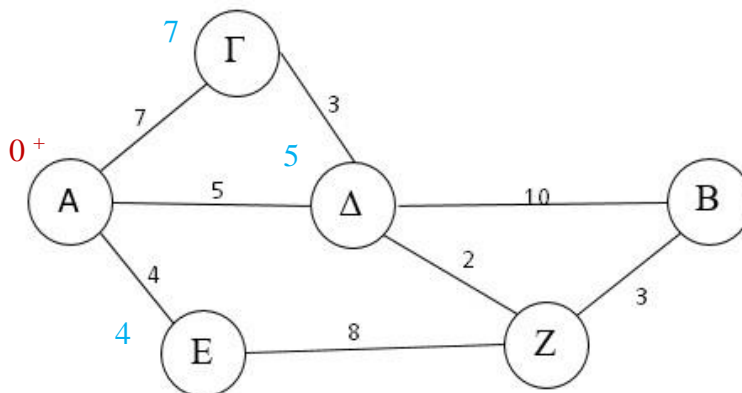
3.2.3 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ DIJKSTRA

Ο αλγόριθμος Dijkstra είναι ένας αλγόριθμος εύρεσης συντομότερων διαδρομών από ένα κόμβο - αφετηρία (κόμβος Προέλευσης) προς ένα κόμβο - προορισμό, αποδίδοντας κόστη (ή αλλιώς βάρη) σε κάθε πιθανή διαδρομή. Τα κόστη έχουν τιμή αυστηρά μη αρνητική. Συνθέτοντας τα κόστη κάθε μέλους της διαδρομής, υπολογίζει το συνολικό κόστος κάθε πιθανής διαδρομής, τα συγκρίνει και επιλέγει εκείνη με το μικρότερο κόστος ως την συντομότερη. Για να γίνει ο αλγόριθμος περισσότερο κατανοητός, παρατίθεται το παρακάτω παράδειγμα :

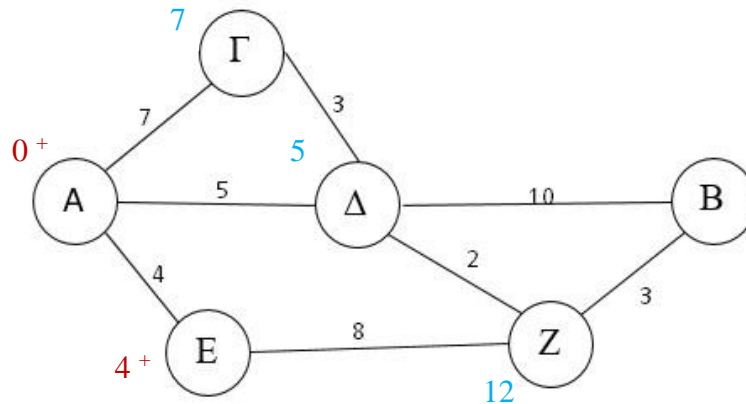


Έστω ένα δίκτυο που παρουσιάζει τη παραπάνω μορφή, με αφετηρία τον κόμβο A και προορισμό τον κόμβο B. Ο κόμβος A είναι ο κόμβος Προέλευσης και ο κόμβος B ο κόμβος Προορισμού. Οι υπόλοιποι είναι απλώς ενδιάμεσοι κόμβοι. Οι γραμμές που συνδέουν τους κόμβους είναι οι σύνδεσμοι του δικτύου και τα νούμερα που βρίσκονται δίπλα τους είναι τα αντίστοιχα κόστη τους. Τα κόστη αντιπροσωπεύουν τους χρόνους διαδρομής των συνδέσμων. Τα βήματα που θα ακολουθήσει ο αλγόριθμος είναι τα εξής :

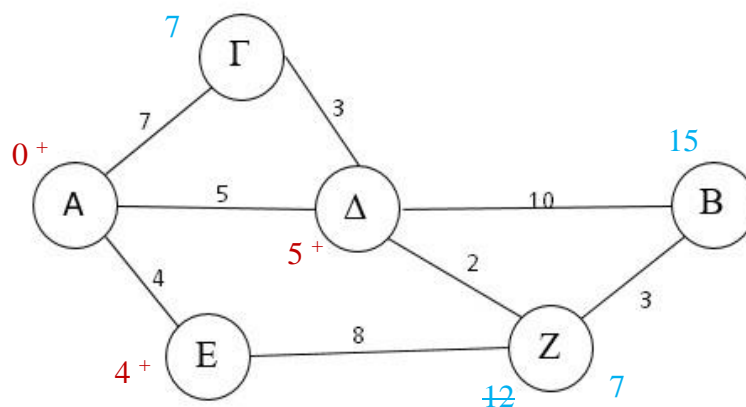
- Αφετηρία αποτελεί ο κόμβος A και συνεπώς το κόστος μέχρι τώρα είναι μηδενικό. Για τον λόγο αυτό δίπλα στον κόμβο σημειώνεται η τιμή 0.
- Επόμενο βήμα είναι από τις πιθανές διαδρομές, να βρεθεί εκείνη με το μικρότερο κόστος. Οι πιθανές διαδρομές στο σημείο αυτό είναι προς τους κόμβους Γ, Δ, E και τα κόστη είναι 7, 5, 4 αντίστοιχα. Οι αριθμοί αυτοί σημειώνονται δίπλα από τον αντίστοιχο κόμβο.



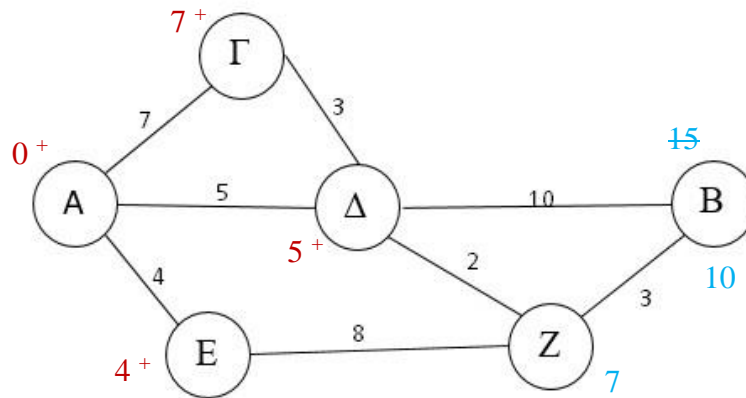
Η συντομότερη διαδρομή είναι προς το κόμβο E. Από τον κόμβο E, ο επόμενος είναι ο κόμβος Z δίπλα στον οποίο γράφεται το κόστος του E (4) συν το κόστος από τον κόμβο E μέχρι το κόμβο Z (8). Σημειώνεται δηλαδή ο αριθμός 12. Από τον κόμβο E δεν υπάρχουν άλλες διαδρομές, άρα θεωρείται ότι «κλείδωσε» και για το λόγο αυτό τοποθετείται το σύμβολο “+” δίπλα από το κόστος του.



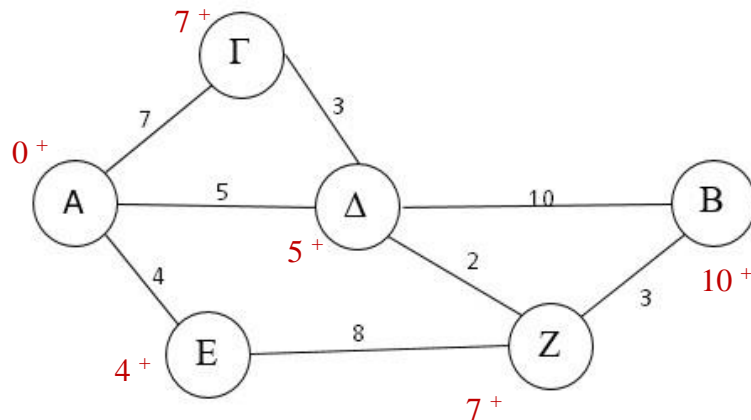
- Οι διαδρομές που απομένουν είναι προς το κόμβο Γ με κόστος 7, προς τον κόμβο Δ με κόστος 5 και προς το κόμβο Z με κόστος 12. Επιλέγεται η διαδρομή με κόστος 5 η οποία θεωρείται η συντομότερη για τον κόμβο Δ. Από τον κόμβο Δ, οι επόμενες διαδρομές είναι προς τον κόμβο Γ με κόστος $5+3=8$, προς τον κόμβο B με κόστος $5+10=15$, και προς τον κόμβο Z με κόστος $5+2=7$. Το κόστος από το κόμβο Δ προς τον κόμβο Γ (8) είναι μεγαλύτερο απ' ό,τι από τον κόμβο A στον κόμβο Γ (7), οπότε κρατάμε την τιμή 7. Αντίστοιχα για τον κόμβο Z κρατάμε την τιμή 7, δηλαδή την διαδρομή A-Δ-Z. Ο κόμβος Δ «κλειδώνει».



- Οι διαδρομές που έχουν απομείνει προς κόμβους που δεν έχουν κλειδώσει είναι από τον κόμβο A προς τον κόμβο Γ με κόστος 7, από τον κόμβο A στον κόμβο Z με κόστος 7 και από τον κόμβο A στον κόμβο B με κόστος 15. Επιλέγεται είτε η διαδρομή προς τον κόμβο Γ είτε προς τον κόμβο Z αφού έχουν ίδιο κόστος. Έστω ότι επιλέγεται πρώτη η διαδρομή Γ με κόστος 7. Από τον κόμβο αυτό δεν υπάρχει διαδρομή προς κόμβο που δεν έχει κλειδώσει, οπότε πλέον θεωρείται κλειδωμένος και ο κόμβος Γ.



- Απομένουν οι διαδρομές από το A προς τον Z και από τον A προς τον B. Όπως και πριν, η διαδρομή προς το Z έχει χαμηλότερο κόστος (7) οπότε επιλέγεται ο κόμβος Z. Από τον κόμβο αυτό, η μόνη διαδρομή που υπάρχει προς κόμβο που δεν έχει ήδη κλειδώσει είναι προς τον κόμβο B με συνολικό κόστος $7+3=10$. Το κόστος αυτό είναι μικρότερο από το κόστος της διαδρομής $A \rightarrow \Delta \rightarrow B$ που είχε την τιμή 15, και συνεπώς προτιμάται η τιμή 10. Ο κόμβος Z «κλειδώνει».
- Η μόνη διαδρομή που έχει απομείνει είναι η διαδρομή προς τον κόμβο B μέσω του κόμβου Z με κόστος 10. Ο κόμβος B «κλειδώνει» και έχει βρεθεί η συντομότερη διαδρομή προς αυτόν. Ο αλγόριθμος τερματίζει.



Οι συντομότερες διαδρομές που προέκυψαν με τα αντίστοιχα κόστη είναι:

- A -> Γ , κόστος : 7
- A -> Δ , κόστος : 5
- A -> E , κόστος : 4
- A -> Δ -> Z , κόστος : 7
- A -> Δ -> Z -> B , κόστος: 10

Η συντομότερη διαδρομή από τον κόμβο A προς τον κόμβο B είναι η διαδρομή A -> Δ -> Z -> B με κόστος 10.

3.2.4 ΕΙΣΩΣΕΙΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΜΕΙΩΣΗΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΛΟΓΩ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ

Το Highway Capacity Manual προτείνει τον υπολογισμό της χωρητικότητας από την ακόλουθη εξίσωση :

$$C = 1800 * f_w * f_{HV}$$

(Εξίσωση 3.5)

Όπου :

C , η χωρητικότητα της οδού

f_w , ο συντελεστής προσαρμογής λόγω πλάτους λωρίδας (w) :

$$f_w = 1 + \frac{w - 3.60}{9.00}$$

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

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

Σε περίπτωση που επιτρέπεται η στάθμευση επί της οδού, η εξίσωση 3.5 διαμορφώνεται ως εξής :

$$C = 1800 * f_w * f_{HV} * f_P$$

(Εξίσωση 3.6)

Όπου :

f_P , ο συντελεστής μείωσης της χωρητικότητας λόγω στάθμευσης επί της οδού

Η εκτίμηση του συντελεστή f_P , μπορεί να γίνει από τον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 3.2.1: Συντελεστής μείωσης χωρητικότητας σύμφωνα με το HCM.

Αριθμός λωρίδων N	Αριθμός μανούβρων ανά ώρα, N_m				
	0	10	20	30	40
1	0,900	0,850	0,800	0,750	0,700
2	0,950	0,925	0,900	0,875	0,850
3	0,967	0,950	0,933	0,917	0,900

(Πηγή: Transportation Research Board, 2000)

Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο τύπος :

$$f_p = \frac{N - 0.1 - \frac{18N_M}{3600}}{N} \geq 0.5$$

(Εξίσωση 3.7)

Όπου :

N , ο αριθμός των παρακείμενων λωρίδων στην λωρίδα στάθμευσης (λωρίδες κυκλοφορίας)

N_M , ο αριθμός των μανούβρων ανά ώρα σε απόσταση 75 μέτρων από τη διασταύρωση

Η εξίσωση 3.7 ισχύει στην περίπτωση περισσοτέρων λωρίδων καθώς και στην περίπτωση περισσότερων μανούβρων από όσες παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2.1. Εάν απαγορεύεται η στάθμευση, ο συντελεστής f_p λαμβάνει την τιμή 1.

Για τον υπολογισμό των μανούβρων υπενθυμίζεται ότι ένα όχημα εκτελεί μία μανούβρα κατά την είσοδο στην θέση στάθμευσης και μία μανούβρα κατά την εγκατάλειψή της. Αν ο δρόμος είναι μονής κατεύθυνσης τότε χρησιμοποιείται το άθροισμα των μανούβρων που εκτελούνται στις δύο πλευρές του. Σε περίπτωση που ο αριθμός των μανούβρων ανά ώρα ξεπερνά τις 180, το HCM προτείνει να χρησιμοποιείται ο αριθμός 180 ως ανώτατο όριο. Εάν είναι αδύνατη η μέτρηση των μανούβρων στο πεδίο τότε για τον υπολογισμό τους συνιστάται να χρησιμοποιούνται ο αριθμός των θέσεων στάθμευσης σε απόσταση 80 μέτρων από την διασταύρωση (θεωρώντας ότι η κάθε θέση έχει μήκος 8 μέτρα), και ο δείκτης εναλλαγής. Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν δεδομένα για την περιοχή, δίνονται προκαθορισμένες τιμές για τον αριθμό των μανούβρων από τον πίνακα 3.2.2, θεωρώντας ότι το ποσοστό κατάληψης των θέσεων είναι 80%.

Πίνακας 3.2.2: Προκαθορισμένες τιμές μανούβρων από το HCM.

Είδος δρόμου	Αριθμός θέσεων σε απόσταση 80 μέτρων	Διάρκεια στάθμευσης (ώρες)	Ωριαία εναλλαγή	Μανούβρες ανά ώρα
Μονόδρομος	10	1.0	1.0	16
		2.0	0.5	8
Διπλής κατεύθυνσης	20	1.0	1.0	32
		2.0	0.5	16

(Πηγή: Transportation Research Board, 2000)

Η λογική υπό την οποία αναπτύχθηκε η εξίσωση 3.7 είναι ότι η μέση καθυστέρηση που προκαλείται από τις μανούβρες στάθμευσης είναι ίση με 18 δευτερόλεπτα. Επίσης σημειώνεται ότι η εξίσωση αναφέρεται μόνο στην περίπτωση μείωσης της χωρητικότητας από τις μανούβρες στάθμευσης που εκτελούνται σε απόσταση 75-80 μέτρων από την εξεταζόμενη διασταύρωση θεωρώντας ότι η κάθε θέση στάθμευσης έχει 8 μέτρα μήκος. Συνεπώς, η εξίσωση 3.7 θα πρέπει να αναπτυχθεί περαιτέρω προκειμένου να μπορεί να εκτιμηθεί η χωρητικότητα για το υπόλοιπο τμήμα της οδού επί της οποίας εφαρμόζεται η στάθμευση, καθώς και η μείωσή της ανάλογα με τις μανούβρες διαφορετικών τύπων στάθμευσης (Wijayaratna και Wijayaratna, 2014).

Οι Wijayaratna και Wijayaratna πρότειναν ένα διαφορετικό τύπο υπολογισμού του συντελεστή μείωσης της χωρητικότητας λόγω στάθμευσης επί της οδού. Επισήμαναν ότι ο προτεινόμενος τύπος από το HCM θα πρέπει να τροποποιηθεί ώστε η μείωση της χωρητικότητας να εξαρτάται άμεσα όχι μόνο από τις μανούβρες στάθμευσης αλλά και από την εναλλαγή στάθμευσης. Θεωρούν ότι η εναλλαγή στάθμευσης αποτελεί έναν εξαιρετικά σημαντικό παράγοντα στην μείωση της χωρητικότητας, καθώς εκφράζει την διαθεσιμότητα των θέσεων για στάθμευση και κατά συνέπεια το χρόνο που θα πρέπει να δαπανηθεί προκειμένου να βρεθεί ελεύθερη θέση. Υπέθεσαν ότι η διαταραχή που προκαλείται στην κυκλοφοριακή ροή όταν ένα όχημα μειώνει την ταχύτητά του ή σταματά πλήρως επειδή ο φωτεινός σηματοδότης έγινε πορτοκαλί ή κόκκινος αντίστοιχα, είναι ανάλογη με την διαταραχή που προκαλείται όταν τα οχήματα στην λωρίδα κυκλοφορίας αναγκάζονται να ελαττώσουν ταχύτητα ή να σταματήσουν εξ' αιτίας των ελιγμών που εκτελούν τα οχήματα της λωρίδας στάθμευσης.

Στην περίπτωση όπου εφαρμόζεται σηματοδότηση, η κυκλοφοριακή ικανότητα της εξεταζόμενης πρόσβασης υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$C = s * \frac{g}{c}$$

(Εξίσωση 3.8)

Όπου :

s , η ροή κορεσμού (ΜΕΑ/διάρκεια πρασίνου)

g , ο χρόνος ενεργού πρασίνου (δευτερόλεπτα)

c , η διάρκεια του κύκλου της φωτεινής σηματοδότησης (δευτερόλεπτα)

C , η κυκλοφοριακή ικανότητα (οχήματα/ώρα)

Επομένως, στην εξίσωση 3.8 ο συντελεστής μείωσης της χωρητικότητας είναι ο λόγος ενεργού πρασίνου προς την διάρκεια του κύκλου της φωτεινής σηματοδότησης. Θεωρώντας διάρκεια κύκλου φωτεινής σηματοδότησης ίση με μία ώρα (3600 δευτερόλεπτα), ορίζεται χρόνος διακοπής κυκλοφορίας T_P , ο συνολικός χρόνος που δαπανείται από τα οχήματα κατά τις μανούβρες εισόδου και εξόδου από την θέση στάθμευσης, για τον οποίο ισχύει :

$$T_P = N_P * N_T * (t_{PI} + kt_{PO})$$

(Εξίσωση 3.9)

Όπου :

N_P , ο αριθμός των θέσεων στάθμευσης

N_T , η εναλλαγή στάθμευσης

t_{PI} , ο χρόνος που δαπανήθηκε για την μανούβρα εισόδου

t_{PO} , ο χρόνος που δαπανήθηκε για την μανούβρα εξόδου

k , ο συντελεστής μείωσης του χρόνου εξόδου από τη θέση στάθμευσης

και χρόνος ενεργού πρασίνου = $(3600 - T_p)$.

Κατά συνέπεια, η εξίσωση υπολογισμού του συντελεστή μείωσης της χωρητικότητας θα είναι η ακόλουθη :

$$f_p = \frac{[3600 - N_p * N_T * (t_{pI} + kt_{pO})]}{3600}$$

(Εξίσωση 3.10)

Ο συντελεστής k εκφράζει το ποσοστό κατά το οποίο ο χρόνος εκτέλεσης της μανούβρας εγκατάλειψης της θέσης στάθμευσης εμποδίζει τη κυκλοφορία. Στην περίπτωση που οι οδηγοί έχουν πλήρη ορατότητα και επιλέγουν διάκενο το οποίο διαρκεί περισσότερο από την μανούβρα εγκατάλειψης της θέσης στάθμευσης, όπως θα μπορούσε να συμβαίνει στην περίπτωση της παράλληλης στάθμευσης, ο συντελεστής k λαμβάνει την τιμή 0 και η εξίσωση γράφεται ως εξής :

$$f_p = 1 - \frac{N_p * N_T * t_{pI}}{3600}$$

(Εξίσωση 3.11)

Στην περίπτωση της υπό γωνίας στάθμευσης, παρά το γεγονός ότι η εφαρμογή της προτείνεται μόνο σε περιπτώσεις όπου ο φόρτος είναι σημαντικά μικρότερος της χωρητικότητας, εξ' αιτίας της μειωμένης ορατότητας κατά την εγκατάλειψη της θέσης στάθμευσης, αναμένονται συχνές διαταραχές στην ροή της λωρίδας κυκλοφορίας. Για την εφαρμογή του μοντέλου που θα παρουσιαστεί στο κεφάλαιο 4, γίνεται η υπόθεση ότι το ποσοστό κατά το οποίο εμποδίζεται η κυκλοφορία από τις μανούβρες εγκατάλειψης των θέσεων υπό γωνίας στάθμευσης, είναι 50%. Επομένως θα ισχύει :

$$k = \begin{cases} 0, & \text{αν η στάθμευση είναι παράλληλη} \\ 0.5, & \text{αν η στάθμευση είναι υπό γωνία} \end{cases}$$

(Σχέση 3.12)

3.2.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΣΕΩΝ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ

Στο υπό-κεφάλαιο 2.3 αναφέρθηκαν τα είδη στάθμευσης και οι κατάλληλες διαστάσεις τους. Συνεπώς ισχύει ότι οι διαστάσεις θέσεων παράλληλης στάθμευσης είναι 6 x 2,5 μέτρα. Άρα αν L_i είναι το μήκος του συνδέσμου, ο αριθμός των θέσεων στάθμευσης υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση :

$$n_{pi} = INT \left(\frac{L_i}{6} \right) \quad (\text{Εξίσωση 3.13})$$

Όπου :

n_{pi} , ο αριθμός των θέσεων στάθμευσης του συνδέσμου

$INT ()$, η συνάρτηση ακέραιου μέλους

Αντίστοιχα για τις θέσεις κάθετης στάθμευσης με διαστάσεις 2,5 x 5,5 μέτρα, θα ισχύει :

$$n_{pi} = INT \left(\frac{L_i}{2.5} \right) \quad (\text{Εξίσωση 3.14})$$

Ενώ για τις θέσεις στάθμευσης υπό γωνία 45°, θα ισχύει :

$$n_{pi} = INT \left(\frac{L_i - 1.77}{3.54} \right) \quad (\text{Εξίσωση 3.15})$$

Σύμφωνα με τον σχεδιασμό των λωρίδων στάθμευσης που προτάθηκε στο υποκεφάλαιο 2.3.3, θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι τα οχήματα δεν θα σταθμεύουν στην περιοχή του τριγώνου ορατότητας, το οποίο ορίζεται κατ' ελάχιστο 5 μέτρα από την διασταύρωση. Συνεπώς, το μήκος του συνδέσμου που μπορεί να αξιοποιηθεί για στάθμευση θα είναι ίσο με το μήκος του μείον 5 μέτρα από τη διασταύρωση που βρίσκεται στην αρχή του και 5 μέτρα από την διασταύρωση που βρίσκεται στο τέλος του, δηλαδή $L'_i = L_i - 5 * 2$. Για τις εξισώσεις 3.13, 3.14 και 3.15, θα ισχύει :

$$n_{pi} = INT \left(\frac{L'_i}{6} \right) \quad (\text{Εξίσωση 3.16})$$

$$n_{pi} = INT \left(\frac{L'_i}{2.5} \right) \quad (\text{Εξίσωση 3.17})$$

$$n_{pi} = INT \left(\frac{L'_i - 1.77}{3.54} \right) \quad (\text{Εξίσωση 3.18})$$

3.2.6 ΤΕΛΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Σκοπός του μοντέλου είναι ο υπολογισμός του μέγιστου αριθμού θέσεων στάθμευσης με τις λιγότερες δυνατές επιπτώσεις για το δίκτυο. Κατά συνέπεια ορίζουμε ως βέλτιστο αριθμό θέσεων στάθμευσης το μέγιστο αριθμό θέσεων που μπορεί να προσφέρει το δίκτυο, με όσο το δυνατόν μικρότερη επίπτωση στο συνολικό χρόνο διάνυσης του δικτύου. Η αντικειμενική συνάρτηση που περιγράφει το πρόβλημα διατυπώνεται ως εξής :

$$\text{maximize } Z = \text{maximize} \left(\beta_1 \sum \text{θέσεων στάθμευσης} - \beta_2 \sum \text{οχηματοωρών} \right)$$

Όπου :

β_1 , β_2 είναι βάρη τα οποία χρησιμοποιούνται ώστε τα δύο αθροίσματα να έχουν την ίδια τάξη μεγέθους

Οι τιμές των βαρών προσδιορίζονται με κανονικοποίηση με στόχο την διευκόλυνση του γενετικού αλγορίθμου στην εύρεση της βέλτιστης λύσης.

Τα στοιχεία που θα πρέπει να γνωρίζουμε είναι :

- πλήθος και ταυτότητα συνδέσμων, κόμβων Προέλευσης και Προορισμού
- μήκος, πλάτος, χρόνος ελεύθερης ροής και χωρητικότητα κάθε συνδέσμου
- κατηγορία οδού
- πίνακας Προέλευσης – Προορισμού

I , πλήθος συνδέσμων

L_i , μήκος συνδέσμου i

w_i , πλάτος συνδέσμου i

C_i , χωρητικότητα συνδέσμου i

o , κόμβος Προέλευσης

d , κόμβος Προορισμού

f_{ST} , συντελεστής κατηγορίας δρόμου

Πρώτο βήμα αποτελεί ο υπολογισμός του τύπου στάθμευσης (γ), που μπορεί να επιτραπεί σε κάθε σύνδεσμο αν το μοναδικό κριτήριο ήταν το πλάτος του. Οι τιμές που λαμβάνει ο τύπος στάθμευσης είναι 0,1,2,3. Το μηδέν αντιπροσωπεύει την απαγόρευση στάθμευσης, ενώ οι αριθμοί ένα, δύο και τρία αντιπροσωπεύουν την παράλληλη, την υπό γωνία 45° και την κάθετη στάθμευση αντίστοιχα.

Από τη σχέση 3.1 έχουμε :

$$\text{αν } w_i = \begin{cases} < 6 \text{ m} , \text{δεν επιτρέπεται η στάθμευση} & (y_o = 0) \\ 6 \leq w_i < 8.35 \text{ m} , \text{επιτρέπεται η παράλληλη στάθμευση} & (y_o = 1) \\ 8.35 \leq w_i < 10 \text{ m} , \text{επιτρέπεται η στάθμευση υπό γωνία } 45^\circ & (y_o = 2) \\ \geq 10 \text{ m} , \text{επιτρέπεται η κάθετη στάθμευση} & (y_o = 3) \end{cases}$$

και από τη σχέση 3.4 :

$$f_{ST} = \begin{cases} 0 , \text{εάν ο δρόμος είναι αρτηρία} \\ 1 , \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

Συνεπώς :

$$y = y_o * f_{ST}$$

(Εξίσωση 3.19)

και τελικά :

$$y = \begin{cases} 0 , \text{δεν επιτρέπεται η στάθμευση} \\ 1 , \text{επιτρέπεται η παράλληλη στάθμευση} \\ 2 , \text{επιτρέπεται η στάθμευση υπό γωνία } 45^\circ \\ 3 , \text{επιτρέπεται η κάθετη στάθμευση} \end{cases}$$

(Σχέση 3.20)

Σε περίπτωση που για κάποιον λόγο επιθυμούμε να απαγορευτεί σε κάποιο σύνδεσμο i η στάθμευση, μπορούμε να θέσουμε $y_i = 0$.

Το δεύτερο βήμα είναι η εφαρμογή του γενετικού αλγόριθμου. Κατά το στάδιο αυτό γίνεται τυχαία παραγωγή των τιμών 0,1,2,3 για κάθε σύνδεσμο, με περιορισμό να μην υπερβαίνονται οι τιμές που υπολογίστηκαν στο πρώτο βήμα :

$$x \leq y$$

(Εξίσωση 3.21)

όπου x οι τιμές του γενετικού αλγόριθμου.

Ανάλογα με τον τύπο στάθμευσης που επέλεξε ο γενετικός αλγόριθμος, από τις εξισώσεις 3.16, 3.17 και 3.18, προκύπτει ο αριθμός των θέσεων στάθμευσης ανά σύνδεσμο.

$$n_p = \begin{cases} INT \left(\frac{L'_i}{6.00} \right), \text{ αν } x = 1 \\ INT \left(\frac{L'_i - 1.77}{3.54} \right), \text{ αν } x = 2 \\ INT \left(\frac{L'_i}{2.50} \right), \text{ αν } x = 3 \\ 0, \text{ αν } x = 0 \end{cases}$$

(Σχέση 3.22)

Όπου $L'_i = L_i - 5 * 2$.

Στο επόμενο βήμα γίνεται ο υπολογισμός του συντελεστή μείωσης της χωρητικότητας λόγω στάθμευσης (f_p).

- Για την εξίσωση 3.7 : υπολογίζεται ο αριθμός των λωρίδων κυκλοφορίας N' και των μανούβρων N_M .

Θεωρώντας ότι το πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας είναι 3.5 μέτρα, ο αριθμός των λωρίδων κυκλοφορίας που προκύπτει μετά από τη χωροθέτηση λωρίδας στάθμευσης μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση 3.23 :

$$N' = \begin{cases} \left(\frac{w - 2.5}{3.5} \right), \text{ αν } y = 1 \\ \left(\frac{w - 4.85}{3.5} \right), \text{ αν } y = 2 \\ \left(\frac{w - 5}{3.5} \right), \text{ αν } y = 3 \\ \left(\frac{w}{3.5} \right), \text{ αν } y = 0 \end{cases}$$

(Σχέση 3.23)

Έστω ότι σε κάθε θέση σταθμεύουν δύο οχήματα για χρονικό διάστημα μίας ώρας. Συνεπώς, θα πραγματοποιείται μία μανούβρα εγκατάλειψης της θέσης στάθμευσης από το όχημα που βρισκόταν στην θέση κατά την αρχή των μετρήσεων, και μία μανούβρα εισόδου από το όχημα που παρέμεινε στη θέση για το υπόλοιπο της ώρας. Άρα ο συνολικός αριθμός μανούβρων για το σύνδεσμο θα είναι 2*αριθμός θέσεων στάθμευσης του συνδέσμου :

$$N_M = 2 * n_p$$

(Εξίσωση 3.24)

Ο συντελεστής μείωσης χωρητικότητας λόγω στάθμευσης υπολογίζεται από την εξίσωση 3.7:

$$f_P = \frac{N' - 0.1 - \frac{18N_M}{3600}}{N'} \geq 0.5$$

(Εξίσωση 3.7)

- Για την εξίσωση 3.10 : καθορίζονται η εναλλαγή στάθμευσης N_T , η διάρκεια μανούβρων στάθμευσης t_{PI} , t_{PO} και ο συντελεστής k .

Υποθέτοντας και πάλι ότι μία θέση στάθμευσης καταλαμβάνεται από δύο οχήματα σε χρονικό διάστημα μίας ώρας, προκύπτει ότι η εναλλαγή στάθμευσης N_T είναι ίση με 2 οχήματα/θέση/ώρα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σε οδούς στις οποίες λειτουργούν παρκόμετρα ο δείκτης εναλλαγής είναι σημαντικά μεγαλύτερος απ' ότι σε οδούς με ελεύθερη στάθμευση διότι ο χρόνος παραμονής είναι περιορισμένος. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια στάθμευσης, τόσο μικρότερος είναι ο δείκτης εναλλαγής και κατά συνέπεια τόσο μικρότερη η επίπτωση στη χωρητικότητα της οδού.

Από έρευνες που πραγματοποίησαν οι Yousif, Purnawan, Johnston, Wijayaratna κ.ά. επιλέχθηκαν οι παρακάτω τιμές για τη μέση διάρκεια μανούβρων εισόδου και εξόδου από τις θέσεις στάθμευσης :

$$t_{PI} = \begin{cases} 7 \text{ δευτερόλεπτα για κάθετη στάθμευση} \\ 5 \text{ δευτερόλεπτα για στάθμευση υπό γωνία } 45^\circ \\ 24 \text{ δευτερόλεπτα για παράλληλη στάθμευση} \end{cases}$$

(Σχέση 3.25)

$$t_{PO} = \begin{cases} 14 \text{ δευτερόλεπτα για κάθετη στάθμευση} \\ 10 \text{ δευτερόλεπτα για στάθμευση υπό γωνία } 45^\circ \\ 7 \text{ δευτερόλεπτα για παράλληλη στάθμευση} \end{cases}$$

(Σχέση 3.26)

Από τη σχέση 3.12 οι τιμές του συντελεστή k θα είναι :

$$k = \begin{cases} 0, & \text{αν η στάθμευση είναι παράλληλη} \\ 0.5, & \text{αν η στάθμευση είναι υπό γωνία} \end{cases}$$

(Σχέση 3.12)

Ο συντελεστής μείωσης χωρητικότητας λόγω στάθμευσης υπολογίζεται από την εξίσωση 3.10 :

$$f_P = \frac{[3600 - N_P * N_T * (t_{PI} + kt_{PO})]}{3600}$$

(Εξίσωση 3.10)

Τέταρτο βήμα αποτελεί ο υπολογισμός της νέας χωρητικότητας του συνδέσμου C'_i . Επειδή οι συντελεστές μείωσης χωρητικότητας αφορούν τις λωρίδες κυκλοφορίας, εξετάζοντας το δίκτυο μακροσκοπικά, μπορεί να υποτεθεί ότι:

$$C'_i = \frac{C_i}{N_i} * N'_i * f_P$$

(Εξίσωση 3.27)

Όπου :

C_i , η χωρητικότητα του συνδέσμου i

N_i , ο αριθμός των λωρίδων πριν τη χωροθέτηση λωρίδας στάθμευσης, $N_i = \frac{W_i}{3.5}$

N'_i , ο αριθμός των λωρίδων κυκλοφορίας

Το πέμπτο βήμα είναι η εφαρμογή του αλγόριθμου Frank – Wolfe με δεδομένη την νέα χωρητικότητα C'_i . Ο αλγόριθμος τυπώνει το φόρτο v_i του κάθε συνδέσμου καθώς και το συνολικό κόστος μετακίνησης για το δίκτυο (TC).

Κατά το έκτο βήμα ελέγχεται η συνθήκη υπέρβασης της χωρητικότητας από το φόρτο (Σχέση 3.3) και υπολογίζεται ο τελικός αριθμός των θέσεων στάθμευσης ανά σύνδεσμο n'_p .

$$\begin{cases} \frac{v_i}{c_i} < 1.0, & \text{αν η στάθμευση είναι παράλληλη} \\ \frac{v_i}{c_i} < 0.6, & \text{αν η στάθμευση είναι υπό γωνία} \end{cases}$$

(Σχέση 3.3)

$$n'_p = \begin{cases} n_p, & \text{αν ισχύει η σχέση 3.3} \\ 0, & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

(Σχέση 3.28)

Στο έβδομο βήμα αθροίζονται οι θέσεις στάθμευσης όλων των συνδέσμων και υπολογίζεται η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης :

$$Z = \sum_{i=1}^I n'_p i - TC$$

(Εξίσωση 3.29)

Τα βήματα δύο έως επτά επαναλαμβάνονται μέχρι να ικανοποιηθεί η συνθήκη τερματισμού.

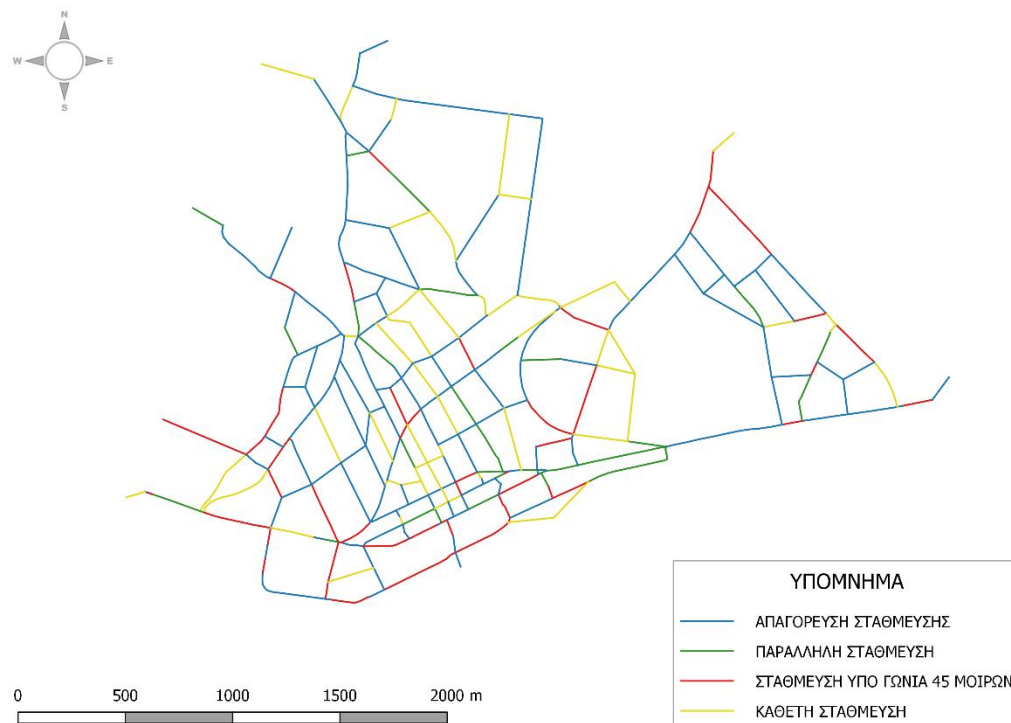
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η εφαρμογή του μοντέλου έγινε σε τυχαίο δίκτυο αποτελούμενο από 303 οδούς διπλής κατεύθυνσης (σύνολο 606 σύνδεσμοι) με την βοήθεια των λογισμικών Excel και Evolver. Το δίκτυο που παρουσιάζεται στην εικόνα 4.1 επιλύθηκε και για τις δύο εξισώσεις υπολογισμού του συντελεστή μείωσης της χωρητικότητας (Εξ. 3.7 & 3.10). Συνθήκη τερματισμού αποτέλεσε η ολοκλήρωση δέκα χιλιάδων επαναλήψεων του γενετικού αλγορίθμου.



Χάρτης 4.1: Δίκτυο σχεδιασμού.

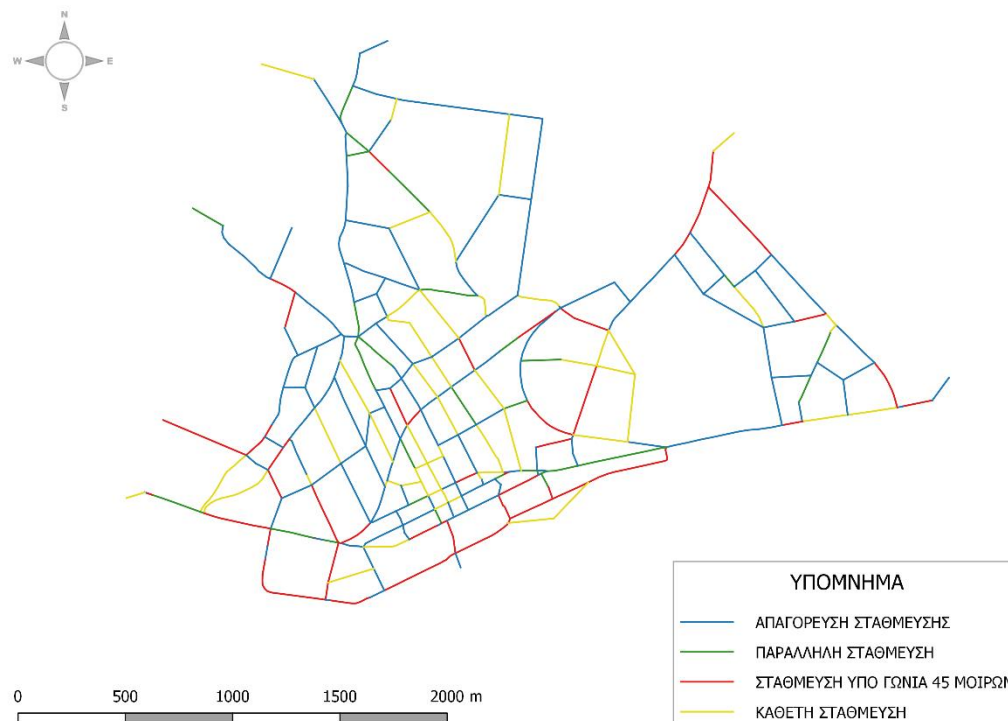
Η ψηφιοποίηση του μοντέλου πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα QGIS. Λόγω του μεγέθους του δικτύου, η απαιτούμενη κλίμακα κατέστησε αδύνατη την ευδιάκριτη αναπαράσταση των αποτελεσμάτων και για τις δύο κατευθύνσεις. Συνεπώς για κάθε μία από τις εξισώσεις, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε δύο χάρτες, έναν για την κατεύθυνση βορράς-νότος και δύση-ανατολή, και ένα για την κατεύθυνση νότος-βορράς και ανατολή-δύση.

❖ Αποτελέσματα εξίσωσης 3.7 (Εξίσωση HCM) :

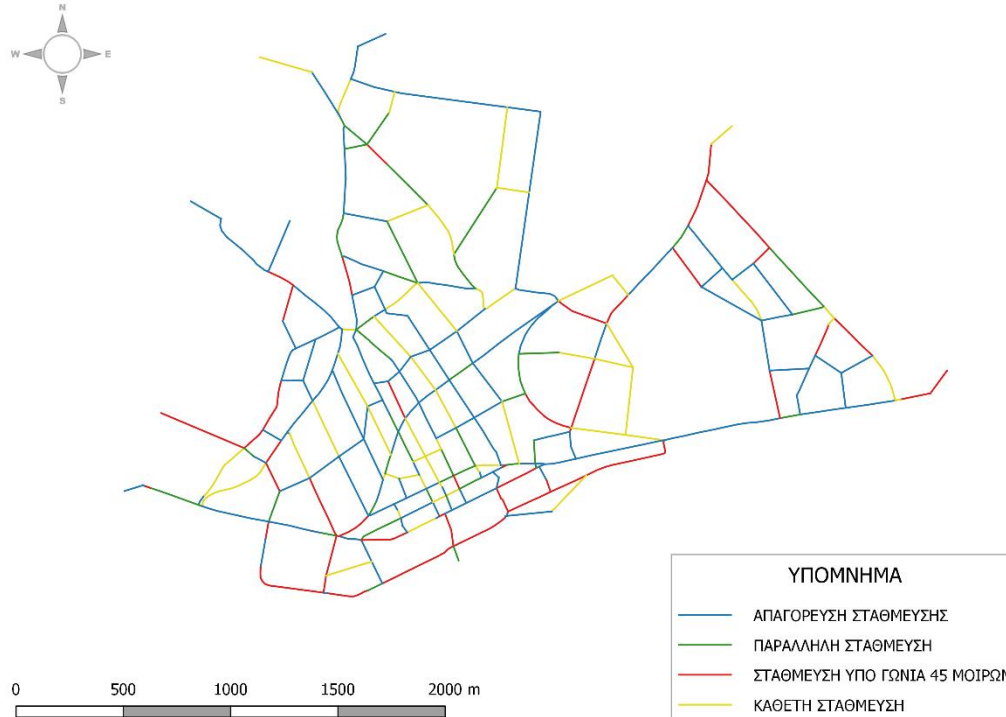
Χάρτης 4.2: Αποτελέσματα εξίσωσης 3.7 για την κατεύθυνση ΒΝ – ΔΑ.



Χάρτης 4.3: Αποτελέσματα εξίσωσης 3.7 για την κατεύθυνση NB – ΑΔ.

❖ Αποτελέσματα εξίσωσης 3.10 (Εξίσωση Wijayaratra & Wijayaratra) :

Χάρτης 4.4: Αποτελέσματα εξίσωσης 3.10 για την κατεύθυνση BN – ΔΑ.



Χάρτης 4.5: Αποτελέσματα εξίσωσης 3.10 για την κατεύθυνση NB – ΑΔ.

Στους Πίνακες 4.1.1 και 4.1.2 παρουσιάζονται τα συγκριτικά αποτελέσματα των δύο εξισώσεων ως προς τις προσφερόμενες θέσεις στάθμευσης και το συνολικό χρόνο διάνυσης του δικτύου. Παρατηρείται ότι όπως ανέφεραν οι Wijayaratna & Wijayaratna, η εξίσωση του HCM μπορεί να οδηγήσει σε υπερεκτίμηση των δυνατοτήτων του δικτύου. Συγκεκριμένα, η εξίσωση του HCM θεωρεί ότι το δίκτυο μπορεί να προσφέρει 9927 θέσεις στάθμευσης, ενώ η εξίσωση των Wijayaratna & Wijayaratna θεωρεί ότι μπορούν να προσφερθούν 9315 θέσεις στάθμευσης, δηλαδή 612 λιγότερες θέσεις. Ο Πίνακας 4.1.3 αναφέρει ότι ο αριθμός των συνδέσμων όπου η εξίσωση 3.7 επιτρέπει τη στάθμευση είναι 315, ενώ ο αντίστοιχος αριθμός που προκύπτει από την εξίσωση 3.10 είναι μόλις 297 σύνδεσμοι. Κατά συνέπεια, συμπεραίνεται ότι η χωροθέτηση μίας νέας χρήσης γης και η δημιουργία θέσεων παράδιας στάθμευσης που θα απαιτούσε, θα εθεωρείτο εφικτή χρησιμοποιώντας την εξίσωση του HCM, ενώ στην πραγματικότητα ο σχεδιασμός αυτός θα μπορούσε να οδηγήσει στην εμφάνιση φαινομένων συμφόρησης.

Πίνακας 4.1.1: Αποτελέσματα του μοντέλου ως προς τις θέσεις στάθμευσης.

Τύπος Στάθμευσης	Θέσεις Στάθμευσης	
	Εξίσωση 3.7	Εξίσωση 3.10
Παράλληλη	1152	1004
Υπό γωνία 45°	2999	2759
Κάθετη	5776	5552
Σύνολο	9927	9315
Διαφορά	612	

Πίνακας 4.1.2: Αποτελέσματα του μοντέλου ως προς το συνολικό χρόνο διάνυσης του δικτύου.

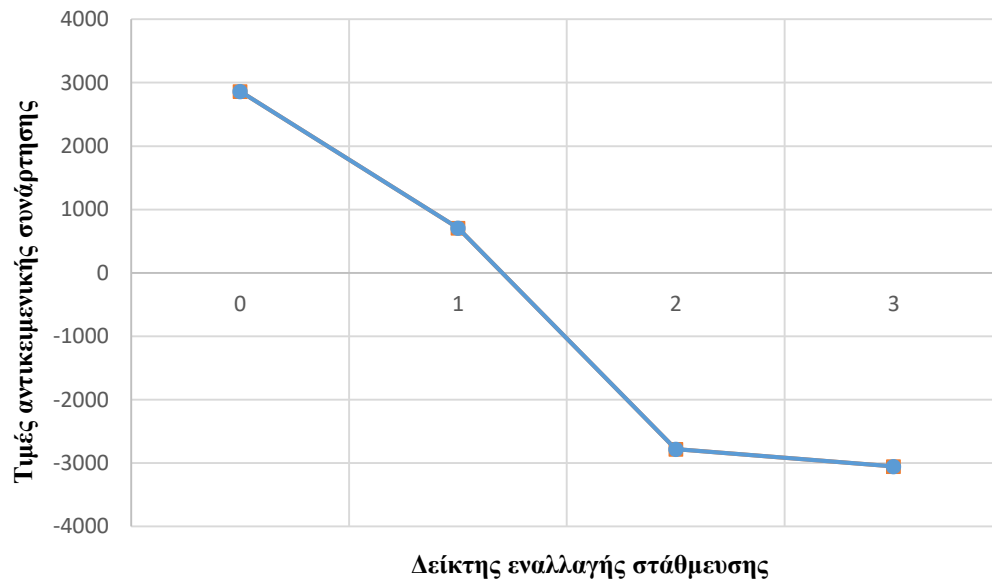
Σύνολο	Εξίσωση 3.7	Εξίσωση 3.10
Οχηματοωρών	1702.72	1630.50
Διαφορά	72.21	

Πίνακας 4.1.3: Αποτελέσματα του μοντέλου ως προς τον αριθμό των συνδέσμων στους οποίους θα επιτραπεί η στάθμευση επί της οδού.

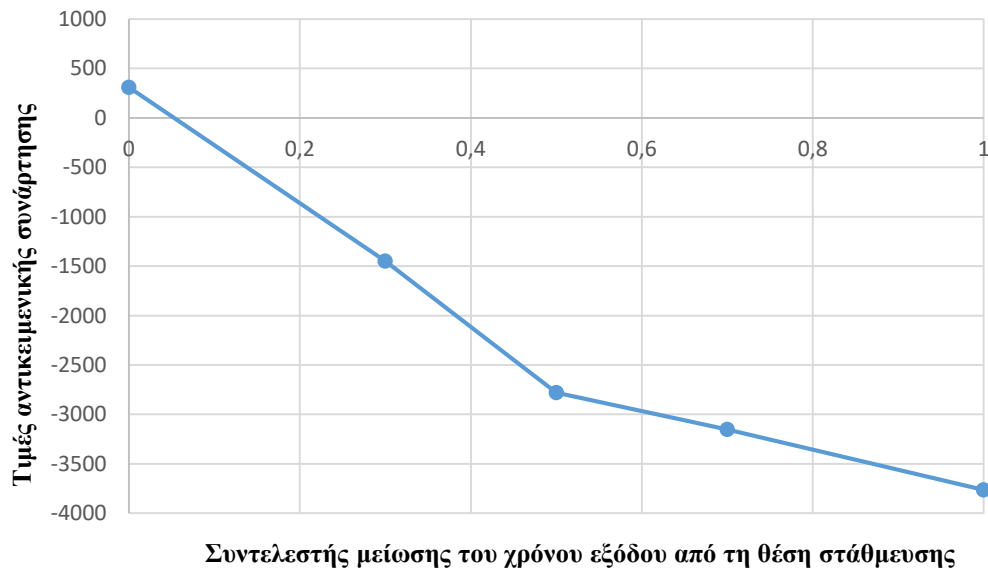
Τύπος Στάθμευσης	Αριθμός συνδέσμων	
	Εξίσωση 3.7	Εξίσωση 3.10
Παράλληλη	89	76
Υπό γωνία 45°	110	109
Κάθετη	116	112
Σύνολο	315	297
Διαφορά	18	

Κατά την λεπτομερή εξέταση των αποτελεσμάτων του γενετικού αλγορίθμου ως προς τον τύπο στάθμευσης που αποδόθηκε στον κάθε σύνδεσμο, διαπιστώθηκε πως σε κάποιες περιπτώσεις, παρά το γεγονός ότι το πλάτος του συνδέσμου επαρκούσε για την χωροθέτηση τύπου στάθμευσης ο οποίος θα δημιουργούσε περισσότερες θέσεις, το μοντέλο ήταν ικανό να επιλέξει διαφορετικό τύπο στάθμευσης, ο οποίος οδηγούσε σε μεγαλύτερη αύξηση της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης. Το φαινόμενο αυτό παρατηρήθηκε όταν ο μέγιστος αριθμός των θέσεων στάθμευσης που μπορούσε να διαθέσει ένας σύνδεσμος, μείωνε τη χωρητικότητα τόσο ώστε να μην ικανοποιείται η σχέση 3.3 (συνθήκη υπέρβασης χωρητικότητας από τον φόρτο), ή όταν οδηγούσε σε μεγαλύτερη αύξηση του χρόνου διάνυσης του δικτύου από ότι θα οδηγούσαν οι θέσεις που θα προέκυπταν από την επιλογή διαφορετικού τύπου στάθμευσης.

Με όριο τις χίλιες επαναλήψεις, διεξήχθη ανάλυση ευαισθησίας για την εξίσωση των Wijayaratna & Wijayaratna ως προς τις τιμές του δείκτη εναλλαγής στάθμευσης N_p και του συντελεστή μείωσης του χρόνου εξόδου από τη θέση στάθμευσης k . Διαπιστώθηκε ότι η αύξηση των τιμών τους οδηγούσε σε αισθητή μείωση της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης.



Εικόνα 4.1: Μεταβολή της αντικειμενικής συνάρτησης για διάφορες τιμές του δείκτη εναλλαγής στάθμευσης.



Εικόνα 4.2: Μεταβολή της αντικειμενικής συνάρτησης για διάφορες τιμές του συντελεστή μείωσης του χρόνου εξόδου από τη θέση στάθμευσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Δεδομένου ότι η κύρια λειτουργία των οδών είναι η άνετη και η γρήγορη μετακίνηση των χρηστών του δικτύου και όχι η αποθήκευση των οχημάτων, η στάθμευση επί του οδοστρώματος θα πρέπει να αποφεύγεται. Ωστόσο, όταν η δυνατότητα του δικτύου σε προσφορά χώρων στάθμευσης εκτός της οδού υπερβαίνεται από την ζήτηση στάθμευσης, οι οδηγοί δαπανούν αρκετό χρόνο για την αναζήτηση διαθέσιμης θέσης, επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδρομή γύρω από τον κόμβο προορισμού. Το φαινόμενο αυτό αποτελεί μία από τις κυριότερες αιτίες συμφόρησης. Σε αυτήν την περίπτωση, η διάθεση χώρων στάθμευσης παρά την οδό μπορεί να μειώσει σημαντικά τον χρόνο αναζήτησης θέσης, και κατά συνέπεια να αποτελέσει ένα σημαντικό μέτρο αντιμετώπισης της παρατηρούμενης συμφόρησης. Μελετώντας τις επιπτώσεις της στάθμευσης επί της οδού, διαπιστώνεται ότι μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της χωρητικότητας. Κατά συνέπεια, πριν από την χωροθέτηση θέσεων παράδιας στάθμευσης, θα πρέπει να προηγηθεί κατάλληλος σχεδιασμός ο οποίος θα ορίζει τον μέγιστο αριθμό θέσεων στάθμευσης που μπορεί να προσφέρει το δίκτυο, καθώς και τις ιδανικές τοποθεσίες για την χωροθέτησή τους. Σύμφωνα με τις αρχές της αειφόρου ανάπτυξης και της βιώσιμης κινητικότητας, ο σχεδιασμός θα πρέπει να αποβλέπει στην μέγιστη δυνατή αξιοποίηση του χώρου δίχως να επιβαρύνεται η οδική ασφάλεια, ενώ ταυτόχρονα θα πρέπει να στοχεύει στην ελαχιστοποίηση των πιθανοτήτων εμφάνισης συμφόρησης εξ' αιτίας της επιβολής παράδιας στάθμευσης. Για τον λόγο αυτό, το μοντέλο που παρουσιάστηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία, αναπτύχθηκε με σκοπό την δυνατότητα επιλογής ανά σύνδεσμο του τύπου στάθμευσης ανάλογα με τις διαστάσεις του, τον αριθμό των θέσεων που προσέφερε, την ορατότητα που παρείχε και την καθυστέρηση που προκαλούσαν οι μανούβρες που απαιτούσε. Οι τύποι στάθμευσης που εξετάστηκαν ήταν η παράλληλη, η κάθετη και η στάθμευση υπό γωνία 45°. Επειδή η κάθετη και η υπό γωνία στάθμευση προσφέρουν αρκετά λιγότερη ορατότητα από ότι προσφέρει η παράλληλη, η χωροθέτησή τους επιτρέπει μόνο σε περιπτώσεις όπου ο φόρτος του συνδέσμου ήταν σημαντικά μικρότερος της χωρητικότητας.

Το μοντέλο αναπτύχθηκε ως διεπίπεδο πρόβλημα βελτιστοποίησης. Στο ανώτερο επίπεδο υπολογίστηκαν οι θέσεις στάθμευσης και η μείωση της χωρητικότητας που επέφεραν, ενώ στο δεύτερο επίπεδο υπολογίστηκε η επίπτωσή τους στον συνολικό χρόνο διάνυσης του δικτύου. Για

τον υπολογισμό της μείωσης της χωρητικότητας χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση που προτείνει το HCM καθώς και η τροποποιημένη μορφή του όπως διατυπώθηκε από τους Wijayaratna και Wijayaratna. Η εφαρμογή του μοντέλου υλοποιήθηκε σε τυχαίο δίκτυο αποτελούμενο από 303 οδούς διπλής κατεύθυνσης, με χρήση των λογισμικών Excel και Evolver. Ο γενετικός αλγόριθμος του λογισμικού Evolver προσέδιδε με τυχαίο τρόπο σε κάθε σύνδεσμο είτε την απαγόρευση στάθμευσης είτε έναν από τους τρεις τύπους στάθμευσης, μέχρις ότου να βρεθεί ο συνδυασμός εκείνος που προσέφερε ταυτόχρονα το μέγιστο αριθμό θέσεων στάθμευσης και τον λιγότερο δυνατό συνολικό χρόνο διάνυσης του δικτύου.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι σε κάποιες περιπτώσεις, παρά το γεγονός ότι το πλάτος του συνδέσμου επαρκούσε για την χωροθέτηση υπό γωνίας στάθμευσης, η οποία θα προσέφερε περισσότερες θέσεις, το συνολικό κόστος των θέσεων του συνδέσμου υπερτερούσε του οφέλους. Κατά συνέπεια, ο γενετικός αλγόριθμος επέλεγε είτε τη χωροθέτηση τύπου στάθμευσης που προσέφερε λιγότερες θέσεις είτε την απαγόρευση στάθμευσης. Επίσης διαπιστώθηκε ότι όπως επεσήμαναν και οι Wijayaratna & Wijayaratna, η εξίσωση υπολογισμού μείωσης της χωρητικότητας που προτείνει το HCM υπερεκτιμά τις δυνατότητες του δικτύου και οδηγεί σε λιγότερο ρεαλιστικά αποτελέσματα. Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν μπορεί να ειπωθεί με βεβαιότητα πως η εξίσωση των Wijayaratna & Wijayaratna οδηγεί σε πλήρως ρεαλιστικά αποτελέσματα, διότι η έρευνα για την ποσοτική εκτίμηση των επιπτώσεων της στάθμευσης επί της οδού δεν έχει ακόμα ολοκληρωθεί. Για τον λόγο αυτό συνιστάται μετά την εφαρμογή των αποτελεσμάτων του μοντέλου να γίνεται αξιολόγηση του δικτύου, λαμβάνοντας κυρίως υπόψη τα επίπεδα συμφόρησης και τους δείκτες οδικής ασφάλειας.

5.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Οι τύποι στάθμευσης που επιλέχθηκαν για την διαμόρφωση του μοντέλου είναι η παράλληλη, η κάθετη και η στάθμευση υπό γωνία 45°. Ο κυριότερος λόγος για τον οποίο επιλέχθηκαν οι συγκεκριμένοι τύποι στάθμευσης, είναι η διαφορά τους ως προς τον αριθμό των θέσεων στάθμευσης που προσφέρουν. Κριτήρια για την χωροθέτησή τους αποτέλεσαν οι επιπτώσεις τους ως προς την ασφάλεια και η μείωση που επέφεραν στη χωρητικότητα των συνδέσμων συγκριτικά με τον αναμενόμενο φόρτο. Η παράμετρος της ασφάλειας εισήχθη στο μοντέλο μέσα από τον απαιτούμενο χρόνο για την ολοκλήρωση της μανούβρας εγκατάλειψης της

θέσης στάθμευσης, και στην συνέχεια οδήγησε στον υπολογισμό της μείωσης της χωρητικότητας. Επειδή η έρευνα των επιπτώσεων της στάθμευσης δεν έχει ολοκληρωθεί, δεν είναι σίγουρο ότι η μέθοδος αυτή οδηγεί σε εντελώς ρεαλιστικά αποτελέσματα. Υπάρχουν πιθανότητες το μέγεθος των επιπτώσεων να είναι μεγαλύτερο από ότι γνωρίζουμε ή να υφίστανται επιπτώσεις οι οποίες δεν έχουν γίνει αντιληπτές. Για τον λόγο αυτό, καθώς και όπως επισημαίνεται από τη διεθνή και ελληνική βιβλιογραφία, κρίνεται αναγκαία η διεξαγωγή περαιτέρω έρευνας των επιπτώσεων της παρόδιας στάθμευσης.

Η χωροθέτηση των θέσεων στάθμευσης επί της οδού, εξ' αιτίας της σημαντικής μείωσης της χωρητικότητας που προκαλεί, θα πρέπει να επιλέγεται μόνο στην περίπτωση που η ζήτηση ξεπερνά την προσφορά θέσεων στάθμευσης εκτός της οδού. Επομένως, προτείνεται η ανάπτυξη μοντέλου βέλτιστης χωροθέτησης χώρων στάθμευσης εκτός της οδού, το οποίο θα κρίνει αν υπάρχει ανάγκη διάθεσης χώρων παρόδιας στάθμευσης, και στην περίπτωση αυτή θα μπορεί να συνδυαστεί με το μοντέλο που αναπτύχθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία. Τονίζεται ότι και στις δύο περιπτώσεις χωροθέτησης θέσεων στάθμευσης θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή κατά τον σχεδιασμό, διότι η εφαρμογή αυτών των μοντέλων ενδέχεται να οδηγήσει σε ενθάρρυνση της χρήσης επιβατικών οχημάτων ιδιωτικής χρήσης. Ένας τρόπος για να αποφευχθεί η ενθάρρυνση αυτή, είναι να συμπεριληφθεί στο σχεδιασμό η δημιουργία χώρων στάθμευσης κοντά σε σταθμούς μέσων μαζικής μεταφοράς, οι οποίοι θα αποτελούν χώρους μετεπιβίβασης (park and ride), παράλληλα με την επιβολή τελών για τις θέσεις στάθμευσης επί της οδού.

Το μοντέλο που παρουσιάστηκε στην παρούσα εργασία, μπορεί επίσης να αποτελέσει μια εξαιρετική βάση για την ανάπτυξη μοντέλου βέλτιστης χωροθέτησης ελεγχόμενης στάθμευσης. Υπενθυμίζεται ότι στις οδούς όπου λειτουργούν παρκόμετρα, ο δείκτης εναλλαγής είναι αρκετά μεγάλος λόγω της περιορισμένης διάρκειας στάθμευσης, με αποτέλεσμα η μείωση της χωρητικότητας να είναι σημαντικά μεγαλύτερη από ότι θα ήταν στον ίδιο δρόμο εάν η στάθμευση δεν ήταν ελεγχόμενη. Ακόμη, το μοντέλο της διπλωματικής εργασίας θα μπορούσε να αναπτυχθεί περαιτέρω ώστε να συμπεριληφθεί η βέλτιστη χωροθέτηση θέσεων παρόδιας στάθμευσης οχημάτων ανεφοδιασμού.

Η εφαρμογή του μοντέλου έγινε με χρήση των λογισμικών Excel και Evolver τα οποία παρείχαν πλήρη εποπτεία των αποτελεσμάτων για κάθε εκτελούμενη επανάληψη. Η διαδικασία αποδείχθηκε πολύ χρήσιμη για την εύρεση πιθανών λαθών ωστόσο υπήρξε αρκετά χρονοβόρα. Η ανάπτυξη ανεξάρτητου προγράμματος επίλυσης του μοντέλου θα μπορούσε να μειώσει δραματικά τον απαιτούμενο χρόνο. Ακόμη θα παρείχε την δυνατότητα διασύνδεσης του μοντέλου με

λογισμικά μικροσκοπικής προσομοίωσης στα οποία μπορούμε να εισάγουμε δεδομένα όπως στάσεις μέσω μαζικής μεταφοράς, θέσεις πυροσβεστικών κρουνών, αδειοδοτημένων χώρων ιδιωτικής στάθμευσης (όπως είναι οι πυλωτές και τα «γκαράζ») και λοιπά σημεία του δικτύου στα οποία η νομοθεσία απαγορεύει τη παρόδια στάθμευση, με σκοπό να ελαχιστοποιηθεί η ανάγκη επιτόπου μελέτης.

Τέλος, θα μπορούσε να γίνει σύγκριση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του μοντέλου εφαρμόζοντας τις ακόλουθες αλλαγές :

- χρήση της αναθεωρημένης μορφής της εξίσωσης BPR για τον υπολογισμό των χρόνων διαδρομής
- υπολογισμός συντομότερων διαδρομών με διαφορετικό αλγόριθμο από τον αλγόριθμο Dijkstra (πχ αλγόριθμος Bellman-Ford, Floyd-Warshall, Johnson, Viterbi, A* αναζήτησης κ.ά.)
- χρήση διαφορετικού αλγορίθμου καταμερισμού κυκλοφορίας σε κατάσταση ισορροπίας χρηστών από τον αλγόριθμο Frank-Wolfe [πχ αλγόριθμος ASD (Aggregated Simplicial Decomposition algorithm), OBA (Origin Based Algorithm), αλγόριθμος του Nie, βελτιωμένος αλγόριθμος B, αλγόριθμος TAPAS (Traffic Assignment by Paired Alternative Segments algorithm) κ.ά.]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ceylan, H., Baskan, O., Ozan, C., Gulhan, G., 2014. ‘Determining On–Street Parking Places in Urban Road Networks Using Meta-Heuristic Harmony Search Algorithm’ **In:** Jorge Freire de Sousa and Riccardo Rossi (eds), *Computer-Based Modelling and Optimization in Transportation*, Janusz Kacprzyk (ed.), *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 262. Switzerland: Springer International Publishing, 2014, pp. 163-74.
2. Sisiopiku, Virginia P., 2001. ‘On-street Parking On State Roads’, *ITE Annual Meeting and Exhibit*, Chicago, Illinois, USA, August 19-22, 2001.
3. Sugiarto, Thirayoot Limanoond, 2013. ‘Impact of On-street Parking on Urban Arterial Performance: A Quantitative Study on Travel Speed and Capacity Deterioration’, *Aceh International Journal of Science and Technology*, **2** (2) pp. 63-69.
4. Naseri, Alireza, 2013. ‘A Method for Estimating Average Delay Time due on-Street Parking’, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, **7** (8), pp. 767-74.
5. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2011. ‘A Policy on Geometric Design of Highways and Streets’, 6th ed., AASHTO, Washington DC.
6. Wijayaratna, Sahan, 2014. ‘Impacts of On-street Parking on Road Capacity’, *Australasian Transport Research Forum 2015 Proceedings*, Sydney, Australia, September 30 – October 2, 2015.
7. Traffic Engineering Services Unit, Oregon Department of Transportation, 2001. ‘Safety Comparison of Angle and Parallel Parking’, *TRA*, January 01, 2005.
8. Ye, Xin, 2010. ‘Accelerated Highway Traffic Assignment Procedure Maryland Statewide Transportation Model’, *National Center for Smart Growth Research & Education*, University of Maryland, available from < <http://smartgrowth.umd.edu/assets/tprg/a3.pdf>>.
9. Purnawan and Yousif, S., 1999. ‘On-street Parking Manoeuvres and Their Effects On Design’, *Proceeding of the 4th ISSM Seminar*, Kassel, 1999.
10. Yousif, S. and Purnawan, 1999. ‘On street Parking: Effects on Traffic Congestion’, *Traffic Engineering and Control*, vol. 40, no. 10, pp 424-27.
11. Perederieieva, Olga, Ehrgott, Matthias, Wang, Judith Y. T., Raith, Andrea, 2013. ‘Computational Study of Traffic Assignment Algorithms’, *Australasian Transport Research Forum 2013 Proceedings*, Brisbane, Australia, October 2 - 4, 2013.

-
12. Jayakrishnan, R., Tsai, Wei T., Prashker, Joseph N., Rajadhyaksha, 1994. 'A Faster Path-Based Algorithm for Traffic Assignment', *73rd annual meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., January, 1994.
 13. Mathew, V. Tom, 2014. 'Parking Studies: Lecture notes in Traffic Engineering and Management 2014-08-05', Department of Civil Engineering, IIT Bombay, available from <https://www.civil.iitb.ac.in/tvm/1111_nptel/581_Parking/plain/plain.html>.
 14. Baskan, Ozgur, 2014. 'An Evaluation of Heuristic Methods for Determining Optimal Link Capacity Expansions on Road Network', *International Journal of Transportation*, vol.2, no 1, pp. 77-94.
 15. Baskan, Ozgur, 2012. 'Harmony Search Algorithm for Continuous Network Design Problem with Link Capacity Expansions', *KSCE Journal of Civil Engineering*, July, 2013.
 16. Gantelet, Eric and Lefauconnier, Amelie. 'The Time Looking for a Parking Space: Strategies Associated Nuisances and Stakes of Parking Management in France', *Association for European Transport and contributors*, 2006.
 17. 'Διαμόρφωση των εξωτερικών χώρων κίνησης πεζών', *YΠEKA*, available from <<http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=jwvxZe39RGk%3D&tabid=380&...>>.
 18. 'Προδιαγραφές για την κατασκευή χώρων στάθμευσης αυτοκινήτων που εξυπηρετούν τα κτίρια', *YΠEΧΩΔE*, Υπουργική απόφαση: Αριθμός 92728/7722/93, ΦΕΚ 167/Δ/2-3-93, available from <http://www.elinyae.gr/el/lib_file_upload/167d-93.1121418263278.pdf>.
 19. Transportation Research Board, 2000. 'Highway Capacity Manual', National Academy of Sciences, USA, 2000.
 20. 'User Equilibrium', Travel forecasting resource, available at <http://tfresource.org/User_Equilibrium>.
 21. 'Fundamentals of Transportation/Route Choice', Wikipedia, available at <https://en.wikibooks.org/wiki/Fundamentals_of_Transportation/Route_Choice>.
 22. 'Harmony search', Wikipedia, available from <https://en.wikipedia.org/wiki/Harmony_search>.
 23. 'Evolutionary algorithm', Wikipedia, available from <https://en.wikipedia.org/wiki/Evolutionary_algorithm>.
 24. 'Metaheuristic', Wikipedia, available from <<https://en.wikipedia.org/wiki/Metaheuristic>>.
 25. 'Genetic algorithm', Wikipedia, available from <https://en.wikipedia.org/wiki/Genetic_algorithm>.
-

-
26. 'Route assignment', Wikipedia, available from
<https://en.wikipedia.org/wiki/Route_assignment>.
 27. 'Shortest path problem', Wikipedia, available from
<https://en.wikipedia.org/wiki/Shortest_path_problem>.
 28. 'Traffic flow', Wikipedia, available from
<https://en.wikipedia.org/wiki/Traffic_flow>.
 29. Inoue, Shin-ichi and Maruyama, Takuya, 2012. 'Computational Experience on Advanced Algorithms for User Equilibrium Traffic Assignment Problem and Its Convergence Error', 8th *International Conference on Traffic and Transportation Studies*, Changsha, China, August 1-3, 2012.
 30. Wijayaratna, Sahan and Wijayaratna, Kasun P, 2015. 'Quantifying the Impact of On-Street Parking on Road Capacity: A Case Study of Sydney Arterial Roads', 95th *Annual Meeting of the Transportation Research Board and Publication in the Transportation Research Record*, 2015.
 31. Shoup, D., 2005. 'The High Cost of Free Parking', *American Planning Association*, Chicago.
 32. Shoup, D., 2006. 'Cruising for Parking', *Transport Policy*, **13**(6), pp. 479-86.
 33. Portilla, A.I., Orena, B.A., Berodia, J.L.M., Diaz, F.J.R., 2009. 'Using M/M/∞ queuing model in on-street parking maneuvers', *J. Transp. Eng.-Asce*, **135**(8), pp 527-35.
 34. Guo, H., Gao, Z., Yang, X., Zhao, X., Wang, W., 2012. 'Modeling travel time under the influence of on-street parking', *J. Transp. Eng.-Asce*, **138**(2), pp 229-35.
 35. Johnston, Bryan K., 'Time and Street Width Required for Maneuvering', *University of California*, 1960.
 36. Ye. X, Chen, J., 2011. 'Traffic delay caused by curb parking set in the influenced area of signalized intersection', *ICCTP*, pp. 566-78.
 37. Λιανός, Γεώργιος, 'Διερεύνηση των Προβλημάτων Ενσωμάτωσης της Αξίας του Χρόνου στα Στατικά Μοντέλα Καταμερισμού στο Δίκτυο', *Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο*, 2009.
 38. Κούγιας, Ιωάννης, 'Ο αλγόριθμος αναζήτησης αρμονίας σε εφαρμογές διαχείρισης υδατικών πόρων', *Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης*, 2012.
 39. 'Κώδικας Οδικής Κυκλοφορίας (Κ.Ο.Κ.)', *Υπουργείο Μεταφορών & Επικοινωνιών*, Αθήνα, 2007.
 40. Φραντζεσκάκης, Ι.Μ., Πιτσιάβα-Λατινοπούλου, Μ.Χ, Τσαμπούλας, Δ.Α, 'Στάθμευση', *Παπασωτηρίου*, Β' έκδοση, Αθήνα, 2002.
-

41. Φραντζεσκάκης, Ι.Μ., Γκόλιας, Ι.Κ., Πιτσιάβα-Λατινοπούλου, Μ.Χ., 'Κυκλοφοριακή Τεχνική', *Παπασωτηρίου*, Αθήνα, 2009.
42. Κλαδευτήρας, Μάρκος, 2012. 'Εκτίμηση των επιπτώσεων της παραβατικότητας στη στάθμευση με χρήση προσομοίωσης', *Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο*, Αθήνα, 2012.

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΥ
ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ ΧΡΗΣΤΩΝ**

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

```
"""
```

```
Created on Thu Apr 14 14:15:25 2016
```

```
@author: Krista
```

```
"""
```

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

```
#import csv
```

```
#import math
```

```
import heapq
```

```
import copy
```

```
import sys
```

```
import xlwings as xw
```

```
from xlwings import Workbook, Range
```

```
#shortest path function
```

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

```
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=0.9*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)) <= 0.000000001:

            return c
```

```
    elif f(a)*f(c) < 0:
        b = c
    else :
        a = c
    c = (a+b)/2.0
return c

G={}
C={}

#file path for xlwings
wb=Workbook(r'C:\Users\Krista\Desktop\data_diplwmatikis.xlsx')
Origins=Range('Origins','A1').table.value #insert Origins from Excel sheet named "Origins"
Origins=[int(i) for i in Origins] #turn everything to intergers
kost2=Range('FFT','A1:C606').table.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=Range('Capacity','A1:C606').table.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=Range('Demand','A1:C10').table.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]

Range('PARADEIGMA','U3').value=finaltt

Zitisi=Range('ZITISI','A1:B606').table.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]:
                Range('NewFlow','A'+ str(metritis)).table.value=flow[vima][vima2[1]]
            metritis+=1
```