



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών

Δ.Π.Μ.Σ. ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ

Βασισμένος σε Σενάρια Χωροθετικός Σχεδιασμός Συστημάτων Άμεσης Επέμβασης με Χρήση Γενετικών Αλγορίθμων και GIS

Η περίπτωση των τροχαίων ατυχημάτων στην
πόλη του Σικάγο

Ιωάννης Ε. Σταματάκης

Επιβλέπων:

Γεώργιος Ν. Φώτης, Αναπλ. Καθηγητής ΕΜΠ

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Γεώργιος Ν. Φώτης, Αναπλ. Καθηγητής ΕΜΠ
Ματθαίος Γ. Καρλαύτης, Αναπλ. Καθηγητής ΕΜΠ
Κωνσταντίνος Αντωνίου, Επίκ. Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Δεκέμβριος 2013

Περιεχόμενα

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
2	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	15
2.1	Συστήματα Άμεσης Επέμβασης (ΣΑΕ)	15
2.1.1	ΣΑΕ και τροχαία ατυχήματα.....	15
2.1.2	Σχεδιασμός των ΣΑΕ	18
2.2	Προβλήματα χωροθέτησης.....	20
2.2.1	Το ενδιαφέρον για τα προβλήματα χωροθέτησης	20
2.2.2	Διαφορές προβλημάτων χωροθέτησης στον ιδιωτικό και δημόσιο τομέα.	22
2.2.3	Βασικοί τύποι προβλημάτων χωροθέτησης.....	23
	Στατικά ντετερμινιστικά προβλήματα χωροθέτησης.....	26
2.3	Μελέτες περίπτωσης για χωροθετήσεις οχημάτων άμεσης επέμβασης (Case studies).....	31
2.4	Το μοντέλο διπλής κάλυψης (Double Standard Model - DSM).....	34
2.5	Γενετικοί Αλγόριθμοι	36
2.5.1	Λειτουργία.....	38
2.5.2	Παράδειγμα επίλυσης βάσει Γενετικού Αλγορίθμου	40
2.5.3	Διαδικασία επίλυσης Γενετικών Αλγορίθμων.....	42
2.6	Συμμετοχή των ΓΠΣ στα προβλήματα χωροθέτησης	43
2.6.1	Γεωβάσεις.....	44
2.6.2	Τοπολογία	45
2.6.3	Ανάλυση Δικτύων σε περιβάλλον ΓΠΣ	46
2.6.4	Πίνακας κόστους Προέλευσης – Προορισμού (Π-Π).....	48
2.6.5	Αλγόριθμος Dijkstra	49
2.6.6	Περιοχές εξυπηρέτησης (Service areas)	50
3	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	53
3.1	Επισκόπηση της περιοχής μελέτης	54
3.2	Επεξεργασία των δεδομένων των τροχαίων ατυχημάτων	54
3.3	Σχεδιασμός γεωβάσης.....	56
3.4	Δεδομένα εισαγωγής στον αλγόριθμο	57
3.5	Μέθοδος επίλυσης αλγορίθμου	57
3.6	Διαμόρφωση εναλλακτικών σεναρίων	57
3.7	Έλεγχος καταλληλότητας βάθους χρόνου των δεδομένων εισαγωγής.....	58
4	ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΣΑΕ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΣΙΚΑΓΟ, ΙΛΛΙΝΟΙΣ.....	59

4.1	Περιγραφή της περιοχής μελέτης.....	59
4.2	Βάση δεδομένων ατυχημάτων	61
4.3	Δημιουργία γεωβάσης.....	67
4.4	Υπολογισμός πίνακα κόστους Π-Π.....	69
4.5	Επίλυση του DSM με χρήση γενετικών αλγορίθμων	70
4.6	Ανάλυση ευαισθησίας αλγορίθμου	74
4.7	Σενάρια εφαρμογής για διαφορετικά επίπεδα εξυπηρέτησης	75
4.8	Χωροθέτηση με χρήση δεδομένων προηγούμενων ετών.....	84
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	91
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	100

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Ταξινόμηση προβλημάτων χωροθέτησης με διαφορετικούς παράγοντες κατηγοριοποίησης βάσει της μελέτης των Schietzelt και Densham (Κωνσταντινίδου, 2010).....	24
Πίνακας 2: Διασταύρωση (Crossover)	41
Πίνακας 3: Αντιστοιχία σε κόστος PDO για κάθε επίπεδο σοβαρότητας τραυματισμού	64
Πίνακας 4: Ανάλυση ευαισθησίας για πληθυσμό n = 50	74
Πίνακας 5: Ανάλυση ευαισθησίας για πληθυσμό n = 100	74
Πίνακας 6: Συνοπτικά αποτελέσματα για τα 9 σενάρια εφαρμογής	76
Πίνακας 7: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων για χωροθέτηση με χρήση δεδομένων προηγούμενων ετών (LOS B, 25 οχήματα).....	86
Πίνακας 8: Στατιστικά στοιχεία ποσοστού διπλής κάλυψης ανά βάθος χρόνου.....	87
Πίνακας 9: Στατιστικά στοιχεία ποσοστού μονής κάλυψης ανά βάθος χρόνου	87

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1: Διακύμανση επερχόμενων θανάτων μετά τη σύγκρουση (Kanianthra et al., 2001).....	17
Σχήμα 2: Επίδραση της άμεσης επέμβασης μετά τη σύγκρουση (Kanianthra et al., 2001).....	17
Σχήμα 3: Δημιουργία χρωμοσώματος απογόνου μέσω διασταύρωσης (Palisade Corp., 2010).....	39
Σχήμα 4: Ο βασικός κύκλος γενετικού αλγορίθμου.....	40
Σχήμα 5: Δημιουργία πληθυσμού (α), διατήρηση καταλληλότερων λύσεων (b) (Palisade Corp., 2010).....	41
Σχήμα 6: Εύρεση βέλτιστης διαδρομής σε περιβάλλον GIS (ESRI, 2010).....	47
Σχήμα 7: Υπολογισμός πίνακα κόστους Π-Π (ESRI, 2010).....	48
Σχήμα 8: Γράφος επίλυσης του αλγόριθμου Dijkstra.....	49
Σχήμα 9: Περιοχές εξυπηρέτησης (ESRI, 2010).....	50
Σχήμα 10: Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας.....	53
Σχήμα 11: Διάγραμμα ροής διαδικασίας χωροθέτησης.....	57
Σχήμα 12: Η πόλη του Σικάγο και η επαρχία Κουκ, Ιλλινόις (Wikipedia, 2013).....	60
Σχήμα 13: Αυτοκινητόδρομοι στο δήμο Cook το 1970 (McClendon, 2005).....	60
Σχήμα 14: Σημερινή εικόνα του οδικού δικτύου στο κέντρο της πόλης του Σικάγο (Google maps).....	61
Σχήμα 15: Κόστος κόμβου (α).....	64
Σχήμα 16: Κόστος κόμβου (β).....	64
Σχήμα 17: Κόστος κόμβου (γ).....	65
Σχήμα 18: Τυπική απόκλιση ανά κόμβο για την περίοδο 2004 – 2010 (περιλαμβάνονται μόνο οι κόμβοι με τ.α. μεγαλύτερη από 40).....	65
Σχήμα 19: Υπολογισμένη ζήτηση των κόμβων του οδικού δικτύου της περιοχής μελέτης για τη χρονική περίοδο 2004 - 2010.....	66
Σχήμα 20: Οι κόμβοι ζήτησης του οδικού δικτύου για τη χρονική περίοδο 2004 - 2009.....	67
Σχήμα 21: Ποσοστό καλυπτόμενης διπλά ζήτησης σε συνάρτηση με το χρόνο επίλυσης.....	72
Σχήμα 22: Διαγραμμα ροής διαδικασίας χωροθέτησης.....	73
Σχήμα 23: Απεικόνιση των επιλεγμένων θέσεων και περιοχών εξυπηρέτησης για τη χωροθέτηση 25 οχημάτων με επίπεδο εξυπηρέτησης B στην πόλη του Σικάγο.....	77
Σχήμα 24: Μονή και διπλή κάλυψη ζήτησης για 20 οχήματα.....	78
Σχήμα 25: Χωροθέτηση 20 οχημάτων άμεσης επέμβασης για διαφορετικά επίπεδα εξυπηρέτησης.....	79

Σχήμα 26: Μονή και διπλή κάλυψη ζήτησης για 25 οχήματα	80
Σχήμα 27: Μονή και διπλή κάλυψη ζήτησης για 30 οχήματα	81
Σχήμα 28: Ποσοστό διπλής κάλυψης για το σύνολο των συνδυασμών για οχήματα 20, 25 και 30	82
Σχήμα 29: Χωροθέτηση διαφορετικού αριθμού οχημάτων άμεσης επέμβασης για επίπεδο εξυπηρέτησης Β	83
Σχήμα 30: Μέση τιμή μονής και διπλής κάλυψης ανά βάθος χρόνου χωροθέτησης..	88
Σχήμα 31: Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης για το έτος 2008, με δεδομένα εισαγωγής ενός έτους και τετραετίας.....	89

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αύξηση των αστικών μετακινήσεων τις τελευταίες δεκαετίες, με τα τροχαία ατυχήματα να αποτελούν μείζον κοινωνικό και οικονομικό ζήτημα, έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον της έρευνας στην οδική ασφάλεια. Μια οπτική του προβλήματος επικεντρώνεται στη βελτίωση της διαδικασίας επέμβασης μετά το συμβάν, με τη διεθνή βιβλιογραφία να καταδεικνύει τη σημαντικότητα της άμεσης και συνολικής ανταπόκρισης στα ατυχήματα. Σε αυτό το πλαίσιο, τα μη επαρκή Συστήματα Άμεσης Επέμβασης (ΣΑΕ) κατέχουν σημαντικό μερίδιο ευθύνης για τις επερχόμενες αρνητικές συνέπειες. Παράλληλα, ο σχεδιασμός των απαιτούμενων ενεργειών για αποτελεσματική αντιμετώπιση του προβλήματος αποτελεί μια ιδιαίτερα πολύπλοκη διαδικασία.

Στην παρούσα εργασία, αναπτύχθηκε ένα σύστημα χωροθετικού σχεδιασμού οχημάτων άμεσης επέμβασης, με διαμόρφωση εναλλακτικών σεναρίων όσο αφορά στις κύριες παραμέτρους του προβλήματος (αριθμός διατιθέμενων οχημάτων και μέση ταχύτητα). Η προσέγγιση πραγματοποιήθηκε βάσει Γενετικού Αλγόριθμου (ΓΑ) σε συνεργασία με ένα Γεωγραφικό Πληροφοριακό Σύστημα (ΓΠΣ), με σκοπό τη βέλτιστη εξυπηρέτηση της ζήτησης και παράλληλα τη διερεύνηση της καταλληλότητας του βάθους χρόνου των δεδομένων εισαγωγής. Επιπλέον, αναπτύχθηκε η μεθοδολογία για τον υπολογισμό της ζήτησης βάσει του κόστους ατυχημάτων, με τρόπο ώστε να λαμβάνεται υπόψη η διακύμανση της διαχρονικά. Ως εκ τούτου, ένα σημείο ζήτησης δεν αντιπροσωπεύεται μόνο από τη σοβαρότητα των ατυχημάτων αλλά και από τη σταθερότητα που παρουσιάζει διαχρονικά.

Η μελέτη εφαρμόστηκε στην πόλη του Σικάγο, στο Ιλλινόις των Η.Π.Α., με χρήση του πρότυπου χωροθέτησης διπλής κάλυψης (DSM), που σκοπό έχει την αντιμετώπιση της μη διαθεσιμότητας οχημάτων που προκύπτει από τη στοχαστική φύση του προβλήματος.

ABSTRACT

With traffic accidents being one of the major social and economical issues in respect to the growing urban mobility over the last decades, many researchers and practitioners focus their investigation on the implementation of measures to increase road safety. One aspect of the problem deals with the improvement of the post-crash intervention to the scene of an accident. The need of direct and solid response to such incidents is clearly illustrated in the literature, indicating that insufficient Emergency Medical Services (EMS) share responsibility for the resulting negative impacts, while the steps leading to efficient services require complex planning processes.

In this thesis, a location analysis system was developed to support the decision making for the deployment of emergency vehicles, based on a scenario planning approach regarding the major components of the problem (the size of the vehicle fleet and the average speed). This study was implemented using a Genetic Algorithm (GA) solving method, in collaboration with a Geographic Information System (GIS), aiming to identify the optimum locations of the vehicles in the area of interest by achieving adequate coverage of the demand and in parallel to investigate the chronological extend of the data to be incorporated. Furthermore, a method for the calculation of the demand was developed based on the occurring accident costs, taking into consideration the variance over time. Hence, a demand node is not only represented by the accidents' severity, but also by its stability over the years.

The methodological framework is applied in the city of Chicago, Illinois, using the Double Standard Model, which aims to deal with the uncertain availability of the vehicles due to the stochasticity of the problem.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες, οι μεταφορές ανά τον κόσμο, τόσο οι ιδιωτικές όσο και οι δημόσιες αυξάνονται διαρκώς. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η αύξηση της ζήτησης των μετακινήσεων αυτόματα συνεπάγεται και αύξηση των τροχαίων ατυχημάτων, η οδική ασφάλεια είναι μείζον ζήτημα κοινωνικού και οικονομικού ενδιαφέροντος και αντικείμενο έρευνας τόσο σε ακαδημαϊκό όσο και ιδιωτικό επίπεδο. Το πρόβλημα εντείνεται κυρίως στις αστικές περιοχές όπου το οδικό δίκτυο είναι πιο πυκνό και σύνθετο και οι κυκλοφοριακοί φόρτοι πολύ υψηλοί ιδιαίτερα τις ώρες αιχμής.

Πολλά κράτη μέσω των αρμόδιων φορέων καταβάλλουν προσπάθειες να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα τόσο με μέτρα πρόληψης όσο και βελτιώνοντας τις διαδικασίες επέμβασης μετά το συμβάν, και αυτό καθώς το κοινωνικό και οικονομικό κόστος των τροχαίων ατυχημάτων είναι ιδιαίτερα μεγάλο, ενώ οι επιδράσεις τους δεν περιορίζονται μόνο στα άτομα τα οποία εμπλέκονται άμεσα σε αυτό. Ο Sanchez-Mangaz et al. το 2010 αναφέρουν ότι η έρευνα τόσο στο παρελθόν όσο και σήμερα στην πρόληψη ατυχημάτων στο οδικό δίκτυο είναι αχανής, ωστόσο πολύ λιγότερη σημασία έχει δοθεί στις μετέπειτα συνέπειες των τροχαίων ατυχημάτων.

Προς αυτή την κατεύθυνση και όσο αφορά στο στάδιο της επέμβασης, σημαντικό ρόλο κατέχουν τα συστήματα άμεσης επέμβασης (EMS: Emergency Medical Services). Είναι γεγονός, ότι η αποτελεσματικότητα των συστημάτων άμεσης επέμβασης είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη μείωση των επιπτώσεων των τροχαίων ατυχημάτων και ειδικότερα του αριθμού των θανάτων και των τραυματισμών. (Wells, 2007). Επίσης ο Κεπαπτσόγλου et al. το 2012 αναφέρουν ότι η βιβλιογραφία έχει καταδείξει τη σημαντικότητα της άμεσης και συνολικής ανταπόκρισης στα ατυχήματα, με τα μη επαρκή συστήματα επέμβασης να έχουν σημαντικό μερίδιο ευθύνης για τους επερχόμενους θανάτους.

Η λειτουργία των συστημάτων άμεσης επέμβασης αποτελεί μια πολύπλοκη διαδικασία όπου οι επιμέρους συνιστώσες πρέπει να λειτουργούν συντονισμένα και με οργάνωση ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό επίπεδο εξυπηρέτησης και αποτελεσματικότητας. Ο σχεδιασμός των συστημάτων άμεσης επέμβασης περιλαμβάνει πολλές αλληλοσυνδεόμενες στρατηγικές αποφάσεις όπως τον αριθμό και τις θέσεις των σταθμών οχημάτων και των ίδιων των οχημάτων, την πολιτική αποστολής που ακολουθείται κ.ά. (Ingolfsson et al., 2008), ενώ έχει ευρέως ερευνηθεί στη βιβλιογραφία. Ιδιαίτερη σημασία έχει δοθεί στη χωροθέτηση υπηρεσιών άμεσης επέμβασης με τον κατάλληλο – ιδανικά βέλτιστο – τρόπο σε ένα δίκτυο, με χρήση κατάλληλων μοντέλων χωροθέτησης υπηρεσιών. (Current et al., 2002).

Η χωροθέτηση εγκαταστάσεων αποτελεί ζήτημα κρίσιμης σημασίας για ένα ευρύ φάσμα ιδιωτικών και δημόσιων δραστηριοτήτων. Συχνά αντιμετωπίζεται το δύσκολο πρόβλημα της βέλτιστης χωρικής κατανομής των εγκαταστάσεων με στόχο την εξυπηρέτηση διαφορετικού κατά περίπτωση σκοπού. Επιπλέον, οι συνεχείς αλλαγές

στον πληθυσμό, στις τάσεις της αγοράς, στους περιβαλλοντικούς παράγοντες και άλλα στοιχεία δημιουργούν την ανάγκη επαναχωροθέτησης, επέκτασης και αναπροσαρμογής των εγκαταστάσεων για τη διασφάλιση της συνεχούς και ικανοποιητικής ανταπόκρισής τους στις νέες συνθήκες.

Στον πυρήνα της επέκτασης των δυνατοτήτων στον τομέα της χωροθέτησης βρίσκονται μέθοδοι ανάλυσης όπως οι τεχνικές βελτιστοποίησης. Οι τεχνικές αυτές δεν αποτελούν πανάκεια στην εύρεση βέλτιστων λύσεων, καθώς τα προβλήματα του πραγματικού κόσμου με την πολυπλοκότητά από την οποία χαρακτηρίζονται δεν δύναται να απεικονιστούν πλήρως με τη χρήση μοντέλων. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των μοντέλων μπορεί να είναι βέλτιστα και ακριβή σε επίπεδο μαθηματικής επίλυσης, δεν αντιστοιχούν όμως απαραίτητα στη βέλτιστη λύση των πραγματικών προβλημάτων. Έτσι, ο ρόλος τους περιορίζεται περισσότερο στην υποστήριξη του μηχανικού, με την τελική όμως απόφαση να εναπόκειται στον ίδιο. Η μεγαλύτερη βοήθεια που προσφέρουν είναι η καλύτερη κατανόηση της ευαισθησίας των λύσεων στις αλλαγές των παραμέτρων, των περιορισμών και των κριτηρίων. Απομένει όμως στο μηχανικό η επιλογή μεταξύ των “καλών” λύσεων, αυτής που θεωρεί ότι προσαρμόζεται καλύτερα στις ανάγκες και τις απαιτήσεις του προβλήματος που εξετάζει. (Κωνσταντινίδου, 2010)

Στο παρελθόν έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες περίπτωσης που αφορούν στη χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης και δει ασθενοφόρων με εφαρμογή διαφορετικών μοντέλων χωροθέτησης, διαφορετικών τρόπων επίλυσης και ελέγχοντας διαφορετικές παραμέτρους του προβλήματος με στόχο όμως πάντα την εύρεση των βέλτιστων τοποθεσιών και την καλύτερη δυνατή κατανομή της εξυπηρέτησης της ζήτησης στην περιοχή μελέτης.

Σημαντικότερο ρόλο στην όλη διαδικασία μιας τέτοιας προσέγγισης κατέχουν τα Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα (ΓΠΣ) τα οποία συνηθέστερα λειτουργούν ως επικουρικό εργαλείο και παρέχουν δυνατότητες επεξεργασίας των δεδομένων προς ανάλυση, χαρτογραφικής αναπαράστασης, επόπτευσης και ελέγχου των αποτελεσμάτων. Έχει αποδειχθεί ότι τα ΓΠΣ έχουν “ωριμάσει” και αποτελούν μια εφαρμόσιμη, σημαντική τεχνολογία. Η ανάλυση χωροθέτησης είναι επίσης ένα πεδίο το οποίο συνεχίζεται να εξελίσσεται. Στην πραγματικότητα, ο συνδυασμός των δύο, αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα για τις εφαρμογές της χωρικής ανάλυσης, προσφέροντας ουσιώδεις δυνατότητες για συνεχόμενη θεωρητική και εμπειρική εξέλιξη. (Murray, 2010). Επιπλέον ο Saccomanno et al. το 2001 αναφέρουν ότι τα ΓΠΣ, με μεγάλη λειτουργικότητα στη γεωγραφική αναφορά, τη διαχείριση δεδομένων και την οπτικοποίηση, προσφέρουν ένα ιδανικό πλαίσιο εργασίας για την ανάλυση τροχαίων ατυχημάτων.

Στην παρούσα εργασία, διερευνήθηκε η διαδικασία χωροθέτησης οχημάτων άμεσης επέμβασης μέσω μιας διαδικασίας βελτιστοποίησης με χρήση Γενετικού Αλγορίθμου (GA: Genetic Algorithm) σε ένα πλαίσιο συνεργασίας με ένα ΓΠΣ, ενώ παράλληλα ως μια επιπλέον παράμετρος του προβλήματος εξετάστηκε και η καταλληλότητα του βάθους χρόνου των δεδομένων εισαγωγής. Η μελέτη εφαρμόστηκε στην πόλη του Σικάγο, Ιλλινόις, με χρήση της βάσης δεδομένων των τροχαίων ατυχημάτων της περιοχής, η οποία παρασχέθηκε από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας του Ιλλινόις (Illinois Institute of Technology). Το μοντέλο χωροθέτησης που επιλέχθηκε να

χρησιμοποιηθεί είναι το μοντέλο διπλής κάλυψης ή Double Standard Model – DSM (Gendreau et al., 1997), με διαμόρφωση εναλλακτικών σεναρίων όσο αφορά στις δυνατότητες των οχημάτων άμεσης επέμβασης (αριθμός οχημάτων, ταχύτητα).

Έχει αποδειχθεί ότι οι γενετικοί αλγόριθμοι παρέχουν εύρωστη αναζήτηση σε πολύπλοκα προβλήματα. Οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι μια μεταευριστική τεχνική η οποία κάνει χρήση των κανόνων της φυσικής εξέλιξης μέσω αλγορίθμων αναζήτησης. Είναι ικανοί να εντοπίζουν την ιδανική λύση ή κάποια λύση πολύ κοντά σε αυτήν αποφεύγοντας τον εγκλωβισμό σε τοπικά ακρότατα. Οι Hosage και Goodchild το 1986, ήταν οι πρώτοι που αναγνώρισαν τις τεράστιες ικανότητες των γενετικών αλγορίθμων σε σχέση με τους ευριστικούς για τα προβλήματα χωροθέτησης – κατανομής και έκτοτε έχουν εφαρμοστεί κατά κόρον σε τέτοιου είδους προβλήματα. (Arifin, 2010) Επιπλέον, πολλές μελέτες έχουν δείξει ότι οι γενετικοί αλγόριθμοι παρέχουν καλύτερα αποτελέσματα σε προβλήματα χωροθέτησης υπηρεσιών σε σχέση με άλλες παραδοσιακές μεθόδους. (Goldberg, 1989; Houck et al., 1996)

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία δομείται από πέντε κεφάλαια. Στο δεύτερο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση αναλύοντας το θεωρητικό υπόβαθρο του προβλήματος όσο αφορά στις λειτουργίες των οχημάτων άμεσης επέμβασης, τον τρόπο οργάνωσης αυτών και τους στόχους που έχουν τεθεί ώστε οι υπηρεσίες που προσφέρουν να θεωρηθούν επιτυχημένες, τις λειτουργίες των γενετικών αλγορίθμων, τις λειτουργίες των διαφορετικών μοντέλων χωροθέτησης που έχουν χρησιμοποιηθεί στη διεθνή βιβλιογραφία, το μοντέλο χωροθέτησης DSM, το οποίο επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία αλλά και τη συμμετοχή των ΓΠΣ ως βοηθητικό εργαλείο. επεξεργασίας και παρουσίασης των αποτελεσμάτων.

Στο επόμενο κεφάλαιο, ακολουθεί η ανάλυση της μεθοδολογίας η οποία προτείνεται για τη χωροθέτηση οχημάτων με χρήση των μοντέλων χωροθέτησης βάσει γενετικού αλγορίθμου. Περιγράφονται τα στάδια σχεδιασμού του συστήματος επίλυσης, οι παράμετροι που πρέπει να ρυθμιστούν και ο τρόπος με τον οποίο προτείνεται να γίνει αυτό, αλλά και ο τρόπος συνεργασίας με το ΓΠΣ. . Πιο συγκεκριμένα, γίνονται αναφορές στην αρχική επισκόπηση της περιοχής μελέτης, τον τρόπο με τον οποίο καθορίζονται οι παράμετροι του γενετικού αλγορίθμου και τα δεδομένα εισαγωγής, στη δημιουργία εναλλακτικών σεναρίων διερεύνησης καθώς και στη διερεύνηση του βάρους χρόνου των δεδομένων. Σημαντικό ρόλο στην όλη διαδικασία κατέχει η δημιουργία γεωβάσης στα πλαίσια του ΓΠΣ που χρησιμοποιείται, η παραγωγή των δεδομένων εισαγωγής και η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων.

Στη συνέχεια, στο κεφάλαιο 4 περιγράφεται η όλη διαδικασία της επεξεργασίας και εξαγωγής των αποτελεσμάτων για τη χωροθέτηση των οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο, η οποία είναι σύμφωνη με το μεθοδολογικό πλαίσιο που προηγήθηκε. Σχολιάζονται και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν, ελέγχοντας 9 διαφορετικά σενάρια για διαφορετική μέση ταχύτητα οχημάτων και διαφορετικό αριθμό διαθέσιμων οχημάτων, όσο αφορά στα ποσοστά μόνης και διπλής κάλυψης που επιτεύχθηκαν ενώ προσδιορίζεται το ιδανικό βάθος χρόνου των δεδομένων των τροχαίων ατυχημάτων για βέλτιστη χωροθέτηση οχημάτων σε μελλοντικό χρόνο.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τέλος, η εργασία ολοκληρώνεται με το κεφάλαιο των συμπερασμάτων που προέκυψαν.

2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 Συστήματα Άμεσης Επέμβασης (ΣΑΕ)

Τα Συστήματα Άμεσης Επέμβασης ή ΣΑΕ, γνωστά στο διεθνή χώρο ως Emergency Medical Services με τη συντομογραφία EMS, παρέχουν ιδιαίτερα σημαντική εξω-νοσοκομειακή φροντίδα σε όσους έχουν ανάγκη άμεσης ιατροφαρμακευτικής περίθαλψης αλλά και μεταφορά στις κατάλληλες μονάδες και εν γένει όποια άλλη διαδικασία απαιτείται για την κατάσταση των ανθρώπων που βρίσκονται σε ανάγκη είτε πρόκειται για τραυματισμό είτε για κάποια ασθένεια και για την οποία δεν μπορούν να εφαρμόσουν οι ίδιοι τα απαραίτητα ιατρικά μέτρα. (Services Office of Emergency Medical, 2012)

Τα ΣΑΕ έχουν μεγάλο εύρος δραστηριοτήτων και διαφορετικές ονομασίες όπως ομάδα πρώτων βοηθειών, ομάδα διάσωσης, υπηρεσίες ασθενοφόρων κ.λπ. Εξελίχθηκαν με σκοπό να αντικαταστήσουν το απλό σύστημα μεταφορά των ασθενοφόρων σε ένα σύστημα πραγματικής ιατρικής φροντίδας τόσο στο χώρο του ασθενούς όσο και κατά τη μεταφορά. Στα περισσότερα ανεπτυγμένα κράτη, τα ΣΑΕ καλούνται μέσω μιας τηλεφωνικής γραμμής άμεσης ανάγκης με σύνδεση στο κέντρο ελέγχου το οποίο στη συνέχεια θα δώσει εντολή στην κατάλληλη ομάδα ή όχημα να σπεύσει στο σημείο. Επίσης, κατέχουν το ρόλο της μεταφοράς ασθενών από ένα ιατρικό κέντρο σε κάποιο άλλο συνήθως για παροχές ανώτερου επιπέδου ή μεγαλύτερης εξειδίκευσης αλλά και το αντίθετο, όταν πλέον ο κίνδυνος για την υγεία του ασθενούς έχει παρέλθει.

Τα εν λόγω συστήματα, πολλές φορές έχουν και άλλου είδους αποστολές να διεκπεραιώσουν, όπως απεγκλωβισμούς, άντληση υδάτων, προστασία από πυρκαγιά κ.λπ. Έτσι, η εκπαίδευση και το επίπεδο ικανότητας για τα άτομα που εργάζονται σε αυτό το χώρο ποικίλουν κατά περίπτωση. Παραδείγματος χάριν, σε κάποιο σύστημα μπορεί να εργάζεται κάποιος ως οδηγός ασθενοφόρου χωρίς καμία περεταίρω ιατρική εκπαίδευση. Στις περισσότερες περιπτώσεις όμως, υπάρχει προσωπικό το οποίο κατέχει διαπιστεύσεις τουλάχιστον για τις βασικές πρώτες βοήθειες όπως το σύστημα Basic Life Support (BLS) ή ακόμα και το Advanced Life Support (ALS), όπου περιλαμβάνονται παραϊατρικές υπηρεσίες, νοσοκόμοι ακόμα και ιατροί. (Wikipedia, 2012)

2.1.1 ΣΑΕ και τροχαία ατυχήματα

Όσο αφορά στον ρόλο των ΣΑΕ στα τροχαία ατυχήματα, ο David C. et al. αναφέρουν το 2001 πως τα θύματα σοβαρών τραυματισμών είναι εμφανές ότι έχουν περισσότερες πιθανότητες να χάσουν τη ζωή τους αν η ιατρική περίθαλψη που αναμένουν καθυστερήσει. Ωστόσο, ο τρόπος με τον οποίο ο κίνδυνος αυξάνεται σε συνάρτηση με το χρόνο δεν είναι τόσο εμφανής αλλά ούτε και η επίδραση της ιατρικής παρέμβασης σε διαφορετικές χρονικές στιγμές μετά τον τραυματισμό. Ο καθορισμός των ποσοτήτων αυτών θα παίξει σημαντικό ρόλο στην αξιολόγηση των

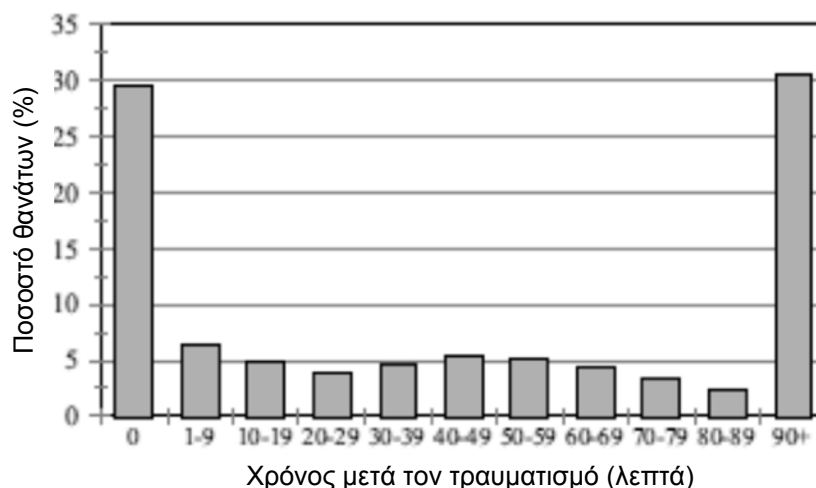
ιατρικών παρεμβάσεων ώστε να μειωθεί η θνησιμότητα μετά από κάποιο τραυματισμό. (Clark & Cushing, 2002)

Τα ΣΑΕ λοιπόν όσο αφορά στα τροχαία ατυχήματα έχει αποδειχθεί μέσα από πολλές μελέτες ότι υποβοηθούνται σημαντικά από τα αναπτυσσόμενα εδώ και κάποια χρόνια συστήματα αυτόματης ειδοποίησης τροχαίων ατυχημάτων (ACN – Automatic Collision Notification systems). Με χρήση των δύο συστημάτων σε συνδυασμό, αισθητήρες σύγκρουσης που βρίσκονται στο όχημα αλλά συστήματα εντοπισμού θέσης (τεχνολογία GPS), παρέχουν τη δυνατότητα άμεσης ειδοποίησης του ΣΑΕ σε περιπτώσεις που υπάρχει κίνδυνος για τη ζωή των εμπλεκόμενων στο ατύχημα. Τέτοια συστήματα στις Η.Π.Α. έχουν αναπτυχθεί από ιδιωτικούς φορείς, όπως το σύστημα OnStar, ενώ για τα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης υπό σχεδιασμό είναι το σύστημα eCall.

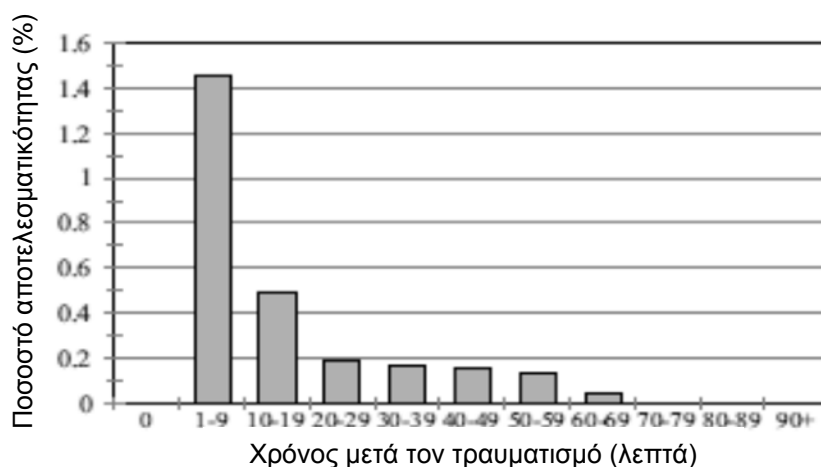
Τη στιγμή που συμβαίνει ένα ατύχημα, ένας ειδικά εκπαιδευμένος σύμβουλος έρχεται σε επαφή με το όχημα. Αν ο επιβάτης ή ο οδηγός ζητήσει βοήθεια ή αν δεν υπάρχει καμία ανταπόκριση από την πλευρά του οχήματος, μια ομάδα άμεσης επέμβασης έρχεται στην ακριβή θέση του ατυχήματος με τα δεδομένα που έχουν αποσταλεί μέσω του συστήματος GPS. Το όχημα επίσης στέλνει και άλλα σημαντικά στοιχεία για το ατύχημα όπως κατεύθυνση, κατάσταση οχήματος, ταχύτητα κ.λπ.. Έτσι αξιολογείται η σοβαρότητα του ατυχήματος. Ο σύμβουλος διαθέτει τις πληροφορίες που μπορεί να αποδειχθούν σωτήριες για τα θύματα πριν ακόμα φτάσει η ομάδα επέμβασης. (OnStar, 2012)

Μετά το ατύχημα, ξεκινάει η αντίστροφη μέτρηση ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι τραυματισμοί και να αυξηθούν τα οφέλη. Επομένως, η αυτόματη επέμβαση σε ατυχήματα επιταχύνει την ιατρική επέμβαση, εξοπλίζοντας την ομάδα με χρήσιμες πληροφορίες για την κατάσταση του ατυχήματος και των τραυματιών. (OnStar, 2012)

Όπως είναι λοιπόν αντιληπτό, η άμεση και αποτελεσματική επέμβαση όταν συμβαίνει ένα τροχαίο ατύχημα είναι ιδιαίτερα σημαντική. Αυτό αποδεικνύεται μέσα από πολλές έρευνες που έχουν εκπονηθεί τα τελευταία χρόνια (Sihvola et al, 2009; Lahaussier et al, 2008; Carter & Perziotti; 2001, Evanco, 1999), μια εκ των οποίων είναι αυτή των Kanianthra et al. οι οποίοι το 2001 αναλύοντας στοιχεία της βάσης δεδομένων του συστήματος FARS (Fatality Analysis Report System) των Η.Π.Α. για το έτος 1999 παρουσιάζουν στα παρακάτω διαγράμματα (Σχήμα 1, 2) τη διακύμανση των θανάτων και της επίδρασης των συστημάτων EMS αντίστοιχα, σε διάφορες χρονικές στιγμές μετά τη σύγκρουση.



Σχήμα 1: Διακύμανση επερχόμενων θανάτων μετά τη σύγκρουση (Kanianthra et al., 2001)



Σχήμα 2: Επίδραση της άμεσης επέμβασης μετά τη σύγκρουση (Kanianthra et al., 2001)

Από τα παραπάνω διαγράμματα είναι φανερό ότι, αν εξαιρέσει κανείς τα ατυχήματα στα οποία επέρχεται κάποιος θάνατος θύματος ακαριαία ή τις περιπτώσεις όπου τα θύματα επιβαρύνονται με κάποια σοβαρή σωματική βλάβη που θα τα οδηγήσει στο θάνατο ανεξάρτητα από την αμεσότητα της επέμβασης, πολλές φορές και αρκετές ημέρες αργότερα στο χώρο νοσηλείας τους, η περίθαλψη μέσα στα πρώτα λεπτά έχει σοβαρότατη επίδραση στη μετέπειτα πορεία τους. Προς αυτή την κατεύθυνση κινούνται και οι αρμόδιοι οργανισμοί που θέτουν κάποιους χρόνους ασφαλείας στην όλη διαδικασία.

Για να είναι εφικτή η διαδικασία επέμβασης που περιγράφηκε παραπάνω και να μεγιστοποιηθούν τα οφέλη, το όλο σύστημα πρέπει να προσεκτικά οργανωμένο κάτι το οποίο απαιτεί ιδιαίτερα ακριβή και σωστό σχεδιασμό. Ο σχεδιασμός ενός τέτοιου συστήματος περιγράφεται στο επόμενο υποκεφάλαιο.

2.1.2 Σχεδιασμός των ΣΑΕ

Ο σχεδιασμός των ΣΑΕ περιλαμβάνει πολλές αλληλοσυνδεόμενες στρατηγικές αποφάσεις όπως τον αριθμό και τις θέσεις των σταθμών οχημάτων και των ίδιων των οχημάτων, την πολιτική αποστολής που ακολουθείται κ.ά., ώστε να εξασφαλιστεί η ομαλή διαδοχή των απαιτούμενων ενεργειών για την αποτελεσματική αντιμετώπιση ενός συμβάντος. (Ingolfsson et al., 2008)

Η ακολουθία αυτή των γεγονότων που οδηγεί στην επέμβαση ενός οχήματος σε κάποιο περιστατικό περιλαμβάνει συνοπτικά (έχουν αναλυθεί παραπάνω) τα εξής τέσσερα βήματα:

- Εντοπισμός και αναφορά του περιστατικού
- Έλεγχος της κλήσης και απόκτηση πληροφοριών
- Αποστολή οχήματος
- Επέμβαση στο περιστατικό από το προσωπικό του οχήματος

Οι αποφάσεις που λαμβάνονται από τους διαχειριστές του ΣΑΕ αφορούν το δεύτερο και τρίτο βήμα. Ο βασικός ρόλος της διαδικασίας ελέγχου της κλήσης και της απόκτησης πληροφοριών είναι ο καθορισμός της σοβαρότητας του περιστατικού και του βαθμού του επειγόντος (σε μία κλίμακα π.χ. από το 1 έως το 4) και η απόφαση για τον αριθμό και τον τύπο των οχημάτων που θα αποσταλούν. (Brotcorne et al., 2003)

Ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ της κλήσης και της επέμβασης του οχήματος ονομάζεται χρόνος απόκρισης και είναι ένας από τους κύριους παράγοντες που επηρεάζει την απόδοση του συστήματος. Στις αστικές περιοχές, ο χρόνος εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους των κλήσεων και του συστήματος όπως ο τύπος και η θέση της ζήτησης, ο αριθμός και η θέση των οχημάτων, η συμφόρηση του συστήματος, οι τοπικές κυκλοφοριακές συνθήκες, η ημέρα της εβδομάδας και η ώρα κ.ά.. (Takeda et al., 2007)

Το πιο προφανές και σημαντικό κομμάτι του χρόνου απόκρισης είναι ο χρόνος διαδρομής μεταξύ της θέσης του οχήματος και του σημείου ζήτησης. Ωστόσο, δεν είναι το μόνο καθώς στο χρόνο αυτό περιλαμβάνονται και οποιεσδήποτε προηγούμενες καθυστερήσεις όπως οι χρόνοι ελέγχου της κλήσης και απόκτησης πληροφοριών για το περιστατικό, επικοινωνίας με το προσωπικό και εκκίνησης του οχήματος. Επιπλέον, ο χρόνος απόκρισης επηρεάζεται από τη διαθεσιμότητα των οχημάτων καθώς είναι πιθανό η κλήση να χρειαστεί να εξυπηρετηθεί από κάποιο όχημα που μπορεί να μην είναι το κοντινότερο ως προς τη θέση του περιστατικού ή να μπει σε ουρά αναμονής σε περίπτωση μη διαθεσιμότητας κανενός οχήματος. (Ingolfsson et al., 2008)

Στην παρούσα εργασία, προβλήματα όπως καθυστερήσεις επικοινωνίας κ.λπ. δεν μπορούν να ελεγχθούν και κατ' επέκταση να διερευνηθούν περεταίρω. Σκοπός όμως είναι να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα ώστε να γίνει περισσότερο αποτελεσματική η διαδικασία από τη στιγμή που ξεκινάει ένα όχημα προς το χώρο του συμβάντος.

Λόγω της ζωτικής σημασίας του χρόνου σε έκτακτα περιστατικά, είναι σημαντικό τα οχήματα να είναι ανά πάσα στιγμή χωροθετημένα με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται επαρκής κάλυψη της ζήτησης και κατά το δυνατόν μικρός χρόνος απόκρισης. Όμως, προδιαγραφές, επιστημονικά στοιχεία, αποτελεσματικότητα, μετρήσεις και ο τρόπος που ένα ΣΑΕ μπορεί να βελτιώσει το χρόνο απόκρισης είναι όλα σύνθετα ζητήματα υπό συζήτηση, σχολιάζει ο Fitch το 2005.

Ένας κοινός στόχος απόδοσης είναι η απόκριση σε ένα ποσοστό x των κλήσεων εντός y λεπτών. Το United States Emergency Medical Services Act θέτει κάποιες τέτοιες προδιαγραφές: στις αστικές περιοχές το 95% των κλήσεων πρέπει να εξυπηρετείται εντός 10 min ενώ το αντίστοιχο ποσοστό στις αγροτικές περιοχές πρέπει να εξυπηρετείται εντός 30 min. Το National Health Service στο Ηνωμένο Βασίλειο θέτει το στόχο της εξυπηρέτησης του 75% των κλήσεων για EMS (Emergency Medical Services) εντός 8 min και του 95% εντός 14 min (Department of Health, 2008). (Κωνσταντινίδου, 2010). Επιπλέον, ο οργανισμός NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) ορίζει ότι για περιπτώσεις όπου απειλείται η ζωή κάποιου θύματος θα πρέπει η πρώτη ανταπόκριση να συμβαίνει σε 4 λεπτά σε αστικό περιβάλλον ενώ σε 8 λεπτά να υπάρχει ανταπόκριση από το προσωπικό του ALS. (Fitch, 2005)

Δεν υπάρχει κάποιος παγκοσμίως αποδεκτός χρόνος απόκρισης. Ωστόσο, στις αστικές περιοχές, μια ευρέως χρησιμοποιούμενη οδηγία είναι 8:59 λεπτά με 90% αξιοπιστία. Θεωρητικά, η μέτρηση του χρόνου συμπεριλαμβάνει έναν συντελεστή αξιοπιστίας και μετρά όλα τα χρονικά διαστήματα από την ώρα που το κέντρο λαμβάνει αρκετή πληροφορία ώστε να ξεκινήσει ένα όχημα έως τη στιγμή που η ομάδα φτάνει στο σημείο του ατυχήματος. Όμως τα 8:59 λεπτά, είναι σύμφωνα και με το χρόνο απόκρισης που πρότεινε ο οργανισμός NFPA (National Fire Protection Association) όταν ζητήθηκε να συμπεριλάβει το χρόνο επεξεργασίας των κλήσεων. Ο εν λόγω χρόνος προσδιορίστηκε κατά τη διάρκεια μελετών καρδιακών προβλημάτων τη δεκαετία του 1970 από τους Alvarez και Cobb στο Σηάτλ. Σημειώθηκε δραματική αύξηση της επιβίωσης όταν επετεύχθη μειωμένος χρόνος. (Fitch, 2005)

Μία άλλη καθοριστική παράμετρος εκτός από τα χρονικά όρια που έχουν τεθεί κατά περίπτωση, είναι η ταχύτητα που μπορούν να αναπτύξουν τα οχήματα άμεσης επέμβασης. Ο Branas το 2005, αναφέρει μετά από μετα-ανάλυση στην οποία συμπεριλήφθηκαν 49 μελέτες της χρονικής περιόδου 1975 – 2005 και περισσότερες από 155000 περιπτώσεις ασθενών σε 20 πολιτείες των Η.Π.Α., ότι η ταχύτητα των ασθενοφόρων έχει καταγραφεί κατά μέσο όρο 20,1 mph σε αστικό περιβάλλον, 47,5 mph σε περιοχές προαστίων και 56,4 mph σε μη αστικές περιοχές. (Branas, 2005)

Όπως σε κάθε σύστημα, έτσι και κατά το σχεδιασμό ή την τροποποίηση ενός συστήματος άμεσης επέμβασης, οι διαχειριστές θα πρέπει να ισορροπήσουν τα οφέλη της βελτίωσης της εξυπηρέτησης και της αντίστοιχης αύξησης του κόστους. Αρκετές μελέτες προτείνουν τρόπους εξορθολογισμού της χρήσης των διαθέσιμων πόρων και βελτίωσης των παρεχόμενων υπηρεσιών. Ωστόσο, μικρός αριθμός αυτών λαμβάνει υπ' όψιν την πιθανοτική φύση του προβλήματος. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην πολυπλοκότητα των συστημάτων καθώς η αβεβαιότητα σχετίζεται με το χρόνο,

τη θέση, την ποσότητα και το είδος της ζήτησης ενώ υπάρχουν συγκεκριμένες πολιτικές αποστολής. (Takeda et al., 2007)

Όσο αφορά στο μοντέλο διπλής κάλυψης που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία έχουν οριστεί δύο χρονικές ακτίνες προσέγγισης. Σε ακτίνα r_1 στόχος είναι να μεγιστοποιείται η διπλή κάλυψη της ζήτησης ενώ το 95% αυτής να καλύπτεται τουλάχιστον μια φορά και σε ακτίνα r_2 να καλύπτεται το σύνολο της ζήτησης. Ωστόσο σύμφωνα με τον Gendreau et al. (1997), δεν έχει οριστεί κάποια τιμή για την ακτίνα r_2 . Το “Urgences Sante”, στο Μόντρεαλ του Καναδά, θα επιθυμούσε η ακτίνα αυτή να είναι τα 15 λεπτά.

2.2 Προβλήματα χωροθέτησης

Η χωροθέτηση μιας εγκατάστασης ή υπηρεσίας στην καλύτερη δυνατή τοποθεσία είναι ένα πρόβλημα λήψης αποφάσεων. Το καλύτερο σημείο εξαρτάται από κριτήρια όπως η ιδανική απόσταση, η ικανότητα της εγκατάστασης, το ιδανικό κόστος κλπ. Η χωροθέτηση μπορεί να βασιστεί σε κριτήρια όπως τα παραπάνω ή σε συνδυασμό αυτών. Επομένως ο στόχος των προβλημάτων χωροθέτησης – κατανομής είναι η εύρεση της καλύτερης δυνατής τοποθεσίας ή τοποθεσιών για μια εγκατάσταση ή υπηρεσία έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η ωφέλεια με βάση ένα ή περισσότερα κριτήρια καθώς μια λανθασμένα επιλεγμένη τοποθεσία για κάποια εγκατάσταση έχει αρνητικές επιπτώσεις στις υπηρεσίες που μπορεί να προσφέρει. Η εγκατάσταση αυτή μπορεί να αφορά σε σχολεία, νοσοκομεία, επιχειρήσεις, πυροσβεστικά οχήματα ή ασθενοφόρα.

2.2.1 Το ενδιαφέρον για τα προβλήματα χωροθέτησης

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον όσο αφορά στην ανάλυση των προβλημάτων χωροθέτησης σε προβλήματα της καθημερινότητας. Η μακρά και εκτενής έρευνα για τα προβλήματα χωροθέτησης πηγάζει από πολλούς διαφορετικούς παράγοντες.

Τα προβλήματα χωροθέτησης-κατανομής ανήκουν σε εκείνη την κατηγορία προβλημάτων, για τα οποία η χωρική διάσταση διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της λύσης (χωροθέτηση υπηρεσιών, γεωγραφική αναδιοργάνωση υπάρχοντος συστήματος μονάδων παροχής υπηρεσιών κλπ.). Παράλληλα, η χωρική κατανομή των κρισίμων μεγεθών του προβλήματος και οι προκύπτουσες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των εναλλακτικά πιθανών θέσεων χωροθέτησης κέντρων είναι καθοριστικοί παράγοντες της διαδικασίας επίλυσης τέτοιων προβλημάτων. Η μαθηματική θεμελίωση των προβλημάτων χωροθέτησης-κατανομής έγινε από τον Fermat (1601-1655) και η πρώτη εφαρμογή τους από τον Weber (1909) για τη χωροθέτηση των καταστημάτων και των αποθηκών κάποιας επιχείρησης, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται το συνολικό κόστος μεταφοράς των προϊόντων της. (Γραικούσης & Φώτης, 2005)

Στη γενική της μορφή τα προβλήματα χωροθέτησης-κατανομής πραγματεύονται το εξής πρόβλημα: Με δεδομένο ένα χωρικό σύστημα ζήτησης, να χωροθετηθούν κέντρα παροχής υπηρεσιών (εξυπηρέτησης) και να περιφερειοποιηθεί ο χώρος ως

προς αυτά τα κέντρα, κατά τον "καλύτερο δυνατό τρόπο" (Κουτσόπουλος, 1990). Όπου ο "καλύτερος δυνατός τρόπος" επιτυγχάνεται μέσω της βελτιστοποίησης κάποιας αντικειμενικής συνάρτησης, όπου μεγιστοποιείται το όφελος ή ελαχιστοποιείται η απώλεια από τη χρησιμοποίηση των εν λόγω κέντρων εξυπηρέτησης.

Διαφοροποιήσεις της γενικής αυτής μορφής, με την εισαγωγή περιορισμών που αφορούν στη ζήτηση ή την εξυπηρέτηση και τη διατύπωση εναλλακτικών αντικειμενικών συναρτήσεων και υποθέσεων, οδήγησαν σε μια ποικιλία χωροθετικών προβλημάτων. Καθώς δε, τα διάφορα αυτά είδη προβλημάτων χωροθετικού σχεδιασμού παρουσιάζουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά, αποτελούν ελκυστικούς υποψήφιους για την ανάπτυξη γενικευμένων (generic) διαδικασιών για την επίλυσή τους. (Φώτης, 2000)

Η λήψη αποφάσεων για χωροθετήσεις λαμβάνει χώρα σε όλα τα επίπεδα της καθημερινότητας και της οργανωμένης κοινωνίας, ξεκινώντας από το ατομικό επίπεδο έως κυβερνητικές αποφάσεις σε εθνικό και διεθνές επίπεδο. (Current et al., 2001)

Η θέση των υπηρεσιών και εγκαταστάσεων αποτελεί πρωτεύον θέμα σε κάθε πρωτοβουλία για ανθρωποκεντρικό σχεδιασμό. Ιδιαίτερα όταν το πρόβλημα αφορά αποκλειστικά το δημόσιο τομέα και τη χωροθέτηση των υπηρεσιών του, ο χωροθετικός σχεδιασμός αποτελεί τη βέλτιστη λύση η οποία κατ' αρχήν θα πρέπει να έχει θετικές επιπτώσεις στην κοινωνία. Επιπλέον η κατάλληλη θέση των δημόσιων υπηρεσιών και η επαρκής προσβασιμότητα αποτελούν ένα από τα θεμελιώδη τμήματα του περιβάλλοντος που καθορίζει και επηρεάζει την ποιότητα ζωής. (Athanasίου & Photis, 2004)

Δεύτερον, τέτοιες αποφάσεις συχνά έχουν στρατηγικό χαρακτήρα καθώς μέσω αυτών γίνεται διαχείριση πόρων σε μεγάλη κλίμακα έχοντας μακροπρόθεσμες οικονομικές επιπτώσεις. Όσο αφορά στον ιδιωτικό τομέα επιδρούν στην ικανότητα μιας εταιρείας να ανταγωνιστεί την αγορά. Στο δημόσιο τομέα ακούν επιρροή στις αρμόδιες αρχές που παρέχουν δημόσιες υπηρεσίες και στην ικανότητα αυτών να προσελκύσουν νοικοκυριά ή άλλες πηγές οικονομικής δραστηριότητας. Τρίτον, με τη λήψη αποφάσεων συχνά δημιουργούνται εξωτερικά κόστη, όπως μεταξύ άλλων η μόλυνση του περιβάλλοντος, κυκλοφοριακή συμφόρηση και η οικονομική ανάπτυξη. Τέταρτον, τα προβλήματα χωροθέτησης συχνά είναι ιδιαίτερα δύσκολο να επιλυθούν, τουλάχιστον επιφέροντας τις ιδανικές λύσεις. Στην πραγματικότητα η πολυπλοκότητα των υπολογισμών ενός τέτοιου προβλήματος είναι ένας από τους κύριους λόγους για τους οποίους η εφαρμογή μοντέλων χωροθέτησης δεν είχε χρησιμοποιηθεί μέχρι την εμφάνιση του ηλεκτρονικού υπολογιστή. (Current et al., 2001)

Εντέλει, τα μοντέλα χωροθέτησης είναι άμεσα εξαρτώμενα από την εκάστοτε εφαρμογή. Η δομή τους (στόχοι, περιορισμοί και μεταβλητές) καθορίζεται βάσει της περιοχής μελέτης. Συνεπώς δεν υπάρχει κάποιο συγκεκριμένο μοντέλο χωροθέτησης κατάλληλο για όλες τις εφαρμογές. (Current et al., 2001) Προτού γίνει περεταίρω ανάλυση των προβλημάτων χωροθέτησης, παρουσιάζεται μια βασική διαφοροποίησή τους, αυτή μεταξύ των προβλημάτων δημόσιου και ιδιωτικού τομέα.

2.2.2 Διαφορές προβλημάτων χωροθέτησης στον ιδιωτικό και δημόσιο τομέα

Τα προβλήματα χωροθέτησης εγκαταστάσεων του ιδιωτικού και δημόσιου τομέα μοιάζουν μεταξύ τους υπό την έννοια του κοινού σκοπού: τη μεγιστοποίηση κάποιου μέτρου χρησιμότητας και ταυτόχρονα την ικανοποίηση περιορισμών όσον αφορά τη ζήτηση και άλλες συνθήκες. Υπό τη στενή έννοια, διαφέρουν ως προς τον τρόπο διαμόρφωσης των αντικειμενικών συναρτήσεων και των περιορισμών. Υπό την ευρεία έννοια, διαφέρουν όσον αφορά την ιδιοκτησία. (ReVelle et al., 1970)

Η απάντηση στις διαφορές μεταξύ των προβλημάτων δημόσιου και ιδιωτικού τομέα βρίσκεται στη φύση των στόχων οι οποίοι λαμβάνονται υπόψη κατά τη λήψη αποφάσεων. Η εφαρμογές δημόσιου και ιδιωτικού τομέα είναι διαφορετικές λόγω των διαφορετικών κριτηρίων βελτιστοποίησης στις δύο περιπτώσεις. Η μεγιστοποίηση του κέρδους και η απορρόφηση μεγαλύτερου μεριδίου της αγοράς από τους ανταγωνιστές είναι τα κύρια κριτήρια στις ιδιωτικές εφαρμογές, ενώ η ελαχιστοποίηση του δημόσιου κόστους, η συλλογικότητα των υπηρεσιών, η ισότητα και η αποτελεσματικότητα είναι οι στόχοι για το δημόσιο τομέα. Καθώς τα μεγέθη αυτά είναι δύσκολο να μετρηθούν, συχνά αντικαθίστανται από κριτήρια όπως την ελαχιστοποίηση του κόστους χωροθέτησης και λειτουργίας που απαιτείται για την πλήρη κάλυψη από την εκάστοτε υπηρεσία, ή τη μεγιστοποίηση της κάλυψης δεδομένων των διαθέσιμων πόρων. (Marianon & Serra, 2004)

Πρέπει να σημειωθεί ότι αν και δεν αποτελεί σύνηθες φαινόμενο, είναι απόλυτα επιτρεπτό σε μια δημόσια υπηρεσία να κάνει χρήση κάποιων από τα εργαλεία που τυπικά χρησιμοποιούνται από ιδιώτες επενδυτές. Παραδείγματος χάριν, μια δημόσια υπηρεσία υγείας μπορεί να ανταγωνίζεται αντίστοιχες ιδιωτικές υπηρεσίες και ως εκ τούτου να μειώσει την κρατική ενίσχυση για τη διατήρηση της υπηρεσίας. (Marianon & Serra, 2004)

Ένα επιπλέον πρόβλημα είναι ότι στα πρότυπα χωροθέτησης του δημόσιου τομέα δεν υπάρχει κάποιος κυρίαρχος στόχος και διαφορετικές λύσεις μπορούν να δοθούν για τη βελτιστοποίηση ενός χωροθετικού σχεδιασμού. Για παράδειγμα, στην περίπτωση χωροθέτησης ασθενοφόρων, το ενδιαφέρον μπορεί να εστιάζεται στην τοποθέτηση τους έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται ο μέσος χρόνος απόκρισης του συστήματος, ή ώστε να καλύπτεται ο πληθυσμός με αυξημένο κίνδυνο εντός ενός αποδεκτού χρονικού διαστήματος ή απόστασης. (Marianon & Serra, 2004)

Το μεγαλύτερο τμήμα της αναλυτικής εργασίας στην ανάλυση χωροθέτησης έχει διεξαχθεί στον ιδιωτικό τομέα. Η ανάλυση χωροθέτησης του ιδιωτικού τομέα θέτει τη βασική απόφαση χωροθέτησης ως μία ανταλλαγή (trade-off) ανάμεσα στο κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος των εγκαταστάσεων για την ικανοποίηση των αναγκών για κάποιο προϊόν και το κόστος μεταφοράς. Υψηλά μεταφορικά κόστη και χαμηλά κόστη εγκαταστάσεων υπαινίσσονται την ύπαρξη αποκέντρωσης, το αντίθετο υπαινίσσεται την ύπαρξη μερικών μεγάλων, κεντρικών εγκαταστάσεων. (ReVelle et al., 1970)

Υπάρχουν και εξωτερικοί παράγοντες που συχνά επηρεάζουν την επιλογή της λύσης που τελικά υιοθετείται. Οι περιορισμοί αυτοί τίθενται από το κοινωνικό σύνολο με σκοπό να διασφαλίσουν την ευημερία του. Συγκεκριμένα, επιδιώκεται οι αποφάσεις των ιδιωτικών εταιριών να μη λαμβάνονται με αποκλειστικό γνώμονα το ιδιωτικό

όφελος, αλλά με συνυπολογισμό και άλλων παραμέτρων όπως η προστασία του περιβάλλοντος, η διαφύλαξη πολύτιμων πόρων, η αισθητική και η ισότητα των ευκαιριών. (ReVelle et al., 1970)

Παρακάτω ακολουθεί περεταίρω ανάλυση των προβλημάτων χωροθέτησης, πέραν του διαχωρισμού τους σε προβλήματα δημόσιου και ιδιωτικού τομέα.

2.2.3 Βασικοί τύποι προβλημάτων χωροθέτησης

Στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν καταγραφεί διαφορετικές ταξινομήσεις των προβλημάτων χωροθέτησης. Στο παρόν υποκεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικοί τύποι προβλημάτων χωροθέτησης με σκοπό να δοθεί μια γενική εικόνα αντιμετώπισης του προβλήματος.

Αρχικά, μια από τις ταξινομήσεις κατατάσσει τα προβλήματα χωροθέτησης με βάση τη συνιστώσα της έννοιας του χώρου που προσφέρεται για την χωροθέτηση των λύσεων. Ο χώρος μπορεί να διακριτός, συνεχής ή κάποιο δίκτυο. Σε ένα μοντέλο διακριτού χώρου, γίνεται η υπόθεση ότι υπάρχει μια προγενέστερη γνώση όσο αφορά στις πιθανές τοποθεσίες χωροθέτησης με αποτέλεσμα κάποιες “καταλληλότερες” τοποθεσίες να έχουν προεπιλεχθεί από ένα σύνολο δυνατών λύσεων. Στα μοντέλα συνεχούς χώρου, μια ή περισσότερες συνεχώς μεταβαλλόμενες συντεταγμένες καθορίζουν όλες τις δυνατές θέσεις επίλυσης. Συνήθως οι πιθανές αυτές θέσεις χωροθέτησης θεωρούνται ότι ανήκουν οπουδήποτε στον Ευκλείδειο χώρο. Στα μοντέλα δικτύου ο χώρος περιορίζεται στο γράφο που αποτελεί το δίκτυο. Τα μοντέλα αυτά μπορούν να επιλύσουν προβλήματα πολύ μεγαλύτερου μεγέθους. Τα μοντέλα δικτύου διακρίνονται σε αυτά με συνεχή θεώρηση του χώρου και σε αυτά με διακριτή. Για τα δίκτυα συνεχούς χώρου, θεωρείται πως τα τμήματα του δικτύου αποτελούν τμήματα συνεχούς χώρου για τις πιθανές θέσεις χωροθέτησης. Για τα δίκτυα διακριτού χώρου, θεωρείται ότι οι χωροθέτηση μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο σε κόμβους του δικτύου. (Arifin, 2010)

Παρακάτω στον Πίνακα 1 που επισυνάπτεται παρουσιάζεται η ταξινόμηση των προβλημάτων χωροθέτησης με χρήση της εργασίας των Schietzelt και Densham (2003).

Πίνακας 1: Ταξινόμηση προβλημάτων χωροθέτησης με διαφορετικούς παράγοντες κατηγοριοποίησης βάσει της μελέτης των Schietzelt και Densham (Κωνσταντινίδου, 2010)

Κατηγοριοποίηση	Περιγραφή
Επιπέδου / Δικτύου / Διακριτά (Planar / Network / Discrete)	<ul style="list-style-type: none"> • Επιπέδου (Planar): η ζήτηση μπορεί να εμφανιστεί οπουδήποτε στο επίπεδο • Δικτύου (Network): η ζήτηση μπορεί να εμφανιστεί και οι εγκαταστάσεις να τοποθετηθούν μόνο στους κόμβους ή στους συνδέσμους του δικτύου ενώ οι διαδρομές που ακολουθούνται περιορίζονται από το δίκτυο • Διακριτά (Discrete): οι κόμβοι είναι σταθεροί αλλά το κόστος διαδρομής μεταξύ τους δεν καθορίζεται από ένα υποκείμενο δίκτυο
Δέντρου / γραφήματος (Tree / Graph)	Ορισμένα προβλήματα δικτύου είναι δυνατόν να αντιμετωπιστούν θεωρώντας πως το γράφημα έχει τη μορφή δέντρου, διευκολύνοντας έτσι την επίλυση.
Με μέτρο απόδοσης την απόσταση (Distance metric)	Στα προβλήματα χωροθέτησης μπορούν να εφαρμοστούν πλήθος μέτρων απόδοσης. Η απόσταση χρησιμοποιείται ιδιαίτερα στην περίπτωση προβλημάτων επιπέδου (planar) και διακριτών (discrete).
Εγκαταστάσεων	Ο αριθμός των προς χωροθέτηση εγκαταστάσεων μπορεί να είναι προκαθορισμένος ή να αποτελεί μέρος της διαδικασίας βελτιστοποίησης. Η επίλυση προβλημάτων που περιλαμβάνουν τη χωροθέτηση μίας μόνο εγκατάστασης είναι συχνά σχετικά απλή. Ορισμένες διαδικασίες εκμεταλλεύονται αυτό το γεγονός για την ανάπτυξη ευριστικών μεθόδων που αυξάνουν σταδιακά τον αριθμό των εγκαταστάσεων βασισμένες στην τοπική βελτιστοποίηση της επόμενης εγκατάστασης που προστίθεται.
Στατικά / Δυναμικά	Τα περισσότερα πρότυπα που έχουν αναπτυχθεί έως τώρα είναι στατικά. Η επίλυση δυναμικών προβλημάτων είναι σε γενικές γραμμές δυσκολότερη καθώς πολλές φορές απαιτείται η επέκταση των παλαιών ή η ανάπτυξη νέων εναλλακτικών προσεγγίσεων. Παραδείγματα δυναμικών προβλημάτων αποτελούν τα εξής: η επιλογή του χρόνου και της θέσης χωροθέτησης της 1ης, 2ης κ.τ.λ. εγκατάστασης, η ενσωμάτωση στο μοντέλο του δυναμικού χαρακτήρα της προσφοράς και της ζήτησης, η τροποποίηση των θέσεων των εγκαταστάσεων ακολουθώντας τις εναλλαγές της ζήτησης κ.ά..
Ιδιωτικού / Δημόσιου τομέα	Η βασική διαφορά έγκειται στον προσδιορισμό της αντικειμενικής συνάρτησης, αν δηλαδή αυτή διαμορφώνεται στη βάση αποκλειστικά οικονομικών κριτηρίων ή λαμβάνει υπ' όψιν και κοινωνικούς, περιβαλλοντικούς και άλλους παράγοντες. Σε γενικές γραμμές, όλες οι διαδικασίες επιλογής θέσης αποτελούν τμήμα ενός ευρύτερου περιβάλλοντος λήψης αποφάσεων. Στο δημόσιο τομέα συχνά υπαγορεύεται η κατανομή των εγκαταστάσεων στο δίκτυο, κάτι που στον ιδιωτικό τομέα δεν συμβαίνει σχεδόν ποτέ.
Απλά / Πολυκριτηριακά	Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι αντικειμενικές συναρτήσεις που διαμορφώνονται λαμβάνουν υπ' όψιν ένα κριτήριο (π.χ. την ελαχιστοποίηση του χρόνου, της απόστασης ή του κόστους). Τα πραγματικά προβλήματα ωστόσο απαιτούν σχεδόν πάντα πολυκριτηριακή επίλυση. Μία προσέγγιση προς την κατεύθυνση αυτή είναι ο υπολογισμός πολλαπλών λύσεων για διαφοροποιήσεις των παραμέτρων που αντανάκλουν τους πολλαπλούς στόχους και στη συνέχεια ο έλεγχος της φύσης και της ευαισθησίας αυτών. Η διαδικασία αυτή δεν είναι ισοδύναμη μιας πραγματικής πολυκριτηριακής ανάλυσης αλλά μπορεί να παράσχει μία ταξινόμηση καθώς και καθοδήγηση για τέτοιου τύπου προβλήματα ως τμήμα ενός ευρύτερου αναλυτικού πλαισίου.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

<p>Μίας / Διαφορετικών κατηγοριών παρεχόμενης υπηρεσίας (<i>Unique / Diverse service</i>)</p>	<p>Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν προβλήματα στα οποία μοντελοποιείται ένα είδος παρεχόμενης υπηρεσίας π.χ. η κάλυψη μιας περιοχής από ασθενοφόρα. Τα προβλήματα της δεύτερης κατηγορίας είναι παρόμοια με τα πρώτα, με τη διαφορά ότι εξετάζονται διάφορες κατηγορίες υπηρεσίας π.χ. η κάλυψη μιας περιοχής από ασθενοφόρα διαφορετικών τύπων.</p>
<p>Ελαστικής / Ανελαστικής ζήτησης</p>	<p>Στα περισσότερα μοντέλα γίνεται η υπόθεση πως η προσφορά και η ζήτηση είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Ωστόσο, πρέπει να αναγνωριστεί το γεγονός πως η βελτίωση της προσφοράς συχνά προκαλεί αύξηση της ζήτησης (η ζήτηση δηλαδή είναι ελαστική έναντι της προσφοράς) ενώ το αντίθετο μπορεί να μην ισχύει.</p>
<p>Ντετερμινιστικά / Προσαρμοστικά / Στοχαστικά (<i>Deterministic / Adaptive / Stochastic</i>)</p>	<p>Πολλά μοντέλα είναι ντετερμινιστικά σε ότι αφορά την προσφορά, τη ζήτηση και τις εφικτές λύσεις. Σε άλλα γίνεται η υπόθεση πως η ζήτηση είναι πιθανοτική ή και δυναμική και πραγματοποιείται αναζήτηση των βέλτιστων με αναφορά στα δεδομένα εισαγωγής, που συχνά όμως προσαρμόζονται ανακλώντας τις αλλαγές στην προσφορά, τη ζήτηση και τη δυναμική των μεταφορικών συστημάτων.</p>
<p>Με περιορισμό / Χωρίς περιορισμό χωρητικότητας (<i>Capacitated / Uncapacitated</i>)</p>	<p>Τα βασικά πρότυπα δε λαμβάνουν υπ' όψιν ως περιορισμό τη χωρητικότητα των εγκαταστάσεων (π.χ. αποθηκών, νοσοκομείων, οχημάτων) ή των συνδέσμων (π.χ. μεταφορικών δικτύων, αγωγών). Υπάρχουν ωστόσο μέθοδοι προκειμένου να συμπεριληφθούν στα μοντέλα και τέτοιου είδους περιορισμοί</p>
<p>Κατανομή της ζήτησης στην κοντινότερη εγκατάσταση / Γενικής κατανομής της ζήτησης</p>	<p>Συχνά γίνεται η υπόθεση πως η ζήτηση εξυπηρετείται από την κοντινότερη σε αυτήν εγκατάσταση. Στα μοντέλα με περιορισμό χωρητικότητας ωστόσο μπορεί να είναι απαραίτητη η κατανομή της ζήτησης μεταξύ διαφορετικών εγκαταστάσεων π.χ. η εξυπηρέτηση ενός καταστήματος λιανικής από περισσότερες από μία αποθήκες ή η νοσηλεία ορισμένων ασθενών από κάποιο νοσοκομείο που βρίσκεται σε μεγαλύτερη απόσταση σε περιπτώσεις υψηλής ζήτησης ή έκτακτων περιστατικών.</p>
<p>Ιεραρχικά / Ενός επιπέδου</p>	<p>Ορισμένα προβλήματα είναι εγγενώς ιεραρχικά, με την έννοια ότι προϊόντα ή υπηρεσίες παρέχονται από μεγαλύτερα κέντρα (π.χ. εθνικά) σε μικρότερα τοπικά κέντρα και από εκεί σε περιφερειακές, τοπικές εγκαταστάσεις ή το αντίθετο. Σε αυτά τα προβλήματα, η ύπαρξη εγκαταστάσεων σε κάποιο επίπεδο (ανώτερο ή κατώτερο) μπορεί να αποτελεί προαπαιτούμενο για τη χωροθέτηση εγκαταστάσεων στο επόμενο επίπεδο (π.χ. η δημιουργία νοσοκομείων μεγάλης κλίμακας πραγματοποιείται εκεί όπου υπάρχει ήδη ένας ικανός αριθμός τοπικών ιατρικών εγκαταστάσεων). Παρόμοιο παράδειγμα θα αποτελούσε ο σχεδιασμός ενός εντελώς καινούργιου συστήματος ιατρικών υποδομών σε μία περιοχή όπου πριν δεν υπήρχε εξυπηρέτηση από τέτοιου είδους εγκαταστάσεις.</p>
<p>Επιθυμητών / Ανεπιθύμητων Εγκαταστάσεων</p>	<p>Τα περισσότερα πρότυπα ασχολούνται με τη χωροθέτηση επιθυμητών εγκαταστάσεων. Σε αυτά επιδιώκεται η ελαχιστοποίηση της απόστασης διαδρομής από / προς τις εγκαταστάσεις ή του κόστους σύμφωνα με κάποιο κριτήριο. Για ορισμένες άλλες εγκαταστάσεις όμως, όπως π.χ. οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, τα πυρηνικά εργοστάσια, τα αεροδρόμια κ.τ.λ., το πρόβλημα της χωροθέτησης είναι πιο πολύπλοκο καθώς εμπλέκονται αντικρουόμενοι στόχοι. Για παράδειγμα, οι χώροι απόθεσης απορριμμάτων πρέπει να βρίσκονται κατά το δυνατόν εγγύτερα στα σημεία παραγωγής απορριμμάτων (π.χ. πόλεις), αλλά κατά το δυνατόν μακριά από κατοικημένες περιοχές.</p>

Παρακάτω αναλύονται περεταίρω οι βασικοί τρόποι επίλυσης που αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία σχετικά με τη χωροθέτηση οχημάτων. Παρόλα αυτά δε θεωρείται σκόπιμη η περεταίρω ανάλυση του κάθε μοντέλου χωροθέτησης και κυρίως η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος πέραν του μοντέλου χωροθέτησης το οποίο χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία.

Στατικά ντετερμινιστικά προβλήματα χωροθέτησης

Τα χωροθετικά προβλήματα των οποίων οι παράμετροι είναι προκαθορισμένες και δεν εξαρτώνται από το χρόνο ονομάζονται ντετερμινιστικά (αιτιοκρατικά). Στα ντετερμινιστικά χωροθετικά προβλήματα, οι αποστάσεις των σημείων ζήτησης από τα κέντρα, η ζήτηση και η δυνατότητα παροχής υπηρεσιών από τα κέντρα, είναι διαχρονικά σταθερές και η λύση επιλέγεται με βάση ένα ή περισσότερα κριτήρια (ή στόχους), που έχουν προκαθοριστεί από το μελετητή. (Γραικούσης & Φώτης, 2005) Πολλοί μελετητές και ειδικότερα όσοι έχουν ασχοληθεί με προβλήματα εφαρμογής ή αυτοί που ενδιαφέρονται για τη χωροθέτηση μη επιθυμητών από το κοινωνικό σύνολο εγκαταστάσεων, έχουν εξετάσει πολυκριτηριακές επεκτάσεις των βασικών αυτών μοντέλων χωροθέτησης. (Current et al., 1990) Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένα βασικά προβλήματα αυτής της κατηγορίας.

Προβλήματα Διαμέσου (Median Problems)

Όπως επισημαίνεται από τους Church και ReVelle (1974), ένας σημαντικός τρόπος μέτρησης της αποτελεσματικότητας μιας θέσης εγκατάστασης είναι καθορίζοντας τη μέση διανυόμενη απόσταση αυτών που την επισκέπτονται (ο χρόνος διαδρομής και η απόσταση χρησιμοποιούνται για αναπαραστήσουν το κόστος διαδρομής από ένα σημείο προέλευσης σε έναν προορισμό). Καθώς η απόσταση αυξάνεται, η προσβασιμότητα της εγκατάστασης μειώνεται και κατ' επέκταση το ίδιο και η αποτελεσματικότητα της εγκατάστασης. Τα παραπάνω ισχύουν για εγκαταστάσεις όπως βιβλιοθήκες, σχολεία, κέντρα υγείας, για τις οποίες η εγγύτητα είναι επιθυμητή. Σε κάποιο βαθμό, οι ανεπιθύμητες εγκαταστάσεις, όπως Χ.Υ.Τ.Α. ή μονάδες παραγωγής πυρηνικής ενέργειας παρουσιάζουν αύξηση της αποτελεσματικότητας με την αύξηση της απόστασης (Church & ReVelle, 1974)

Ένας αντίστοιχος τρόπος μέτρησης της αποτελεσματικότητας μιας θέσης όταν η ζήτηση είναι ανελαστική σε σχέση με το επίπεδο εξυπηρέτησης είναι η στάθμιση της απόστασης μεταξύ των κόμβων ζήτησης και των εγκαταστάσεων με χρήση βαρών που αφορούν στην ποσότητα της ζήτησης, ώστε να υπολογιστεί η συνολική σταθμισμένη απόσταση μεταξύ της ζήτησης και των εγκαταστάσεων. Το πρόβλημα P – median, από τον Hakimi (1964), χρησιμοποιεί αυτή της μέτρησης αποτελεσματικότητας και διατυπώνεται ως εξής: Ζητείται η χωροθέτηση P εγκαταστάσεων με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται η συνολική σταθμισμένη απόσταση διαδρομής μεταξύ των σημείων ζήτησης και των εγκαταστάσεων. (Hakimi, 1964)

Προβλήματα κάλυψης (Covering problems)

Το πρόβλημα P-median, που περιγράφηκε παραπάνω, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη χωροθέτηση ενός μεγάλου εύρους εγκαταστάσεων του ιδιωτικού και δημόσιου

τομέα. Ωστόσο, για κάποιες εγκαταστάσεις, η επιλογή θέσεων που ελαχιστοποιεί τη μέση διανυόμενη απόσταση ίσως να μην αποτελεί την κατάλληλη λύση. Τέτοια περίπτωση είναι όταν σε μια πόλη γίνεται χωροθέτηση εγκαταστάσεων άμεσης επέμβασης, όπως πυροσβεστικά οχήματα ή ασθενοφόρα. Η φύση της ζήτησης προστάζει μια μέγιστη αποδεκτή απόσταση διαδρομής ή χρόνο απόκρισης. Τέτοιες εγκαταστάσεις απαιτούν μια διαφορετική μέτρηση της αποτελεσματικότητας. Για τη χωροθέτηση τέτοιου είδους εγκαταστάσεων το κλειδί είναι η κάλυψη. Η ζήτηση καλύπτεται, εάν μπορεί- να εξυπηρετηθεί εντός συγκεκριμένου χρονικού ορίου. Η βιβλιογραφία που αφορά σε προβλήματα κάλυψης χωρίζεται σε δύο βασικές υποομάδες, στα προβλήματα όπου η κάλυψη απαιτείται και σε αυτά όπου η κάλυψη μεγιστοποιείται. Δύο προβλήματα τα οποία αναδεικνύουν το διαχωρισμό των δύο κατηγοριών είναι το *location set covering problem* και το *maximal covering problem*. (Schilling et al., 1993)

Όσο αφορά το *set covering problem*, ο στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους της θέσης εγκατάστασης έτσι ώστε να επιτυγχάνεται το καθορισμένο επίπεδο κάλυψης. Το *maximal covering problem*, αναζητά τη μεγιστοποίηση της ζήτησης που καλύπτεται εντός μιας αποδεκτής απόστασης εξυπηρέτησης, με τη χωροθέτηση προκαθορισμένου αριθμού εγκαταστάσεων. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα μοντέλα αυτά θεωρούν κάποιο πεπερασμένο αριθμό πιθανών θέσεων. (Schilling et al., 1993)

Προβλήματα επιπλέον κάλυψης (Extra covering problems)

Οι Daskin και Stern το 1981 εξέτασαν τη χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης ώστε να ικανοποιείται ένα καθορισμένο επίπεδο εξυπηρέτησης. Για μια τέτοια εφαρμογή, η υπόθεση της διαθεσιμότητας είναι προβληματική, καθώς ένα όχημα άμεσης επέμβασης, το οποίο είναι ήδη σε υπηρεσία δεν θα είναι διαθέσιμο να ανταποκριθεί στην κάλυψη επιπλέον ζήτησης. Το μοντέλο που δημιούργησαν ο Daskin και Stern κάνει χρήση μίας ιεραρχικής αντικειμενικής συνάρτησης, η οποία αρχικά ελαχιστοποιεί τον αριθμό των οχημάτων που απαιτούνται για την ικανοποίηση της απαιτούμενης εξυπηρέτησης και στη συνέχεια χωροθετεί τα οχήματα αυτά έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η πολλαπλή κάλυψη των κόμβων ζήτησης. (Daskin & Stern, 1981)

Άλλα μοντέλα αυτής της κατηγορίας είναι τα μοντέλα BACOP1 και BACOP2 που εισήχθησαν ως μια επιπλέον αντικειμενική συνάρτηση στο μοντέλο MCLP καθώς και το Double Standard Model (DSM) το οποίο είναι το μοντέλο χωροθέτησης που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία και το οποίο θα περιγραφεί αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο (βλ. Κεφ. 2.5)

Προβλήματα κέντρου (Center problems)

Το *set covering problem* που περιγράφηκε παραπάνω καθορίζει τον ελάχιστο αριθμό εγκαταστάσεων που απαιτούνται για την κάλυψη όλης της ζήτησης κάνοντας χρήση μια εξωγενώς καθορισμένης απόστασης κάλυψης. Μια άλλη μέθοδος που αποφεύγει τη μη εφικτότητα αυτού του προβλήματος είναι το πρόβλημα P-Center.

Υπάρχουν δύο ισοδύναμες προσεγγίσεις για τη διατύπωση και επίλυση του προβλήματος P-Center. Η πρώτη προσέγγιση αντιμετωπίζει τη χωροθέτηση νέων εγκαταστάσεων με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται η μέγιστη σταθμισμένη

απόσταση μεταξύ κάθε σημείου ζήτησης και της κοντινότερης σε αυτό εγκατάστασης. Η δεύτερη προσέγγιση αποτελείται από δύο φάσεις. Πρώτον, τα σημεία ζήτησης χωρίζονται σε υποομάδες, και έπειτα υπολογίζεται η βέλτιστη τοποθεσία νέας εγκατάστασης για κάθε υποομάδα. (Drezner, 1984)

Το P-center problem είναι επίσης γνωστό ως Minimax problem, καθώς επιχειρείται η ελαχιστοποίηση της μέγιστης απόστασης ανάμεσα στα σημεία ζήτησης και την κοντινότερη εγκατάσταση (Daskin et al., 1997). Αν οι θέσεις στις οποίες μπορούν να τοποθετηθούν εγκαταστάσεις περιορίζονται στους κόμβους του δικτύου το πρόβλημα ορίζεται ως *vertex center problem*, ενώ αν δεν υπάρχει κάποιο περιορισμός στις πιθανές θέσεις χωροθέτησης στο δίκτυο, ορίζεται ως *absolute center problem*. Η λύση του *absolute center problem* συνήθως είναι καλύτερη από αυτήν του *vertex center problem*. (Owen & Daskin, 1998)

Δυναμικά ντετερμινιστικά προβλήματα χωροθέτησης

Οι διατυπώσεις των στατικών ντετερμινιστικών προβλημάτων χωροθέτησης, αν και δικαιολογημένα αποτελούν αντικείμενο έρευνας, αδυνατούν να συλλάβουν πολλά από τα χαρακτηριστικά των πραγματικών προβλημάτων χωροθέτησης. (Γραικούσης & Φώτης, 2005) Από τη στιγμή που η επένδυση που απαιτείται για τη χωροθέτηση ή επαναχωροθέτηση εγκαταστάσεων είναι μεγάλη, οι εγκαταστάσεις αναμένεται να παραμένουν λειτουργικές για εκτεταμένο χρονικό διάστημα. Επομένως, τα προβλήματα χωροθέτησης συμπεριλαμβάνουν έναν εκτεταμένο ορίζοντα σχεδιασμού. Έτσι, οι όποιες αποφάσεις θα πρέπει να συνυπολογίζουν την επιλογή θέσεων που θα είναι σε θέση να εξυπηρετήσουν τις εναλλασσόμενες στην πορεία του χρόνου τιμές ζήτησης αλλά και την κατάλληλη χρονική στιγμή για την επέκταση ή την επαναχωροθέτηση των εγκαταστάσεων. (Owen & Daskin, 1998). Κατ' επέκταση είναι σημαντικό να συνυπολογίσει κανείς τη χρονική εξάρτηση της φύσης τέτοιων προβλημάτων αλλά και την αβεβαιότητα των δεδομένων εισαγωγής κατά την επίλυση προβλημάτων χωροθέτησης. (Daskin et al., 1997)

Τη δυναμική φύση των προβλημάτων έρχεται να καλύψει η ανάπτυξη δυναμικών υποδειγμάτων στα οποία περιέχονται πολλαπλές χρονικές περίοδοι. Οι διαφορετικές περίοδοι διευκολύνουν τον εντοπισμό διαφορών στη μέση ζήτηση μιας υπηρεσίας, την αναγνώριση διαφορών ανάμεσα στα χωρικά της πρότυπα και στον υπολογισμό μελλοντικών τιμών της. Ως εκ τούτου, δυναμικό θεωρείται ένα πρόβλημα όταν οποιαδήποτε από τις παραμέτρους του μεταβάλλεται χρονικά. (Γραικούσης & Φώτης, 2005) Σε αντίθεση με τα στατικά, στα δυναμικά υποδείγματα εξετάζεται η χωροθέτηση ασθενοφόρων σε βάθος χρόνου. Αυτό συνεπάγεται ότι οι τιμές των μεταβλητών μπορούν να διαφοροποιούνται για κάθε χρονική περίοδο, αλλά με καθορισμένο ή προβλέψιμο τρόπο. Το αντικείμενο είναι η βέλτιστη εξυπηρέτηση της ζήτησης για το σύνολο των εξεταζόμενων χρονικών περιόδων. (Συρίγος & Φώτης, 2005)

Τέτοια προβλήματα είναι η δυναμική διατύπωση του *Maximal Covering Location Problem (MCLP)* και το *Dynamic Double Standard Problem* το οποίο λαμβάνει υπ' όψιν πέραν των περιορισμών για την επιθυμητή κάλυψη και τη χωρητικότητα των εγκαταστάσεων και μία σειρά άλλων πρακτικών περιορισμών που προκύπτουν από τη δυναμική φύση του προβλήματος.

Στοχαστικά προβλήματα χωροθέτησης

Σε αντίθεση με τα στατικά και δυναμικά μοντέλα, στα στοχαστικά υποδείγματα, μέρος των μεταβλητών θεωρούνται αβέβαιες. Οι τιμές που λαμβάνουν είτε συνδέονται με κάποια συνάρτηση κατανομής πιθανότητας, είτε θεωρούνται τυχαίες, είτε αντιπροσωπεύονται από ένα σύνολο πιθανών σεναρίων. Κατά αυτόν τον τρόπο, ενσωματώνονται περισσότερα χαρακτηριστικά που στοιχειοθετούν το πραγματικό πρόβλημα χωροθέτησης, ενώ εξετάζεται η συμπεριφορά του συστήματος κάτω από ένα πλήθος μη σαφώς καθορισμένων παραμέτρων. Το βασικό μειονέκτημα των δυναμικών και στοχαστικών μοντέλων είναι ότι η διαδικασία επίλυσή τους είναι σημαντικά απαιτητικότερη σε σχέση με τα στατικά μοντέλα, ενώ ορισμένα, λόγω της φύσης ή/και του πλήθους των μεταβλητών που συνθέτουν την αβεβαιότητα είναι πρακτικά μη επιλύσιμα. (Συρίγος & Φώτης, 2005)

Η έρευνα επί των στοχαστικών προβλημάτων μπορεί να διαχωριστεί σε δύο κύριες προσεγγίσεις: την πιθανοτική και τη διαμόρφωση σεναρίων. Και στις δύο περιπτώσεις, οποιαδήποτε παράμετρος μπορεί να θεωρηθεί ως αβέβαια, συμπεριλαμβανομένου του χρόνου διαδρομής, του κατασκευαστικού κόστους, των σημείων ζήτησης και της έντασης της ζήτησης. Στόχος είναι η εύρεση εύρωστων θέσεων των εγκαταστάσεων με τρόπο ώστε αυτές να λειτουργούν με αποτελεσματικότητα (σύμφωνα με τα καθορισμένα κριτήρια) σχετικά με έναν αριθμό πιθανών τιμών των παραμέτρων. Τα πιθανοτικά μοντέλα λαμβάνουν υπ' όψιν τις κατανομές πιθανοτήτων των τυχαίων μεταβλητών που συμμετέχουν, ενώ τα μοντέλα διαμόρφωσης σεναρίων θεωρούν μια ομάδα πιθανών μελλοντικών τιμών των μεταβλητών. (Owen & Daskin, 1998)

Μια κατηγορία στοχαστικών μοντέλων είναι τα πρότυπα ουρών αναμονής (*Queuing Models*). Τα μοντέλα και οι μεθοδολογίες που αναπτύχθηκαν παραπάνω ενσωματώνουν μία ποικιλία στοχαστικών παραμέτρων. Στα πρότυπα ουρών αναμονής συνδυάζονται οι κατανομές πιθανοτήτων των παραμέτρων αυτών με τα αποτελέσματα της θεωρίας των ουρών αναμονής για να εξεταστούν επιπρόσθετες πλευρές των προβλημάτων χωροθέτησης. (Owen & Daskin, 1998)

Παρά το γεγονός ότι η διαμόρφωση εναλλακτικών σεναρίων αποτελεί μια εκ των προσεγγίσεων των στοχαστικών προβλημάτων χωροθέτησης, θεωρήθηκε σκόπιμο να παρουσιαστεί χωριστά, καθώς είναι μια μέθοδος η οποία έλαβε χώρα στην παρούσα εργασία.

Πρότυπα διαμόρφωσης σεναρίων

Όπως αναφέρθηκε πρωτίτερα, σε ένα στοχαστικό πρόβλημα χωροθέτησης οποιαδήποτε παράμετρος μπορεί να θεωρηθεί ως αβέβαια. Οι μελετητές που καλούνται να συμμετάσχουν σε διαδικασίες επίλυσης προβλημάτων, έρχονται αντιμέτωποι όλο και περισσότερο με το πρόβλημα της λήψης αποφάσεων υπό συνθήκες αβεβαιότητας. Το γεγονός αυτό, οδηγεί στην παραγωγή, διαμόρφωση και αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων, με την παραδοχή ότι η γνώση του κόστους και της ωφέλειας που σχετίζονται με κάθε σενάριο, μπορεί να βοηθήσει το μελετητή να εκτιμήσει την πιθανότητα το κάθε σενάριο να λάβει χώρα. (Photis, 1992)

Με τη διαμόρφωση σεναρίων, στόχος είναι η εύρεση εύρωστων θέσεων των εγκαταστάσεων με τρόπο ώστε αυτές να λειτουργούν με αποτελεσματικότητα (σύμφωνα με τα καθορισμένα κριτήρια), προκαθορίζοντας ένα σύνολο πιθανών μελλοντικών τιμών των μεταβλητών του προβλήματος. Σε κάποιες εφαρμογές, η διαμόρφωση σεναρίων έχει το ρόλο της πρόβλεψης, ως ένας τρόπος αξιολόγησης των τάσεων και των πιθανών μεταβολών του περιβάλλοντος. Με αυτό τον τρόπο οι επιχειρήσεις για παράδειγμα, μπορούν να αναπτύξουν διαφορετική στρατηγική προσέγγιση για ένα εύρος μεταβολών, όντας προετοιμασμένες επαρκώς για το αβέβαιο μέλλον. Υπό αυτές τις συνθήκες, τα σενάρια, αποτελούν ποιοτική περιγραφή εύλογων μελλοντικών συνθηκών ή καταστάσεων, οι οποίες απορρέουν από την παρούσα κατάσταση με θεώρηση πιθανών μελλοντικών συμβάντων. Σε άλλες εφαρμογές, η διαμόρφωση σεναρίων χρησιμοποιείται ως εργαλείο για τη διατύπωση και επίλυση συγκεκριμένων επιχειρησιακών προβλημάτων. Παρά το γεγονός ότι τα σενάρια και πάλι απεικονίζουν ένα εύρος μελλοντικών καταστάσεων, λειτουργούν με ποσοτική θεώρηση των διάφορων τιμών των παραμέτρων του προβλήματος. (Mulvey, 1996)

Υπάρχουν τουλάχιστον τρεις προσεγγίσεις για την ενσωμάτωση διαμόρφωσης εναλλακτικών σεναρίων σε προβλήματα χωροθέτησης.

1. Βελτιστοποίηση της αναμενόμενης απόδοσης για όλα τα δυνατά σενάρια
2. Βελτιστοποίηση απόδοσης για το χειρότερο δυνατό σενάριο (*worst case scenario*)
3. Ελαχιστοποίηση των απωλειών της απόδοσης σε ένα αναμενόμενο ή στο χειρότερο δυνατό σενάριο σε σχέση με όλα τα δυνατά σενάρια

Στην τρίτη περίπτωση, οι απώλειες υπολογίζονται συγκρίνοντας την απόδοση των βέλτιστων θέσεων για το σενάριο το οποίο ο μελετητής θεωρούσε ως πιο πιθανό, με την απόδοση των θέσεων χωροθέτησης όταν το εν λόγω σενάριο λάβει χώρα. Με την παραπάνω μέθοδο, επιτρέπεται η αξιολόγηση των ισχυρών εναλλακτικών λύσεων σε σχέση με τη βέλτιστη λύση που προκύπτει με βάση πραγματικά δεδομένα. Πρέπει να σημειωθεί ότι σε κάποια άρθρα της βιβλιογραφίας αξιολογούνται οι πιθανότητες πραγματοποίησης των σεναρίων, ενώ σε άλλα εμμέσως γίνεται η υπόθεση πως όλα τα σενάρια είναι το ίδιο πιθανά να συμβούν. (Owen & Daskin, 1998)

Σύμφωνα με τους Daskin et al. (1997), στην βιβλιογραφία εντοπίζονται δύο ακόμα προσεγγίσεις διαμόρφωσης εναλλακτικών σεναρίων, αυτή της ελαχιστοποίησης των μέγιστων απωλειών και αυτή της ελαχιστοποίησης της μέγιστης μέσης διαφοράς μεταξύ όλων των σεναρίων.

Μετά τη ανασκόπηση του θεωρητικού υποβάθρου των συνηθέστερων μοντέλων χωροθέτησης που καταγράφονται στη διεθνή βιβλιογραφία και τον διαχωρισμό τους σε κατηγορίες, παρατίθενται κάποιες από τις σημαντικότερες μελέτες περίπτωσης χωροθετικού σχεδιασμού για οχήματα άμεσης επέμβασης.

2.3 Μελέτες περίπτωσης για χωροθετήσεις οχημάτων άμεσης επέμβασης (Case studies)

Στο παρελθόν έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες περίπτωσης που αφορούν στη χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης και δει ασθενοφόρων με εφαρμογή διαφορετικών μοντέλων χωροθέτησης, διαφορετικών τρόπων επίλυσης και ελέγχοντας διαφορετικές παραμέτρους του προβλήματος με στόχο όμως πάντα την εύρεση των βέλτιστων τοποθεσιών και την καλύτερη δυνατή κατανομή της εξυπηρέτησης της ζήτησης στην περιοχή μελέτης. Ορισμένες από αυτές τις μελέτες περιγράφονται παρακάτω.

Μοντέλα για το *Maximum Coverage Location Problem* (MCLP) των (Church & ReVelle, 1974), έχουν χρησιμοποιηθεί τόσο σε εφαρμογές του ιδιωτικού τόσο και του δημόσιου τομέα. Οι (Eaton et al., 1981) χρησιμοποίησαν το μοντέλο MCLP για να εντοπίσουν τις βέλτιστες τοποθεσίες για την χωροθέτηση ασθενοφόρων και λοιπών υπηρεσιών υγείας στη περιοχή Valle Del Cauca, στην Κολομβία, με ευριστική επίλυση του αλγορίθμου. Οι ίδιοι ερευνητές χρησιμοποίησαν το ίδιο μοντέλο για να αναλύσουν τις επιλογές για τη χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στο Austin του Τέξας, όσο αφορά μέτρα ισότητας, αποτελεσματικότητας, επίδρασης και το κόστος ευκαιρίας και εξετάζοντας παραμέτρους όπως τον αριθμό των οχημάτων, το χρόνο απόκρισης για την κάλυψη της περιοχής μελέτης και τις επιτρεπόμενες δυνατές θέσεις χωροθέτησης. Η μελέτη τους εφαρμόστηκε την περίοδο 1980-83 και εξοικονόμησε 3,4 εκατομμύρια δολάρια όσο αφορά σε κατασκευαστικά κόστη και περισσότερα από 1,2 εκατομμύρια δολάρια σε ετήσια λειτουργικά έξοδα.

Επιπλέον οι (Eaton et al., 1986) εφήρμοσαν μια πολυκριτηριακή διατύπωση του προβλήματος για να καθορίσουν τις βέλτιστες θέσεις για υπηρεσίες υγείας στην πόλη Santo Domingo αξιοποιώντας το μοντέλο *hierarchical objective set covering* των (Daskin & Stern, 1981). Στην εφαρμογή αυτή, στόχος ήταν η μεγιστοποίηση πολλαπλής κάλυψης της ζήτησης, δεδομένου ότι ο κάθε κόμβος καλύπτεται τουλάχιστον μια φορά.

Το μοντέλο *maximum expected coverage location problem* (MEXCLP) του Daskin, εφαρμόστηκε από τον (Fujiwara et al., 1987) για τη χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στη Μπανγκόγκ, την πρωτεύουσα της Ταϊλάνδης. Οι καλές λύσεις που επιτεύχθηκαν αναλύθηκαν περαιτέρω σε ένα μοντέλο προσομοίωσης, καθώς το μοντέλο δεν παρήγαγε τη βέλτιστη λύση. Επιπλέον οι (Fujiwara et al., 1988) χρησιμοποίησαν το MEXCLP ταυτόχρονα με το *probabilistic central facility location model* των (Aly & White, 1987) για την εύρεση του μεγάλου αριθμού των πιθανών εναλλακτικών θέσεων, η οποίες και πάλι ελέγχθηκαν με δια διαδικασία προσομοίωσης.

Στις Η.Π.Α., οι (Goldberg et al., 1990) ανέπτυξαν και εφήρμοσαν το *non-linear integer programming model*, για την εύρεση των βέλτιστων θέσεων για οχήματα άμεσης επέμβασης στην πόλη Tucson, AZ. Το μοντέλο αυτό είχε μόνο το στόχο μεγιστοποίησης του αριθμού των εισερχόμενων κλήσεων που εξυπηρετήθηκαν εντός 8 λεπτών. Το μοντέλο λαμβάνει υπόψη τη στοχαστική φύση των χρόνων διαδρομών, ομάδες πολλαπλών κλήσεων και τη πιθανότητα τα οχήματα να είναι κατειλημμένα.

Χρησιμοποίησαν μια ευριστική επίλυση του προβλήματος ώστε να περιορίσουν τον αριθμό των πιθανών θέσεων.

Οι Zhu και McKnew (1993), εφήρμοσαν το δικό τους μοντέλο, το *workload balancing allocation model*, για να ισοκατανέμουν τις υπηρεσίες που προσφέρουν τα ασθενοφόρα στη Σαγκάη, εξασφαλίζοντας ότι κάθε γεωγραφική περιοχή είναι πιθανόν να έχει κάποιο ασθενοφόρο διαθέσιμο εντός λογικών χρονικών ορίων. Στόχος ήταν να κατανήμει ένα συγκεκριμένο αριθμό ασθενοφόρων σε προγενέστερα καθορισμένες θέσεις, ώστε οι θέσεις αυτές να είναι ισότιμα εκμεταλλεύσιμες.

Οι Mendonça και Morabito (2001), ανέλυσαν την χωροθέτηση ενός οχήματος άμεσης επέμβασης στον αυτοκινητόδρομο που συνδέει το Σάο Πάολο και το Ρίο ντε Τζανέιρο, στην Βραζιλία. Εφήρμοσαν το *hypercube model*, για να αξιολογήσουν τους μέσους χρόνους απόκρισης σε μια κλήση ανάγκης. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η ανισοκατανομή του φόρτου εργασίας μεταξύ των ασθενοφόρων μπορεί να μειωθεί. Ο (Harewood, 2002) εφήρμοσε μια πολυκριτηριακή εκδοχή του *maximum availability location problem* (MALP) των (ReVelle & Hogan, 1989) για τη χωροθέτηση ασθενοφόρων στη πόλη Barbados. Ο (Groom, 1977) περιέγραψε τη χρήση του *general queuing model*, για τη μέτρηση της λειτουργικότητας του West Glamorgan Area Health Authority, στο Ηνωμένο Βασίλειο. Το μοντέλο αυτό κάνει εκτιμήσεις της κατανομής των χρόνων απόκρισης, με βάση διαφορετικές διατάξεις ασθενοφόρων και συνθήκες λειτουργίας. (Alsalloum & Rand, 2003)

Οι Repede και Bernardo το 1994 εφήρμοσαν το *maximal expected coverage location model*, συμπεριλαμβάνοντας τη παράμετρο διακύμανσης του χρόνου και μετονομάζοντάς το σε TIMEXCLP, ενώ το ενσωμάτωσαν σε ένα σύστημα υποστήριξης λήψης αποφάσεων για την υποβοήθηση των σχεδιαστών του ΣΑΕ στην περιοχή Louisville, Kentucky, όσο αφορά στην κατανομή των οχημάτων στην περιοχή εξυπηρέτησης. Με χρήση του συστήματος επιτεύχθηκε 36% μείωση του χρόνου απόκρισης. (Repede & Bernardo, 1994)

Οι (Gendreau et al., 1997). εφήρμοσαν το DSM σε έξι προβλήματα που δημιουργήθηκαν χρησιμοποιώντας πραγματικά στοιχεία από το Island of Montreal, Canada. Το μοντέλο αυτό όμως θα αναλυθεί περαιτέρω στο αντίστοιχο κεφάλαιο (3.1).

Ο Thirion, το 2006 εφάρμοσε και συνέκρινε διαφορετικά πρότυπα χωροθέτησης ΣΑΕ σε μία ζώνη αποτελούμενη από 247 κοινότητες στις επαρχίες Namur και Brabant Walloon, στο Βέλγιο. Η εξυπηρέτηση της ζώνης πραγματοποιείται από 46 ασθενοφόρα, εκ των οποίων 25 βρίσκονται σε 9 θέσεις εντός αυτής και 21 σε 12 θέσεις εκτός, με δυνατότητα όμως εξυπηρέτησης κλήσεων εντός της ζώνης. Έτσι, το σετ W αποτελείται από 259 θέσεις (247 κοινότητες εντός ζώνης + 12 σταθερές θέσεις εκτός ζώνης). Η εφαρμογή του LSCP έδειξε πως απαιτούνται 26 ασθενοφόρα για την κάλυψη όλων των σημείων ζήτησης εντός 8 min. Αντίστοιχα, από το MCLP προέκυψε πως χρειάζονται μόλις 8 για την εξυπηρέτηση του 82% των κλήσεων και 15 για να ανέλθει το ποσοστό στο 95%. Κατά την εφαρμογή του MEXCLP λήφθηκε $q = 17,8\%$. Προέκυψε πως απαιτούνται 12 και 28 οχήματα για την κάλυψη του 81% και 95% της ζήτησης αντίστοιχα, θεωρώντας πως κάποια μπορεί προσωρινά να μην είναι διαθέσιμα. Τέλος, από την εφαρμογή του DSM βρέθηκε πως είναι απαραίτητα

20 οχήματα για την διπλή κάλυψη εντός 8 min του 82% των κλήσεων και 30 για την αύξηση του ποσοστού στο 95%. Στην περίπτωση που η ανακατανομή αφορά μόνο τα 25 ασθενοφόρα εντός της ζώνης, ενώ η θέση των 12 εκτός ζώνης παραμένει σταθερή, είναι δυνατόν να επιτευχθεί διπλή κάλυψη στο 91% της ζήτησης. (Laporte et al., 2009)

Επιπρόσθετα, αρκετές είναι οι προσεγγίσεις στη διεθνή βιβλιογραφία που αφορούν στην ενσωμάτωση της διαμόρφωσης σεναρίων σε μοντέλα χωροθέτησης. Ο Sheppard το 1974 ήταν ο πρώτος που πρότεινε τη χρήση σεναρίων σε σχεδιασμό χωροθέτησης εγκαταστάσεων. Ο Sheppard συνέστησε την εύρεση μια λύσης η οποία ελαχιστοποιεί το αναμενόμενο κόστος για όλα τα διαφορετικά σενάρια. Ο Schilling το 1982, ελέγχει τα πρότυπα *set covering* και *maximal covering* στο πλαίσιο διαμόρφωσης σεναρίων. Στην περίπτωση του δεύτερου, αναπτύσσει καμπύλες αντιστάθμισης μεταξύ των κοινών θέσεων χωροθέτησης σε όλα τα σενάρια και της μέγιστης διαφοράς κάλυψης μεταξύ της συμβιβαστικής λύσης και των βέλτιστων θέσεων χωροθέτησης για τα σενάρια. Επιπλέον προτείνει τη χωροθέτηση των κοινών για όλα τα σενάρια λύσεων, αφήνοντας τον καθορισμό των υπόλοιπων θέσεων για το μέλλον, οπότε και θα υπάρχουν περισσότερες διαθέσιμες πληροφορίες. Ωστόσο οι Daskin et al. το 1992 αποδεικνύουν πως αυτή η προσέγγιση σε ορισμένες περιπτώσεις ενδέχεται να μην οδηγήσει σε ικανοποιητικά αποτελέσματα. (Daskin et al., 1997)

Οι Ghosh και McLafferty (1982) επίσης προτείνουν τη χρήση μιας πολυκριτηριακής προσέγγισης όταν χρησιμοποιείται μικρός αριθμός σεναρίων. Με τη χρήση μεγάλου αριθμού σεναρίων, προτείνουν την ελαχιστοποίηση είτε του αθροίσματος των διαφορών είτε του αθροίσματος των τετραγώνων των διαφορών για όλα τα σενάρια. Πιο πρόσφατα, οι Serra και Marianon (1996), ερευνούν ένα πρόβλημα σύμφωνα με το οποίο το δίκτυο μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Κάθε περίοδος της ημέρας μπορεί να θεωρηθεί ως σενάριο. Εντοπίζουν τις λύσεις οι οποίες ελαχιστοποιούν το μέγιστο χρόνο διαδρομής κατά τη διάρκεια της ημέρας, καθώς και τις λύσεις που ελαχιστοποιούν τη μέγιστη διαφορά, όπου η διαφορά υπολογίζεται σε σχέση με τη βέλτιστη χωροθέτηση για κάθε περίοδο της ημέρας. (Daskin et al., 1997)

Οι Συρίγος και Φώτης το 2004, ανέπτυξαν ένα σύστημα για τη χωροθέτηση ασθενοφόρων στο πολεοδομικό συγκρότημα Βόλου – Νέας Ιωνίας, λαμβάνοντας υπόψη κοινωνικά, οικονομικά και χωρικά δεδομένα. Το πρότυπο χωροθέτησης-κατανομής βελτιστοποιεί την απόκριση στη χειρότερη δυνατή περίπτωση, λαμβάνοντας υπόψη τη στοχαστική φύση του προβλήματος, ενώ τα εναλλακτικά σενάρια βασίζονται στην αναμενόμενη χωρική και χρονική κατανομή των περιστατικών άμεσης ανάγκης (ζήτηση), στην χρονική και χωρική διαφοροποίηση της κυκλοφοριακής κίνησης, στον αριθμό των διαθέσιμων προς χωροθέτηση ασθενοφόρων (προσφορά) και στην πιθανότητα κάθε ασθενοφόρων να είναι κατειλημμένο την ώρα της κλήσης. (Συρίγος & Φώτης, 2005)

Η Κωνσταντινίδου Μ. το 2010, χρησιμοποίησε το MCLP για τη χωροθέτηση ασθενοφόρων στην πόλη της Θεσσαλονίκης με μία προσέγγιση βάσει γενετικού αλγορίθμου. Αξιολογώντας τους κόμβους του οδικού δικτύου της πόλης όσο αφορά στην επικινδυνότητα αυτών, χρησιμοποιώντας κριτήρια με βάση τις “Προδιαγραφές μελετών εντοπισμού και παρέμβασης με στόχο την άμεση βελτίωση του επιπέδου

οδικής ασφάλειας του ΥΠ.Ε.Κ.Α"., έλεγξε την επίδραση παραμέτρων, όπως τον αριθμό διατιθέμενων οχημάτων και το χρόνο απόκρισης. Το υπόβαθρο αποτέλεσε ένας κánaβος διαχωρισμού της περιοχής μελέτης σε υποπεριοχές και η προσέγγιση πραγματοποιήθηκε με χρήση της ευκλείδειας απόστασης. (Κωνσταντινίδου, 2010)

Στο ίδιο πλαίσιο οι Κ. Κεπατσόγλου et al. εφήρμοσαν για την ίδια περιοχή το μοντέλο DSM, εξετάζοντας τρία διαφορετικά σενάρια όσο αφορά στο ποιοι κόμβοι συμπεριλαμβάνονται κατά τη διαδικασία της χωροθέτησης. (Κερατσόγλου et al., 2012)

Παραπάνω, έγινε μια αναδρομή σε κάποιες από τις μελέτες περίπτωσης που αφορούν στη χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης κατά τη διεθνή βιβλιογραφία, παρουσιάζοντας την εξέλιξη των μοντέλων χωροθέτησης αλλά και τη διαδικασία επίλυσής τους, διαχρονικά, από τις πρώτες εφαρμογές τη δεκαετία του 1960 τους έως σήμερα, με χρήση μοντέρνων μεταεριστικών μεθόδων. Ακολουθεί η περιγραφή του μοντέλου διπλής κάλυψης που χρησιμοποιείται στην εφαρμογή της παρούσας εργασίας.

2.4 Το μοντέλο διπλής κάλυψης (Double Standard Model - DSM)

Τα προβλήματα χωροθέτησης ασθενοφόρων έχουν σκοπό να παρέχουν επαρκή κάλυψη. Αυτό μπορεί να μετρηθεί και να ερμηνευθεί με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Τα πιο συνηθισμένα μοντέλα είναι αυτά όπου τα ασθενοφόρα χωροθετούνται ώστε να εξασφαλίζουν μονή κάλυψη, δηλαδή όλος ο πληθυσμός (εν προκειμένω η ζήτηση για κάλυψη τροχαίων ατυχημάτων) να προσεγγίζεται εντός χρόνου τ από ένα ασθενοφόρο.

Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει επεκταθεί από τους (Gendreau et al., 1997) ώστε να εξασφαλίζει διπλή κάλυψη. Χρησιμοποιούνται δύο χρονικές ακτίνες r_1 και r_2 , ($r_2 > r_1$). Όλη η ζήτηση πρέπει να καλύπτεται εντός της ακτίνας r_2 και επιπρόσθετα, ένα ποσοστό a της ζήτησης πρέπει να καλύπτεται εντός ακτίνας r_1 από κάποιο ασθενοφόρο, το οποίο μπορεί να είναι ή όχι το ίδιο ασθενοφόρο που καλύπτει αυτό το σημείο ζήτησης και σε ακτίνα r_2 .

Το μοντέλο επιλύει ένα πρόβλημα διπλής κάλυψης για δεδομένο αριθμό ασθενοφόρων, όπου ο στόχος είναι η μεγιστοποίηση της διπλής κάλυψης εντός ακτίνας r_1 . Το πρόβλημα αναπαρίσταται σε ένα γράφο $G = (V \cup W, E)$, όπου $V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$ και $W = \{V_{n+1}, V_{n+2}, \dots, V_{n+m}\}$, είναι δύο ομάδες κόμβων που αναπαριστούν αντίστοιχα τα σημεία ζήτησης και τα πιθανά σημεία χωροθέτησης και $E = \{(V_i, V_j) : V_i \in V, V_j \in W\}$ είναι μια ομάδα ακμών όπου κάθε ακμή αναπαριστά το χρόνο μετακίνησης t_{ij} .

Η ζήτηση στον κόμβο $V_i \in V$ είναι ίση με λ_i . Ο αριθμός των ασθενοφόρων είναι δεδομένος και ίσος με P . Επιπλέον ισχύουν τα παρακάτω:

Όταν η ζήτηση στον κόμβο V_i , καλύπτεται εντός της μικρής ακτίνας r_1

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

$$\gamma_{i,j} = \begin{cases} 1, & t_{i,n+t} \leq r_1 \\ 0, & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

Όταν η ζήτηση στον κόμβο V_i , καλύπτεται εντός της μεγάλης ακτίνας r_2

$$\delta_{i,j} = \begin{cases} 1, & t_{i,n+t} \leq r_2 \\ 0, & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, a είναι το ποσοστό της συνολικής ζήτησης το οποίο πρέπει να καλυφθεί από ένα ασθενοφόρο εντός ακτίνας r_1 . Οι μεταβλητές που ακολουθούν είναι επίσης μέρος του μοντέλου: y_i είναι μία ακέραια μεταβλητή που αναπαριστά τον αριθμό των ασθενοφόρων που χωροθετούνται στο $V_{n+j} \in W$ και p_j είναι το ανώτατο όριο της μεταβλητής y_j . Το x_i^k είναι μια δυαδική μεταβλητή ίση με 1, αν και μόνο αν ο κόμβος V_i καλύπτεται τουλάχιστον k φορές εντός της μικρής ακτίνας r_1 , όπου το k λαμβάνει τις τιμές 1 και 2. Η αντικειμενική συνάρτηση είναι:

$$(P) \text{ maximize } f = \sum_{i=1}^n \lambda_i x_i^2, \quad (1)$$

Έτσι ώστε:

$$\sum_{j=1}^m \delta_{ij} y_j \geq 1, \quad (V_i \in V) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i x_i^1 \geq a \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^m \gamma_{ij} y_j \geq x_i^1 + x_i^2, \quad (V_i \in V) \quad (4)$$

$$x_i^2 \leq x_i^1 \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^m y_j = p \quad (6)$$

$$y_j \leq p_j, \quad (V_{n+j} \in W) \quad (7)$$

$$x_i^1, x_i^2 \in \{0,1\}, \quad (V_i \in V) \quad (8)$$

$$y_j^{\xi}, \text{ ακ ραίος } (W_{n+j} \in) \quad (9)$$

Σε αυτό το μοντέλο, η αντικειμενική συνάρτηση αναπαριστά τη συνολική ζήτηση που καλύπτεται τουλάχιστον δύο φορές εντός ακτίνας r_1 . Οι περιορισμοί 2 και 3 εκφράζουν τις απαιτήσεις μονής και διπλής κάλυψης. Ο περιορισμός 2 εξασφαλίζει πως όλη η ζήτηση πρέπει να καλυφθεί εντός ακτίνας r_2 . Το αριστερό τμήμα της σχέσης 4, μετρά τον αριθμό των ασθενοφόρων που καλύπτουν της ζήτηση V_i , εντός ακτίνας r_1 . Το δεύτερο σκέλος της σχέσης είναι ίσο με 1 αν η ζήτηση V_i καλύπτεται μία φορά εντός ακτίνας r_1 και ίσο με 2 εάν καλύπτεται τουλάχιστον δύο φορές. Οι

περιορισμοί 3 και 4 ταυτόχρονα εξασφαλίζουν ότι καλύπτεται ένα ποσοστό α του συνόλου της ζήτησης (3) και ότι η ακτίνα κάλυψης πρέπει να είναι r_1 (4), $x_i^1 + x_i^2 = 0$, όταν $\gamma_{ij}y_j = 0$, για κάθε τιμή j . Με τον περιορισμό 5, ένας κόμβος V_i , δεν είναι δυνατόν να καλύπτεται δύο φορές αν δεν καλύπτεται τουλάχιστον μία. Οι περιορισμοί 6, 7 και 9 εκφράζουν τα όρια στον αριθμό των ασθενοφόρων σε κάθε σημείο. Πρέπει να σημειωθεί ότι για $p \leq 2m$, υπάρχει πάντα το ιδανικό σενάριο στο οποίο $y_j \leq 2$, για όλες τις τιμές του j , καθώς δεν επιτυγχάνεται τίποτα καλύπτοντας κάποιο σημείο περισσότερες από δύο φορές. Στην πράξη, μπορεί κάποιος να θέσει $p_j = 2$ στην σχέση (7) και $y_j \in \{0,1,2\}, (V_{n+j} \in W)$ αντί της σχέσης (9). (Gendreau et al., 1997)

Μετά την περιγραφή του μοντέλου χωροθέτησης που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία, στα κεφάλαια που ακολουθούν, αναπτύσσεται η θεωρία των γενετικών αλγόριθμων και ο τρόπος με τον οποίο μπορούν αυτοί να ενταχθούν στη διαδικασία επίλυσης τέτοιων προβλημάτων ώστε να βοηθήσουν στη βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων.

2.5 Γενετικοί Αλγόριθμοι

Η βελτιστοποίηση είναι η διαδικασία για εύρεση της καλύτερης λύσης σε ένα πρόβλημα που έχει πολλές πιθανές λύσεις. Πολλά προβλήματα εμπεριέχουν πολλές μεταβλητές, οι οποίες αλληλεπιδρούν βάσει κάποιων συναρτήσεων και περιορισμών.

Οι πρώτοι γενετικοί αλγόριθμοι (Genetic Algorithms ή εν συντομία GAs) αναπτύχθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του '70 από τον John Holland στο πανεπιστήμιο του Michigan. Ο αρχικός στόχος του Holland δεν ήταν να σχεδιάσει αλγόριθμους που επιλύουν συγκεκριμένα προβλήματα, αλλά να μελετήσει το φαινόμενο της προσαρμοστικότητας όπως εμφανίζεται στη φύση και να αναπτύξει τον τρόπο με τον οποίο οι μηχανισμοί της φυσικής προσαρμοστικότητας θα μπορούσαν να εισαχθούν στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Πολλά υπολογιστικά προβλήματα απαιτούν από ένα πρόγραμμα να είναι προσαρμοστικό και να συνεχίζει να λειτουργεί αποδοτικά εντός ενός μεταβαλλόμενου περιβάλλοντος. (Mitchell, 1999)

Ο Holland εντυπωσιάστηκε από την ευκολία με την οποία βιολογικά συστήματα μπορούσαν να εκτελέσουν διαδικασίες που ήταν πέραν των δυνατοτήτων των πιο ισχυρών ηλεκτρονικών υπολογιστών: τα ζώα μπορούσαν να αναγνωρίσουν αντικείμενα, να κατανοήσουν και να μεταφράσουν ήχους και να περιηγηθούν σε ένα δυναμικό περιβάλλον σχεδόν ακαριαία. Για δεκαετίες οι επιστήμονες υπόσχονταν την αναπαραγωγή αυτών των ικανοτήτων στις μηχανές, αλλά έχει πλέον αρχίσει να γίνεται σαφής η δυσκολία του εγχειρήματος. Οι περισσότεροι συμφωνούν πως όποιος σύνθετος βιολογικός οργανισμός παρουσιάζει αυτές τις ιδιότητες έχει υποστεί τη διαδικασία της εξέλιξης. (Palisade Corp., 2010)

Οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι μέθοδοι αναζήτησης που βασίζονται στις αρχές της φυσικής επιλογής και της γενετικής (Burke & Kendall, 2005). Είναι μια τεχνική αναζήτησης η οποία εντοπίζει τη βέλτιστη λύση ή μια λύση πολύ κοντά σε αυτή. Ο Holland, ανέπτυξε αυτή τη μεθοδολογία βασισμένος στο νόμο της βιολογίας περί

επιβίωσης του ικανότερου. Εισήγαγε τις έννοιες της μετάλλαξης και αντιγραφής από την επιστήμη της βιολογίας σε ένα τεχνητό σύστημα. Ως εκ τούτου οι έννοιες γονίδιο, χρωμόσωμα, μετάλλαξη διασταύρωση, πληθυσμός, χρησιμοποιούνται σε αυτή τη μέθοδο αναζήτησης. (Arifin, 2010)

Οι στόχοι της έρευνας του Holland ήταν δύο:

1. Η απόσπαση και έστω σε αδρές γραμμές ερμηνεία των διαδικασιών προσαρμογής των φυσικών συστημάτων.
2. Ο σχεδιασμός λογισμικού για τεχνητά συστήματα με διατήρηση των σημαντικών μηχανισμών των φυσικών συστημάτων.

Αν και εφαρμόζεται τυχαία διαδικασία αναζήτησης, οι γενετικοί αλγόριθμοι δεν βασίζονται στην τύχη. Εκμεταλλεύονται αποτελεσματικά τις ιστορικές πληροφορίες προκειμένου να εικάσουν νέα σημεία αναζήτησης με βελτιωμένη αναμενόμενη απόδοση. Το κεντρικό σημείο της έρευνας για τους γενετικούς αλγόριθμους υπήρξε η ευρωστία, η ισορροπία ανάμεσα στην αποδοτικότητα και την αποτελεσματικότητα που είναι απαραίτητη για την επιβίωση σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Ωστόσο, η ευρωστία, η αποδοτικότητα και η ευελιξία που επιδεικνύουν τα βιολογικά συστήματα μπορεί να αποτελέσει μόνο αντικείμενο θαυμασμού από τους σχεδιαστές τεχνητών συστημάτων. (Goldberg, 1989)

Η αποδοχή όμως των γενετικών αλγόριθμων δεν οφείλεται στην επίκληση της ομοιότητάς τους με τις διαδικασίες που ακολουθούνται από τα φυσικά συστήματα. Έχει αποδειχθεί, θεωρητικά και εμπειρικά, ότι παρέχουν εύρωστη αναζήτηση σε πολύπλοκα προβλήματα. Έχοντας καθιερωθεί ως μία έγκυρη προσέγγιση προβλημάτων, οι γενετικοί αλγόριθμοι βρίσκουν πλέον εφαρμογή σε εμπορικές, επιστημονικές και τεχνικές εφαρμογές. Ο λόγος είναι ότι οι αλγόριθμοι αυτοί, αν και υπολογιστικά απλοί, είναι ιδιαίτερα ικανοί στην αναζήτηση της βέλτιστης λύσης. Επιπλέον, δεν περιορίζονται από υποθέσεις σε σχέση με το χώρο αναζήτησης (υποθέσεις σχετικές με τη συνέχεια της συνάρτησης, την ύπαρξη παραγώγων, την ύπαρξη πολλών ακρότατων κ.ά.). (Goldberg, 1989)

Η εξέλιξη, έχει δημιουργήσει συστήματα με απίστευτες ικανότητες, μέσω μιας σχετικά απλής διαδικασίας που ακολουθεί μερικούς απλούς κανόνες.

1. Η εξέλιξη λαμβάνει χώρα σε επίπεδο χρωμοσώματος. Ο οργανισμός δεν εξελίσσεται, απλά χρησιμοποιείται σαν ένα δοχείο στο οποίο τα γονίδια μεταφέρονται. Αυτά που δυναμικά αλλάζουν είναι τα χρωμοσώματα με την ανασύνταξη των γονιδίων.
2. Η φύση, έχει την τάση να δημιουργεί περισσότερα αντίγραφα των χρωμοσωμάτων τα οποία συντελούν σε έναν υγιή οργανισμό. Εάν ένας οργανισμός επιβιώσει αρκετό χρονικό διάστημα, τα γονίδιά του είναι περισσότερο πιθανό να μεταφερθούν σε μια νέα γενιά οργανισμών μέσω της αναπαραγωγής. Αυτή η αρχή συχνά αναφέρεται ως επιβίωση των πιο ισχυρών. Ο όρος "ισχυρός" είναι σχετικός. Ένας οργανισμός χρειάζεται απλά να είναι ισχυρός σε σχέση με τους άλλους, στον υπάρχοντα πληθυσμό, ώστε να επιβιώσει.
3. Η ποικιλομορφία πρέπει να διατηρηθεί στον πληθυσμό. Κατά τα φαινόμενα, τυχαίες μεταλλάξεις παρουσιάζονται συχνά, οι οποίες διασφαλίζουν τη

διαφορετικότητα των οργανισμών. Οι γενετικές μεταλλάξεις συχνά έχουν ως αποτέλεσμα κάποιο χρήσιμο, ή ακόμα ζωτικό χαρακτηριστικό για την επιβίωση των ειδών.

Όταν η θεωρία της εξέλιξης χωριστεί σε αυτά τα βασικά βήματα, γίνεται πιο εύκολη η εφαρμογή αυτών των τεχνικών σε υπολογιστικές διαδικασίες. (Palisade Corp., 2010)

Οι γενετικοί αλγόριθμοι κωδικοποιούν τις μεταβλητές ενός προβλήματος αναζήτησης σε χορδές αριθμών πεπερασμένου μήκους. Αρχικά κωδικοποίησε το πρόβλημα σε δυαδικές χορδές (σειρές αποτελούμενες από 0 και 1). Οι χορδές, οι οποίες είναι οι υποψήφια λύσεις του προβλήματος αναφέρονται ως χρωμοσώματα (*chromosomes*), τα ψηφία ως γονίδια (*genes*) και οι τιμές των γονιδίων αλληλόμορφα (*alleles*). Για να παραχθούν καλές λύσεις και να εφαρμοστεί η φυσική επιλογή, είναι απαραίτητο να υπάρχει ένα κριτήριο για το διαχωρισμό των καλών λύσεων από τις κακές. Το κριτήριο αυτό μπορεί να είναι μια αντικειμενική συνάρτηση (*objective function*), η οποία είναι μαθηματικό μοντέλο ή μια προσομοίωση υπολογιστή. Με αυτό τον τρόπο μια συνάρτηση καταλληλότητας θα πρέπει να υπολογίζει την καταλληλότητα μια υποψήφιας λύσης η οποία στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθεί από το γενετικό αλγόριθμο για την πραγματοποίηση της εξέλιξης των καλών λύσεων. (Burke & Kendall, 2005)

Μια συνάρτηση καταλληλότητας δημιουργήθηκε, η οποία μπορούσε να αξιολογήσει και να βαθμολογήσει κάθε χορδή, έτσι ώστε οι χορδές οι οποίες θεωρούνταν ως πιο ισχυρές, θα μπορούσαν να ανταλλάξουν δεδομένα μεταξύ τους μέσω της διαδικασίας διασταύρωσης ώστε να δημιουργήσουν απογόνους (Σχήμα 3). Ο Holland, επιπλέον υπέβαλε τα ψηφιακά χρωμοσώματα σε μια διαδικασία μετάλλαξης, η οποία προσέδωσε τυχαιότητα στα χρωμοσώματα των απογόνων ώστε να διατηρηθεί η ποικιλομορφία του πληθυσμού. Η συνάρτηση καταλληλότητας αντικατέστησε το ρόλο του θανάτου στο βιολογικό κόσμο, καθορίζοντας ποιες χορδές ήταν αρκετά καλές ώστε να συνεχίσουν να αναπαράγονται και κάποιες θα έπρεπε να παραμείνουν στο παρελθόν. Στον αρχικό αλγόριθμο του Holland η κωδικοποίηση γινόταν σε δυαδικό σύστημα (0 ή 1) αλλά αυτό δεν είναι πια απαραίτητο. (Palisade Corp., 2010)

2.5.1 Λειτουργία

Όταν εφαρμόζονται σε προβλήματα βελτιστοποίησης, οι γενετικοί αλγόριθμοι ξεκινούν με ένα σύνολο πιθανών λύσεων που ονομάζεται πληθυσμός. Κάθε πιθανή λύση κωδικοποιείται σε μία χορδή (ή χρωμόσωμα) (*string or chromosome*) αντιπροσωπεύοντάς την σύμφωνα με μία καθορισμένη δομή που ονομάζεται σχήμα (*schema*). Τα σχήματα προσδιορίζουν υποσύνολα χορδών με ομοιότητες σε συγκεκριμένες θέσεις της χορδής. Η χορδή συντίθεται από γονίδια (*genes*), με το κάθε γονίδιο να ανταποκρίνεται σε μία μεταβλητή του αρχικού προβλήματος. (Karlaftis et al., 2004)

Οι χορδές εξελίσσονται μέσα από μία σειρά επαναλήψεων (Σχήμα 4) που ονομάζονται γενιές (*generations*). Οι γενιές δημιουργούνται με την εφαρμογή τριών βασικών διαδικασιών:

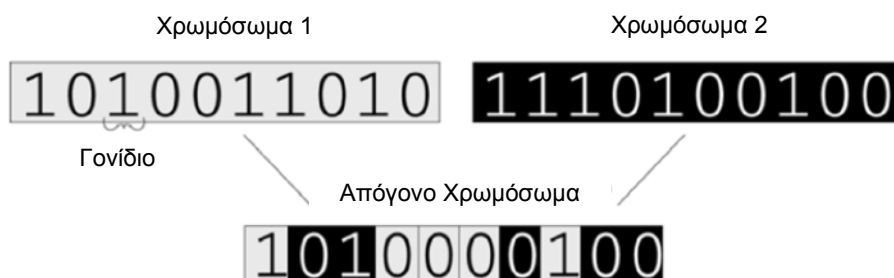
1. επιλογή γονέων (*selection*)

2. διασταύρωση (*crossover*)
3. μετάλλαξη (*mutation*)

Η επιλογή γονέων είναι μια διαδικασία κατά την οποία ο αλγόριθμος επιλέγει χρωμοσώματα εντός του πληθυσμού κατάλληλα για αναπαραγωγή. Όσο πιο “ικανό” είναι ένα χρωμόσωμα, τόσο πιο συχνά είναι πιθανό να επιλεγεί για τη διαδικασία της αναπαραγωγής. Η επιλογή αυτή γίνεται μέσω της συνάρτησης καταλληλότητας. (Mitchell, 1999)

Η επιλογή γονέων μπορεί να εφαρμοστεί στον αλγόριθμο με διάφορους τρόπους. Ο πιο απλός ίσως είναι η δημιουργία μίας ρουλέτας (*roulette*) όπου στην κάθε χορδή αντιστοιχεί ένα τμήμα κατ’ αναλογία προς το μέτρο καταλληλότητας της. Για την επιλογή, η ρουλέτα, τίθεται σε περιστροφική κίνηση και η χορδή που κάθε φορά προκύπτει θα χρησιμοποιηθεί μαζί με άλλες για την παραγωγή της επόμενης γενιάς. (Goldberg, 1989)

Έπειτα μέσω της διαδικασίας της διασταύρωσης (Σχήμα 3), επιλέγεται τυχαία ένα σημείο της χορδής και ανταλλάσσονται οι αλληλουχίες των δύο χορδών, πριν και μετά από αυτό το σημείο μεταξύ των δύο χρωμοσωμάτων ώστε να παραχθούν δύο απόγονοι. Για παράδειγμα οι χορδές 10000100 και 11111111 μπορούν να υποστούν διασταύρωση μετά το τρίτο ψηφίο και να δημιουργήσουν τους δύο απόγονους 10011111 και 11100100. (Mitchell, 1999)



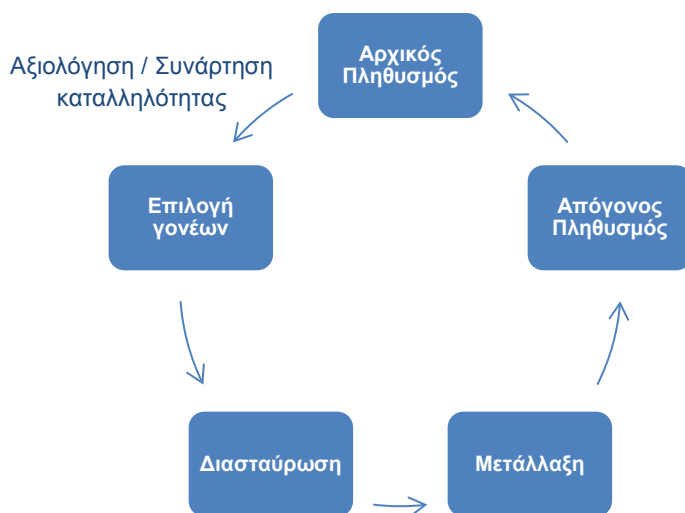
Σχήμα 3: Δημιουργία χρωμοσώματος απογόνου μέσω διασταύρωσης (Palisade Corp., 2010)

Η τεχνική της επιλογής γονέων και της δομημένης αν και τυχαίας ανταλλαγής πληροφοριών μέσω της διασταύρωσης προσδίδουν στους γενετικούς αλγόριθμους μεγάλο τμήμα της ευρωστίας τους. Ωστόσο, ο μηχανισμός της μετάλλαξης είναι εξίσου απαραίτητος. Η μετάλλαξη είναι η διαδικασία κατά την οποία πραγματοποιούνται τυχαίες μεταβολές σε κάποια από τα ψηφία των χρωμοσωμάτων. Για παράδειγμα, η χορδή 00000100 θα μπορούσε να μεταλλαχθεί στο δεύτερο ψηφίο της ώστε να προκύψει η χορδή 01000100. Η μετάλλαξη μπορεί να πραγματοποιηθεί σε κάθε σημείο της χορδής με μια πιθανότητα, συνήθως πολύ μικρή (π.χ. 0.001). (Mitchell, 1999)

Η μετάλλαξη, όταν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την επιλογή γονέων και τη διασταύρωση, αποτελεί ένα μηχανισμό εξασφάλισης της γενετικής ποικιλίας και διασφάλισης έναντι της πρόωρης απώλειας πολύτιμων γονιδίων. Ο ρόλος της μετάλλαξης στους γενετικούς αλγόριθμους είναι δευτερεύων, με το ποσοστό μετάλλαξης για την απόκτηση καλών αποτελεσμάτων σε εμπειρικές μελέτες να είναι της τάξης του 1%. Ανάλογα ή και ακόμη μικρότερα είναι τα ποσοστά και των φυσικών

συστημάτων οδηγώντας στο συμπέρασμα πως η μετάλλαξη αποτελεί δευτερεύων μηχανισμό και εκεί. Οι τρεις μηχανισμοί που αναφέρθηκαν έχουν αποδειχτεί υπολογιστικά απλοί αλλά ταυτόχρονα αποτελεσματικοί σε ποικίλα προβλήματα βελτιστοποίησης. (Goldberg, 1989)

Μετά από αυτές τις τρεις βασικές διαδικασίες των γενετικών αλγορίθμων ακολουθεί η διαδικασία της αντικατάστασης (*replacement*), κατά την οποία ο νέος πληθυσμός που δημιουργείται αντικαθιστά τον παλιό.



Σχήμα 4: Ο βασικός κύκλος γενετικού αλγορίθμου

Τα βήματα αυτά επαναλαμβάνονται διαρκώς (κύκλος του γενετικού αλγόριθμου, Σχήμα 4), έως ότου κάποια προκαθορισμένη συνθήκη τερματισμού επιβεβαιωθεί.

Οι γενετικοί αλγόριθμοι διαφέρουν από τις παραδοσιακές διαδικασίες αναζήτησης και βελτιστοποίησης σε τέσσερα σημεία:

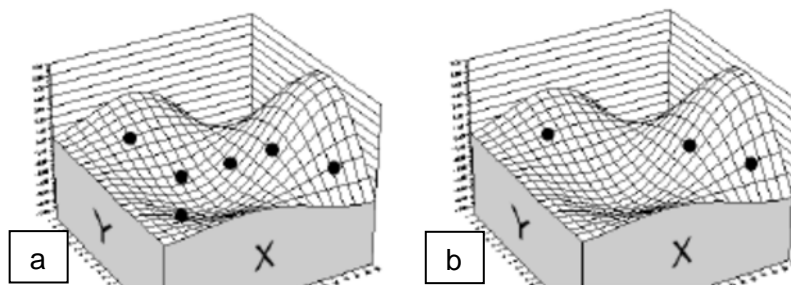
- Χρησιμοποιείται κωδικοποίηση των παραμέτρων του προβλήματος και όχι οι παράμετροι αυτές καθ' αυτές.
- Η αναζήτηση πραγματοποιείται σε ένα πληθυσμό σημείων ταυτόχρονα και όχι σε ένα μεμονωμένο σημείο.
- Για την αξιολόγηση των λύσεων χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα της αντικειμενικής συνάρτησης και όχι παράγωγες ή άλλες δευτερεύουσες πληροφορίες.
- Χρησιμοποιούνται πιθανολογικοί και όχι ντετερμινιστικοί κανόνες μετάβασης. (Goldberg, 1989)

Στο επόμενο υποκεφάλαιο, ακολουθεί ένα παράδειγμα προβλήματος το οποίο επιλύεται με χρήση γενετικού αλγόριθμου.

2.5.2 Παράδειγμα επίλυσης βάσει Γενετικού Αλγορίθμου

Έστω ένα πρόβλημα με δύο μεταβλητές, X και Y , οι οποίες παράγουν την εξαρτημένη μεταβλητή Z . Αν υπολογιστούν και αναπαρασταθούν τα αποτελέσματα της μεταβλητής Z , για κάθε δυνατή τιμή X και Y , προκύπτει μια επιφάνεια. Αν ο

στόχος είναι να υπολογιστεί η μέγιστη τιμή της μεταβλητής Z , οι κορυφές της επιφάνειας θεωρούνται “καλές” λύσεις και οι κοιλάδες “κακές”. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η διαδικασία δημιουργίας ενός πληθυσμού και επιλογής των καταλληλότερων λύσεων (Σχήμα 5).



Σχήμα 5: Δημιουργία πληθυσμού (α), διατήρηση καταλληλότερων λύσεων (β) (Palisade Corp., 2010)

Όταν χρησιμοποιείται ένας γενετικός αλγόριθμος για τη μεγιστοποίηση της συνάρτησης, αρχικά δημιουργείται τυχαία ένας αριθμός πιθανών λύσεων ή σεναρίων (τα μαύρα σημεία του Σχήματος 5a), και όχι ένα μόνο αρχικό σημείο. Έπειτα υπολογίζεται το αποτέλεσμα της συνάρτησης για κάθε σενάριο και τα αποτελέσματα ιεραρχούνται με βάση το ύψος με φθίνουσα σειρά. Διατηρούνται τα σεναρία από τη μέση και πάνω και τα υπόλοιπα εξαιρούνται από τη συνέχεια της διαδικασίας (Σχήμα 5b).

Έπειτα, δημιουργούνται αντίγραφα των διατηρούμενων σεναρίων. Αν μέχρι τώρα είχαν παραμείνει δύο σεναρία, πλέον υπάρχουν τέσσερα. Κάθε ένα από τα σεναρία αυτά αποτελείται από δύο τιμές, τις μεταβλητές X και Y . Στη συνέχεια, τα σεναρία αυτά συνδυάζονται μεταξύ τους, ανταλλάσσοντας το κάθε ένα την πρώτη μεταβλητή του με αυτή του συνεργαζόμενου σεναρίου (διασταύρωση) (Πίνακας 2).

Πίνακας 2: Διασταύρωση (Crossover)

	Πριν	Μετά
Σενάριο 1	3.4 , 5.0	2.6 , 5.0
Σενάριο 2	2.6 , 3.2	3.4 , 3.2

Στο παράδειγμα αυτό, έγινε η θεώρηση ότι τα τρία αρχικά σεναρία, α, β και γ, συνδυάστηκαν με τα αντίγραφα Α, Β και Γ ώστε να δημιουργήσουν τα ζεύγη αΒ, βΓ και βΑ. Τα ζεύγη έπειτα αντάλλαξαν τις συντεταγμένες τους X , Y . Ο πληθυσμός των σεναρίων έχει πλέον “ζήσει” μια “γενιά”.

Παρατηρείται ότι κάποια από τα καινούρια σεναρία έχουν ως αποτέλεσμα χαμηλότερα σημεία από οποιαδήποτε άλλη λύση της αρχικής γενιάς. Όμως, ένα σενάριο έχει επιτύχει το υψηλότερο σημείο, παρουσιάζοντας πρόοδο.

Επιπρόσθετα, η μέση απόδοση του πληθυσμού αυξάνεται στην τελευταία γενιά. Σε αυτό το παράδειγμα δεν υπάρχουν ιδιαίτερα περιθώρια βελτίωσης καθώς υπάρχουν μόνο δύο γονίδια σε κάθε οργανισμό, μόνο έξι οργανισμοί και δεν υπάρχει τρόπος δημιουργίας νέων γονιδίων. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει περιορισμένη “δεξαμενή

γονιδίων”. Η “δεξαμενή γονιδίων” είναι το σύνολο όλων των γονιδίων όλων των οργανισμών του πληθυσμού.

Οι γενετικοί αλγόριθμοι μπορούν να γίνουν πιο αποτελεσματικοί αυξάνοντας τον αριθμό των γονιδίων σε κάθε οργανισμό, τους οργανισμούς ενός πληθυσμού αλλά και επιτρέποντας τυχαίες “μεταλλάξεις” (*mutations*). Επιπρόσθετα, μπορούν να επιλεγούν τα σενάρια που θα συνεχίσουν και θα αναπαραχθούν σαν αυτό να γίνεται με φυσικό τρόπο, με ένα τυχαίο στοιχείο το οποίο έχει την τάση προς τα σενάρια τα οποία είναι πιο αποτελεσματικά σε σχέση με τα άλλα, αντί απλώς να επιλέγονται τα καλύτερα.

Όλες αυτές οι τεχνικές υποδηλώνουν τη λεπτότητα των γενετικών αλγορίθμων και βοηθούν στη διατήρηση της ποικιλομορφίας της δεξαμενής γονιδίων, διατηρώντας όλα τα είδη γονιδίων διαθέσιμα σε περίπτωση που χρησιμεύσουν μέσα από τους διαφορετικούς συνδυασμούς. (Palisade Corp., 2010)

Μετά την παρουσίαση του θεωρητικού υποβάθρου όσο αφορά στα πρότυπα χωροθετικού σχεδιασμού και στους γενετικούς αλγόριθμους, στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζεται και αναλύεται η συμβολή των ΓΠΣ στα προβλήματα χωροθέτησης ως μια ακόμα βασική συνιστώσα της παρούσας εργασίας.

2.5.3 Διαδικασία επίλυσης Γενετικών Αλγορίθμων

Όσο αφορά στις διαφορετικές μεθόδους επίλυσης, οι δύο επικρατέστερες μέθοδοι είναι οι *recipe* και *order* και υπάρχει δυνατότητα ταυτόχρονης χρήσης του για λύση πολύπλοκων συνδυαστικών προβλημάτων. Πιο συγκεκριμένα, η μέθοδος *recipe* είναι η πιο απλή και δημοφιλής εκ των μεθόδων. Χρησιμοποιείται όταν οι μεταβλητές που εναλλάσσονται για την επίλυση του προβλήματος, ποικίλουν ανεξάρτητα η μία από την άλλη, ενώ η μόνη παράμετρος που καθορίζεται από τον χρήστη είναι το εύρος των τιμών που μπορούν να λάβουν οι μεταβλητές αυτές. Αντίθετα η μέθοδος *order*, ανταλλάσσει τιμές μεταξύ των μεταβλητών αναμιγνύοντας τις αρχικές τιμές με σκοπό να εντοπίσει τη καλύτερη δυνατή σειρά. (Palisade Corp., 2010)

Η βασική μέθοδος επίλυσης *recipe*, χρησιμοποιεί μια σταθερή διαδικασία διασταύρωσης. Αυτό σημαίνει ότι αντί να χωρίζει την κάθε μεταβλητή, σε ένα δεδομένο σενάριο, σε δύο τμήματα και να διαχειρίζεται έπειτα το κάθε ένα από τα τμήματα, δημιουργεί δύο ομάδες από τυχαία επιλεγμένα αντικείμενα. Η παραδοσιακή μέθοδος διασταύρωσης *x-point* ενδέχεται να μεροληπτεί κατά την έρευνα, λόγω της μη συσχετιζόμενης θέσης των μεταβλητών, ενώ η σταθερή μέθοδος διασταύρωσης θεωρείται ότι λειτουργεί καλύτερα όσο αφορά στη διατήρηση των σχημάτων και μπορεί να παράξει οποιοδήποτε σχήμα από τους δύο γονείς. (Palisade Corp., 2010)

Όπως και με τις διαδικασίες διασταύρωσης, έτσι και οι μέθοδοι μετάλλαξης διαφοροποιούνται για κάθε μέθοδο επίλυσης. Η βασική μέθοδος *recipe* πραγματοποιεί τη μετάλλαξη ερευνώντας κάθε μεταβλητή χωριστά. Ένας τυχαίος αριθμός μεταξύ του 0 και του 1 παράγεται για κάθε μια από τις μεταβλητές, και εάν μια μεταβλητή λάβει έναν αριθμό που είναι μικρότερος ή ίσος από το βαθμό μετάλλαξης, τότε η μεταβλητή αυτή μεταλλάσσεται. Η μετάλλαξη μια μεταβλητής

περιλαμβάνει την αντικατάστασή της από μια τυχαία παραγόμενη τιμή (εντός του επιτρεπόμενου εύρους). (Palisade Corp., 2010)

Ένα από τα ερωτήματα που σχετίζονται με την απόδοση ενός γενετικού αλγόριθμου είναι πως ο αλγόριθμος επηρεάζεται από το μέγεθος του αρχικού πληθυσμού. Κατ' αρχήν, είναι ξεκάθαρο ότι ένας μικρός πληθυσμός ενέχει τον κίνδυνο σοβαρής μη επαρκούς κάλυψης του χώρου των λύσεων, ενώ η επιλογή ενός μεγάλου πληθυσμού επιφέρει σοβαρά υπολογιστικά προβλήματα. Τιμές μεταξύ n και $2n$ είναι ιδανικές, όπου n το μέγεθος ενός χρωμοσώματος. (Jaramillo et al., 2002). Στην συγκεκριμένη εφαρμογή ισχύει $n = 2H$, όπου H ο αριθμός των διαθέσιμων οχημάτων άμεσης επέμβασης. (Κωνσταντινίδου, 2010).

Κατά την επίλυση του αλγόριθμου, δίνεται η δυνατότητα εισαγωγής περιορισμών. Όταν μια νέα γενιά λύσεων παραβιάζει τους περιορισμούς που έχουν τεθεί, η διαδικασία ανατρέχει σε έναν από τους γονείς και αλλάζει τα παραγόμενες λύσεις έως ότου αυτές να βρίσκονται εντός του αποδεκτού πεδίου τιμών. (Palisade Corp., 2010). Οι περιορισμοί της τυπολογίας του μοντέλου χωροθέτησης που χρησιμοποιείται εκφράζονται μέσω των περιορισμών του *Enoiver* 5.5..

Τέλος, ο αλγόριθμος τερματίζεται έπειτα από την παρέλευση κάποιου ορισμένου χρονικού διαστήματος ή εφόσον ικανοποιηθεί κάποια συνθήκη τερματισμού που έχει τεθεί. Ο ιδανικός και ασφαλής χρόνος για τον τερματισμό του αλγορίθμου προκύπτει μετά από διερεύνηση, ενώ οι συνθήκες τερματισμού συνήθως αφορούν στην ποσοστιαία πρόοδο της επίλυσης σε σχέση με τις επαναλήψεις που επιχειρεί ο αλγόριθμος. Οι παραπάνω παράμετροι καθορίζονται μέσω ανάλυσης ευαισθησίας.

Ανάλυση ευαισθησίας

Η ανάλυση ευαισθησίας, ως στόχο έχει την εύρεση του συνδυασμού των παραμέτρων του γενετικού αλγόριθμου για τον οποίο προκύπτει η βέλτιστη λύση, μεγιστοποιείται δηλαδή η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης για κάποιο δεδομένο χρόνο. Ελέγχονται λοιπόν επαρκείς σε αριθμό διαφορετικοί συνδυασμοί του μεγέθους αρχικού πληθυσμού, του δείκτη μετάλλαξης και διασταύρωσης. Ο συνδυασμός των τριών που επιφέρει τα καλύτερα αποτελέσματα εντός του καθορισμένου χρονικού διαστήματος είναι εκείνος που θα χρησιμοποιηθεί στην περαιτέρω μελέτη του προβλήματος.

2.6 Συμμετοχή των ΓΠΣ στα προβλήματα χωροθέτησης

Ένα Γεωγραφικό Πληροφοριακό Σύστημα (ΓΠΣ), είναι ένας συγκεκριμένος τύπος πληροφοριακού συστήματος ή ενός συστήματος διαχείρισης βάσεων δεδομένων (DBMS), το οποίο συνδυάζει γεωγραφικά δεδομένα (δεδομένα με χωρική αναφορά) και μη χωρικά περιγραφικά δεδομένα. (Longley et al., 2005)

Ο συνδυασμός των ΓΠΣ και της χωρικής ανάλυσης αποτελούν σημαντικότερη πρόοδο και ενισχύουν σημαντικά τις δυνατότητες για διαρκή εξέλιξη τόσο στη θεωρία όσο και στην εφαρμογή.

Τα ΓΠΣ προσφέρουν μια πλατφόρμα που ενσωματώνει διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας και επιτρέπει τη διαχείριση χωρικών δεδομένων με διάφορους τρόπους. Προφανώς, ένα πρωτεύον χαρακτηριστικό των ΓΠΣ είναι η δυνατότητα οπτικοποίησης των δεδομένων. Συνεπώς, τα ΓΠΣ είναι σημαντικά για τη χωρική ανάλυση και αναπαράσταση, αν όχι και για άλλους λόγους, για την πρόσβαση που παρέχουν στα απαιτούμενα δεδομένα εισαγωγής και τη δυνατότητα οπτικής ανάλυσης των δεδομένων ενός μοντέλου. Τα ΓΠΣ όμως μπορούν να παρέχουν πολλά περισσότερα. (Murray, 2010)

Όπως προαναφέρθηκε, τα ΓΠΣ παραδοσιακά υποστηρίζουν τη χωρική ανάλυση λόγω της πρόσβασης σε βασικές χωρικές πληροφορίες, συμπεριλαμβανομένης της εξαγωγής συντεταγμένων και των σχετικών τιμών των διαφόρων χαρακτηριστικών κάποιας γεωγραφικής θέσης. Οι (Bender et al., 2002) και οι (Murawski & Church, 2009) χρησιμοποιούν τα ΓΠΣ με παρόμοιο τρόπο, όταν συντεταγμένες και μη χωρικά χαρακτηριστικά εξάγονται ώστε να χρησιμοποιηθούν σε ένα σχεδιασμένο μοντέλο χωροθέτησης. Τα ΓΠΣ μπορούν επιπρόσθετα να χρησιμοποιηθούν στη δόμηση ενός προβλήματος βελτιστοποίησης. Πιο συνηθισμένες διαδικασίες κατά την επεξεργασία των δεδομένων είναι η εξαγωγή κεντροειδών πολυγώνων, συνένωση πολυγώνων, ζώνες επιρροής, χωρική αναζήτηση κ.λπ..

Όσο αφορά στην επί της ουσίας επίλυση ενός προβλήματος χωροθέτησης, υπάρχει η δυνατότητα επίλυσης μοντέλων χωροθέτησης αποκλειστικά μέσω ενός ΓΠΣ σε κάποιες περιπτώσεις. Εάν ο αριθμός των επιλογών είναι μικρός, τότε η απόφαση για χωροθέτηση μπορεί να επιτευχθεί άμεσα. Έτσι, δεν χρειάζεται επιπλέον ανάλυση ή κάποιο άλλο μοντέλο, παρά μόνο η ανάλυση καταλληλότητας. Επιλύοντας ένα μοντέλο χωροθέτησης σε περιβάλλον ΓΠΣ, μπορεί να είναι δυνατόν, αλλά εξαρτάται από το πρόβλημα και το μοντέλο. Πολλά εμπορικά λογισμικά καλύπτουν μοντέλα χωροθέτησης όπως λειτουργίες του ArcGIS, TransCad, MapInfo, ενσωματώνοντας προσεγγίσεις ευριστικών λύσεων για συγκεκριμένους τύπους μοντέλων. Επιπλέον, είναι δυνατόν να προγραμματιστεί κάποιο μοντέλο χωροθέτησης και να ενσωματωθεί στα εμπορικά πακέτα μέσω συμβατών γλωσσών προγραμματισμού. (Murray, 2010)

Στην παρούσα εργασία, το λογισμικό ESRI ArcGIS 10 χρησιμοποιήθηκε ως μέσο επεξεργασίας και αναπαράστασης των δεδομένων και των αποτελεσμάτων πριν και μετά τη διαδικασία βελτιστοποίησης του μοντέλου χωροθέτησης που χρησιμοποιήθηκε. Στο επόμενο υποκεφάλαιο, παρουσιάζονται κάποιες βασικές λειτουργίες των ΓΠΣ, και της προσέγγισής τους σε προβλήματα δικτύου και χωροθέτησης και οι οποίες έλαβαν χώρα στην παρούσα εργασία.

2.6.1 Γεωβάσεις

Οι γεωβάσεις (Geodatabases) είναι μια μορφή αποθήκευσης χωρικών δεδομένων, ειδικά σχεδιασμένη για το ArcGIS, αφού αποτελείται από ένα σύνολο ομάδων οντοτήτων. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο συνδυαστικός κρίκος όλων αυτών των αρχείων στη διαχείρισή τους είναι η ομάδα οντοτήτων (*feature class*), η οποία ορίζεται ως ένα σύνολο οντοτήτων (σημεία, γραμμές, πολύγωνα) που αντιπροσωπεύουν γεωγραφικά αντικείμενα. Το καθοριστικό γνώρισμα μια ομάδας οντοτήτων είναι η γεωμετρία (αν είναι σημεία, γραμμές ή πολύγωνα) και όχι ο αριθμός των οντοτήτων που

περιλαμβάνει ή οτιδήποτε άλλο. (Κουτσόπουλος & Ανδρουλακάκης , 2005) Για παράδειγμα το σύνολο των γραμμών που αναπαριστούν οδούς του οδικού δικτύου αποτελεί μια ομάδα οντοτήτων.

Με τη βοήθεια της γεωβάσης καθίσταται δυνατή η ανάπτυξη απλών έως και πολύπλοκων μοντέλων γεωγραφικών δεδομένων. Τα απλά μοντέλα αναπαριστούν σημεία, γραμμές ή πολύγωνα. Τα πιο πολύπλοκα μοντέλα περιλαμβάνουν δίκτυα, τοπολογία, εξελιγμένα χαρακτηριστικά όπως διαστάσεις, σχέσεις ανάμεσα σε ομάδες οντοτήτων και άλλες αντικειμενοστραφείς οντότητες (*object features*). (Κουτσόπουλος & Ανδρουλακάκης , 2005)

Επιπλέον, πολλές φορές για τη διαχείριση χωρικών δεδομένων και την αντιμετώπιση προβλημάτων σε περιβάλλον ΓΠΣ απαιτείται η χρήση μιας άλλης δομής, της ομάδας δεδομένων οντοτήτων (*feature dataset*). Η ομάδα δεδομένων οντοτήτων αποτελεί μια συλλογή σχετιζόμενων ομάδων οντοτήτων σε ένα κοινό σύστημα αναφοράς, η οποία χρησιμοποιείται για την ενοποίηση, χωρικά ή θεματικά, διαφορετικών ομάδων οντοτήτων μεταξύ τους. Πρωταρχικός στόχος είναι η οργάνωση αυτών σε ένα κοινό σύνολο δεδομένων προκειμένου να λάβει χώρα η δόμηση της τοπολογίας, ενός δικτύου δεδομένων, ενός γεωμετρικού δικτύου. (ESRI, 2010) Για παράδειγμα, η ομάδα οντοτήτων που αφορά στις οδούς μαζί με τα δεδομένα για τις απαγορευμένες στροφές, την κυκλοφορία κ.λπ. μπορούν να αποτελέσουν μια ομάδα δεδομένων οντοτήτων για το οδικό δίκτυο.

2.6.2 Τοπολογία

Η τοπολογία είναι μια συλλογή κανόνων οι οποίοι σε συνδυασμό με κάποιες τεχνικές ελέγχου καθιστά τη γεωβάση ως ένα μοντέλο ακρίβειας γεωμετρικών σχέσεων. Η τοπολογία εφαρμόζεται με χρήση των εν λόγω κανόνων οι οποίοι ορίζουν τον τρόπο με τον οποίο τα αντικείμενα συνυπάρχουν στο γεωγραφικό χώρο και πλέον αποτελεί μια προαπαίτηση – κλειδί στα ΓΠΣ για τη διαχείριση των δεδομένων. Σε γενικές γραμμές, ένα μοντέλο τοπολογικών δεδομένων διαχειρίζεται χωρικές σχέσεις αναπαριστώντας τα αντικείμενα του χώρου (σημεία, γραμμές, πολύγωνα) ως ένα σύστημα τοπολογικών οντοτήτων, χρησιμοποιώντας κόμβους, ακμές και επιφάνειες. Οι οντότητες αυτές, μαζί με τις σχέσεις μεταξύ τους αλλά και με τα αντικείμενα των οποίων τα όρια αντιπροσωπεύουν, ορίζονται αναπαριστώντας τη γεωμετρία των αντικειμένων σε ένα επίπεδο γράφο τοπολογικών στοιχείων. (ESRI, 2010)

Η τοπολογία χρησιμοποιείται κατά βάση για τη διασφάλιση της ποιότητας των δεδομένων, των χωρικών σχέσεων και ως βοήθεια κατά τη σύνθεση δεδομένων, μέσω τοπολογικών ελέγχων. Επιπλέον χρησιμοποιείται για την ανάλυση χωρικών σχέσεων σε πολλές περιπτώσεις όπως κατά την εξάλειψη ορίων μεταξύ όμορων πολυγώνων με τις ίδιες ιδιότητες. (ESRI, 2010)

Οι τοπολογικοί έλεγχοι που απαιτούνται κατά περίπτωση εξαρτώνται άμεσα από τα δεδομένα εισαγωγής στο ΓΠΣ και όσο αφορά στην ανάλυση δικτύου αυτό που έχει πρωταρχικό ρόλο είναι η συνδεσιμότητα. Για να γίνει αντιληπτή η συνδεσιμότητα και για ποιο λόγο είναι σημαντική, πρέπει κάποιος να αναλογιστεί ότι η κάθε οντότητα αγνοεί την ύπαρξη των άλλων. Παραδείγματος χάριν, εάν δύο γραμμικές οντότητες τέμνονται, καμία γραμμή δεν αντιλαμβάνεται την ύπαρξη της άλλης. Παρομοίως, μια

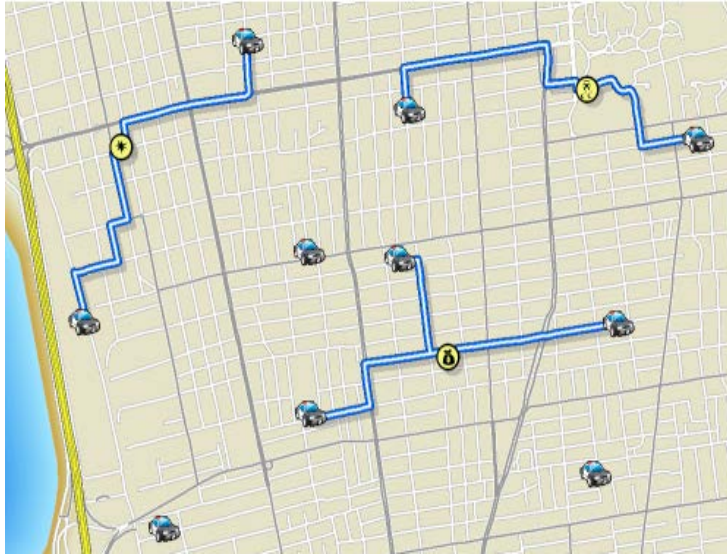
σημειακή οντότητα στο τέλος μιας γραμμής δεν κληρονομεί καμία πληροφορία σχετικά με τη γραμμή. Όμως ένα δίκτυο, καταγράφει ποια από τα στοιχεία του συμπίπτουν. Εφαρμόζει τακτικές συνδεσιμότητας, οι οποίες μπορούν να τροποποιηθούν, ώστε να καθορίσουν ποια συμπίπτοντα στοιχεία είναι πραγματικά συνδεδεμένα και ποια όχι. Το γεγονός αυτό δίνει τη δυνατότητα να αναπαρασταθούν ανισόπεδοι κόμβοι χωρίς να συνδέονται οι διασταυρούμενες οδοί. Με αυτόν τον τρόπο, όταν πραγματοποιείται ανάλυση δικτύου, ο μελετητής γνωρίζει ποιες διαδρομές του δικτύου είναι προσπελάσιμες και ποιες όχι. (ESRI, 2010)

2.6.3 Ανάλυση Δικτύων σε περιβάλλον ΓΠΣ

Τα ΓΠΣ και η ανάλυση δικτύων αποτελούν σημαντικά και αλληλοσυνδεδεμένα επιστημονικά πεδία και χαρακτηρίζονται από ραγδαίες και σημαντικές επιστημονικές εξελίξεις τα τελευταία χρόνια. (Fischer, 2003)

Άνθρωποι, πόροι και αγαθά μετακινούνται κατά μήκος δικτύων: αυτοκίνητα και φορτηγά ταξιδεύουν σε δρόμους, οι πτήσεις αεροπλάνων ακολουθούν προκαθορισμένες εναέριες διαδρομές, τα καύσιμα ρέουν σε κατάλληλους αγωγούς. Με την αναπαράσταση πιθανών διαδρομών σε ένα δίκτυο, γίνεται εφικτή ή ανάλυση σχετικά με τις κινήσεις των καυσίμων, των φορτηγών ή άλλων παραγόντων του δικτύου. Η πιο συχνά εφαρμόσιμη ανάλυση δικτύου είναι η εύρεση της συντομότερης διαδρομής μεταξύ δύο σημείων. Τα συγκοινωνιακά δίκτυα, όπως οι δρόμοι, οι πεζόδρομοι και οι σιδηρόδρομοι, επιτρέπουν τη μεταφορά και προς τις δύο κατευθύνσεις, εκτός αν τίθεται κάποιος περιορισμός. Για παράδειγμα, ο οδηγός ενός φορτηγού όταν βρίσκεται στο δρόμο είναι γενικά ελεύθερος να αποφασίσει προς ποια κατεύθυνση θα κινηθεί αλλά και τον προορισμό του. (ESRI, 2010)

Ερευνητές και αναλυτές συχνά επωφελούνται από την δυνατότητα εντοπισμού τη διαδρομή μικρότερου κόστους μεταξύ διάφορων σημείων προέλευσης και προορισμού. Οι πίνακες κόστους προέλευσης – προορισμού (*Origin – Destination cost matrix*) συνήθως χρησιμοποιούνται ως δεδομένο εισαγωγής σε μεγαλύτερης κλίμακας αναλύσεις. Για παράδειγμα, η πρόβλεψη της συμπεριφοράς των οδηγών πολλές φορές συμπεριλαμβάνει τις αποστάσεις τις οποίες οι άνθρωποι θα απαιτηθεί να διανύσουν ώστε να φτάσουν στον προορισμό τους. Οι αποστάσεις αυτές χρησιμοποιούνται ως μαθηματικές συναρτήσεις ώστε να πραγματοποιηθούν προβλέψεις διαδρομών (Σχήμα 6). (ESRI, 2010)



Σχήμα 6: Εύρεση βέλτιστης διαδρομής σε περιβάλλον GIS (ESRI, 2010)

Ένα δίκτυο είναι ένα σύστημα διασύνδεσης στοιχείων όπως ακμές (γραμμές) και συνδετήριοι κόμβοι (σημεία), που αναπαριστούν πιθανές διαδρομές από μία τοποθεσία σε μια άλλη. (ESRI, 2010)

Οι δομές δεδομένων δικτύου ήταν από τις πρώτες αναπαραστάσεις στα ΓΠΣ και η ανάλυση δικτύων παραμένει ένα από τα πιο σημαντικά αντικείμενα της έρευνας και των εφαρμογών στην επιστήμη της γεωπληροφορικής. Η ανάλυση δικτύων έχει θεωρητική βάση στη μαθηματική θεωρία των γράφων και την τοπολογία καθώς οι τοπολογικές σχέσεις εντός των δικτύων είναι αυτές που έχουν οδηγήσει σε σημαντικές βελτιώσεις στις δομές δεδομένων. Τα δίκτυα αναπαριστούν μια διαφορετική αναφορά υπό την έννοια της γραμμικότητας και υποστηρίζουν μια ομάδα εργαλείων για γραφική αναπαράσταση. (Curtin, 2007)

Σύμφωνα με τη θεωρία των γράφων, ένα γράφος είναι μία ομάδα αντικειμένων εκ των οποίων κάποια ζεύγη συνδέονται μεταξύ τους. Τα αλληλοσυνδεόμενα αντικείμενα αναπαριστώνται από σημεία που ονομάζονται κόμβοι (*vertices*) και οι συνδέσεις μεταξύ των ζευγών των κόμβων ονομάζονται ακμές (*edges*). Σε κάποιες από τις ακμές μπορεί να έχει οριστεί συγκεκριμένη κατεύθυνση ή κάποιες άλλες να είναι δύο κατευθύνσεων. (Tudreau, 1993)

Η ανάλυση δικτύων σε περιβάλλον ΓΠΣ δίνει πολλές δυνατότητες για επίλυση συνηθισμένων προβλημάτων δικτύων όπως αυτά που έχουν αναφερθεί. Για παράδειγμα, η εύρεση βέλτιστης διαδρομής, η εύρεση της κοντινότερης υπηρεσίας, ο προσδιορισμός της περιοχής εξυπηρέτησης μια υπηρεσίας, εξυπηρέτηση μεταφορών αγαθών με ένα στόλο οχημάτων, ή ακόμα και επιλογή των εγκαταστάσεων που θα πρέπει να ανοίξουν ή να κλείσουν σε μια περιοχή.

Παρακάτω, θα αναλυθεί ο υπολογισμός του πίνακα κόστους προέλευσης προορισμού (Π-Π) και ο υπολογισμός των περιοχών εξυπηρέτησης (*Service areas*), οι δύο τύποι προβλημάτων που έλαβαν χώρα στην παρούσα εργασία.

2.6.4 Πίνακας κόστους Προέλευσης – Προορισμού (Π-Π)

Ο πίνακας Προέλευσης – Προορισμού είναι ένας δυσδιάστατος πίνακας στον οποίο οι γραμμές αναπαριστούν τις μετακινήσεις που ξεκινούν από τα σημεία προέλευσης, ενώ οι στήλες τις μετακινήσεις που καταλήγουν στα σημεία προορισμού. Έτσι, κάθε κελί του πίνακα αναπαριστά ένα μέγεθος που εκφράζει την εκάστοτε διαδρομή από μία προέλευση ως έναν προορισμό είτε πρόκειται για μήκος διαδρομής, είτε για κόστος κλπ. (Ortuzar & Willumsen, 2011)

Στο λογισμικό ArcGIS, όταν πραγματοποιείται η ανάλυση αυτή, προσδιορίζεται ο αριθμός των σημείων προορισμού που απαιτούνται και η μέγιστη ακτίνα διερεύνησης. Η διαδικασία εύρεσης της κοντινότερης εγκατάστασης και αυτή του πίνακα κόστους Π-Π πραγματοποιούν παρόμοια ανάλυση. Η κύρια διαφορά βρίσκεται στην εξαγωγή των αποτελεσμάτων και στο χρόνο υπολογισμού. Ο πίνακας κόστους είναι σχεδιασμένος ώστε να επιλύει με ταχύτητα μεγάλης κλίμακας προβλήματα $M \times N$, και ως αποτέλεσμα δεν περιέχει την απαραίτητη πληροφορία ώστε να παράγει τις πραγματικές διαδρομές που ακολουθούνται στο δίκτυο. Αντίθετα η διαδικασία εύρεσης της κοντινότερης εγκατάστασης, αποδίδει τις πραγματικές διαδρομές αλλά εκτελεί την επεξεργασία σε πολύ μεγαλύτερο χρόνο. Παρότι ο πίνακας κόστους αναπαριστά ευθείες γραμμές, τα αποτελέσματα που αποθηκεύονται σε αυτόν αντικατοπτρίζουν τις πραγματικές αποστάσεις του δικτύου (Σχήμα 7). (ESRI, 2010)



Σχήμα 7: Υπολογισμός πίνακα κόστους Π-Π (ESRI, 2010)

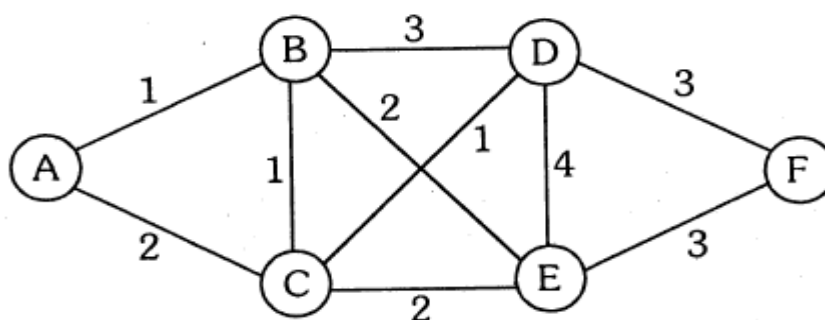
Κατά την επεξεργασία των δεδομένων, μπορούν να καθοριστούν διάφορα χαρακτηριστικά και περιορισμοί οι οποίοι σε ένα σύστημα ΓΠΣ μπορούν να ληφθούν υπόψη και να ενσωματωθούν στην όλη διαδικασία. Έτσι καθορίζονται παράγοντες όπως:

- Αντίσταση (*Impedance*): καθορίζει το μέτρο του κόστους, π.χ. απόσταση, χρόνος, κόστος μεταφοράς κ.λπ.
- Περιορισμοί δικτύου (*Restriction*): όπως μονόδρομοι για μη επείγοντα οχήματα
- Φραγμοί μετακίνησης (*Barriers*): αναπαριστούν εμπόδια στο δίκτυο και μπορεί να είναι γραμμές ή πολύγωνα (π.χ. μια λίμνη, σιδηροδρομικές γραμμές)
- Αναστροφή (*U-Turns at junctions*)

- Ιεραρχία δικτύου (*Hierarchy*): π.χ. οι οδηγοί προτιμούν υψηλότερης κλάσης δρόμους (ESRI, 2010)

2.6.5 Αλγόριθμος Dijkstra

Όλα τα παραπάνω προβλήματα στην ανάλυση δικτύου σε περιβάλλον ArcGIS, επιλύονται με βάση τον γνωστό αλγόριθμο Dijkstra, 1959 (Dijkstra's algorithm) για τον υπολογισμό των συντομότερων διαδρομών. Ο κλασικός αλγόριθμος Dijkstra επιλύει προβλήματα συντομότερης διαδρομής σε έναν χωρίς κατευθύνσεις γράφο με βάρη (Σχήμα 8). Ακολουθεί η διαδικασία επίλυσης του αλγορίθμου όπως περιγράφεται από τους Ortuzar και Willumsen το 2011.



Σχήμα 8: Γράφος επίλυσης του αλγορίθμου Dijkstra

Έστω $d_{A,B}$ το μήκος (ή κόστος) μιας ακμής του γράφου μεταξύ των σημείων A και B. Η ακολουθούμενη διαδρομή ορίζεται από τη σειρά των ακολουθούμενων κόμβων A-C-D-H κλπ., ενώ το μήκος της διαδρομής είναι το άθροισμα των μηκών των αντίστοιχων συνδέσεων της διαδρομής. Ως d_A συμβολίζεται η ελάχιστη απόσταση από τον κόμβο προέλευσης έως τον κόμβο A και ως P_A ο προηγούμενος από τον A κόμβος, έτσι ώστε η ακμή (P_A, A) είναι μέρος της συντομότερης διαδρομής από την αρχή έως τον κόμβο A. Για την εύρεση της συντομότερης διαδρομής ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

Αρχικά: Τίθενται όλες οι αποστάσεις $d = \infty$, εκτός από την απόσταση του αρχικού κόμβου A, d_A , το οποίο είναι ίσο με μηδέν. Δημιουργείται ένας πίνακας L, ο οποίος περιλαμβάνει όλους τους κόμβους οι οποίοι έχουν προσεγγιστεί κατά τη διαδικασία αναζήτησης, αλλά δεν έχουν ερευνηθεί ως προηγούμενοι κόμβοι για επόμενους.

1. Εξετάζεται κάθε ακμή (A,B) από τον παρόντα κόμβο A και σε περίπτωση που $d_A + d_{AB} < d_B$ τότε τίθεται μια νέα τιμή $d_B = d_A + d_{A,B}$, ενώ $P_B = A$ και ο κόμβος B προστίθεται στον πίνακα L.
2. Αφαιρείται ο κόμβος A από τον πίνακα L, και αν ο πίνακας είναι άδειος, η διαδικασία ολοκληρώνεται, διαφορετικά:
3. Επιλέγεται ο επόμενος κόμβος από τον πίνακα L, και η διαδικασία επιστρέφει στο βήμα 1 με αυτόν ως παρόντα κόμβο. (Ortuzar & Willumsen, 2011)

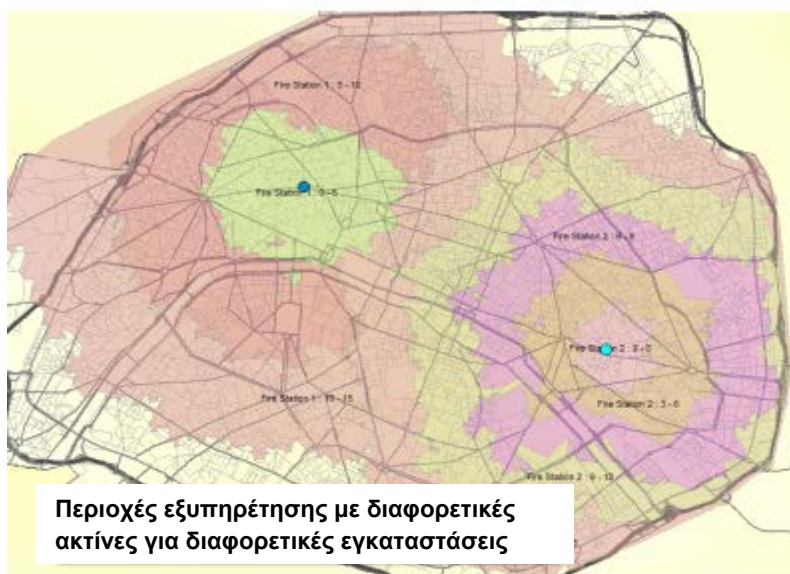
Για να είναι δυνατή η χρήση του σε πολύπλοκα πραγματικά δεδομένα μεταφορών, ο αλγόριθμος έχει βελτιωθεί ώστε να λαμβάνει υπόψη περιορισμούς καθορισμένους από το χρήστη, όπως αυτούς που αναφέρθηκαν παραπάνω. Επιπλέον, είναι ανάγκη

ο αλγόριθμος να έχει τη δυνατότητα να αναπαραστήσει τοποθεσίες οπουδήποτε πάνω σε μια ακμή και όχι μόνο σε κόμβους. (ESRI, 2010)

2.6.6 Περιοχές εξυπηρέτησης (Service Areas)

Ο υπολογισμός της περιοχής εξυπηρέτησης είναι μια διαδικασία επίσης βασισμένη στον αλγόριθμο Dijkstra. Σκοπός είναι να επιστραφεί ένα υποσύνολο συνδεδεμένων ακμών τέτοιες ώστε να είναι προσβάσιμες εντός ενός καθορισμένου ορίου απόστασης ή κόστους. Επιπρόσθετα, μπορεί να επιστραφούν περιοχές κατηγοριοποιημένες με βάση μια ομάδα ορίων εντός των οποίων μπορεί να βρίσκεται η κάθε γραμμή. (ESRI, 2010)

Τα πολύγωνα παράγονται τοποθετώντας τις εν λόγω γραμμές σε ένα ακανόνιστο δίκτυο τριγώνων (TIN). Η απόσταση κατά μήκος των γραμμών λειτουργεί όπως το υψόμετρο των σημείων σε ένα δίκτυο TIN. Οι τοποθεσίες που δεν καλύπτονται από την περιοχή εξυπηρέτησης έχουν πολύ μεγαλύτερη τιμή υψομέτρου. Η διαδικασία παραγωγής πολυγώνων χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το δίκτυο TIN για να χαραχθούν οι περιοχές εξυπηρέτησης εντός των καθορισμένων ορίων. Ο αλγόριθμος παραγωγής πολυγώνων έχει τη δυνατότητα να παράγει γενικευμένα ή ακριβή πολύγωνα και να αντιμετωπίζει ειδικές περιπτώσεις που μπορεί να προκύψουν (Σχήμα 9). (ESRI, 2010)



Σχήμα 9: Περιοχές εξυπηρέτησης (ESRI, 2010)

Κατά συνέπεια, οι περιοχές εξυπηρέτησης βοηθούν στην αξιολόγηση της προσβασιμότητας. Ομόκεντρες περιοχές αναπαριστούν τον τρόπο με τον οποίο διαφοροποιείται η προσβασιμότητα με βάση την ορισμένη συνάρτηση αντίστασης (*impedance*). Έτσι, χρησιμοποιούνται για να δοθούν απαντήσεις σε ερωτήματα όπως πόσοι άνθρωποι, σε ποια έκταση, ή τι ποσότητες από οποιοδήποτε άλλο χαρακτηριστικό βρίσκονται σε μια γειτονιά ή περιοχή. (ESRI, 2010)

Με την περιγραφή των παραπάνω λειτουργιών και τη συμμετοχή των ΓΠΣ στην παρούσα εργασία, ολοκληρώνεται το κεφάλαιο του θεωρητικού υποβάθρου και

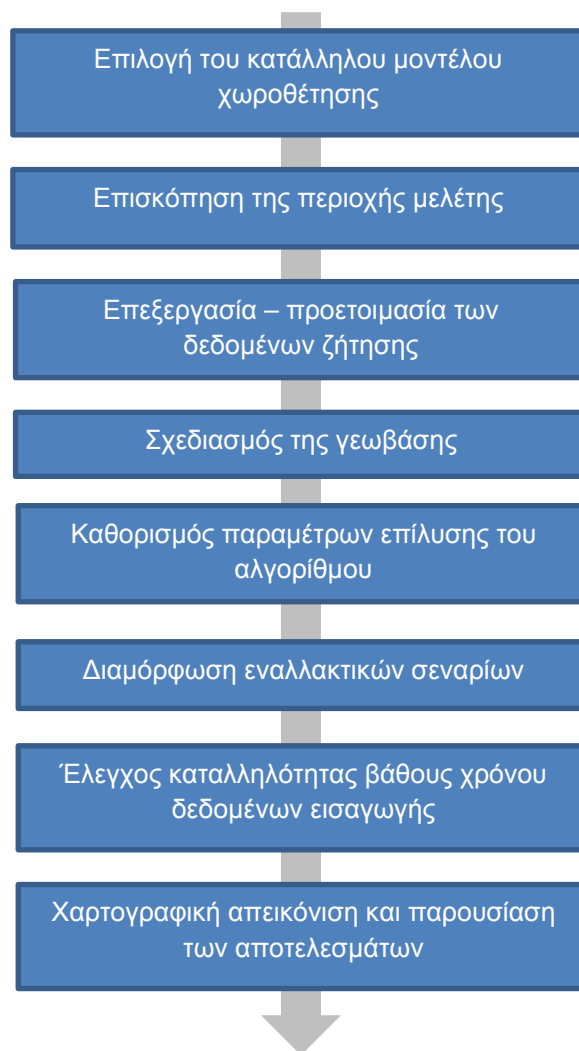
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

ακολουθεί αυτό της μεθοδολογίας, όπου περιγράφεται η διαδικασία για το χωροθετικό σχεδιασμό των οχημάτων άμεσης επέμβαση που ακολουθήθηκε.

3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βήματα τα οποία προτείνεται να ακολουθήσει ο μελετητής για τον χωροθετικό σχεδιασμό οχημάτων άμεσης επέμβασης για την αντιμετώπιση των τροχαίων ατυχημάτων, βάσει γενετικών αλγορίθμων και με διαμόρφωση εναλλακτικών σεναρίων, καθώς και για τον έλεγχο καταλληλότητας του βάθους χρόνου των δεδομένων εισαγωγής.

Αρχικά, ο μελετητής οφείλει να επιλέξει το μοντέλο χωροθέτησης το οποίο είναι κατάλληλο για τη φύση του προβλήματος, ανάλογα με τα δεδομένα εισαγωγής που έχει στη διάθεσή του και το σκοπό της χωροθέτησης. Μετά την επιλογή του κατάλληλου μοντέλου χωροθέτησης ακολουθούν τα επόμενα βήματα για την επίλυση του προβλήματος χωροθέτησης που παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα ροής (Σχήμα 10).



Σχήμα 10: Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας

Στη συνέχεια περιγράφονται τα επόμενα βήματα της μεθοδολογίας που προτείνεται βάσει του διαγράμματος ροής.

3.1 Επισκόπηση της περιοχής μελέτης

Όταν πρόκειται να πραγματοποιηθεί μια μελέτη χωροθέτησης οχημάτων άμεσης επέμβασης, πρωταρχικό βήμα είναι η διερεύνηση της περιοχής μελέτης. Σκοπός είναι να εξεταστεί κατά κύριο λόγο η ρυμοτομία της περιοχής, το οδικό δίκτυο, τα χαρακτηριστικά του, το είδος και το πλήθος των οδών που διατίθενται, η πολεοδομική οργάνωση αλλά και να πραγματοποιηθεί έλεγχος των πιθανών θέσεων χωροθέτησης των οχημάτων καθώς ενδέχεται να είναι περιορισμένες. Επίσης σημαντικό ρόλο κατέχουν τα δημογραφικά στοιχεία της περιοχής και κυρίως η πυκνότητα των κατοικημένων περιοχών εκ των οποίων θα μπορούσαν να προκύψουν επιπλέον παράμετροι εισαγωγής του προβλήματος.

3.2 Επεξεργασία των δεδομένων των τροχαίων ατυχημάτων

Το επόμενο στάδιο της μελέτης είναι η επεξεργασία των δεδομένων που αφορούν στα τροχαία ατυχήματα ώστε να προκύψει ένα μέτρο ζήτησης για την κάθε θέση καταγραφής. Σε πολλές μελέτες περίπτωσης που αναφέρονται στη βιβλιογραφία, οι επικίνδυνες θέσεις του οδικού δικτύου, ή αλλιώς η ζήτηση προκύπτει από αξιολόγηση του οδικού δικτύου με χρήση κριτηρίων που αφορούν στην ταχύτητα, τη γεωμετρία του δικτύου κ.λπ. Ωστόσο, προτείνεται η χρήση δεδομένων που περιλαμβάνουν καταγεγραμμένα πραγματικά στοιχεία ατυχημάτων της περιοχής μελέτης, εφόσον αυτά διατίθενται.

Τα δεδομένα αυτά, θα πρέπει αρχικά να υποστούν επεξεργασία ώστε να βρεθεί ένας τρόπος εκτίμησης της ζήτησης. Ένας παγκόσμια αποδεκτός τρόπος είναι η οικονομική αποτίμηση των ατυχημάτων. Κάθε κράτος ή αρμόδιος φορέας ανά περιοχή, έχει στη διάθεση του οικονομικά στοιχεία για το κόστος που προκαλούν τα ατυχήματα και αυτό μπορεί να αφορά τις υλικές ζημιές, ασφαλιστικά έξοδα, τραυματισμούς που προκαλούνται κ.λπ. Έτσι για κάθε περιοχή που παρουσιάζει ένα αριθμό ατυχημάτων μπορεί να υπολογιστεί το συνολικό κόστος που έχει προκληθεί για μια χρονική περίοδο είτε σε νομισματικές μονάδες είτε σε ισοδύναμο της μικρότερης κλίμακας σοβαρότητας ατυχήματος η οποία αντιπροσωπεύεται από το ατύχημα που έχει προκαλέσει μόνο υλικές ζημιές.

Ένας κοινά αποδεκτός και ευρέως χρησιμοποιούμενος τρόπος κατηγοριοποίησης του κόστους και της σοβαρότητας των ατυχημάτων, είναι η κατηγοριοποίηση αυτών σε πέντε βασικές ομάδες: τα θανατηφόρα ατυχήματα (FAT), τα ατυχήματα υψηλής, μεσαίας και μικρής σοβαρότητας (INJA, INJB, INJC αντίστοιχα) και τα ατυχήματα που προκάλεσαν μόνο υλικές ζημιές (PDO). Παρότι η αξία μιας ανθρώπινης ζωής δεν επιδέχεται, τουλάχιστον από ηθικής πλευράς, οικονομικού κόστους, έχει γίνει εκτίμηση κάποιου κόστους ώστε να καθιστά δυνατή η διεκπεραίωση τέτοιου είδους μελετών αλλά και για στατιστικούς λόγους.

Με αυτό τον τρόπο, η επικινδυνότητα ενός κόμβου k υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Επικινδυνότητα (E}_k\text{)} = \sum i_{FAT} \cdot C_{FAT} + \sum i_A \cdot C_A + \sum i_B \cdot C_B + \sum i_C \cdot C_C + \sum i_{PDO} \quad (1),$$

όπου:

i ο αριθμός των θανατηφόρων τραυματισμών, της κατηγορίας A, B, C, και PDO αντίστοιχα

C: το κατ' αναλογία κόστος σε μονάδες PDO των ατυχημάτων ανά επίπεδο τραυματισμού

Το συνολικό κόστος που επιφέρουν τα ατυχήματα ενός κόμβου αποτελεί και τη ζήτηση του κόμβου η οποία θα εισαχθεί στο μοντέλο βελτιστοποίησης των θέσεων των οχημάτων άμεσης επέμβασης σε περίπτωση που η χωροθέτηση των οχημάτων γίνεται βάση των δεδομένων ενός μεμονωμένου έτους ($E_k = D_k$). Όσο μεγαλύτερο είναι το υπολογιζόμενο κόστος για έναν κόμβο του δικτύου τόσο μεγαλύτερη η επικινδυνότητα και τόσο μεγαλύτερη αντίστοιχα είναι η ζήτηση, δηλαδή η ανάγκη για κάλυψη εντός των επιθυμητών χρονικών ορίων από κάποιο χωροθετημένο όχημα.

Επιπλέον προτείνεται η ζήτηση για έναν κόμβο, να υπολογίζεται διαφορετικά όταν αφορά μια συγκεκριμένη μονάδα του χρόνου, π.χ. ένα έτος, από ότι όταν αφορά περισσότερα, ώστε να συνυπολογίζεται η διακύμανση. Για παράδειγμα όταν ένα σημείο παρουσιάζει σταθερά μια ζήτηση a για τρία συνεχόμενα έτη θεωρείται περισσότερο επικίνδυνο από ένα άλλο σημείο που τα πρώτα δύο έτη δεν παρουσίαζε καθόλου ζήτηση ενώ κατά το τρίτο έτος παρουσίασε ζήτηση ίση με $3a$. Για να επιτευχθεί αυτό, προτείνεται ο υπολογισμός της ζήτησης ως το άθροισμα της ζήτησης για ολόκληρη τη χρονική περίοδο, προς την τυπική απόκλιση.

$$D_i = \begin{cases} \frac{\sum E_i}{\sigma}, & \text{για } \sigma \geq 1 \\ \sum E_i, & \text{για } \sigma < 1 \end{cases}, \quad (2) \text{ όπου:}$$

E_i η επικινδυνότητα του κόμβου για τα έτη για τα οποία γίνεται ο υπολογισμός και σ η τυπική απόκλιση για τα ίδια έτη.

Με αυτό τον τρόπο ένα κόμβος για να έχει μεγάλη ζήτηση και μεγαλύτερη ανάγκη για κάλυψη, δεν αρκεί να παρουσιάζει μεγάλο κόστος, αλλά και σταθερότητα διαχρονικά. Έτσι δεν υπάρχει κίνδυνος ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης των θέσεων να "κυνηγήσει" περισσότερο έναν κόμβο ο οποίος για ένα έτος παρουσίασε μεγάλη επικινδυνότητα σε σχέση με κάποιον άλλον που είναι διαχρονικά και σταθερά επικίνδυνος κόμβος.

Όταν υπολογιστεί πλέον η ζήτηση για όλα τα σημεία ενδιαφέροντος και για όλες τις χρονικές περιόδους ενδιαφέροντος, είναι δυνατόν μελετώντας κάποια στατιστικά στοιχεία να δοθεί η εικόνα της οδικής ασφάλειας στην περιοχή μελέτης, όπως π.χ. ποιοι είναι οι περισσότεροι επικίνδυνοι κόμβοι, ποιοι οι λιγότεροι επικίνδυνοι, ποιοι παρουσιάζουν μεγαλύτερες μεταβολές, αν υπάρχει κάποιο χρονικό πρότυπο κ.λπ.

3.3 Σχεδιασμός γεωβάσης

Σε εφαρμογές όπως η παρούσα εργασία, θα πρέπει να σχεδιαστεί μια βάση δεδομένων κατάλληλη για την ανάπτυξη ενός μοντέλου δικτύου. Θα πρέπει να εισαχθούν δεδομένα που αφορούν στο οδικό δίκτυο, την κατηγορία των οδών, τις ονομασίες, τις λωρίδες κυκλοφορίας, την κατεύθυνση και ενδεχομένως οποιοδήποτε άλλο στοιχείο μπορεί να θεωρηθεί χρήσιμο, όπως η ύπαρξη σήμανσης, η ύπαρξη εμποδίων (*barriers*) κ.λπ. Επιπλέον, στη βάση πρέπει να εισαχθεί η οντότητα που αφορά στις διαθέσιμες τοποθεσίες χωροθέτησης των οχημάτων, είτε αυτές αφορούν θέσεις επί του οδικού δικτύου, αδόμητες περιοχές, χώρους στάθμευσης ανάγκης στον αυτοκινητόδρομο κ.λπ.. Θα πρέπει ακόμα να εισαχθούν τα δεδομένα που αφορούν στα ατυχήματα, μετά από κατάλληλη επεξεργασία. Τέλος, τα οδικά τμήματα από μόνα τους δεν αποτελούν παρά μόνο ανεξάρτητα μεταξύ τους γραμμικά στοιχεία. Για να λάβουν χώρα τα επόμενα στάδια της μελέτης θα πρέπει να δημιουργηθεί το αντίστοιχο δίκτυο δεδομένων.

Όλα τα παραπάνω δεδομένα και οποιοδήποτε θεματικό επίπεδο απαιτηθεί κατά περίπτωση πρέπει να μετασχηματιστούν κατάλληλα (εφόσον δεν ανήκουν εξ' αρχής σε κοινό γεωγραφικό σύστημα αναφοράς), ή να γεωαναφερθούν εφόσον δεν ανήκουν σε κάποιο σύστημα αναφοράς. Το επόμενο στάδιο είναι ο τοπολογικός έλεγχος των δεδομένων.

Όταν τα δεδομένα αυτά αφορούν το οδικό δίκτυο, πιθανά σημεία χωροθέτησης και δεδομένα ατυχημάτων, το ενδιαφέρον εστιάζεται στο οδικό δίκτυο καθώς πρέπει να εξασφαλιστούν οι συνδέσεις των διαφορετικών τμημάτων μεταξύ τους, η δημιουργία κόμβων του δικτύου, μη επικαλύψεις παράλληλων οδών, η μη τομή των οδών εφόσον δεν πρόκειται για διασταύρωση του οδικού δικτύου, η αποφυγή αιωρούμενων κόμβων αν δεν πρόκειται για αδιέξοδο. Επιπλέον, θα πρέπει να εξασφαλιστεί η επαφή των σημείων καταγραφής των ατυχημάτων με το οδικό δίκτυο, όπως επίσης να εφαρμοστεί και οποιοσδήποτε άλλος τοπολογικός κανόνας απαιτείται για τη σωστή γεωγραφική τοποθέτηση των πιθανών θέσεων χωροθέτησης αλλά και γενικότερα.

Όταν οι παραπάνω έλεγχοι πραγματοποιηθούν και εξασφαλιστεί ότι δεν υπάρχουν λάθη των δεδομένων εισαγωγής στη γεωβάση, μπορεί να ακολουθήσει η δημιουργία του δικτύου αλλά και η επεξεργασία ώστε να παραχθούν τα δεδομένα εισαγωγής στον αλγόριθμο επίλυσης.

Κατά τη δημιουργία ενός δικτύου σε περιβάλλον ΓΠΣ, οι παράμετροι που μπορούν να καθοριστούν είναι πάρα πολλές. Από τον τρόπο υπολογισμού του κόστους διαδρομής, δηλ. της συνάρτησης αντίστασης, μέχρι το χρόνο που χάνεται σε φωτεινούς σηματοδότες ή αριστερές στροφές, τη κλίση της οδού κ.ο.κ.. Σε αυτό το στάδιο προτείνεται η εισαγωγή όσο περισσότερων στοιχείων διατίθενται για να τον ακριβέστερο δυνατό υπολογισμό του κόστους των διαδρομών είτε αφορά σε χρόνο σε χρήμα ή κάποια άλλη συνάρτηση χρησιμότητας.

3.4 Δεδομένα εισαγωγής στον αλγόριθμο

Εφόσον έχουν λάβει χώρα τα προηγούμενα βήματα, μπορούν πλέον να παραχθούν τα δεδομένα εισαγωγής για τον αλγόριθμο επίλυσης. Τα βασικά δεδομένα εισαγωγής είναι η οι κόμβοι ζήτησης, η κωδική ονομασία αυτών, αλλά και η υπολογισμένη ζήτηση για τη χρονική περίοδο ενδιαφέροντος για την εκάστοτε εφαρμογή, οι πιθανές θέσεις χωροθέτησης, δηλαδή η κωδική τους ονομασία και οι αποστάσεις μεταξύ των θέσεων χωροθέτησης και των κόμβων ζήτησης.

Οι αποστάσεις αυτές παράγονται στο ΓΠΣ, αποθηκεύονται και εισάγονται στον αλγόριθμο υπό τη μορφή ενός πίνακα κόστους προέλευσης – προορισμού, ο οποίος μπορεί εύκολα να υπολογιστεί εφόσον όλα τα απαραίτητα δεδομένα έχουν εισαχθεί στη γεωβάση. Οι υπόλοιπες παράμετροι του προβλήματος όπως η ταχύτητα των οχημάτων και ο αριθμός των οχημάτων μπορούν να μεταβληθούν στο σύστημα επίλυσης του αλγορίθμου ανάλογα το σενάριο που διερευνάται.

3.5 Μέθοδος επίλυσης αλγορίθμου

Για την επίλυση του μοντέλου χωροθέτηση μέσω γενετικού αλγορίθμου θα πρέπει αρχικά να έχουν προκαθοριστεί οι στόχοι του προβλήματος, δηλαδή τα οι κανονισμοί που διέπουν τους χρόνους απόκρισης που πρέπει να επιτύχουν τα οχήματα άμεσης επέμβασης αλλά και τα ποσοστά κάλυψης που πρέπει να έχουν ως αποτέλεσμα για να θεωρηθεί η χωροθέτηση επιτυχημένη και τα οποία θα χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα εισαγωγής στον αλγόριθμο.

Στην παρούσα εργασία προτείνεται η μέθοδος *recipe*, ενώ διατίθενται κάποιες ακόμα που μπορούν να επιλεγθούν αν είναι σύμφωνες με τη φύση του προβλήματος, όπως οι *grouping solving method*, *budget solving method*, *project solving method* και η *schedule solving method*.

Όταν λάβει χώρα η προετοιμασία των δεδομένων που περιγράφηκε παραπάνω, πλέον μπορεί να “στηθεί” ο αλγόριθμος με βάση το διάγραμμα που παρατίθεται σε κατάλληλο λογισμικό επίλυσης και να ξεκινήσει η επεξεργασία και η εξαγωγή αποτελεσμάτων.

3.6 Διαμόρφωση εναλλακτικών σεναρίων

Εφόσον όλοι οι παράμετροι του προβλήματος έχουν καθοριστεί, έχει σχεδιαστεί το σύστημα επίλυσης του γενετικού αλγορίθμου και η γεωβάση σε ένα ΓΠΣ, πλέον είναι δυνατή η κύρια επεξεργασία των δεδομένων.

Προτείνεται η δημιουργία εναλλακτικών σεναρίων των παραμέτρων του προβλήματος που αφορούν στην ταχύτητα των οχημάτων και στον αριθμό των διατιθέμενων οχημάτων, ώστε να καλυφθούν κατά το δυνατόν πιθανές διαφορετικές συνθήκες που μπορεί να υπάρξουν σε πραγματικές συνθήκες στο οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης. Με τη διερεύνηση των σεναρίων αυτών μπορεί ο μελετητής να εξάγει χρήσιμα στοιχεία, όπως ο αριθμός οχημάτων που απαιτείται ανάλογα με τις κυκλοφοριακές συνθήκες, να εντοπίσει το χειρότερο και το καλύτερο δυνατό σενάριο,

όσο αφορά στο αποτέλεσμα της αντικειμενικής συνάρτησης που επιτυγχάνεται και γενικώς να εξάγει συμπεράσματα για τη μεταβολή της κάθε παραμέτρου σε σχέση με τις άλλες παραμέτρους του προβλήματος, ενώ η διερεύνηση αυτή προτείνεται να λάβει χώρα για το σύνολο των δεδομένων που έχει στη διάθεσή του ο μελετητής.

Επιπλέον, αναλόγως τα αποτελέσματα μπορεί να εντοπίσει τη ιδανική χωροθέτηση των οχημάτων άμεσης επέμβασης στην περιοχή μελέτης για κάποια χρονική περίοδο ενδιαφέροντος, αναλογιζόμενος πλέον και άλλες παραμέτρους, όπως το κόστος εφαρμογής. Πρέπει να σημειωθεί ότι για καλύτερη επόπτευση, τα αποτελέσματα θα πρέπει να μελετώνται και σε χάρτες απεικόνισης μετά τον υπολογισμό των περιοχών εξυπηρέτησης.

3.7 Έλεγχος καταλληλότητας βάθους χρόνου των δεδομένων εισαγωγής

Όταν κάποιος φορέας επιχειρεί να μελετήσει ή να πραγματοποιήσει μια χωροθέτηση ανεξάρτητα από τον τομέα ανθρώπινης δραστηριότητας στον οποίο αναφέρεται είτε αυτή αφορά λόγω χάρη εμπορικά καταστήματα είτε πυροσβεστικά οχήματα, στόχος του είναι να καλύψει τη ζήτηση που θα παρουσιαστεί σε μελλοντικό χρόνο. Σε μια χωροθέτηση του ιδιωτικού τομέα σκοπός θα είναι να ξεπεραστεί ο ανταγωνισμός και η μεγιστοποίηση των κερδών ενώ σε μια χωροθέτηση του δημόσιου τομέα να μεγιστοποιηθούν τα κοινωνικά οφέλη όσο αφορά κάποιο πρόβλημα και εν προκειμένω να αυξηθεί η οδική ασφάλεια και να βελτιωθεί η αντιμετώπιση των ατυχημάτων μελλοντικά.

Σύμφωνα με τα παραπάνω προτείνεται ο έλεγχος του βάθους χρόνου των δεδομένων που πρέπει να χρησιμοποιηθούν από το μελετητή ώστε να προκύψει η βέλτιστη χωροθέτηση για κάποιο επόμενο έτος – στόχο. Ο έλεγχος μπορεί να πραγματοποιηθεί με την εξέταση όλων των πιθανών συνδυασμών εισαγωγής δεδομένων προηγούμενων ετών για κάθε έτος της βάσης δεδομένων για ένα μέσο σενάριο από αυτά που ελέγχθηκαν στο προηγούμενο στάδιο της μελέτης. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται δεδομένα που αφορούν στην αποτελεσματικότητα διαφορετικών χωροθετήσεων με βάθος χρόνου ενός έτους, διετίας, τριετίας κ.ο.κ. για την κάλυψη της ζήτησης στο μελλοντικό όμως χρόνο του έτους – στόχου. Στη συνέχεια μετά από στατιστική ανάλυση των εν λόγω αποτελεσμάτων που αφορά στη μέση τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης που επιτυγχάνεται, στην τυπική απόκλιση, μέγιστη και ελάχιστη τιμή, αλλά και ελέγχοντας ποια από τα αποτελέσματα αυτά επιτυγχάνουν τους στόχους της χωροθέτησης για το έτος – στόχο ή τους όποιους περιορισμούς μπορεί να έχουν τεθεί, εντοπίζεται το ιδανικό βάθος – χρόνου που θα πρέπει να χρησιμοποιείται από τον μελετητή για τη χωροθέτηση οχημάτων, βάσει της συγκεκριμένης μεθοδολογίας στην περιοχή μελέτης που εξετάζεται.

4 ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΣΑΕ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΣΙΚΑΓΟ, ΙΛΛΙΝΟΙΣ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε ανάλυση της μεθοδολογίας που προτείνεται για την επίλυση του προβλήματος - τη χωροθέτηση των οχημάτων άμεσης επέμβασης σε μια περιοχή, με δεδομένο εισαγωγής τους κόμβους ζήτησης και τα απαραίτητα στοιχεία του δικτύου της περιοχής που αναλύεται. Παρουσιάστηκαν αναλυτικά τα βήματα επεξεργασία των αρχικών δεδομένων, ο σχεδιασμός της κατάλληλης βάσης χωρικών δεδομένων σε ένα σύστημα ΓΠΣ, οι παράμετροι σχεδιασμού του συστήματος επίλυσης του γενετικού αλγόριθμου, καθώς και η διαδικασία ανάπτυξης εναλλακτικών σεναρίων για τη διερεύνηση του προβλήματος χωροθέτησης στην εκάστοτε περιοχή μελέτης αλλά και η διερεύνηση του βάθους χρόνου των δεδομένων για την βέλτιστη χωροθέτηση σε μελλοντικό χρόνο. Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται λεπτομερής περιγραφή των βημάτων αυτών, όπως αυτά έλαβαν χώρα για τη χωροθέτηση των οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο με χρήση του μοντέλου χωροθέτησης της διπλής κάλυψης DSM με προσέγγιση βάσει γενετικού αλγόριθμου.

4.1 Περιγραφή της περιοχής μελέτης

Το Σικάγο στο Ιλινόις των Η.Π.Α. καλύπτει μια έκταση 60.000 εκταρίων και βρίσκεται 146 μ. πάνω από τη στάθμη της θάλασσας, στο βορειοανατολικό Ιλινόις και νοτιοδυτικά τη λίμνης Μίσιγκαν (Σχήμα 12). Εκτός από την αστική δόμηση, την περιοχή διαρρέουν οι ποταμοί Chicago και Calumet ενώ υπάρχουν εκτεταμένοι χώροι πρασίνου κυρίως αστικά πάρκα που καλύπτουν περίπου 3.000 εκτάρια. (Chicago City Hall, 2013)

Η πόλη του Σικάγο περιορίζεται σε ένα μέρος της επαρχίας Κουκ (Cook) του Ιλινόις, η οποία είναι η δεύτερη σε πληθυσμό επαρχία των Η.Π.Α. μετά το Λος Άντζελες στην Καλιφόρνια. Η επαρχία έχει 5.231.351 κατοίκους και συγκεντρώνει το 40.6 % του συνολικού πληθυσμού του Ιλινόις. Η επαρχία Κουκ είναι μεγαλύτερη σε πληθυσμό από 29 πολιτείες στην Αμερική και από τις επτά μικρότερες πολιτείες μαζί. Υπάρχουν περισσότεροι από 130 ενσωματωμένοι δήμοι στην επαρχία Κουκ, μεγαλύτερος εκ των οποίων το Σικάγο, που συγκεντρώνει περίπου το 54 % του πληθυσμού της επαρχίας. Το μέρος της επαρχίας που βρίσκεται έξω από την πόλη του Σικάγο χωρίζεται σε 30 δημοτικά διαμερίσματα. Γεωγραφικά η επαρχία Κουκ είναι η πέμπτη μεγαλύτερη σε έκταση στο Ιλινόις και μοιράζεται την ακτή της λίμνης Μίσιγκαν με την επαρχία Λέικ (Lake). Η επαρχία Κουκ είναι κατά κύριο λόγο αστικοποιημένη και πυκνοκατοικημένη περιοχή (2140 κάτοικοι ανά τετ. χλμ.), περιλαμβάνοντας το μεγαλύτερο μέρος της πόλης του Σικάγο και κάποια προάστια. (Wikipedia, 2013)



Σχήμα 12: Η πόλη του Σικάγο και η επαρχία Κουκ, Ιλλινόις (Wikipedia, 2013)

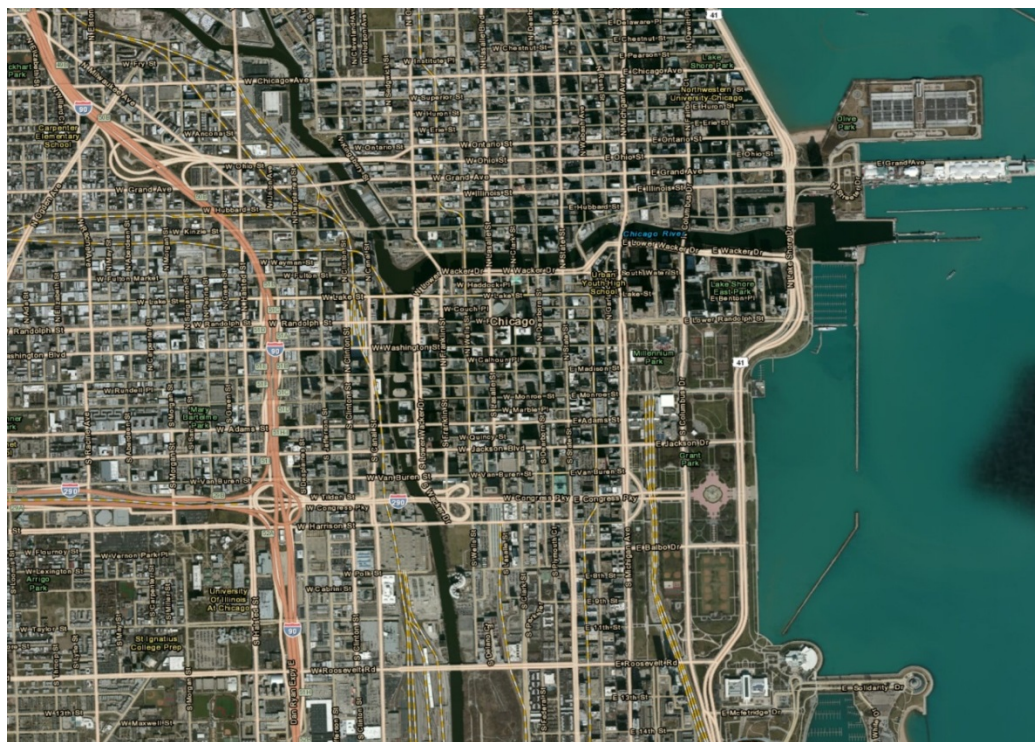
Η ανεπίσημη ονομασία για ολόκληρη τη μητροπολιτική περιοχή του Σικάγο είναι Σικάγολαντ (Chicagoland) και περιλαμβάνει την πόλη του Σικάγο και τα προάστια. Το Σικάγο είναι η τρίτη σε πληθυσμό μητροπολιτική περιοχή των Η.Π.Α. με εκτιμώμενο πληθυσμό 9.522.434 πολίτες το έτος 2012 μετά τη Νέα Υόρκη και το Λος Άντζελες, ενώ εντός της πόλης διαμένουν περίπου 2.7 εκατομμύρια κάτοικοι. (Wikipedia, 2013)

Το οδικό δίκτυο στην πόλη του Σικάγο αναπτύχθηκε σε μορφή κανάβου που επεκτάθηκε από το αρχικό κέντρο της πόλης. Οι δρόμοι που ακολουθούσαν τα όρια που είχε ορίσει αρχικά η δημόσια υπηρεσία κτηματογράφησης (Public Land Survey System) αργότερα μετατράπηκαν σε αρτηρίες που οδηγούσαν σε απομακρυσμένους τομείς της πόλης. Επίσης δημιουργήθηκε μια ομάδα διαγώνιων δρόμων από το κέντρο προς τα προάστια. Έτσι, τη δεκαετία του 50 είχε κατασκευαστεί ήδη ένα ακτινωτό δίκτυο αυτοκινητοδρόμων με αρχή το κέντρο της πόλης. Στην παρακάτω εικόνα (Σχήμα 13), παρουσιάζεται η εικόνα στην κεντρική περιοχή του Σικάγο τη δεκαετία του 70. (McClendon, 2005)



Σχήμα 13: Αυτοκινητόδρομοι στο δήμο Cook το 1970 (McClendon, 2005)

Σήμερα η εικόνα ειδικότερα στο κέντρο της πόλης (Σχήμα 14) δε διαφέρει ιδιαίτερα από αυτή του 1970, καθώς η ρυμοτομία της πόλης είχε ήδη διαμορφωθεί και δεν έχει μεταβληθεί έκτοτε.



Σχήμα 14: Σημερινή εικόνα του οδικού δικτύου στο κέντρο της πόλης του Σικάγο (Google maps)

Εντός της πόλης του Σικάγο διέρχονται 32 διαγώνιες οδοί καθώς, επτά κύριοι διαπολιτειακοί αυτοκινητόδρομοι (Interstates) και επτά μη διαπολιτειακοί (U.S. Routes) οι οποίοι όμως είναι γνωστοί με την ονομασία που τους έχει δοθεί και όχι με την κωδική τους ονομασία. (Wikipedia, 2013)

Εν γένει, από την παραπάνω περιγραφή της περιοχής μελέτης, αντιλαμβάνεται κανείς ότι πρόκειται για μια περιοχή ιδιαίτερα μεγάλη σε έκταση και παράλληλα μια από τις πιο πυκνοκατοικημένες περιοχές των Η.Π.Α.. Η έκταση της περιοχής μελέτης δεν φτάνει αυτή αντίστοιχων μελετών που έλαβαν χώρα σε εθνικό επίπεδο, όμως σε συνδυασμό με το γεγονός ότι πρόκειται για μια αστική περιοχή, ιδιαίτερα πυκνοκατοικημένη με πυκνό και ποικίλο οδικό δίκτυο (διαφορετικά χαρακτηριστικά με βάσει της κατηγορίας και τη χάραξη οδών) δυσχεραίνει την επεξεργασία των δεδομένων προ της εισαγωγής τους στον αλγόριθμο επίλυσης αλλά και μετέπειτα κατά την ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Παρακάτω περιγράφεται η κατάστρωση της βάσης δεδομένων που έλαβε χώρα στην παρούσα μελέτη.

4.2 Βάση δεδομένων ατυχημάτων

Για την παρούσα εργασία, ήταν απαραίτητη η καταγραφή των τροχαίων ατυχημάτων στην περιοχή ενδιαφέροντος, της θέσης όπου συνέβησαν αλλά και ο βαθμός σοβαρότητας του κάθε ατυχήματος. Τα δεδομένα αυτά παρασχέθηκαν για την πόλη

του Σικάγο από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας του Ιλλινόις (Illinois Institute of Technology, Chicago, Illinois, U.S.A.).

Η βάση δεδομένων των ατυχημάτων περιλαμβάνει, την τοποθεσία του ατυχήματος, τα ονόματα των διασταυρούμενων οδών, τις γεωγραφικές συντεταγμένες του εκάστοτε κόμβου, το συνολικό αριθμό ατυχημάτων ανά έτος, καθώς και αναλυτικά τον αριθμό των θανατηφόρων ατυχημάτων και άλλων τριών επιπέδων σοβαρότητας (INJA, INJB, INJC) καθώς και αυτών όπου καταγράφηκαν μόνο υλικές ζημιές. Ο αριθμός των συγκεντρωτικών κόμβων της βάσης δεδομένων είναι 1001 στην περιοχή του Σικάγο, ενώ τα δεδομένα αφορούν καταγραφές για τη χρονική περίοδο από το έτος 2004 έως 2010.

Στην εν λόγω βάση δεδομένων, τα ατυχήματα ταξινομούνται και συγκεντρώνονται χωρικά στον κοντινότερο σε σχέση με την ακριβή θέση ατυχήματος κόμβο του οδικού δικτύου. Αυτό συνεπάγεται ότι οι γεωγραφικές συντεταγμένες για το κάθε ατύχημα στη βάση δεδομένων δεν αντιστοιχούν στην ακριβή και πραγματική θέση όπου έλαβε χώρα το ατύχημα, αλλά στη θέση του κόμβου του οδικού δικτύου στον οποίο έχει καταχωρηθεί το ατύχημα. Το γεγονός αυτό, δεν επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό τη διαδικασία χωροθέτησης των οχημάτων άμεσης επέμβασης, καθώς οι διασταυρώσεις αφενός αποτελούν σημεία μεγάλης επικινδυνότητας, όπου προκαλούνται τα περισσότερα σοβαρότερα ατυχήματα και αφετέρου οι αποστάσεις μεταξύ της πραγματικής θέσης ατυχήματος και του αναφερόμενου κόμβου είναι ως επί το πλείστον μικρές και δεν προκαλούν μεγάλη απόκλιση στη διαδικασία επίλυσης του αλγορίθμου χωροθέτησης και κατ' επέκταση στα αποτελέσματα. Αντιθέτως, με αυτό τον τρόπο απλουστεύεται η διαδικασία επίλυσης και διευκολύνεται η κατάστρωση και διατήρηση μια βάσης δεδομένων ατυχημάτων ανά κόμβο του οδικού δικτύου.

Μετά από επεξεργασία τα δεδομένα ομαδοποιήθηκαν είτε για το σύνολο της περιόδου 2004 -2010 είτε συγκεντρωτικά για δύο ή τρεις χρονιές αναλόγως με το στάδιο της εφαρμογής, ώστε να λάβουν χώρα η στατιστική ανάλυση των δεδομένων, η επίλυση του αλγορίθμου αλλά και η κατάστρωση μιας γεωβάσης που θα καθιστά δυνατή την αναπαράσταση και επόπτευση των αποτελεσμάτων αλλά και κάποιες διαδικασίες ανάλυσης πλέον σε περιβάλλον ΓΠΣ.

Για να υπολογιστεί η επικινδυνότητα ενός κόμβου δεν αρκεί μόνο να είναι γνωστός ο αριθμός των ατυχημάτων. Όπως προαναφέρθηκε τα ατυχήματα ταξινομούνται με βάση τη σοβαρότητα των τραυματισμών που προκλήθηκαν καθώς ποικίλλουν από ατυχήματα που προκάλεσαν μόνο υλικές ζημιές έως και θανατηφόρα ατυχήματα. Σύμφωνα με τη διεθνή πρακτική, ο υπολογισμός της επικινδυνότητας ενός ατυχήματος και κατ' επέκταση και ενός κόμβου (σε περίπτωση συγκεντρωτικών δεδομένων) υπολογίζεται με βάση τα οικονομικά στοιχεία.

Το Εθνικό Συμβούλιο Ασφάλειας των Η.Π.Α. (National Safety Council, NSC) πραγματοποιεί εκτιμήσεις για το μέσο κόστος θανατηφόρων και μη τραυματισμών για την επεξήγηση των επιπτώσεων αυτών στην εθνική οικονομία. Το κόστος είναι μια μέτρηση που αφορά σε χρήμα που δαπανείται (σε δολάρια) και σε εισόδημα που δεν λαμβάνεται λόγω των ατυχημάτων, των τραυματισμών και των θανάτων που

προκαλούνται και αποτελεί επιπλέον ένα τρόπο να υπολογιστούν τα αποτελέσματα της πρόληψης στο τομέα των ατυχημάτων.

Η εκτίμηση του κόστους δεν είναι ακριβής, μπορεί να είναι μόνο προσεγγιστική και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Κατά συνέπεια, πραγματοποιείται στρογγυλοποίηση. Για εκτιμήσεις μικρότερες των \$3,000,000, γίνεται στρογγυλοποίηση στις πλησιέστερες \$100,000; για εκτιμήσεις μεταξύ \$3,000,000 και \$10,000,000, στις \$500,000; για εκτιμήσεις μεταξύ \$10,000,000 και \$30,000,000, στο \$1,000,000; και για εκτιμήσεις ανώτερες των \$30,000,000, στρογγυλοποίηση στα \$5,000,000.

Τα κόστη που είναι δυνατόν να υπολογιστούν για τροχαία ατυχήματα είναι απώλειες μισθών και παραγωγικότητας, έξοδα ιατροφαρμακευτικής περίθαλψης, έξοδα διαχείρισης, έξοδα υλικών ζημιών και έξοδα που δεν καλύπτονται από την ασφάλεια. Τα κόστη όλων των παραπάνω για κάθε θάνατο (όχι για κάθε θανατηφόρο ατύχημα), για κάθε τραυματισμό και για τις υλικές ζημιές το έτος 2010 ήταν:

- Θανατηφόρο ατύχημα (Fatality): \$1.410.000
- Μη θανατηφόρος τραυματισμός που επιφέρει αναπηρία (Nonfatal Disabling Injury): \$70.200
- Ατύχημα με υλικές ζημιές (Property damage), συμπεριλαμβανομένων τραυματισμών που δεν επιφέρουν αναπηρία: \$8.900

Επίσης, όπως αναφέρθηκε στο αντίστοιχο κεφάλαιο της μεθοδολογίας (βλ. κεφ. 3.3), δίνονται εκτιμήσεις για το κόστος ατυχημάτων ανά κατηγορίες σοβαρότητας ατυχήματος – τραυματισμού, όπως αυτές ορίζονται στις ενότητες 2.3.4. έως 2.3.6. του εγχειριδίου ταξινόμησης τροχαίων ατυχημάτων από το Αμερικάνικο Εθνικό Ινστιτούτο Προδιαγραφών (Manual on Classification of Motor Vehicle Traffic Accidents -7th Edition, ANSI Standard D16.1-2007). Οι κατηγορίες σοβαρότητας τραυματισμού συνήθως αναφέρονται στις κατηγορίες A, B, C.

- Σοβαρός τραυματικός (επιφέρει ανικανότητα -Incapacitating), (INJA): \$69.200
- Μη σοβαρός τραυματισμός (δεν επιφέρει ανικανότητα – Non-incapacitating evident injury), (INJB): \$22.300
- Πιθανός τραυματισμός (INJC): \$12.600

Οι εκτιμήσεις αυτές είναι χρήσιμες κυρίως σε πόλεις ή πολιτείες που δεν έχουν υιοθετήσει την έννοια του τραυματισμού που επιφέρει αναπηρία (disabling injury). Αν χρησιμοποιηθούν αυτές οι εκτιμήσεις, οι εκτιμήσεις για τα θανατηφόρα ατυχήματα ή αυτά που επιφέρουν μόνο υλικές ζημιές παραμένουν ίδιες. (National Safety Council, 2010)

Παράλληλα, αυτός είναι και ο τρόπος κατηγοριοποίησης της σοβαρότητας των ατυχημάτων στη βάση δεδομένων που αφορά στην περιοχή μελέτης. Ως εκ τούτου, θεωρήθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιηθεί η συγκεκριμένη μέθοδος για τον υπολογισμό της επικινδυνότητας των θέσεων του δικτύου, σύμφωνα και με την ανάλυση μεθοδολογίας που περιγράφηκε πρωτύτερα. Το κόστος ενός ατυχήματος με υλικές ζημιές θεωρήθηκε ως η βάση υπολογισμού του κόστους για όλα τα επίπεδα σοβαρότητας τραυματισμού. Έτσι, για την κάθε κατηγορία το κόστος πλέον υπολογίζεται κατ' αναλογία του κόστους του ατυχήματος με υλικές ζημιές. Για

ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΣΑΕ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΣΙΚΑΓΟ, ΙΛΛΙΝΟΙΣ

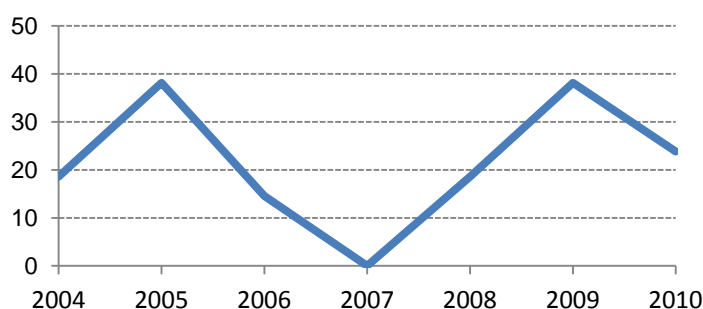
παράδειγμα ένα ατύχημα με τραυματισμό κατηγορίας A (INJA) αντιστοιχεί σε 28.83 ατυχήματα PDO (Property Damage Only).

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3) παρουσιάζεται η αντιστοιχία σε κόστος PDO για κάθε επίπεδο σοβαρότητας τραυματισμού.

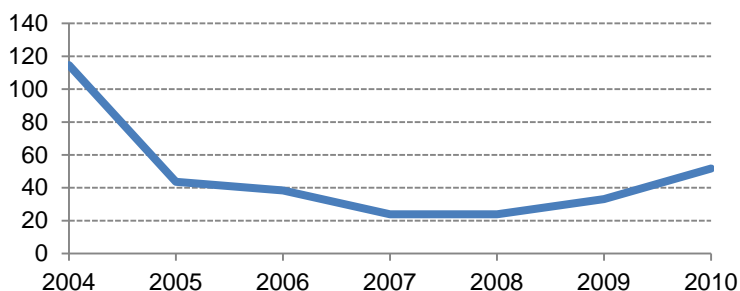
Πίνακας 3: Αντιστοιχία σε κόστος PDO για κάθε επίπεδο σοβαρότητας τραυματισμού

Επίπεδο τραυματισμού	Κόστος (\$)	Αντιστοιχία σε PDO
FAT	1410000	587.50
INJA	69200	28.83
INJB	22300	9.29
INJC	12600	5.25
PDO	2400	1.00

Για τη διερεύνηση των παραπάνω υπολογίστηκε για κάθε κόμβο η διαφορά της ζήτησης από έτος σε έτος και από τη μέση τιμή της ζήτησης για όλα τα έτη της βάσης δεδομένων, με βάση τη σχέση υπολογισμού επικινδυνότητας στο κεφάλαιο 3.2 εξ. (1). Παρατηρείται σε γενικές ότι 49 κόμβοι της βάσης δεδομένων παρουσιάζουν τυπική απόκλιση μεγαλύτερη από 40 ένα όριο που θεωρείται λογικό με βάση το μέγεθος για τα κόστη που έχουν υπολογιστεί, ώστε να τους θεωρήσουμε ασταθείς διαχρονικά. Συνεπάγεται πως για τους εν λόγω κόμβους είτε κάποια μεμονωμένα έτη καταγράφηκαν πολλά ατυχήματα ή ένα με δυσανάλογα μεγάλο κόστος, είτε πως κατά τα πρώτα έτη της καταγραφής υπήρχε κάποιο πρόβλημα στον εν λόγω κόμβο στο οποίο οφείλεται ο μεγάλος αριθμός ατυχημάτων και το οποίο στη συνέχεια εξαλείφθηκε με τη λήψη κάποιων μέτρων ασφαλείας. Ενδεικτικά παρουσιάζεται η ζήτηση διαχρονικά σε κάποιους κόμβους του δικτύου (Σχήμα 15, 16, 17).

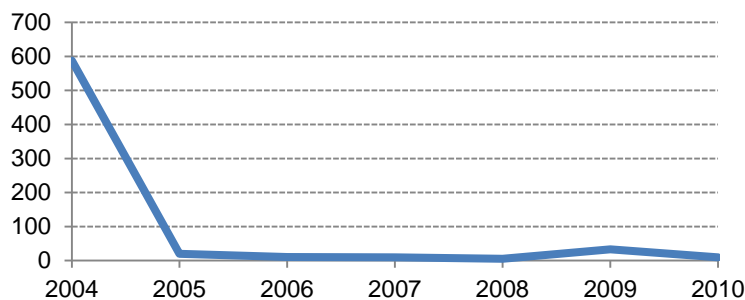


Σχήμα 15: Κόστος κόμβου (α)



Σχήμα 16: Κόστος κόμβου (β)

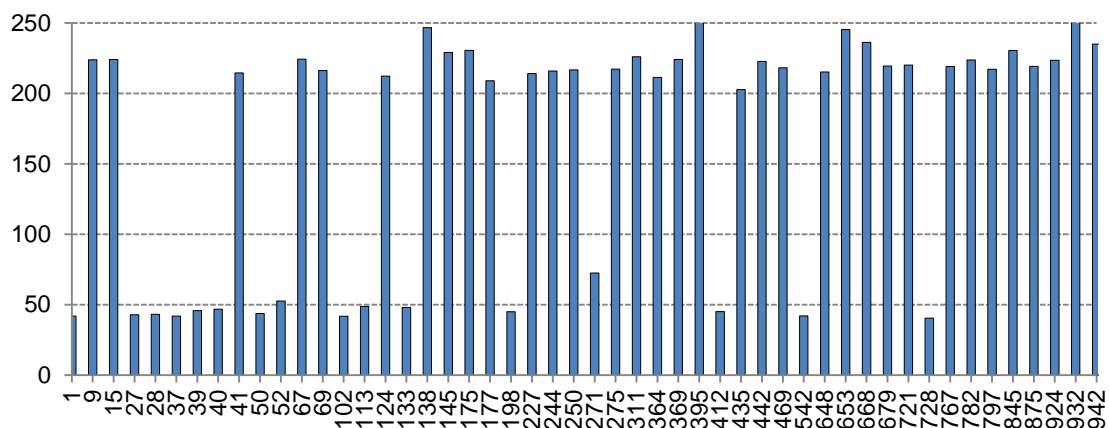
ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΣΑΕ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΣΙΚΑΓΟ, ΙΛΛΙΝΟΙΣ



Σχήμα 17: Κόστος κόμβου (γ)

Όπως παρατηρείται στο Σχήμα 15, ο εν λόγω κόμβος χαρακτηρίζεται από μικρή τυπική απόκλιση. Παρότι διαγραμματικά εμφανίζονται μεγάλες αυξομειώσεις του κόστους από έτος σε έτος, αυτές εκφράζουν μικρές απόλυτες τιμές επομένως η επικινδυνότητα παραμένει σε γενικές γραμμές σταθερή. Στο Σχήμα 16 αντίστοιχα η τυπική απόκλιση είναι μεσαίου μεγέθους (περί τα 13), ενώ στο Σχήμα 17 είναι πολύ μεγαλύτερη ξεπερνώντας τα 200. Παρότι στην τελευταία περίπτωση ο κόμβος από το έτος 2005 και έπειτα παρουσιάζει σχεδόν μηδενική ζήτηση, το έτος 2004 συνέβησαν ατυχήματα με δυσανάλογα μεγάλο κόστος κάτι που αυξάνει ιδιαίτερα την τυπική απόκλιση καθιστώντας τον μη σταθερό.

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 18) παρουσιάζονται οι κόμβοι με τη μεγαλύτερη τυπική απόκλιση, δηλαδή αστάθεια. Παρατηρείται ότι οι κόμβοι με τη μεγαλύτερη αστάθεια έχουν τυπική απόκλιση μεταξύ 200 και 250. Κόμβοι με πολύ μικρή τυπική απόκλιση δεν θεωρήθηκε σκόπιμο να παρουσιαστούν καθώς είναι κόμβοι με σταθερά μικρό κόστος που δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, χωρίς να συνεπάγεται ότι δεν υπάρχει σκοπός να καλυφθούν με τη χωροθέτηση των οχημάτων άμεσης επέμβασης.

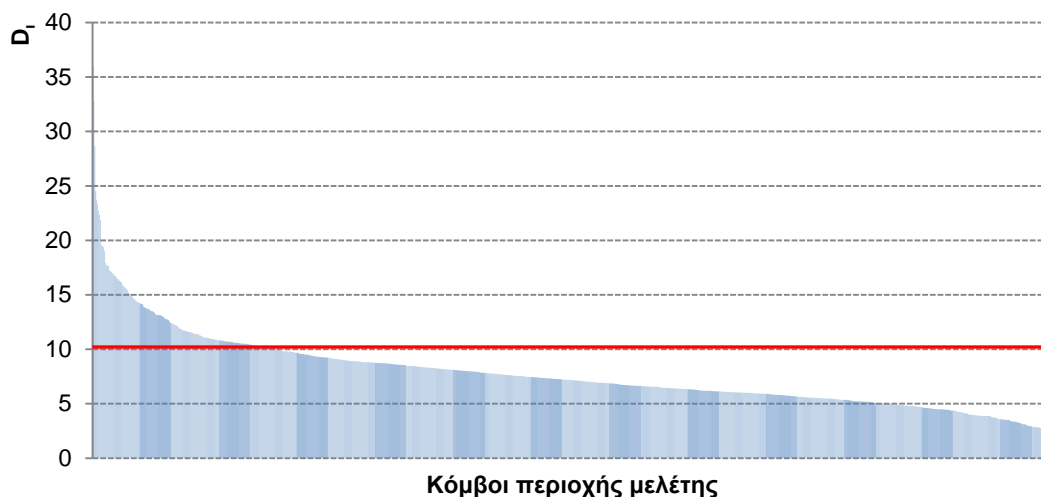


Σχήμα 18: Τυπική απόκλιση ανά κόμβο για την περίοδο 2004 – 2010 (περιλαμβάνονται μόνο οι κόμβοι με τ.α. μεγαλύτερη από 40)

Στην περίπτωση που η επεξεργασία των δεδομένων αφορά μόνο ένα έτος η μόνη τιμή που μπορεί να ληφθεί υπόψη ως ζήτηση σε κάποιο κόμβο είναι το συνολικό κόστος ατυχημάτων για το συγκεκριμένο έτος καταγραφής. Στην περίπτωση όμως που ο υπολογισμός γίνεται για περισσότερα του ενός έτη το συνολικό κόστος για τα

έτη (αθροιστικά) δεν αποτελεί σωστή διαδικασία υπολογισμού και δεν αντιπροσωπεύει την επικινδυνότητα του κόμβου διαχρονικά.

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 19) παρουσιάζεται η υπολογισμένη ζήτηση όλων των κόμβων της βάσης δεδομένων συνολικά για τη χρονική περίοδο 2004 -2010, με βάση τη σχέση υπολογισμού της ζήτησης για περισσότερα του ενός έτη στο κεφ. 3.2, εξ. (2).

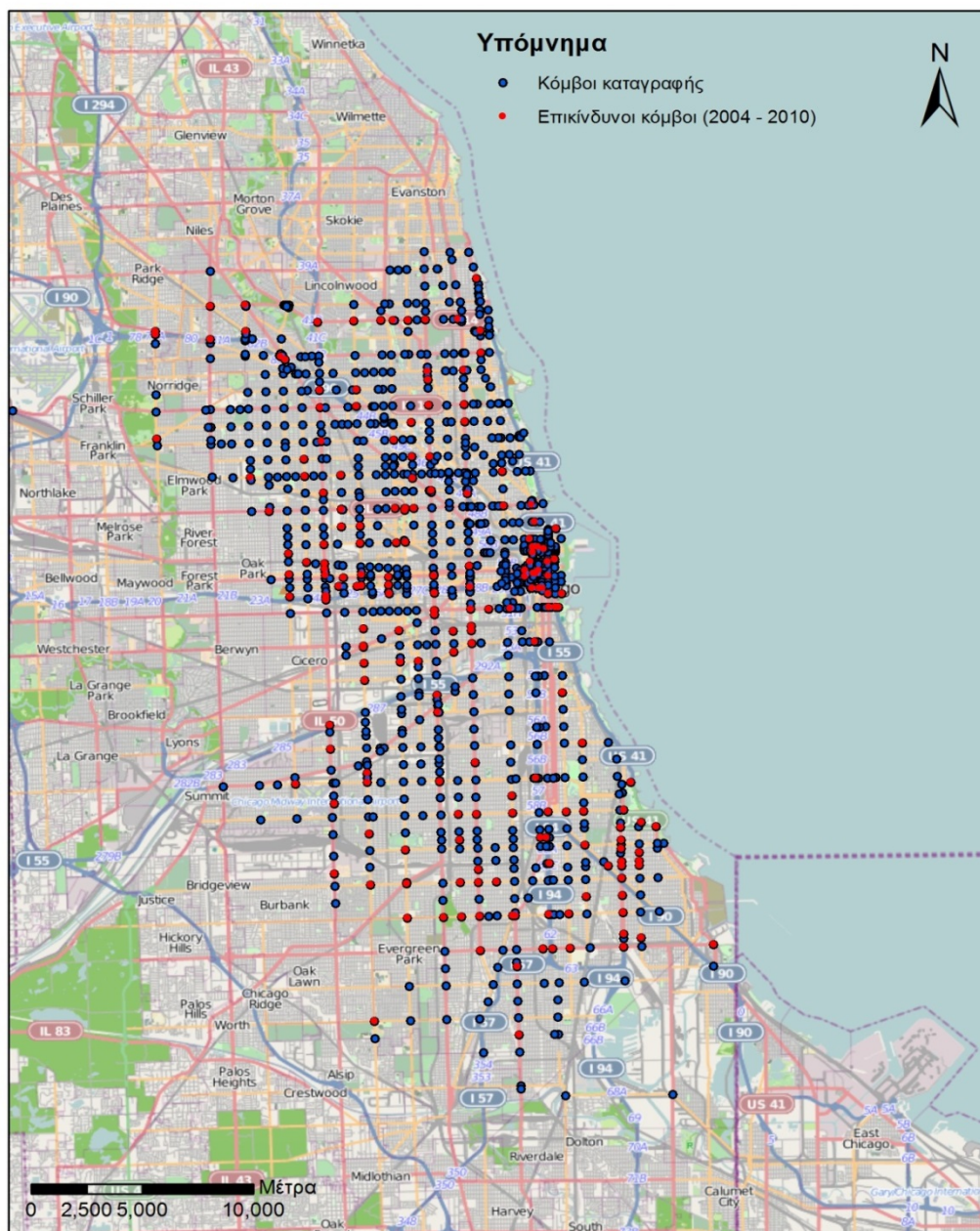


Σχήμα 19: Υπολογισμένη ζήτηση των κόμβων του οδικού δικτύου της περιοχής μελέτης για τη χρονική περίοδο 2004 - 2010

Ως περισσότερο επικίνδυνοι κόμβοι θεωρούνται αυτοί με ζήτηση μεγαλύτερη του 10 (πάνω από την κόκκινη γραμμή). Οι κόμβοι αυτοί εκτείνονται σε όλη την περιοχή μελέτης και δεν παρουσιάζουν συγκέντρωση σε κάποια υποπεριοχή εκτός αυτής του κέντρου της πόλης.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο τρόπος υπολογισμού της ζήτησης για κάθε κόμβο του οδικού δικτύου συνεπάγεται πως η ζήτηση που λαμβάνουν οι κόμβοι δεν παρουσιάζει σταθερό εύρος τιμών όταν αλλάζει η χρονική περίοδος της επεξεργασίας. Αυτό συμβαίνει καθώς η ζήτηση εξαρτάται από την τυπική απόκλιση που διαφέρει ανάλογα με τη χρονική περίοδο. Με αυτό τον τρόπο, δε μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους αποτελέσματα για διαφορετικές χρονικές περιόδους, παρά μόνο διαφορετικοί κόμβοι του οδικού δικτύου για την ίδια χρονική περίοδο επεξεργασίας. Οι τιμές ζήτησης που παρουσιάζονται στο παρόν υποκεφάλαιο της εργασίας και στα αντίστοιχα διαγράμματα, αφορούν στην συνολική περίοδο καταγραφής της βάσης δεδομένων (2004 – 2010).

Για να γίνει αντιληπτή η πραγματική κατάσταση όσο αφορά στην επικινδυνότητα του οδικού δικτύου στην πόλη του Σικάγο παρουσιάζεται ο χάρτης της περιοχής μελέτης, όπου οι κόμβοι του οδικού δικτύου με τη μεγαλύτερη ζήτηση ($D_k > 10$) αναπαριστώνται με κόκκινο χρώμα ενώ οι υπόλοιποι κόμβοι καταγραφής της βάσης δεδομένων με μπλε χρώμα αντίστοιχα (Σχήμα 20).



Σχήμα 20: Οι κόμβοι ζήτησης του οδικού δικτύου για τη χρονική περίοδο 2004 - 2009

4.3 Δημιουργία γεωβάσης

Τα δεδομένα τα οποία για την εν λόγω μελέτη ήταν απαραίτητο να εισαχθούν σε ένα περιβάλλον ΓΠΣ και κατ' επέκταση να οργανωθούν σε μια γεωβάση, ήταν τα στοιχεία της βάσης δεδομένων των ατυχημάτων, δηλαδή ή θέση του κόμβου ζήτησης και η υπολογιζόμενη ζήτηση αυτού για την εκάστοτε χρονική περίοδο ενδιαφέροντος και φυσικά το οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης το οποίο χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του πίνακα κόστους προέλευσης – προορισμού και τον υπολογισμό των περιοχών εξυπηρέτησης (βλ. κεφ. 2.6.4, 2.6.6).

Όσο αφορά στα δεδομένα ατυχημάτων, επί της ουσίας είναι ένας πίνακας δεδομένων ο οποίος μπορεί να εισαχθεί στο λογισμικό που χρησιμοποιείται (ArcGIS 10.0) και με βάση αυτόν να δημιουργηθεί ένα θεματικό επίπεδο, με το οποίο θα αναπαριστάται η οντότητα των τροχαίων ατυχημάτων ή της ζήτησης του προβλήματος. Ο εν λόγω πίνακας διαμορφώθηκε κατά τρόπον ώστε να διαθέτει στήλες περιγραφικών δεδομένων που είναι χρήσιμες για την εφαρμογή. Αυτές οι στήλες κρίθηκε σκόπιμο να περιλαμβάνουν την κωδική ονομασία (αύξοντα αριθμό) του κόμβου στη βάση δεδομένων, τις ονομασίες των διασταυρούμενων οδών, τις γεωγραφικές συντεταγμένες του κάθε κόμβου, τον αριθμό του συνόλου των ατυχημάτων που έχουν καταγραφεί στη βάση δεδομένων ανά επίπεδο τραυματισμού (θανατηφόρα, μη θανατηφόρα κ.λπ.) καθώς και την ζήτηση του κάθε κόμβου για κάθε έτος της βάσης δεδομένων και για κάθε περίοδο ενδιαφέροντος της μελέτης (π.χ. για τη χρονική περίοδο 2006 – 2009 κ.ο.κ.).

Επιπλέον, όπως προαναφέρθηκε απαραίτητο είναι στη γεωβάση να συμπεριλαμβάνεται και το οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης. Στην εν λόγω μελέτη ένα αρχικό υπόβαθρο για τη δημιουργία του οδικού δικτύου λήφθηκε από τον ιστότοπο “OpenStreetMap, The free wiki world map” (<http://www.openstreetmap.org>). Στη συνέχεια ακολούθησε επεξεργασία των δεδομένων των οποίων εισάχθηκαν από τον εν λόγω ιστότοπο στη γεωβάση και η οποία αφορούσε τόσο τη γεωμετρία του εισαχθέντος οδικού δικτύου με ψηφιοποίηση (κυρίως για θέματα συνδεσιμότητας των οδικών τμημάτων και αφαίρεση τμημάτων με μηδενική χρησιμότητα) όσο και κάποια περιγραφικά δεδομένα τα οποία έπρεπε να διορθωθούν που αφορούσαν κατά κύριο λόγο το χαρακτηρισμό του τμήματος ως μονής ή διπλής κατεύθυνσης.

Στην περιοχή μελέτης συμπεριλήφθηκαν 13300 γραμμικά τμήματα του οδικού δικτύου συνολικού μήκους 17007 km. Το κάθε ένα από αυτά τα γραμμικά τμήματα, δεν αποτελεί απαραίτητα μια οδό από την αρχή μέχρι το τέλος της, αλλά τμήμα οδού είτε μεταξύ δύο κόμβων του οδικού δικτύου, είτε και χωριστή λωρίδα κατεύθυνσης σε οδούς με διαχωρισμένα ρεύματα κυκλοφορίας. Γενικώς τα γραμμικά τμήματα οργανώθηκαν κατά τέτοιο τρόπο ώστε να είναι δυνατή η αναπαράσταση της κάθε εναλλακτικής διαδρομής για τα οχήματα άμεσης επέμβασης. Συνεπάγεται ότι η γεωβάση που δημιουργήθηκε δεν περιέχει 13300 διαφορετικές οδούς. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε αρκετά μεγάλος αριθμός οδικών τμημάτων περιφερειακά της περιοχής μελέτης και εκτός των ορίων της πόλης του Σικάγο ώστε να αποφευχθούν ελλείψεις συνδέσεων και ή κάποιο αδιέξοδο λόγω των “αυστηρών” ορίων δικαιοδοσίας της πόλης του Σικάγο.

Το κάθε οδικό τμήμα περιλαμβάνει πληροφορίες, όπως το όνομα της οδού, την κατηγορία της οδού, τον αριθμό λωρίδων. Όμως τα παραπάνω δεν έχουν κάποιο ρόλο στη περαιτέρω διαδικασία της μελέτης. Το χαρακτηριστικό το οποίο επηρεάζει την περαιτέρω επεξεργασία είναι ο χαρακτηρισμός του οδικού τμήματος ως μονής ή διπλής κατεύθυνσης ώστε κατά τον υπολογισμό των διαδρομών των οχημάτων σε επόμενο στάδιο να επιτρέπεται ή όχι η διέλευση των οχημάτων προς μια κατεύθυνση. Τα οδικά τμήματα από μόνα τους δεν αποτελούν παρά μόνο ανεξάρτητα μεταξύ τους γραμμικά στοιχεία. Για να λάβουν χώρα τα επόμενα στάδια της μελέτης θα πρέπει να δημιουργηθεί το αντίστοιχο δίκτυο δεδομένων.

Το σύνολο των παραπάνω δεδομένων που εισάγονται στη βάση, είτε αυτά αφορούν τα τροχαία ατυχήματα είτε το οδικό δίκτυο προέρχονται από διαφορετικές πηγές και κατ' επέκταση θα πρέπει να μεταφερθούν σε ένα κοινό σύστημα αναφοράς συντεταγμένων ώστε να είναι δυνατή η περεταίρω επεξεργασία τους.

Έτσι τα παραπάνω δεδομένα μετασχηματίστηκαν ώστε να ανήκουν στο τοπικό σύστημα συντεταγμένων *NAD 1983 CORS96 StatePlane Illinois East FIPS 1201*. Τα χαρακτηριστικά του εν λόγω συστήματος αναφοράς είναι:

Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή

Στην κατεύθυνση X (W-E) η τιμή 300000 m αποδίδεται στον κεντρικό μεσημβρινό

Στην κατεύθυνση Y (S-N) το 0 αντιστοιχεί στον ισημερινό

Κεντρικός μεσημβρινός: -88.333333

Συντελεστής κλίμακας: 0.999975

Αρχή συντεταγμένων στον άξονα y: 36.666667

Μονάδα μέτρησης: Μέτρο

Όπως έχει προαναφερθεί, η τοπολογία χρησιμοποιείται κατά βάση για τη διασφάλιση της ποιότητας των δεδομένων και της σωστή γεωγραφικής αναπαράστασης αυτών. Στην παρούσα εργασία και για τα εν λόγω γεωγραφικά δεδομένα, προέκυψε πως απαραίτητος ήταν ο τοπολογικός έλεγχος όσο αφορά τη συνδεσιμότητα των οδικών τμημάτων μεταξύ τους. Ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε για να αποφευχθούν περιπτώσεις στις οποίες δύο οδικά τμήματα παρότι διασταυρώνονται μεταξύ τους δεν δημιουργείται κόμβος στο σημείο τομής αλλά και για την αντίθετη περίπτωση όπου δύο διασταυρούμενα οδικά τμήματα δημιουργούν κόμβο του δικτύου ενώ αυτό δεν θα έπρεπε να συμβαίνει, παραδείγματος χάριν διότι πρόκειται για ανισόπεδο κόμβο όπου το ένα τμήμα δεν επηρεάζει το άλλο. Όσο αφορά τα σημειακά δεδομένα των κόμβων ατυχημάτων δεν προκύπτει κάποιος λόγος για τοπολογικό έλεγχο.

Για να καταστεί δυνατή η σύνδεση μεταξύ των οδικών τμημάτων θα πρέπει αυτά να οργανωθούν σε ένα δίκτυο. Υπάρχουν πολλές παράμετροι οι οποίες μπορούν να καθοριστούν κατά τη δημιουργία ενός δικτύου. Σημαντικότερη από αυτές είναι ο τρόπος μέτρησης της αντίστασης (impedance) κατά την κίνηση επί του δικτύου, δηλαδή η μεταβλητή την οποία λαμβάνει υπόψη ο χρήστης του δικτύου προκειμένου να επιλέξει ποια διαδρομή θα ακολουθήσει. Αυτή η μεταβλητή μπορεί να είναι ο χρόνος, η απόσταση ή κάποιο άλλο μέγεθος, πάντως σε κάθε περίπτωση έχει την έννοια του κόστους. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η μεταβλητή αυτή επιλέχθηκε να είναι η απόσταση καθώς τα επίπεδα εξυπηρέτησης που ορίζονται μεταφράζονται σε απόσταση επί του δικτύου.

4.4 Υπολογισμός πίνακα κόστους Π-Π

Με τη διεκπεραίωση των παραπάνω βημάτων τα δεδομένα που είναι απαραίτητα για την παρούσα μελέτη έχουν πλέον εισαχθεί σε ένα ΓΠΣ. Είναι οργανωμένα σε μια γεωβάση, στο ίδιο σύστημα αναφοράς και με την απαιτούμενη γεωμετρική ακρίβεια καθώς έχουν πραγματοποιηθεί οι απαραίτητοι τοπολογικοί έλεγχοι. Το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός του πίνακα κόστους Π-Π.

Είναι γνωστό ότι σύμφωνα με τη συνάρτηση αντίστασης η οποία έχει οριστεί στο δίκτυο που δημιουργήθηκε, το κόστος μετακίνησης που λαμβάνεται υπόψη είναι η απόσταση. Έτσι ο πίνακας κόστους Π-Π ο οποίος υπολογίστηκε είναι ένα πίνακας αποστάσεων μεταξύ κάθε σημείου προέλευσης και κάθε σημείου προορισμού των οχημάτων (E). Στην παρούσα εργασία, τα δυνητικά σημεία προέλευσης ταυτίστηκαν με τα σημεία προορισμού, τα οποία είναι οι κόμβοι ζήτησης του οδικού δικτύου ($V \equiv W$). Αυτό θεωρήθηκε σκόπιμο ώστε να ελαττωθεί ο όγκος των δεδομένων και των υπολογισμών καθώς τα σημεία ζήτησης εκ πείρας αποτελούν συνήθως ιδανικές θέσεις χωροθετήσεις οχημάτων επέμβασης.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, υπολογίστηκε ένα πίνακας Π-Π με διαστάσεις 1001 x 1001, ο οποίος μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί ως δεδομένο εισαγωγής στο MS Excel για την επίλυση του αλγορίθμου στο λογισμικό Evolver 5.5 της Palisade Corporation. Παρακάτω παρουσιάζεται η διαδικασία επίλυσης του γενετικού αλγόριθμου που χρησιμοποιήθηκε και οι παράμετροι που απαιτούνται να ρυθμιστούν για την καλύτερη δυνατή επίλυσή του.

4.5 Επίλυση του DSM με χρήση γενετικών αλγορίθμων

Επειδή εν προκειμένω εξετάζεται η χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης για την αντιμετώπιση τροχαίων ατυχημάτων, επιλέγεται ένα μοντέλο κάλυψης, το οποίο μεγιστοποιεί την διπλή κάλυψη των σημείων ζήτησης ώστε καθ' αυτόν τον τρόπο να αντιμετωπιστεί η αβεβαιότητα που αφορά στην διαθεσιμότητα των οχημάτων, βάσει των διατιθέμενων δεδομένων. Ο καθορισμός των παραμέτρων γίνεται μετά από πειραματισμό και ανάλυση ευαισθησίας του αλγορίθμου, με χρήση του λογισμικού Evolver 5.5..

Το λογισμικό Evolver 5.5 δίνει τη δυνατότητα σχεδιασμού γενετικών αλγορίθμων σε περιβάλλον MS Excel. Το MS Excel, παρέχει τις απαραίτητες υπολογιστικές δυνατότητες, συναρτήσεις, εντολές Macro, για το σχεδιασμό του αλγορίθμου. Εφόσον, η τυπολογία του μοντέλου δημιουργηθεί στα υπολογιστικά φύλλα του MS Excel, ο γενετικός αλγόριθμος μπορεί πλέον να λάβει χώρα, αφού ο μελετητής καθορίσει τα κελιά που αντιπροσωπεύουν χρήσιμα στοιχεία, όπως η αντικειμενική συνάρτηση η οποία πρέπει να μεγιστοποιηθεί ή να ελαχιστοποιηθεί ανάλογα με το πρόβλημα και τα κελιά που θα μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια επίλυσης αναπαριστώντας τις χορδές του προβλήματος. Εκτός από το σχεδιασμό του αλγορίθμου πρέπει ακόμα να καθοριστούν κάποιες βασικές παράμετροι όπως η μέθοδος επίλυσης, το μέγεθος του πληθυσμού, ο δείκτης μετάλλαξης και διασταύρωσης, οι όποιοι περιορισμοί προκύπτουν από την τυπολογία του μοντέλου και οι όροι για τον τερματισμό της διαδικασίας.

Δίδεται η δυνατότητα χρήσης διαφορετικών μεθόδων επίλυσης. Οι δύο επικρατέστερες μέθοδοι είναι οι *recipe* και *order*. Στην παρούσα εφαρμογή επιλέχθηκε η μέθοδος *recipe*, η οποία αντιμετωπίζει την κάθε μεταβλητή ως ένα συστατικό σε μια “συνταγή”, επιχειρώντας να εντοπίσει τον καλύτερο συνδυασμό, μεταβάλλοντας τη τιμή κάθε μεταβλητής ανεξάρτητα, αφού θεωρήθηκε καταλληλότερη για τη συγκεκριμένη εφαρμογή.

Στην περίπτωση που εξετάζεται, η συνάρτηση που χρησιμοποιείται εκφράζει το ποσό της ζήτησης που καλύφθηκε διπλά εντός χρονικής απόστασης r_1 .

$$\sum_{i=1}^n D_i x_i^2, \quad (1)$$

όπου D_i : η ζήτηση του κόμβου i

x_i^2 : μια δυαδική μεταβλητή ίση με 1 αν ο κόμβος i καλύπτεται τουλάχιστον 2 φορές και ίση με 0 σε όλες τις άλλες περιπτώσεις

Για την αξιολόγηση της διαδικασίας χωροθέτησης χρησιμοποιείται επιπλέον η σχέση με την οποία υπολογίζεται το ποσοστό της ζήτησης που καλύπτεται διπλά, δηλαδή ο λόγος της διπλά καλυπτόμενης ζήτησης προς τη συνολική ζήτηση της περιοχής μελέτης για την εκάστοτε χρονική περίοδο:

$$DC = \frac{\sum_{i=1}^n D_i x_i^2}{\sum_{i=1}^n D_i}, \quad (2)$$

Επιπλέον χρήσιμη για την αξιολόγηση του αλγορίθμου DSM είναι η συνάρτηση καταλληλότητας που αφορά στη μονή κάλυψη της ζήτησης, καθώς έχει τεθεί ως στόχος, το 95% της ζήτησης να καλύπτεται τουλάχιστον μια φορά εντός της ακτίνας r_1 . Η συνάρτηση καταλληλότητας για τη μονή κάλυψη της ζήτησης εκφράζεται με τον ίδιο τρόπο και η μαθηματική διατύπωση είναι:

$$SC = \frac{\sum_{i=1}^n D_i x_i^1}{\sum_{i=1}^n D_i}, \quad (3)$$

όπου x_i^1 : μια δυαδική μεταβλητή ίση με 1 αν ο κόμβος i καλύπτεται τουλάχιστον 1 φορά και ίση με 0 σε όλες τις άλλες περιπτώσεις

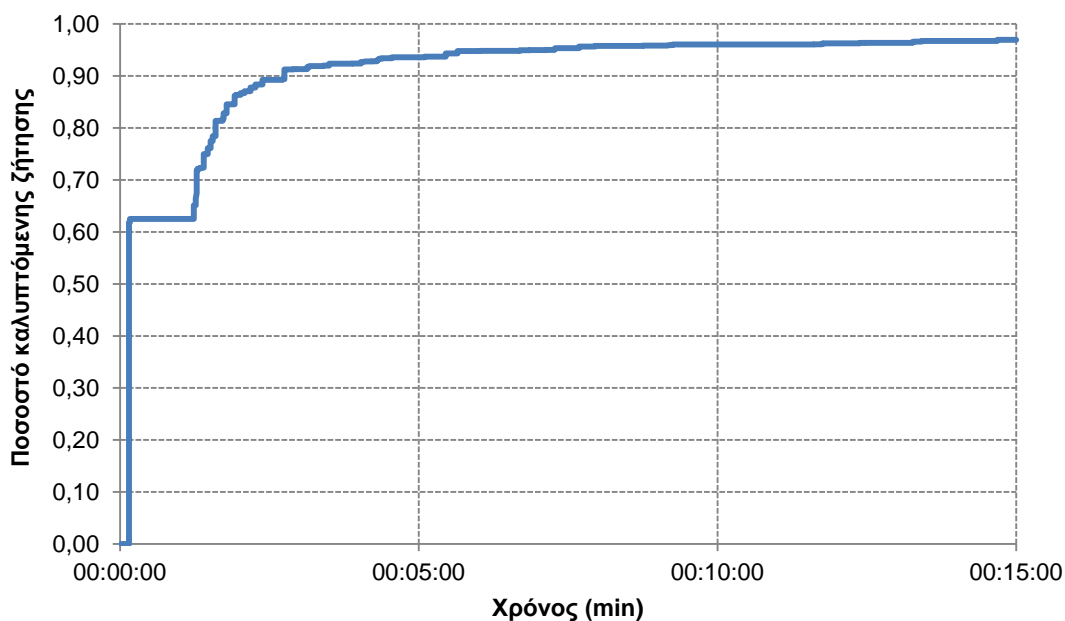
Σύμφωνα με τα προαναφερόμενα (βλ. κεφ. 3.5), αν υποθέσουμε ότι θα χωροθετηθούν κατά μέσο όρο 25 οχήματα στην περιοχή μελέτης, το μέγεθος του πληθυσμού θα πρέπει να είναι μεταξύ 50 και 100. Αυτές είναι και οι τιμές οι οποίες λήφθηκαν υπόψη κατά την ανάλυση ευαισθησίας του αλγορίθμου, ενώ ο αρχικός πληθυσμός που χρησιμοποιείται δημιουργείται τυχαία από το σετ των 1001 πιθανών θέσεων χωροθέτησης.

Οι περιορισμοί οι οποίοι τέθηκαν στην παρούσα εφαρμογή αφορούν στη μεθοδολογία του DSM, όπως προτάθηκε από τον Gendreau et al. το 1997. Πιο συγκεκριμένα εντός της ακτίνας r_2 , η οποία αποτελεί μια από τις παραμέτρους του προβλήματος, θεωρείται πως θα πρέπει να καλύπτεται το σύνολο της ζήτησης της περιοχής μελέτης τουλάχιστον μια φορά.

Έτσι, τέθηκε ο εν λόγω περιορισμός ώστε να μη λαμβάνονται υπόψη λύσεις του αλγορίθμου για τις οποίες δεν επιβεβαιώνεται η παραπάνω συνθήκη. Για την αποφυγή αδιεξόδου κατά την επίλυση του αλγορίθμου και επειδή σε κάποιες περιπτώσεις ένα και μόνο σημείο ζήτησης μπορεί να μη καλύπτεται και να δημιουργεί πρόβλημα στο σύνολο της επίλυσης, θεωρήθηκε ότι έγκυρες είναι οι λύσεις σύμφωνα με τις οποίες καλύπτεται το 99% της ζήτησης στην περιοχή μελέτης.

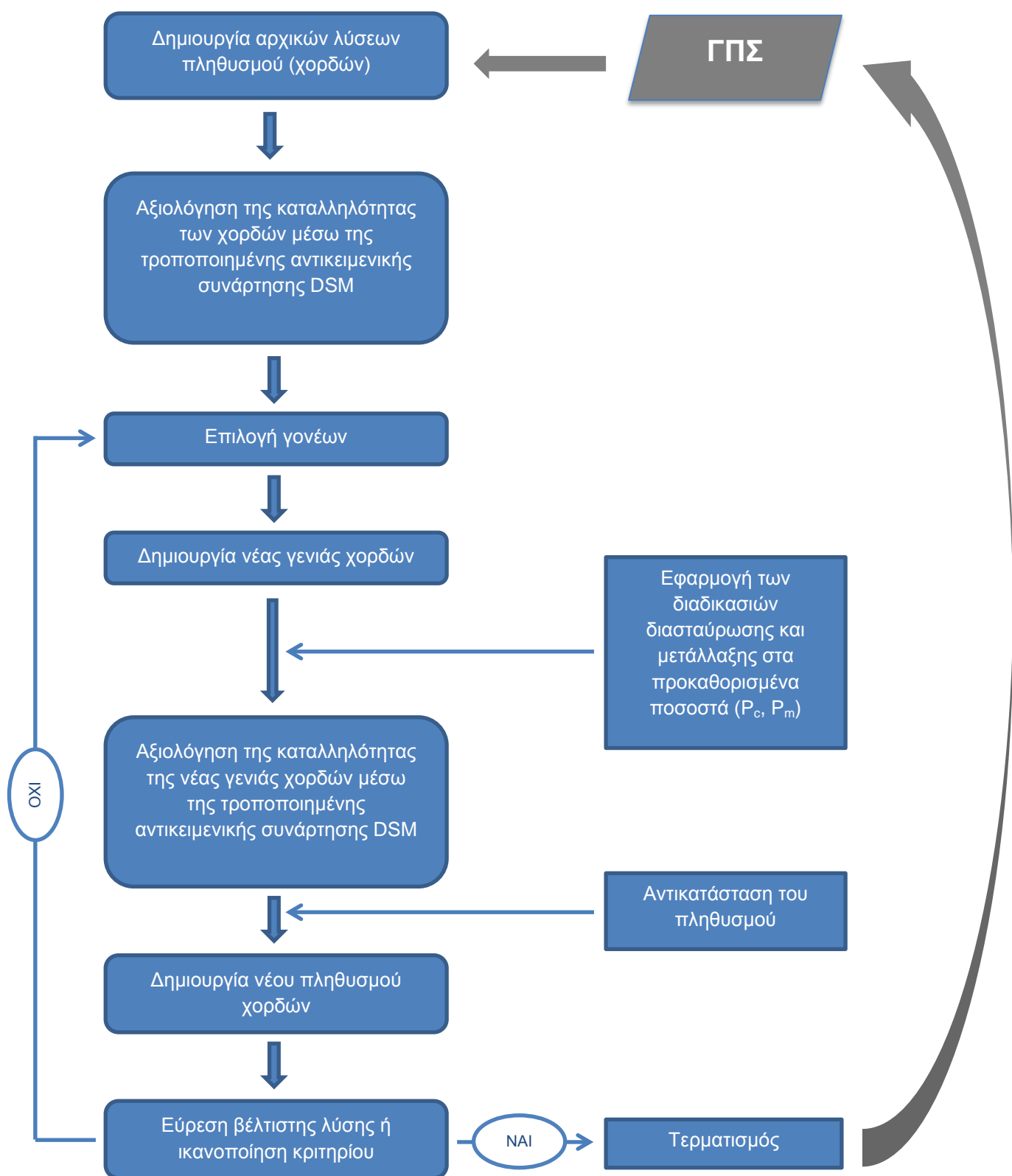
Ο αλγόριθμος τερματίζεται έπειτα από την παρέλευση 15 λεπτών στο λογισμικό Evolver 5.5 με την παρουσίαση των βέλτιστων λύσεων που έχουν βρεθεί έως εκείνη τη στιγμή ή σε περίπτωση που ικανοποιηθεί η συνθήκη τερματισμού που έχει οριστεί, δηλαδή να μην υπάρξει βελτίωση των λύσεων μεγαλύτερη του 0.01% μετά από 10000 επαναλήψεις. Το χρονικό όριο των 15 λεπτών καθορίστηκε μετά από πειραματισμό επιλύσεων αφού κρίθηκε ικανοποιητικό καθώς εν γένει οι λύσεις δεν βελτιώνονται ιδιαίτερα μετά το πέρας των 5 λεπτών, δηλαδή ο αλγόριθμος έχει ήδη προσεγγίσει σε μεγάλο βαθμό τη βέλτιστη λύση.

Όπως παρατηρείται και στο Σχήμα 21 που ακολουθεί, η βελτίωση της αντικειμενικής συνάρτησης του αλγορίθμου, δηλαδή της διπλά καλυπτόμενης ζήτησης της περιοχής μελέτης, είναι της τάξης του 2-3% μετά από τα πέντε λεπτά επίλυσης του αλγορίθμου.



Σχήμα 21: Ποσοστό καλυπτόμενης διπλά ζήτησης σε συνάρτηση με το χρόνο επίλυσης

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής του αλγορίθμου όπως αυτό καθορίστηκε για την επίλυση του προβλήματος (Σχήμα 22).



Σχήμα 22: Διάγραμμα ροής διαδικασίας χωροθέτησης

Οι παράμετροι του προβλήματος που δεν έχουν ρυθμιστεί έως τώρα, δηλαδή το μέγεθος του αρχικού πληθυσμού και οι δείκτες μετάλλαξης και διασταύρωσης θα καθοριστούν μέσω της ανάλυσης ευαισθησίας που ακολουθεί.

4.6 Ανάλυση ευαισθησίας αλγορίθμου

Η ανάλυση ευαισθησίας, όπως αναφέρθηκε πρωτύτερα, ως στόχο έχει την εύρεση του συνδυασμού των παραμέτρων του γενετικού αλγορίθμου για τον οποίο προκύπτει η βέλτιστη λύση, μεγιστοποιείται δηλαδή η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης.

Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε για δύο τιμές αρχικού πληθυσμού n (50, 100), τρία ποσοστά διασταύρωσης p_c (0.20, 0.40, 0.60) και πέντε ποσοστά μετάλλαξης p_m (0.02, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20), ενώ ορίστηκαν ως σταθερές άλλες παράμετροι του προβλήματος όπως ο αριθμός οχημάτων (25 οχ.), η ταχύτητα των οχημάτων ($v = 25$ km/h) και τα δύο χρονικά όρια σε t (10 min, 15 min). Ως χρονικό όριο τερματισμού της διαδικασίας επίλυσης ορίστηκαν τα 15 λεπτά. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας παρουσιάζονται για τα δύο μεγέθη πληθυσμού στους παρακάτω Πίνακες 4 και 5 αντίστοιχα.

Πίνακας 4: Ανάλυση ευαισθησίας για πληθυσμό $n = 50$

Πληθυσμός $n=50$		Crossover rate		
		0.20	0.40	0.60
Mutation rate	0.02	6717.54	<u>6904.13</u>	6738.95
	0.05	6624.13	6669.86	6607.26
	0.10	6500.79	6647.94	6599.15
	0.15	6511.35	6361.50	6549.27
	0.20	6324.08	6445.48	6521.97

Πίνακας 5: Ανάλυση ευαισθησίας για πληθυσμό $n = 100$

Πληθυσμός $n=100$		Crossover rate		
		0.20	0.40	0.60
Mutation rate	0.02	6752.04	6575.34	6689.76
	0.05	6559.36	6612.69	6754.26
	0.10	6453.86	6310.89	6396.61
	0.15	6412.17	6288.42	6303.73
	0.20	6183.07	6200.01	6128.40

Από τους πίνακες προκύπτει πως τα αποτελέσματα της αντικειμενικής συνάρτησης που επιτεύχθηκαν για όλους τους συνδυασμούς δεν παρουσιάζουν πολύ μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ τους. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει τη σταθερότητα του αλγορίθμου καθώς είναι κάθε φορά σε θέση να εντοπίσει κατά προσέγγιση τη βέλτιστη λύση, ανεξαρτήτως των επιμέρους τιμών των παραμέτρων του. Παρ' όλα αυτά επιλέγεται ο συνδυασμός ($n = 50$, $p_c = 0.40$, $p_m = 0.02$) για τον οποίο προκύπτει η μέγιστη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης (6904.13).

4.7 Σενάρια εφαρμογής για διαφορετικά επίπεδα εξυπηρέτησης

Τα σενάρια που εξετάζονται προκύπτουν από διαφοροποιήσεις των τιμών των δύο βασικών παραμέτρων του προβλήματος ώστε να ελεγχθούν διαφορετικά επίπεδα εξυπηρέτησης. Οι παράμετροι που ελέγχονται είναι ο αριθμός των διατιθέμενων προς χωροθέτηση οχημάτων και η μέση ταχύτητα που μπορούν να επιτύχουν τα οχήματα.

Η ταχύτητα των οχημάτων σε συνδυασμό με το χρονικό όριο που έχουν στη διάθεσή τους τα οχήματα για την έγκαιρη αντιμετώπιση του εκάστοτε ατυχήματος, το οποίο στην παρούσα μελέτη παραμένει σταθερό, καθορίζουν διαφορετικές αποστάσεις εμβέλειας οι οποίες αποτελούν και τα διαφορετικά επίπεδα εξυπηρέτησης.

Όσον αφορά στην πρώτη παράμετρο, εξετάζεται η χωροθέτηση 20, 25 και 30 οχημάτων άμεσης επέμβασης. Οι πιθανοί αριθμοί διαθέσιμων οχημάτων επιλέχθηκαν κατόπιν διερεύνησης των αναγκών της περιοχής μελέτης με βάση τα εξεταζόμενα επίπεδα εξυπηρέτησης, ώστε τα αποτελέσματα της κάλυψης που προσφέρουν να κυμαίνονται στα επιθυμητά επίπεδα. Όσον αφορά τη δεύτερη παράμετρο, τη μέση ταχύτητα των οχημάτων, θεωρήθηκε σκόπιμο να ελεγχθεί ένα εύρος ταχυτήτων ± 5 km/h γύρω από τη καταγεγραμμένη μέση ταχύτητα ασθενοφόρων σε αστικό περιβάλλον των Η.Π.Α. Η μέση ταχύτητα έχει υπολογιστεί στα 30 km/h (βλ. κεφ. 2.1.2), επομένως τα διαφορετικά επίπεδα εξυπηρέτησης που μελετήθηκαν αφορούσαν τις ταχύτητες 25, 30 και 35 km/h αντίστοιχα.

Με βάση τα παραπάνω επίπεδα μέσης ταχύτητας και τους επιθυμητούς χρόνους απόκρισης (εντός 10 λεπτών πρέπει να καλύπτεται το 95% της ζήτησης και εντός 15 λεπτών το σύνολο της ζήτησης τουλάχιστον μία φορά) προκύπτουν τρία επίπεδα για αποστάσεις εμβέλειας, τα οποία εφεξής ορίζονται ως τρία επίπεδα εξυπηρέτησης (ή LOS: *Level of Service*) A, B και C. Η κατάταξη των επιπέδων ακολουθεί αύξουσα σειρά, δηλαδή από το επίπεδο A προς το C, η εξυπηρέτηση που παρέχεται προς τη ζήτηση μεταβάλλεται από χαμηλότερα επίπεδα προς τα υψηλότερα. Στο κάθε επίπεδο αντιστοιχούν δύο αποστάσεις εμβέλειας λόγω των δύο επιθυμητών χρονικών ορίων και είναι τα εξής:

- **LOS A:** 4170 / 6250 (m)
- **LOS B:** 5000 / 7500 (m)
- **LOS C:** 5840 / 8750 (m)

Στο σημείο αυτό μπορεί να γίνει η υπόθεση πως η απόσταση εμβέλειας είναι κοινή για όλα τα οχήματα εξαρτώμενη από το εκάστοτε επίπεδο εξυπηρέτησης. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζονται οι εννέα συνδυασμοί που προκύπτουν με θεώρηση κοινής απόστασης εμβέλειας για όλα τα οχήματα για τους τρεις διαφορετικούς αριθμούς διατιθέμενων οχημάτων και τα τρία επίπεδα εξυπηρέτησης. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6), παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα που αφορούν στα εννέα σενάρια και πιο συγκεκριμένα το αποτέλεσμα της αντικειμενικής συνάρτησης η οποία επιτεύχθηκε, το ποσοστό διπλής κάλυψης των κόμβων ζήτησης του οδικού δικτύου αλλά και το ποσοστό μόνης κάλυψης των κόμβων.

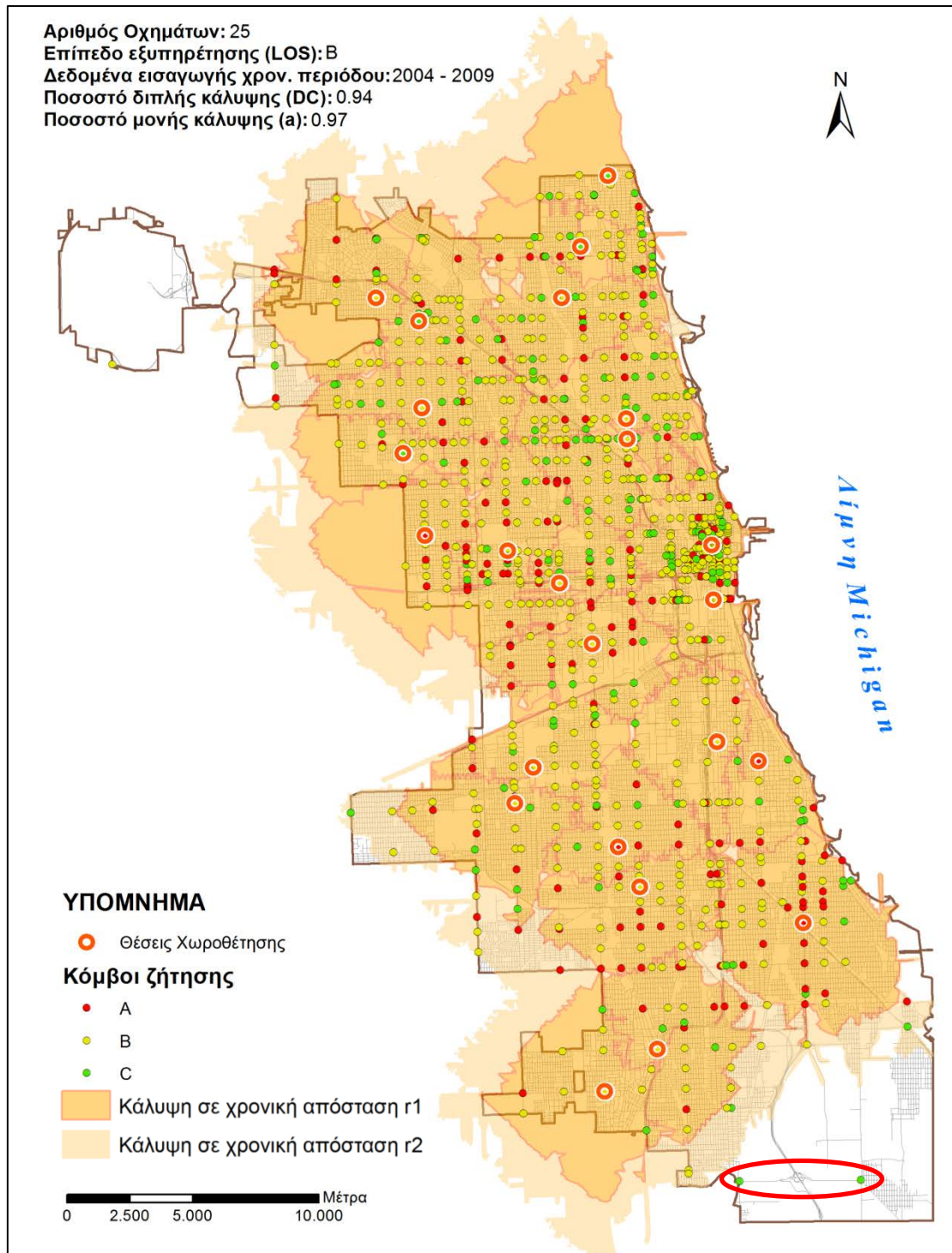
Πίνακας 6: Συνοπτικά αποτελέσματα για τα 9 σενάρια εφαρμογής

Οχήματα/ Επίπεδο εξυπηρέτησης	20	25	30
LOS A	O.F.: 3922.74	O.F.: 6153.53	O.F.: 6924.52
	D.C.: 0.75	D.C.: 0.79	D.C.: 0.89
	a: 0.85	a: 0.91	a: 0.95
LOS B	O.F.: 6852.14	O.F.: 7362.30	O.F.: 7557.07
	D.C.: 0.88	D.C.: 0.94	D.C.: 0.97
	a: 0.93	a: 0.97	a: 0.98
LOS C	O.F.: 7441.72	O.F.: 7587.13	O.F.: 7740.26
	D.C.: 0.95	D.C.: 0.97	D.C.: 0.99
	a: 0.98	a: 0.99	a: 1.00

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται ότι επιτυγχάνεται διπλή κάλυψη άνω του 90% σε πέντε από τα εννέα σενάρια που ελέγχθηκαν, αυτό όμως συμβαίνει στο επίπεδο εξυπηρέτησης LOS C, το οποίο είναι το πιο ευνοϊκό για την επίτευξη των στόχων και στο επίπεδο εξυπηρέτησης LOS B, στις περιπτώσεις που χωροθετούνται 25 και 30 οχήματα άμεσης επέμβασης, ενώ τα υψηλότερα ποσοστά επιτυγχάνονται κατά τη χωροθέτηση 30 οχημάτων με επίπεδο εξυπηρέτησης LOS C. Αντίθετα όσο αφορά στο επίπεδο εξυπηρέτησης LOS A, παρά το γεγονός ότι με τη χωροθέτηση 30 οχημάτων επιτυγχάνεται διπλή κάλυψη σχεδόν 90%, τα ποσοστά διπλής κάλυψης που προσφέρονται στα δύο ανώτερα επίπεδα εξυπηρέτησης δεν μπορούν να προσεγγιστούν με λιγότερα οχήματα. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο μικρός αριθμός οχημάτων αδυνατεί να προσφέρει πλήρη κάλυψη εντός της χρονικής ακτίνας r_2 . Για το λόγο αυτό, κατά την επίλυση του αλγορίθμου με 20 οχήματα στο επίπεδο εξυπηρέτησης A, κρίθηκε αναγκαία η χαλάρωση του εν λόγω περιορισμού, ώστε να καταστεί δυνατόν να προκύψουν έγκυρες λύσεις.

Παρακάτω, στο Σχήμα 23, παρουσιάζεται ενδεικτικά η χωροθέτηση 25 οχημάτων στην περιοχή μελέτης με επίπεδο εξυπηρέτησης B, ως μια μέση και ταυτόχρονα ικανοποιητική περίπτωση, όπως αυτή προέκυψε μετά από υπολογισμό των περιοχών εξυπηρέτησης στο λογισμικό ArcGIS 10.0. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι κόμβοι ζήτησης που δεν καλύπτονται καθόλου (όπως οι δύο κυκλωμένοι στο δεξί κάτω άκρο του χάρτη) είναι εντός ορίων χαλάρωσης (1%) του περιορισμού κάλυψης όλων των κόμβων της περιοχής εντός ακτίνας r_2 .

Οι παραγόμενοι χάρτες για όλα τα σενάρια παρατίθενται στο παράρτημα, ενώ σε κάθε έναν από αυτούς αναγράφεται ο αριθμός των οχημάτων, το επίπεδο εξυπηρέτησης, τα ποσοστά μονής και διπλής κάλυψης που επιτεύχθηκαν και η χρονική περίοδος των δεδομένων εισαγωγής για την επίλυση του αλγορίθμου.

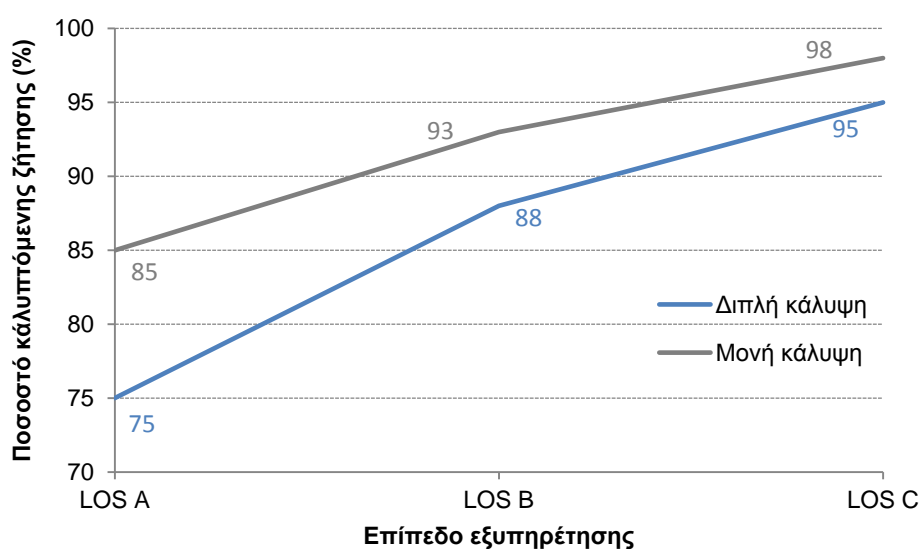


Σχήμα 23: Απεικόνιση των επιλεγμένων θέσεων και περιοχών εξυπηρέτησης για τη χωροθέτηση 25 οχημάτων με επίπεδο εξυπηρέτησης B στην πόλη του Σικάγο

Όσο αφορά στα ποσοστά μονής κάλυψης που επιτυγχάνονται, στο σενάριο χωροθέτησης 20 οχημάτων σε επίπεδο εξυπηρέτησης LOS A, το ποσοστό κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα (85%), ενώ σε γενικές γραμμές όπως ήταν αναμενόμενο ακολουθούν τα αποτελέσματα που επιτεύχθηκαν για τη διπλή κάλυψη. Έτσι, ο στόχος της κάλυψης τουλάχιστον μία φορά για το 95% της ζήτησης, επιτυγχάνεται σε 6 από τα 9 σενάρια, εκ των οποίων η χωροθέτηση οποιουδήποτε αριθμού οχημάτων σε επίπεδο εξυπηρέτησης LOS C, που αποτελεί και το

ευνοϊκότερο επίπεδο εξυπηρέτησης της μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, με τη χωροθέτηση 30 οχημάτων στο εν λόγω επίπεδο εξυπηρέτησης, η επιτυχία της χωροθέτησης πλησιάζει το απόλυτο, καθώς καλύπτονται όλοι οι κόμβοι ζήτησης τουλάχιστον μία φορά, ενώ διπλά καλύπτεται το 99% αυτών. Επιπλέον, με τη χωροθέτηση 25 οχημάτων τα ποσοστά εξυπηρέτησης κυμαίνονται σε αντίστοιχα υψηλά επίπεδα.

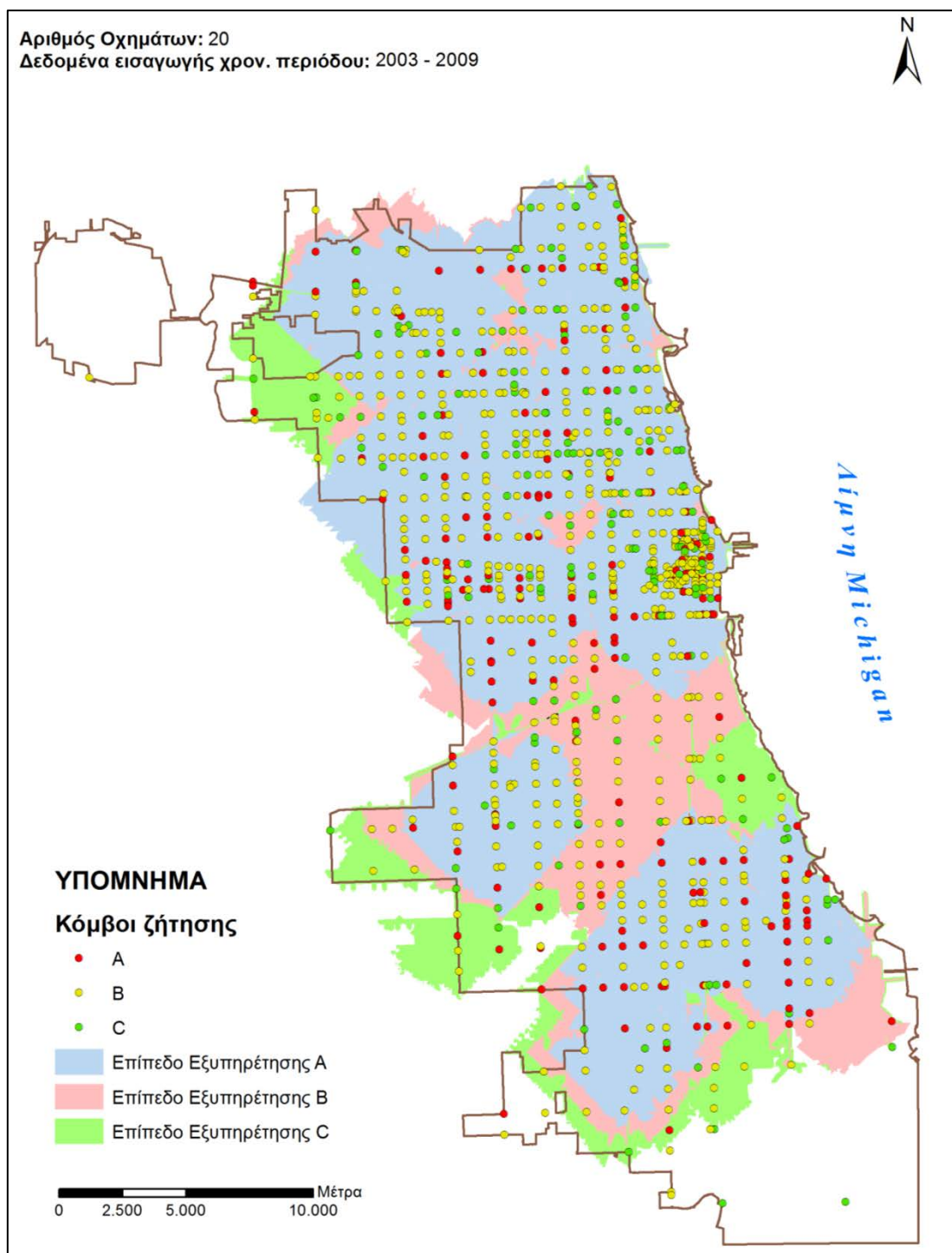
Τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα (Πίνακας 6), παρουσιάζονται διαγραμματικά στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 23 έως 25). Εφόσον ο αριθμός των οχημάτων παραμένει σε κάθε διάγραμμα σταθερός, η διαφοροποίηση των ποσοστών κάλυψης μεταξύ των συνδυασμών οφείλεται αποκλειστικά στη διαφοροποίηση των επιπέδων εξυπηρέτησης, δηλαδή της μέσης ταχύτητας των οχημάτων.



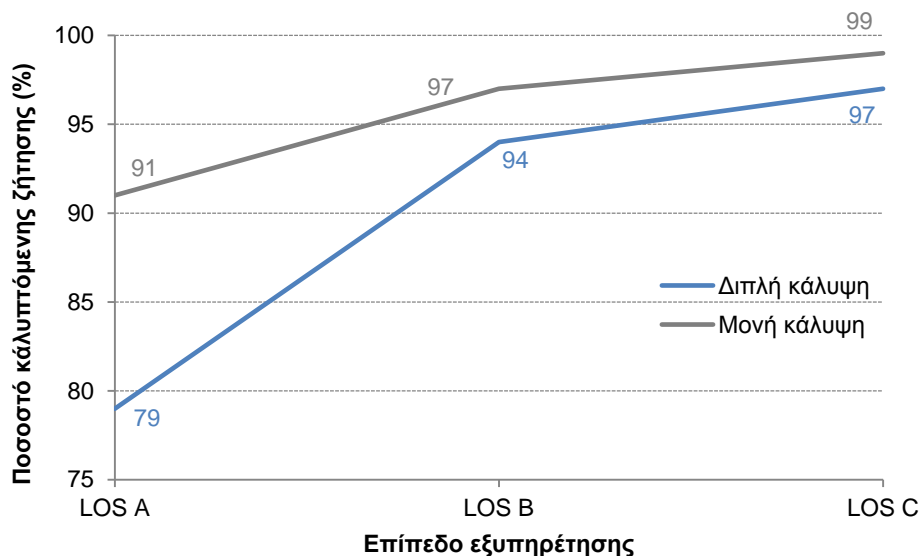
Σχήμα 24: Μονή και διπλή κάλυψη ζήτησης για 20 οχήματα

Από το Σχήμα 24, παρατηρείται ότι για 20 χωροθετημένα οχήματα, η μόνη περίπτωση να επιτευχθούν επιθυμητά επίπεδα κάλυψης είναι η κατάσταση στο οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης να αντικατοπτρίζεται από συνθήκες εφάμιλλες με αυτές του επιπέδου εξυπηρέτησης C με ποσοστό διπλής κάλυψης ακριβώς 95%. Σε λιγότερο καλές κυκλοφοριακές συνθήκες, όπου η μέση ταχύτητα των οχημάτων είναι χαμηλότερη του επιπέδου C, η κάλυψη είναι κατώτερη των χρονικών στόχων που έχουν τεθεί. Το επίπεδο εξυπηρέτησης B, αντικατοπτρίζει μια μέση λύση, που δεν φτάνει τα επιθυμητά μεν αποτελέσματα, όμως δεν παρέχει ιδιαίτερα χαμηλά ποσοστά κάλυψης όπως αυτά του επιπέδου LOS A. Στο παρακάτω Σχήμα 25, παρατηρούνται οι διαφορές στην κάλυψη των κόμβων ζήτησης για τα διαφορετικά επίπεδα εξυπηρέτησης.

ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΣΑΕ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΣΙΚΑΓΟ, ΙΛΛΙΝΟΙΣ



Σχήμα 25: Χωροθέτηση 20 οχημάτων άμεσης επέμβασης για διαφορετικά επίπεδα εξυπηρέτησης

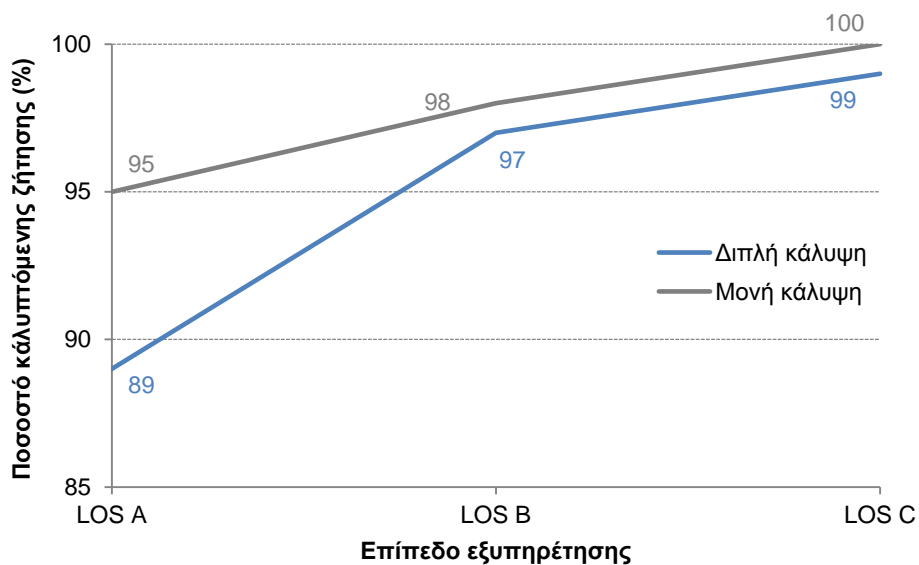


Σχήμα 26: Μονή και διπλή κάλυψη ζήτησης για 25 οχήματα

Η ίδια μορφή διαγράμματος προκύπτει ανεξάρτητα από τον αριθμό οχημάτων τα οποία χωροθετούνται και στο επόμενο διάγραμμα (Σχήμα 26), με μεγάλη ποσοστιαία αύξηση της καλυπτόμενης ζήτησης από το επίπεδο εξυπηρέτησης A στο B. Αυτό που διαφέρει είναι τα ποσοστά μονής και διπλής κάλυψης τα οποία αυξάνονται παράλληλα με την αύξηση των οχημάτων.

Στο Σχήμα 26, παρατηρείται ότι το ποσοστό διπλής κάλυψης έφτασε στο 97% με τη χωροθέτηση 25 οχημάτων για το καλύτερο όμως επίπεδο εξυπηρέτησης C. Παρότι η ποσοστιαία αύξηση είναι μόλις 2% με τη χωροθέτηση τριών επιπλέον οχημάτων άμεσης επέμβασης στο επίπεδο εξυπηρέτησης C, σε χαμηλότερα επίπεδα εξυπηρέτησης η αύξηση στην κάλυψη της ζήτησης είναι μεγαλύτερη καθώς φτάνει έως και το 29% για το επίπεδο εξυπηρέτησης A. Αυτό συμβαίνει καθώς το επίπεδο εξυπηρέτησης C, προσφέρει ιδανικότερες συνθήκες σε σχέση με τα άλλα επίπεδα, συντελώντας σε υψηλά ποσοστά επιτυχίας της χωροθέτησης τα οποία δύσκολα μπορούν να βελτιωθούν περαιτέρω.

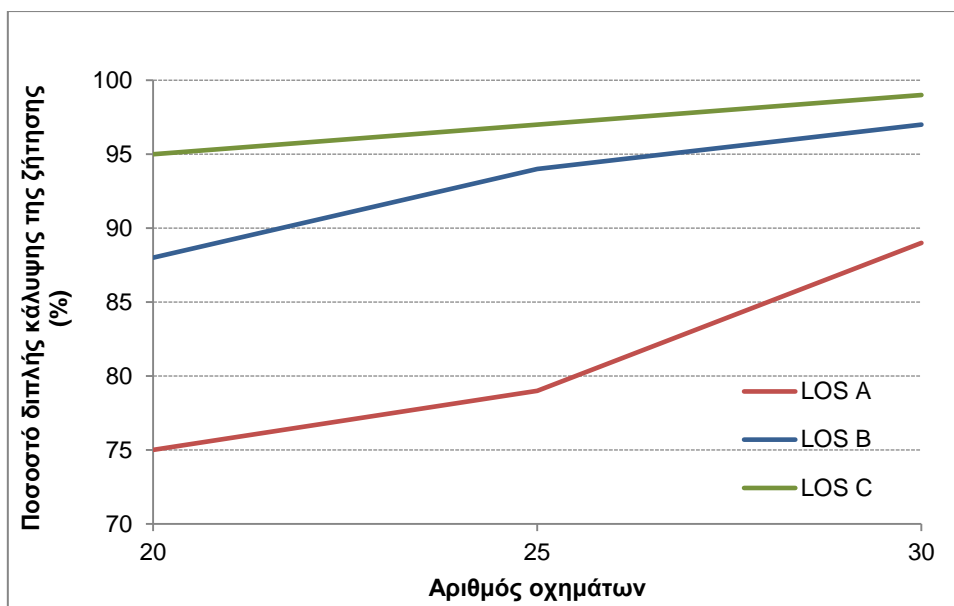
Με τη χωροθέτηση επιπλέον πέντε οχημάτων παρατηρείται (από το Σχήμα 27) ότι τα ποσοστά κάλυψης δεν αυξάνονται ιδιαίτερα στα κατώτερα επίπεδα εξυπηρέτησης, σε σχέση με τις μεταβολές που παρατηρήθηκαν κατά την αύξηση των οχημάτων από 20 σε 25.



Σχήμα 27: Μονή και διπλή κάλυψη ζήτησης για 30 οχήματα

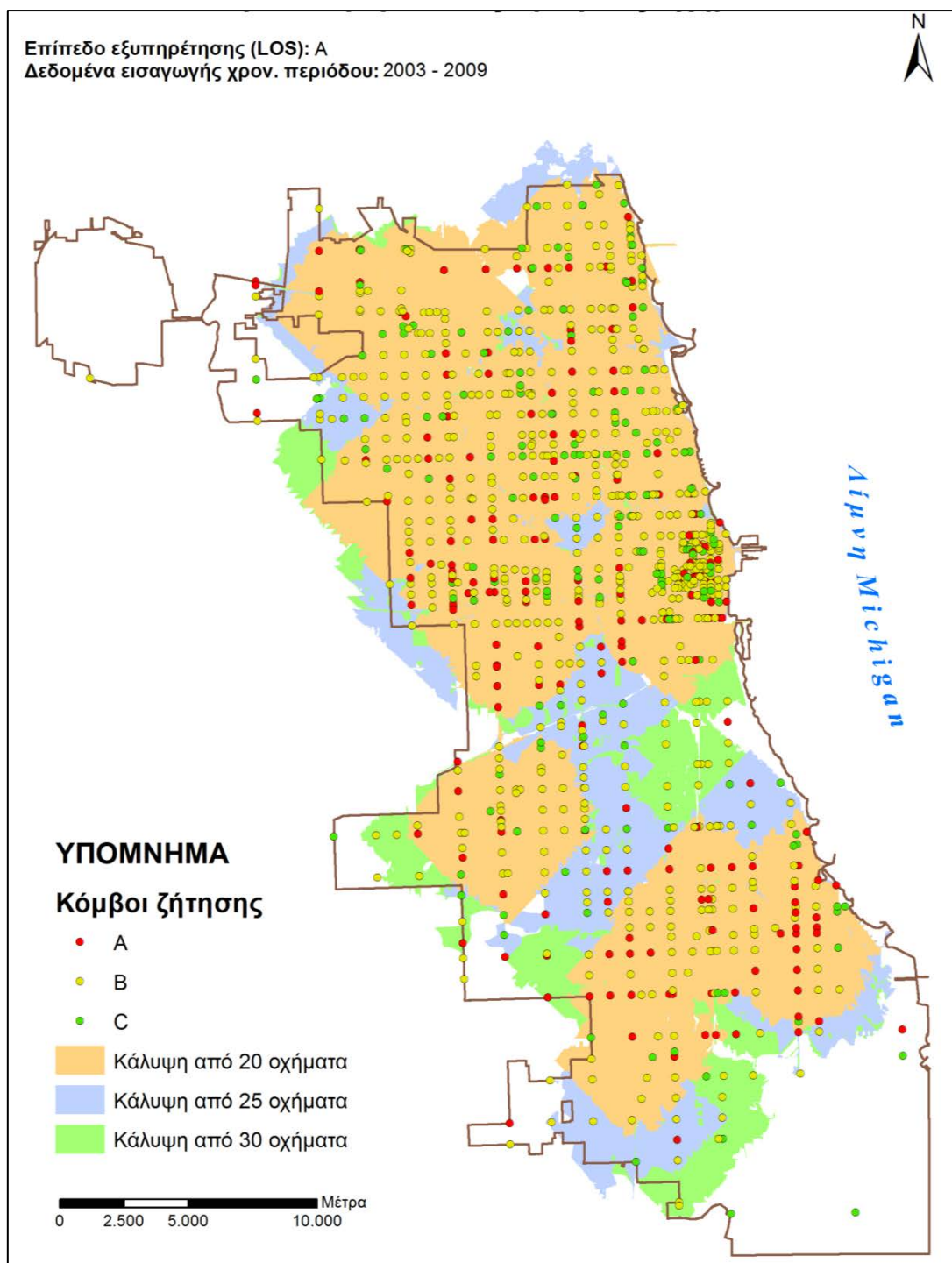
Στο Σχήμα 25, παρατηρείται ότι με την αύξηση των οχημάτων πλέον σε 30, σε επίπεδο εξυπηρέτησης B το ποσοστό διπλής κάλυψης φτάνουν το 97% και για το επίπεδο C το 99%, όπου συγκλίνει με το επίπεδο μονής κάλυψης των κόμβων ενδιαφέροντος. Αυτό σημαίνει πως με 30 χωροθετημένα οχήματα τα ποσοστά κάλυψης πλέον είναι αισθητά αυξημένα για όλα τα επίπεδα εξυπηρέτησης, ενώ καθώς το ποσοστό μονής κάλυψης ταυτίζεται με αυτό της διπλής στο επίπεδο εξυπηρέτησης C και μάλιστα σε ποσοστό 100%, δεν υπάρχει περιθώριο βελτίωσης με περεταίρω αύξηση των οχημάτων.

Στο διάγραμμα του Σχήματος 28 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα ποσοστά της διπλής κάλυψης της ζήτησης των κόμβων του οδικού δικτύου για το σύνολο των σεναρίων που διερευνήθηκαν. Μέσω του διαγράμματος παρέχεται μία εποπτική εικόνα του μεγέθους διαφοροποίησης του ποσοστού κάλυψης ως αποτέλεσμα της αλλαγής της μίας ή και των δύο παραμέτρων του προβλήματος, δηλαδή του αριθμού των διατιθέμενων προς χωροθέτηση οχημάτων και του επιπέδου εξυπηρέτησης που αντικατοπτρίζει τις κυκλοφοριακές συνθήκες της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 28: Ποσοστό διπλής κάλυψης για το σύνολο των συνδυασμών για οχήματα 20, 25 και 30

Επιπλέον παρατίθεται στο Σχήμα 29, ο χάρτης που απεικονίζει τα διαφορετικά επίπεδα κάλυψης για το επίπεδο εξυπηρέτησης A και για τους διαφορετικούς αριθμούς οχημάτων, ώστε να γίνει οπτικά αντιληπτή η διαφορά της εξυπηρέτησης που επιτυγχάνεται με την αύξηση των οχημάτων που είναι διαθέσιμα.



Σχήμα 29: Χωροθέτηση διαφορετικού αριθμού οχημάτων άμεσης επέμβασης για επίπεδο εξυπηρέτησης B

Η μεταβολή του ποσοστού της καλυπτόμενης ζήτησης ως συνάρτηση του επιπέδου εξυπηρέτησης με παράλληλη διατήρηση σταθερού του εκάστοτε αριθμού τους αναλύθηκε στα Σχήμα 24 έως 27. Όσον αφορά τη μεταβολή του ποσοστού διπλής κάλυψης εντός των επιμέρους επιπέδων εξυπηρέτησης παρατηρούνται τα εξής:

- Στο επίπεδο εξυπηρέτησης A, μικρή αύξηση του ποσοστού κάλυψης (κατά 4 %) σημειώνεται με την αύξηση του αριθμού των διατιθέμενων οχημάτων από 20 σε 25, ενώ η αύξηση του αριθμού τους από 25 σε 30 έχει ως αποτέλεσμα την

αύξηση της διπλής κάλυψης κατά 10%, ποσοστό πολύ μεγαλύτερο σε σχέση με τις αυξήσεις που παρατηρήθηκαν στα άλλα επίπεδα εξυπηρέτησης.

- Στο επίπεδο εξυπηρέτησης Β, το ποσοστό κάλυψης αυξάνεται περισσότερο κατά την αύξηση του αριθμού των οχημάτων από 20 σε 25 (6%) σε σχέση με την αύξηση από 25 σε 30 (3%).
- Στο επίπεδο εξυπηρέτησης C, η ποσοστιαία αύξηση παραμένει σε ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα, με το ποσοστό διπλής κάλυψης να παραμένει σχεδόν αμετάβλητο με την αύξηση του αριθμού των οχημάτων, παρουσιάζοντας μεταβολές της τάξης του 2%, το οποίο παρουσιάζεται και στις δύο αλλαγές του αριθμού των οχημάτων, από 20 σε 25 και από 25 σε 30. Αυτό συμβαίνει καθώς το συγκεκριμένο επίπεδο εξυπηρέτησης είναι αρκετά ευνοϊκό (λόγω της μεγαλύτερης μέσης ταχύτητας) με αποτέλεσμα να επιτυγχάνονται αρκετά καλά αποτελέσματα ακόμα και στην περίπτωση χωροθέτησης 20 οχημάτων, και τα οποία δύσκολα μπορούν να βελτιωθούν αισθητά.

Ως γενικό συμπέρασμα προκύπτει πως οι κόμβοι ζήτησης δεν είναι εφικτό να καλυφθούν στο σύνολό του με διπλή κάλυψη, επιτυγχάνονται όμως μεγάλα ποσοστά κάλυψης που στην περίπτωση χωροθέτησης 30 οχημάτων στο επίπεδο εξυπηρέτησης C φτάνουν το 99%, παρά τη μεγάλη έκταση της περιοχής μελέτης.

Επιπλέον για το ίδιο σενάριο, επιτυγχάνεται πλήρης κάλυψη των κόμβων ζήτησης τουλάχιστον μία φορά. Παρόλα αυτά, όσο αφορά στα σενάρια που ελέγχθηκαν, επιτεύχθηκαν αρκετά καλά αποτελέσματα, εξαιρουμένου του επιπέδου εξυπηρέτησης Α, το οποίο θα απαιτούσε τη χωροθέτηση ακόμα μεγαλύτερου αριθμού οχημάτων για να πλησιάσει τις αποδόσεις των δύο άλλων επιπέδων εξυπηρέτησης.

Εν γένει, για σταθερό αριθμό οχημάτων, ευνοϊκότερο επίπεδο εξυπηρέτησης συνεπάγεται αύξηση του ποσοστού κάλυψης αλλά και αντίστροφα, για σταθερό επίπεδο εξυπηρέτησης, αύξηση του αριθμού των οχημάτων συνεπάγεται αύξηση του ποσοστού της καλυπτόμενης ζήτησης. Ωστόσο, μεγαλύτερες θετικές επιπτώσεις φαίνεται να έχει η αύξηση του αριθμού των οχημάτων σε περιπτώσεις χαμηλών ταχυτήτων σε σχέση με τα υψηλότερα, όπου καλά επίπεδα κάλυψης είναι δυνατόν να επιτευχθούν και με χρήση μικρότερου αριθμού οχημάτων. Γι αυτό το λόγο, το επίπεδο εξυπηρέτησης Α παρουσιάζει μεγαλύτερο εύρος τιμών για τα ποσοστά διπλής κάλυψης σε σχέση με το αντίστοιχα των επιπέδων εξυπηρέτησης Β και C. Παρακάτω παρουσιάζεται ο έλεγχος καταλληλότητας για το χρονικό βάθος των δεδομένων εισαγωγής.

4.8 Χωροθέτηση με χρήση δεδομένων προηγούμενων ετών

Όταν κάποιος φορέας επιχειρεί να μελετήσει ή να πραγματοποιήσει μια χωροθέτηση ανεξάρτητα από τον τομέα ανθρώπινης δραστηριότητας στον οποίο αναφέρεται είτε αυτή αφορά λόγου χάρη εμπορικά καταστήματα είτε πυροσβεστικά οχήματα, στόχος του είναι να καλύψει τη ζήτηση που θα παρουσιαστεί σε μελλοντικό χρόνο. Σε μια χωροθέτηση του ιδιωτικού τομέα σκοπός θα είναι να ξεπεραστεί ο ανταγωνισμός και η μεγιστοποίηση των κερδών ενώ σε μια χωροθέτηση του δημόσιου τομέα να

μεγιστοποιηθούν τα κοινωνικά οφέλη όσο αφορά κάποιο πρόβλημα και εν προκειμένω να αυξηθεί η οδική ασφάλεια και να βελτιωθεί η αντιμετώπιση των ατυχημάτων μελλοντικά.

Μέχρι τώρα, στα σενάρια εφαρμογής που έχουν διερευνηθεί έχουν μελετηθεί χωροθετήσεις που αφορούν τα έτη της βάσης δεδομένων που διατίθεται και κατά πόσο ο συγκεκριμένος αλγόριθμος μπορεί με την επίλυσή του μέσω της συγκεκριμένης μεθοδολογίας να παρέχει επαρκή κάλυψη των σημείων ζήτησης. Πολλές φορές, είναι δύσκολο να γίνει πρόβλεψη της μελλοντικής ζήτησης με ακρίβεια, ιδιαίτερα όσο αφορά την οδική ασφάλεια, τον αριθμό των ατυχημάτων που θα παρουσιαστούν αλλά και τη θέση που αυτά θα συμβούν στο οδικό δίκτυο. Στο παρόν κεφάλαιο, πραγματοποιείται έλεγχος για τη χωροθέτηση οχημάτων βάσει δεδομένων προηγούμενων ετών, όσο αφορά το κατά πόσο αυτή μπορεί να επιφέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα αλλά και το βάθος χρόνου των δεδομένων στο οποίο πρέπει να ανατρέξει ο μελετητής για να επιτύχει την καλύτερη δυνατή και αποτελεσματική χωροθέτηση για κάποιο έτος της βάσης δεδομένων, της παρούσας μελέτης.

Για να πραγματοποιηθεί ο εν λόγω έλεγχος, εξετάστηκαν χωροθετήσεις για όλα τα έτη καταγραφής της βάσης δεδομένων, με βάση όλα τα προηγούμενα από αυτά έτη. Αρχικά πραγματοποιήθηκαν οι χωροθετήσεις με δεδομένα εισαγωγής της χρονικής περιόδου ενδιαφέροντος για την εκάστοτε περίπτωση και στη συνέχεια ελέγχθηκαν τα ποσοστά επιτυχίας για το έτος στόχο της βάσης δεδομένων και για βάθος χρόνου ενός έτους, διετίας, τριετίας, τετραετίας, πενταετίας και εξαετίας για ένα μέσο σενάριο από αυτά που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Το μέσο σενάριο που επιλέχθηκε να ελεγχθεί είναι αυτό με επίπεδο εξυπηρέτησης Β και για 25 οχήματα άμεσης επέμβασης. Δεδομένου ότι στην βάση δεδομένων έχουν συγκεντρωθεί τα τροχαία ατυχήματα για τη χρονική περίοδο 2004 έως 2010, προκύπτει ότι για τον έλεγχο του βάθους χρόνου διατίθενται προς επεξεργασία, για βάθος ενός έτους έξι χωροθετήσεις, για βάθος διετίας πέντε, τριετίας τέσσερις, τετραετίας τρεις, πενταετίας δύο και εξαετίας μία χωροθέτηση αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα της διαδικασίας που περιγράφηκε παραπάνω παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 7.

ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΣΑΕ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΣΙΚΑΓΟ, ΙΛΛΙΝΟΙΣ

Πίνακας 7: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων για χωροθέτηση με χρήση δεδομένων προηγούμενων ετών (LOS B, 25 οχήματα)

Βάθος χρόνου / Έτος στόχος		1 έτος	2 έτη	3 έτη	4 έτη	5 έτη	6 έτη
2010	D.C.	0.93	0.90	0.94	0.93	0.93	0.92
	a	0.96	0.95	0.97	0.96	0.96	0.95
2009	D.C.	0.91	0.88	0.91	0.93	0.90	
	a	0.94	0.96	0.96	0.97	0.97	
2008	D.C.	0.90	0.94	0.91	0.95		
	a	0.94	0.96	0.94	0.97		
2007	D.C.	0.88	0.91	0.89			
	a	0.94	0.94	0.94			
2006	D.C.	0.88	0.94				
	a	0.94	0.97				
2005	D.C.	0.91					
	a	0.96					

Σε γενικές γραμμές, από τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται ότι τα ποσοστά διπλής και μονής κάλυψης που επιτεύχθηκαν με χρήση δεδομένων προηγούμενων ετών είναι αρκετά ικανοποιητικά, καθώς κυμαίνονται σε επίπεδα κοντά στο 90% και άνω με χαμηλότερο ποσοστό διπλής κάλυψης το 88% το οποίο παρουσιάζεται για δύο έτη στόχους και για βάθος ενός έτους και διετίας. Το μεγαλύτερο ποσοστό διπλής κάλυψης επιτυγχάνεται για βάθος χρόνου τετραετίας για το έτος στόχο 2008, όπου η διπλή κάλυψη φτάνει το 95%. Επιπλέον, σε αρκετές από τις χωροθετήσεις που πραγματοποιήθηκαν, επιτεύχθηκε ο στόχος για ποσοστό μονής κάλυψης άνω του 95% και πιο συγκεκριμένα σε 14 από τις 21 χωροθετήσεις, ενώ το χαμηλότερο ποσοστό που επιτεύχθηκε είναι 94%, το οποίο συνεπάγεται ότι και στις υπόλοιπες περιπτώσεις τα αποτελέσματα κυμάνθηκαν πολύ κοντά στο στόχο. Ακόμα, παρατηρείται ότι δεν παρουσιάζεται κάποιο συγκεκριμένο πρότυπο αύξησης ή μείωσης της κάλυψης της ζήτησης όσο αυξάνεται το βάθος χρόνου των δεδομένων ανά έτος.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα στατιστικά στοιχεία για τα αποτελέσματα των χωροθετήσεων που πραγματοποιήθηκαν ομαδοποιημένα ανά βάθος χρόνου (Πίνακας 8 και 9).

Πίνακας 8: Στατιστικά στοιχεία ποσοστού διπλής κάλυψης ανά βάθος χρόνου

Βάθος χρόνου	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή
1 έτος	0.899	0.020	0.877	0.931
2 έτη	0.913	0.025	0.876	0.937
3 έτη	0.913	0.022	0.890	0.943
4 έτη	0.936	0.011	0.930	0.949
5 έτη	0.916	0.016	0.905	0.927

Από τον Πίνακα 8, παρατηρείται ότι η μεγαλύτερη μέση τιμή διπλής κάλυψης επιτεύχθηκε με τα δεδομένα τεσσάρων ετών (93.6%), ενώ η μικρότερη με δεδομένα ενός έτους (89.9%), ενώ δεδομένα διετίας, τριετίας και πενταετίας επέφεραν παρόμοια αποτελέσματα, με μέσο ποσοστό διπλής κάλυψης 91.3 και 91.6%. Τα δεδομένα τετραετίας πέραν της υψηλότερης μέσης διπλής κάλυψης, παρουσιάζουν ταυτόχρονα και τη μικρότερη τυπική απόκλιση (0.011), κάτι που συνεπάγεται ότι σε όλες τις περιπτώσεις επέφεραν αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα. Την επόμενη μικρότερη τυπική απόκλιση παρουσιάζουν τα δεδομένα πενταετίας ενώ τη μεγαλύτερη παρουσιάζουν τα δεδομένα διετίας. Επιπλέον, με τα δεδομένα τεσσάρων ετών, επιτεύχθηκε η μέγιστη τιμή διπλής κάλυψης επί του συνόλου, με ποσοστό 94.9%, ενώ η ελάχιστη τιμή προήλθε από τα δεδομένα πενταετίας.

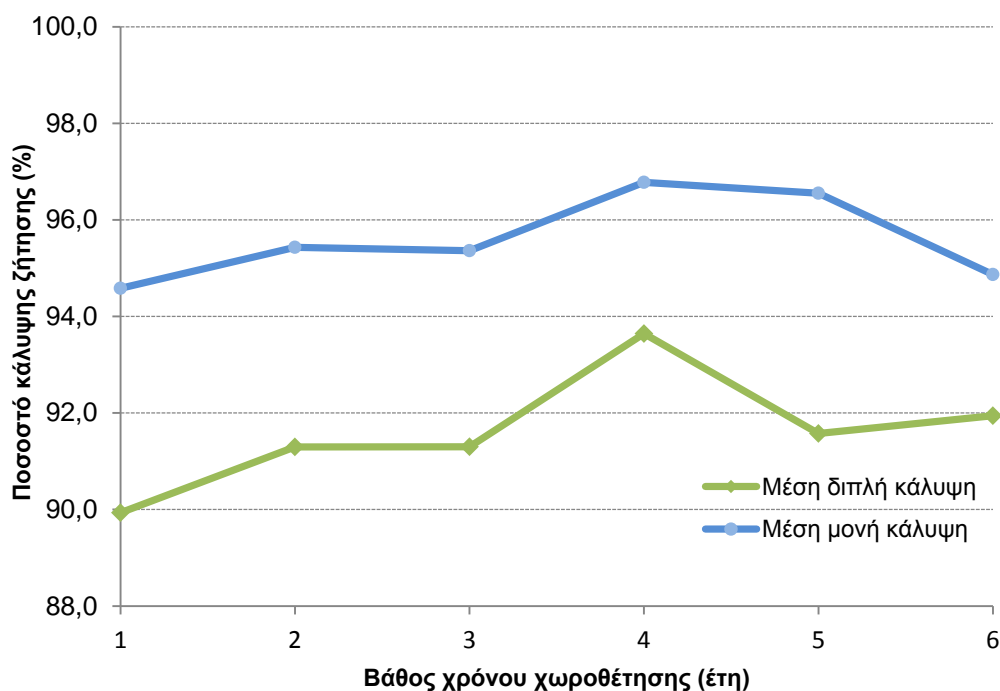
Από τα παραπάνω, συμπεραίνεται ότι τα δεδομένα τετραετίας είναι περισσότερο κατάλληλα σε σχέση με τα υπόλοιπα δεδομένα που διερευνήθηκαν για να χρησιμοποιηθούν για χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην περιοχή μελέτης σύμφωνα με τη συγκεκριμένη μεθοδολογία καθώς παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη μέση τιμή, τη μεγαλύτερη εκ των μέγιστων τιμών και παράλληλα τη μικρότερη τυπική απόκλιση όσο αφορά στο ποσοστό διπλής κάλυψης που επιτυγχάνεται.

Πίνακας 9: Στατιστικά στοιχεία ποσοστού μονής κάλυψης ανά βάθος χρόνου

Βάθος χρόνου	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή
1 έτος	0.946	0.009	0.935	0.959
2 έτη	0.954	0.012	0.937	0.967
3 έτη	0.954	0.016	0.938	0.970
4 έτη	0.968	0.007	0.960	0.973
5 έτη	0.966	0.007	0.961	0.970

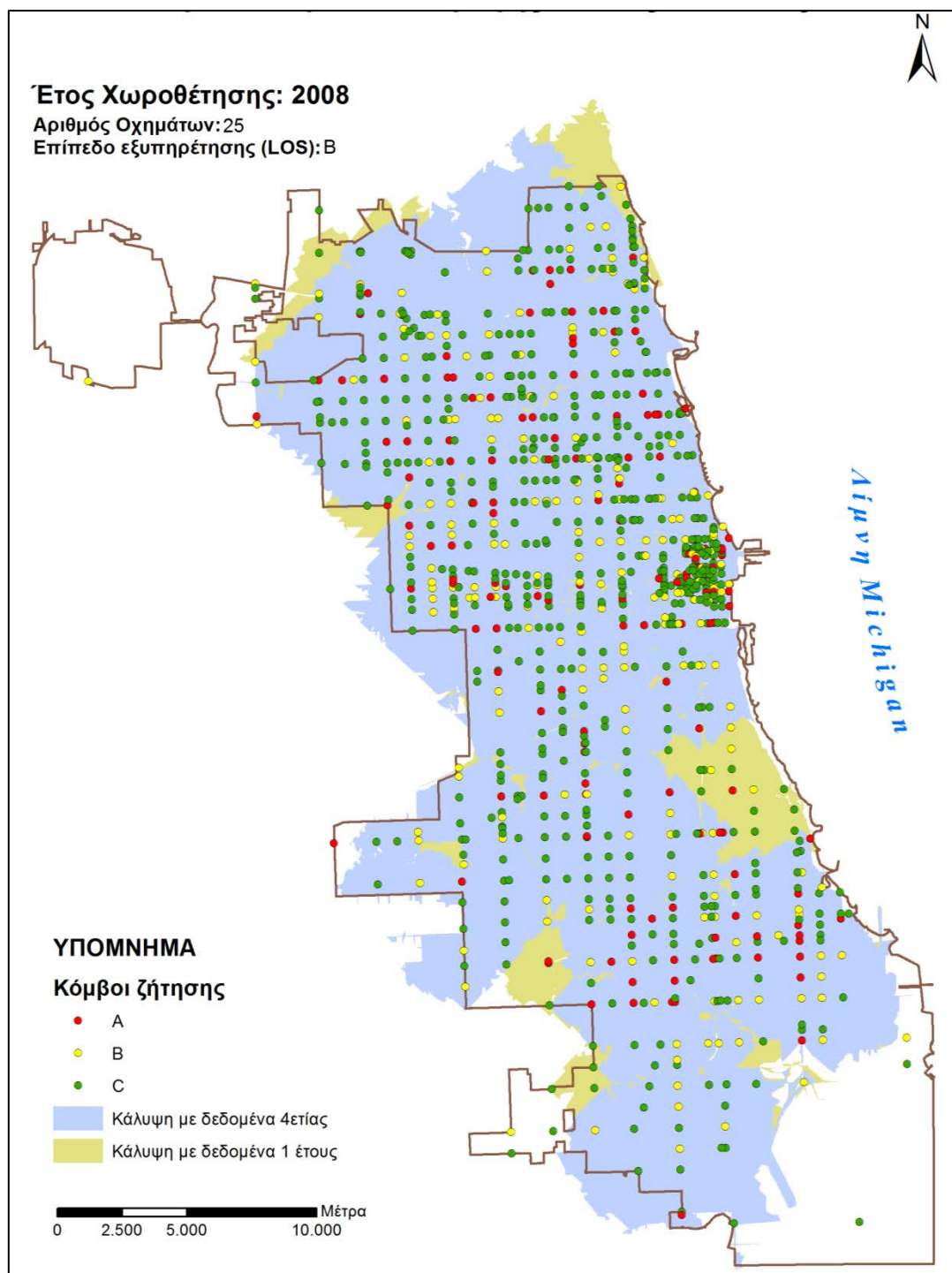
Όσο αφορά στα αποτελέσματα της μονής κάλυψης που επιτεύχθηκαν κατά τη διερεύνηση, τα δεδομένα τεσσάρων ετών υπερέρχουν και πάλι με ποσοστό 96.8%, ενώ πολύ κοντά βρίσκονται και τα δεδομένα πενταετίας με ποσοστό 96.6%. Οι δύο αυτές ομάδες δεδομένων παρουσιάζουν επιπλέον και την ίδια τυπική απόκλιση (0.007) καθώς και τις υψηλότερες εκ των μέγιστων τιμών (97.3% και 97%). Οι ελάχιστες τιμές που επιτεύχθηκαν με δεδομένα τετραετίας και πενταετίας είναι αντίστοιχα 96.0% και 96.1%, κάτι που συνεπάγεται ότι σε κάθε περίπτωση καλύφθηκε ο στόχος του 95% για μονή κάλυψη. Παρόμοια αποτελέσματα όσο αφορά τα ποσοστά μονής κάλυψης φαίνεται να επιτυγχάνουν τα δεδομένα διετίας και τριετίας με ακριβώς την ίδια μέση τιμή (95.4%), με τα δεδομένα διετίας να υπερέρχουν καθώς παρουσιάζουν μικρότερη τυπική απόκλιση. Χειρότερη επίδοση όλων φαίνεται

να έχουν τα δεδομένα ενός έτους που παρουσιάζουν τη μικρότερη μέση τιμή αλλά και τη μικρότερη εκ των ελάχιστων τιμών. Τα αποτελέσματα που περιγράφηκαν παραπάνω παρουσιάζονται σε μορφή διαγράμματος στο Σχήμα 30.



Σχήμα 30: Μέση τιμή μονής και διπλής κάλυψης ανά βάθος χρόνου χωροθέτησης

Από το παραπάνω διάγραμμα αποκτάται μια γενική εικόνα των αποτελεσμάτων. Παρά το γεγονός ότι η διαφορά μεταξύ ελάχιστης και μέγιστης μέσης τιμής της διπλής κάλυψης δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλη (περίπου 4%), η διαφορά των δεδομένων τετραετίας είναι εμφανής σε σχέση με τα υπόλοιπα. Ενδεικτικά, στο Σχήμα 31, παρουσιάζεται η αύξηση της κάλυψης που επιτυγχάνεται με χρήση δεδομένων τετραετίας σε σχέση με δεδομένα μόνο από το προηγούμενο έτος για τη χωροθέτηση του έτους 2008. Εν γένει, η ζήτηση δεν είναι συγκεντρωμένη σε συγκεκριμένες υποπεριοχές της περιοχής μελέτης, οι οποίες θα μπορούσαν να μεταβάλλονται διαχρονικά αλλά καλύπτει σχεδόν όλη την έκταση της περιοχής μελέτης. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τον περιορισμό κάλυψης ολόκληρης της ζήτησης εντός χρονικής ακτίνας r_2 , οδηγεί σε μικρές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών χρονικών περιόδων που ελέγχθηκαν. Κατ' επέκταση η διαφοροποιήσεις από έτος σε έτος της ζήτησης δεν προκαλούν ιδιαίτερη μεταβολή των θέσεων χωροθέτησης με αποτέλεσμα οι χωροθετήσεις με δεδομένα προηγούμενων ετών να καλύπτουν κατά μεγάλο ποσοστό την ζήτηση του έτους στόχου, εφόσον το επίπεδο εξυπηρέτησης και ο αριθμός οχημάτων είναι επαρκής. Επιπλέον, το γεγονός ότι στις περισσότερες περιπτώσεις οι χωροθετήσεις που πραγματοποιήθηκαν έφτασαν το στόχο του 95% για τη μονή κάλυψη είναι ιδιαίτερο ενθαρρυντικό.



Σχήμα 31: Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης για το έτος 2008, με δεδομένα εισαγωγής ενός έτους και τετραετίας

Εν κατακλείδι, στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάστηκε η επεξεργασία των δεδομένων της περιοχής του Σικάγο και όλα τα βήματα τα οποία έλαβαν χώρα προκειμένου να πραγματοποιηθεί η χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης με χρήση του μοντέλου DSM με προσέγγιση βάσει γενετικού αλγορίθμου και με διαμόρφωση εναλλακτικών σεναρίων, σύμφωνα με τη μεθοδολογία που προτείνεται. Αρχικά, έγινε επισκόπηση της περιοχής μελέτης, όπου διαπιστώθηκε ότι εν γένει η ρυμοτομία της πόλης χαρακτηρίζεται κατά κύριο λόγο από το Ιπποδάμειο σύστημα με κάποιες διαγώνιες οδούς από το κέντρο προς τα προάστια της ευρύτερης περιοχής και

επιπλέον ορισμένους διαπολιτειακούς αυτοκινητόδρομους που διέρχονται από την περιοχή μελέτης. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε στατιστική επεξεργασία των δεδομένων που αφορούν στα τροχαία ατυχήματα, υπολογίστηκε η ζήτηση για τους 1001 κόμβους της βάσης δεδομένων για διαφορετικές χρονικές περιόδους και γενικά έγινε προετοιμασία των δεδομένων για εισαγωγή στο σύστημα ΓΠΣ, όπου και παράχθηκε ο πίνακας κόστους Π-Π ως δεδομένο εισαγωγής για τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης. Οι περισσότεροι επικίνδυνοι κόμβοι είναι κατανεμημένοι σε όλη την έκταση της περιοχής μελέτης χωρίς να παρουσιάζουν ομαδοποιήσεις πέραν του κέντρου της πόλης, ενώ 49 κόμβοι θεωρήθηκαν ασταθείς, δηλαδή παρουσίασαν μεγάλη τυπική απόκλιση για το σύνολο της χρονικής περιόδου των δεδομένων. Στη συνέχεια, αφού πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας του αλγορίθμου, καθορίζοντας τις απαιτούμενες παραμέτρους, ακολούθησε η χωροθέτηση των οχημάτων για 9 διαφορετικά σενάρια, με βάση τον αριθμό οχημάτων και τη μέση ταχύτητα επέμβασης. Η χωροθέτηση 25 οχημάτων σε επίπεδο εξυπηρέτησης Β θεωρείται αρκετά ικανοποιητική για την περιοχή μελέτης, ενώ παρατηρείται ότι η διπλή κάλυψη του συνόλου της ζήτησης δεν είναι δυνατή. Παρόλα αυτά επιτυγχάνονται ιδιαίτερα ικανοποιητικά ποσοστά κάλυψης. Τέλος, όσο αφορά στο βάθος χρόνου των δεδομένων, το γεγονός ότι η ζήτηση εκτείνεται σε όλη την περιοχή μελέτης (με κάποιες αυξομειώσεις για τα διαφορετικά έτη), ενισχύει την αποτελεσματικότητα των χωροθετήσεων σε μελλοντικό χρόνο. Τα ποσοστά που επιτεύχθηκαν ήταν ιδιαίτερα υψηλά (περί το 95%), παρόλα αυτά, μετά από στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, το βάθος χρόνου τετραετίας αποδεικνύεται ως πιο κατάλληλο, καθώς επιτυγχάνει την μέγιστη διπλή κάλυψη και με τη μικρότερη τυπική απόκλιση.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Είναι γεγονός πως με το πέρασμα των χρόνων γίνονται όλο και περισσότερες ενέργειες για αυξημένη παροχή οδικής ασφάλειας ειδικά σε περιοχές που παρουσιάζουν υψηλά επίπεδα τροχαίων ατυχημάτων. Τα ΣΑΕ έχουν καθοριστικό ρόλο στην προσπάθεια αυτή, κυρίως στο τμήμα που αφορά στην αντιμετώπιση ενός τροχαίου ατυχήματος από τη χρονική στιγμή που αυτό λαμβάνει χώρα έως τη χρονική στιγμή που παρέχεται η απαραίτητη ιατρική βοήθεια στους εμπλεκόμενους στο ατύχημα. Ωστόσο ο σχεδιασμός των συστημάτων άμεσης επέμβασης είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη διαδικασία. Η έρευνα που έχει εκπονηθεί τις τελευταίες δεκαετίες και οι μελέτες περίπτωσης που έχουν εφαρμοστεί καταδεικνύουν τη χρησιμότητα των μοντέλων χωροθέτησης κατά το σχεδιασμό ενός τέτοιου συστήματος, καθώς συνεισφέρουν στον εντοπισμό των βέλτιστων θέσεων χωροθέτησης των οχημάτων άμεσης επέμβασης.

Η εφαρμογή των μοντέλων χωροθέτησης έχει πραγματοποιηθεί με ποικίλους τρόπους επίλυσης. Ωστόσο τα τελευταία χρόνια, σημαντικό έδαφος έχουν κερδίσει οι γενετικοί αλγόριθμοι, η ευρωστία των οποίων έχει αποδειχθεί ότι προσφέρει καλύτερες και ταχύτερες επιλύσεις προβλημάτων τέτοιας φύσης αποφεύγοντας τον εγκλωβισμό των λύσεων σε τοπικά ακρότατα. Επίσης, λόγω της χωρικής φύσης του προβλήματος, σημαντικό ρόλο κατέχουν στην όλη διαδικασία τα Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα καθώς αποτελούν το ιδανικό εργαλείο για την οργάνωση των δεδομένων σε μια χωρική βάση δεδομένων και την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων. Επιπλέον τα ΓΠΣ προσφέρουν ευκολία στους υπολογισμούς και στην προετοιμασία των δεδομένων εισαγωγής στον αλγόριθμο βελτιστοποίησης. Παρά ταύτα, η συνεργασία των ΓΠΣ και των γενετικών αλγορίθμων σε ένα ενιαίο σύστημα επίλυσης βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο, με τις περισσότερες μελέτες να περιορίζονται στη μεταφορά δεδομένων μεταξύ των δύο συστημάτων.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, το μοντέλο χωροθέτησης διπλής κάλυψης (Double Standard Model – DSM) των Gendreau και Laporte, χρησιμοποιείται για τη χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στη πόλη του Σικάγο, Ιλλινόις, με επίλυση του προβλήματος μέσω γενετικού αλγορίθμου με διαμόρφωση εναλλακτικών σεναρίων και επεξεργασία των αποτελεσμάτων σε ένα ΓΠΣ. Σκοπός του εν λόγω μοντέλου χωροθέτησης είναι η μεγιστοποίηση της διπλής κάλυψης της ζήτησης της περιοχής μελέτης ταυτόχρονα με κάποιους επιπλέον περιορισμούς, σημαντικότερος εκ των οποίων η κάλυψη του 95% της ζήτησης τουλάχιστον μία φορά εντός συγκεκριμένης χρονικής ακτίνας. Με αυτόν τον τρόπο περιορίζεται η πιθανότητα μη εξυπηρέτησης κάποιας κλήσης ανάγκης λόγω απασχόλησης του αρμόδιου οχήματος σε κάποιο άλλο περιστατικό. (Gendreau et al., 2001) Τα δεδομένα τροχαίων ατυχημάτων που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη προέρχονται από τη βάση δεδομένων του Ινστιτούτου Τεχνολογίας του Ιλλινόις των Η.Π.Α. (Illinois Institute of Technology, Chicago, Illinois, U.S.A.) και αφορούν στη χρονική περίοδο 2004 – 2010 και σε 1001 κόμβους του οδικού δικτύου της πόλης του Σικάγο.

Όσο αφορά στα δεδομένα των ατυχημάτων, υπολογίστηκε η ζήτηση των κόμβων υπό διερεύνηση, βάσει του συνολικού κόστους των ατυχημάτων που είναι καταγεγραμμένα σε αυτούς. Ιδιαίτερα για χρονικές περιόδους μεγαλύτερες του ενός έτους, αναπτύχθηκε η μεθοδολογία υπολογισμού της ζήτησης έτσι ώστε ο τρόπος υπολογισμού να λαμβάνει υπόψη τη διακύμανση τη ζήτησης διαχρονικά. Ως αποτέλεσμα ένας κόμβος για να έχει μεγάλη ζήτηση και μεγαλύτερη ανάγκη για κάλυψη, δεν αρκεί να παρουσιάζει μεγάλο κόστος, αλλά και σταθερότητα διαχρονικά. Στη συνέχεια, έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία, τα δεδομένα εισάχθηκαν σε ένα σύστημα ΓΠΣ, για τον υπολογισμό των δεδομένων εισαγωγής στον γενετικό αλγόριθμο επίλυσης.

Κατά το σχεδιασμό του γενετικού αλγορίθμου καθορίστηκαν οι βασικές παράμετροι αυτού, όπως το μέγεθος του πληθυσμού, ο δείκτης μετάλλαξης και ο δείκτης διασταύρωσης μετά από την ανάλυση ευαισθησίας που πραγματοποιήθηκε. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης καταδεικνύουν ότι τα αποτελέσματα που επέφεραν οι διαφορετικοί συνδυασμοί παραμέτρων που εξετάστηκαν δεν παρουσιάζουν πολύ μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ τους, γεγονός που συνεπάγεται τη σταθερότητα του αλγορίθμου καθώς είναι κάθε φορά σε θέση να εντοπίσει κατά προσέγγιση τη βέλτιστη λύση, ανεξαρτήτως των επιμέρους τιμών των παραμέτρων του. Παρ' όλα αυτά επιλέχθηκε ο συνδυασμός ($n = 50$, $p_c = 0.40$, $p_m = 0.02$). Επιπλέον επιβεβαιώνεται η ευρωστία του γενετικού αλγορίθμου, καθώς η βελτίωση των αποτελεσμάτων μετά τα πρώτα πέντε λεπτά λειτουργίας του δεν ξεπερνάει το 2 - 3%.

Στη συνέχεια ελέγχθηκαν εννέα διαφορετικά σενάρια, όσο αφορά στις δύο βασικές παραμέτρους του προβλήματος, την μέση ταχύτητα των οχημάτων και τον αριθμό των οχημάτων. Από τη διερεύνηση προέκυψε πως εν γένει, για σταθερό αριθμό οχημάτων, ευνοϊκότερο επίπεδο εξυπηρέτησης συνεπάγεται αύξηση του ποσοστού κάλυψης αλλά και αντίστροφα, για σταθερό επίπεδο εξυπηρέτησης, αύξηση του αριθμού των οχημάτων συνεπάγεται αύξηση του ποσοστού της καλυπτόμενης ζήτησης. Ωστόσο, μεγαλύτερες θετικές επιπτώσεις φαίνεται να έχει η αύξηση του αριθμού των οχημάτων σε περιπτώσεις χαμηλών ταχυτήτων σε σχέση με τα υψηλότερες, όπου ικανοποιητικά επίπεδα κάλυψης είναι δυνατόν να επιτευχθούν και με χρήση μικρότερου αριθμού οχημάτων. Γι αυτό το λόγο, το επίπεδο εξυπηρέτησης A παρουσιάζει μεγαλύτερο εύρος τιμών για τα ποσοστά κάλυψης σε σχέση με το αντίστοιχα των επιπέδων εξυπηρέτησης B και C. Το επίπεδο εξυπηρέτησης C ήταν το περισσότερο ευνοϊκό, αποφέροντας ιδιαίτερα καλά αποτελέσματα για όλους τους διαφορετικούς αριθμούς οχημάτων που ελέγχθηκαν, ενώ το μέσο σενάριο με επίπεδο εξυπηρέτησης B και 25 διαθέσιμα προς χωροθέτηση οχήματα θεωρείται ικανοποιητικό για την περιοχή μελέτης. Όμως ο βέλτιστος συνδυασμός δεν μπορεί να οριστεί μονοσήμαντα. Είναι απόρροια του εκάστοτε επιδιωκόμενου στόχου και των αντίστοιχων περιορισμών.

Έπειτα, πραγματοποιήθηκε έλεγχος χωροθετήσεων βάσει δεδομένων προηγούμενων ετών με σκοπό την αναζήτηση του ιδανικού βάθους χρόνου που αποφέρει τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα για το έτος – στόχο. Σε γενικές γραμμές η μη ομαδοποίηση της ζήτησης σε συγκεκριμένες υποπεριοχές σε διαφορετικές χρονικές περιόδους, σε συνδυασμό με τον περιορισμό κάλυψης εντός χρονικής απόστασης r_2 αλλά και με ένα ικανοποιητικό επίπεδο εξυπηρέτησης και αριθμό οχημάτων προσφέρουν ιδιαίτερα ικανοποιητικά αποτελέσματα. Τα ποσοστά διπλής

και μονής κάλυψης που επιτεύχθηκαν κυμαίνονται σε επίπεδα κοντά στο 90% και άνω με χαμηλότερο ποσοστό διπλής κάλυψης το 88% το οποίο παρουσιάζεται για δύο έτη στόχους και για βάθος χρόνου ενός έτους και διαιτίας αντίστοιχα. Ο στόχος του 95% για τη μονή κάλυψη επιτεύχθηκε στις 14 από τις 21 περιπτώσεις που ελέγχθηκαν. Το μεγαλύτερο ποσοστό διπλής κάλυψης επιτυγχάνεται για βάθος χρόνου τετραετίας για το έτος στόχο 2008, όπου η διπλή κάλυψη φτάνει το 95%. Γενικά το βάθος χρόνου τετραετίας προτείνεται ως το ιδανικότερο, καθώς παρουσιάζει τη μεγαλύτερη μέση διπλή κάλυψη της ζήτησης με τη μικρότερη τυπική απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων για διαφορετικά έτη – στόχους.

Η δυναμική φύση του προβλήματος δεν ήταν δυνατό να ληφθεί υπόψη στην παρούσα εργασία, λόγω έλλειψης δεδομένων πραγματικού χρόνου. Το μοντέλο DSM άλλωστε, όπως αυτό προτάθηκε αρχικά, είναι απλούστερο από άλλα που περιγράφονται στη διεθνή βιβλιογραφία, καθώς δεν συμπεριλαμβάνει σύνθετες στοχαστικές παραμέτρους, οι οποίες είναι εν γένει δύσκολο να μετρηθούν και να εκτιμηθούν επί του πρακτέου. Η μεθοδολογία του σχεδιάστηκε με σκοπό να είναι γρήγορη, εύρωστη και παράγει υψηλής ποιότητας λύσεις υπό πραγματικές συνθήκες. Για το λόγο αυτό διερευνήθηκαν διαφορετικά επίπεδα εξυπηρέτησης. Ωστόσο, η χρησιμότητα δεδομένων εισαγωγής πραγματικού χρόνου, με πληροφορίες σχετικά με τη κατάσταση του οδικού δικτύου θα βελτίωναν κατά πολύ την ακρίβεια της όλης διαδικασίας. Ένα τέτοιο μοντέλο αναπτύχθηκε από τους Gendreau et al. το 2001 και λαμβάνει υπ' όψιν πέραν των περιορισμών για την επιθυμητή κάλυψη και την ικανότητα των οχημάτων και μία σειρά άλλων περιορισμών της δυναμικής φύσης του προβλήματος, ενώ το πρόβλημα επαναχωροθέτησης επιλύεται κάθε χρονική στιγμή κατά την οποία καταγράφεται κάποια εισερχόμενη κλήση ανάγκης. (Gendreau et al., 2001). Το πρόβλημα της μεταβαλλόμενης της ταχύτητας του οχήματος δεν είναι εύκολο να αντιμετωπιστεί με ακρίβεια ακόμα και με τη διάθεση δεδομένων πραγματικού χρόνου, καθώς ένα όχημα άμεσης επέμβασης δεν αποτελεί τυπική περίπτωση. Επιπλέον η ταχύτητα επηρεάζεται από πολλές συνιστώσες της πραγματικότητας οι οποίες μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της ημέρας, από μέρα σε μέρα ή σε διαφορετικές εποχές του χρόνου, εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες, την κυκλοφοριακή κατάσταση, τον οδηγό του οχήματος και πολλές φορές είναι απρόβλεπτες, όπως για παράδειγμα η συμφόρηση που προκαλεί το ατύχημα-στόχος. Οι Budge et al. το 2008 στο Calgary του Καναδά, “απαλλάχθηκαν” από το πρόβλημα της ταχύτητας καθώς κατάφεραν να εκτιμήσουν, με ακρίβεια μέσω παραμετρικής σχέσης, τον τρόπο με τον οποίο ο χρόνος διαδρομής των ασθενοφόρων σχετίζεται με την απόσταση αλλά και πως το μοντέλο αυτό μπορεί να συνεισφέρει στα προβλήματα χωροθέτησης ασθενοφόρων. (Budge et al., 2010)

Μια ακόμα συνιστώσα του προβλήματος είναι αυτή των διαθέσιμων χρόνων – στόχων από την κλήση ανάγκης μέχρι την απόκριση κάποιου οχήματος. Δεν υπάρχει κάποιος παγκοσμίως θεσμοθετημένος αποδεκτός χρόνος απόκρισης παρά μόνο κάποιες μη επικαιροποιημένες οδηγίες. Η ανάγκη για θεσμοθετημένα όρια προκύπτει από την ανάγκη αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας ενός συστήματος και την ανάγκη για έλεγχο απορρόφησης περισσότερων πόρων. (Fitch, 2005) Ο κάθε αρμόδιος φορέας θέτει στόχους οι οποίοι διαφοροποιούνται ανά τον κόσμο, γεγονός που προκαλεί σύγχυση στους σχεδιαστές των συστημάτων άμεσης επέμβασης. Μια από τις παραμέτρους αυτές, στο μοντέλο DSM, είναι η παράμετρος a , της μονής

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

κάλυψης, η οποία θα πρέπει να είναι 95% εντός συγκεκριμένης χρονικής ακτίνας. Η χρονική ακτίνα διαφέρει ανάλογα με τους στόχους που έχουν τεθεί προκαλώντας μεγάλες διαφοροποιήσεις και στα αποτελέσματα μιας διαδικασίας χωροθέτησης. Ωστόσο, όπως επισημαίνεται και από τον Κεπαπτσόγλου et al. (2012) και τον Gendreau et al. (1997), υψηλές τιμές της παραμέτρου μπορεί να είναι περιοριστικές χωρίς να επιφέρουν εφικτή επίλυση του προβλήματος. Το γεγονός αυτό διαπιστώθηκε και στην παρούσα εργασία μόνο όμως σε περιπτώσεις χαμηλού επιπέδου εξυπηρέτησης ή μικρού αριθμού διαθέσιμων οχημάτων.

Εν γένει η επίλυση δεν είναι εφικτή όταν εκτός από την παράμετρο a και οι r_1 , r_2 είναι ιδιαίτερα περιοριστικές ή αυστηρές. Στην πραγματικότητα κανένα μοντέλο δεν μπορεί να εγγυηθεί εφικτή λύση σε όλες τις περιπτώσεις, καθώς η ζήτηση των ασθενοφόρων είναι στοχαστικό φαινόμενο. Όταν δεν υπάρχει εφικτή λύση, οι απαραίτητες ενέργειες για επίλυση του προβλήματος είναι η αύξηση του αριθμού των διατιθέμενων οχημάτων ή η χαλάρωση των περιορισμών.

Βιβλιογραφία

Alsalloum, O.I. & Rand, G.K., 2003. A goal-programming model applied to the EMS system at Riyadh City, Saudi Arabia. *Lancaster University Management School*, p.Working Paper 2003: 035.

Aly, A. & White, A., 1987. Probabilistic formulation of the emergency service location problem. *J Opl Res Soc*, 29, pp.1167-79.

Anon., n.d. *OpenStreetMap, The free wiki world map*. [Online] Available at: <http://www.openstreetmap.org> [Accessed 5 Δεκέμβριος 2012].

Arifin, S., 2010. *Location allocation problem using genetic algorithm and simulated annealing: A case study based on scholl in Enschede*. Enschede: M.Sc. Thesis, University of Twente.

Athanasiou, F. & Photis, Y.N., 2004. Combinatorial locational analysis of public services in metropolitan areas. Case study in the city of Volos, Greece. In *European Regional Science Association Vol.4.*, 2004.

Bender, T. et al., 2002. Location software and interface with GIS and supply chain management. In H.H. Drezner Z, ed. *Facility Location Applications and Theory*. New York: Springer.

Branas, C., 2005. No Time to Spare: Improving Access to Trauma Care. *Leonard Davis Institute of Health Economics: Issue Brief*, 11(1).

Brotcorne, L., Laporte, G. & Semet, F., 2003. Ambulance location and relocation models. *European Journal of Operational Research* 147, pp.451 - 463.

Budge, S., Ingolfsson, A. & Zerom, D., 2010. Empirical Analysis of Ambulance Travel Times: The Case of Calgary Emergency Medical Services. *Management Science vol. 56 no. 4*, pp.716-23.

Burke, E.K. & Kendall, G., 2005. *SEARCH METHODOLOGIES: Introductory Tutorials in Optimization and Decision Support Techniques*. New York: Springer Science-i-Business Media, LLC.

Chicago City Hall, 2013. *City of Chicago*. [Online] Available at: <http://www.cityofchicago.org/city/en/about.html> [Accessed 7 May 2013].

Church, L. & ReVelle, S., 1974. The maximal covering location problem. *Pap Region Sci Assoc*, 32, pp.101-18.

Clark, D. & Cushing, B., 2002. Predicted effect of automatic crash notification on traffic mortality. *Accident Analysis and Prevention*, p. 34 (507–513).

Current, J., Daskin, M. & Schilling, D., 2002. Discrete network location models. *Springer-Verlag*.

Current, J., Daskin, M. & Schilling, D., 2001. *Discrete network location models*. Berlin: Facility Location: Applications and Theory, Springer - Verlag.

Current, J., Min, H. & Schilling, D., 1990. Multiobjective analysis of facility location decisions. *European Journal of Operational Research*, 49, pp.295-07.

Curtin, K.M., 2007. Network Analysis in Geographic Information Science: Review, Assessment, and Projections. *Cartography and Geographic Information Science*, 34(2), pp.103-11.

Das, D., 2002. Reactive power compensation for radial distribution networks using genetic algorithm. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems Volume 24, Issue 7*, p.573–581.

Daskin, M.S., 1983. A maximum expected covering location model: Formulation, properties and heuristic solution. *Transportation Science*.

Daskin, M., Hesse, S. & Reville, C., 1997. α -Reliable p-minimax regret: A new model for strategic facility location modeling. *Location Science Vol. 5, Issue 4*, p.227–246.

Daskin, M. & Stern, H., 1981. A hierarchical objective set covering model for emergency medical service vehicle deployment. *Transportation Science*, 15, pp.137-52.

Drezner, I.Z., 1984. The p-Center Problem, Heuristic and Optimal Algorithms. *Journal of Operational Research Society*, 35(8), pp.741-48.

Eaton, J. et al., 1981. On deployment of health resources in rural Valle Del Cauca, Colombia. *Management Sciences*, 17, pp.331-59.

Eaton, J., Daskin, S., Simmons, D. & Bulloch, B., 1985. Determining emergency medical deployment in Austin, Texas. *Interfaces* 15 (1), pp.96-108.

Eaton, J., Sanchez, L., Lantigua, R. & Morgan, J., 1986. Determining ambulance deployment in Santo Domingo, Dominican Republic. *Journal Operational Research Society*, 37, pp.113-26.

ESRI, 2010. *ArcGIS 10 Tutorial*.

Fischer, M.M., 2003. GIS and Network Analysis. In B.K..H.K.a.S.P. Hensher D., ed. *Handbook 5 Transport Geography and Spatial Systems*. Pergamon.

Fitch, J., 2005. Response Times: Myths, Measurement & Management. *Journal of Emergency Medical Services* 30, p.46–56.

Fujiwara, M., Kachenchai, K., Makjamroen, T. & Gupta, K., 1988. An efficient scheme for deployment of ambulances in metropolitan Bangkok. *Operational Research*, 87, pp.730-41.

Fujiwara, M., Makjamroen, T. & Gupta, K., 1987. Ambulance deployment analysis: a case study of Bangkok. *European Journal in Operational Research* 31, pp.9-18.

Gendreau, M., Laporte, G. & Semet, F., 1997. Solving an ambulance location model by tabu search. *Elsevier, Location Science, Vol. 5, No. 2*, pp.75 - 88.

Gendreau, M., Laporte, G. & Semet, F., 2001. A dynamic model and parallel tabu search heuristic for real-time ambulance relocation. *Parallel Computing 27*, pp.1641 - 1653.

Goldberg, D.E., 1989. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine*. New York.

Goldberg, J. et al., 1990. Validating and applying a model for locating emergency medical vehicles in Tucson. *Eur J Opl Res*, 49, pp.308-24.

Groom, N.K., 1977. Planning emergency ambulance services. *Opl Res Q*, 28, pp.641-51.

Hakimi, L.S., 1964. Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. *Operations Research*, 12, pp.450-59.

Harewood, I.S., 2002. Emergency ambulance deployment in Barbados: a multi-objective approach. *J Opl Res Soc* , 53, pp.185-92.

Houck, Joinest & Kays, 1996. Comparison of genetic algorithms, random restart and two-opt switching for solving large location-allocation problems. *Computers and Operations Research*, pp.vol. 23, no. 6, pp. 587-596.

Ingolfsson, A., Budge, S. & Erkut, E., 2008. Optimal ambulance location with random delays and travel times. *Health Care Management Science 11*, pp.262-74.

Jaramillo, J., Bhadury, J. & Batta, R., 2002. On The Use of Genetic Algorithms to Solve Location Problems. *Computers and Operations Research 29*, pp.761 - 779.

Kanianthra, J., Carter, A. & Perziotti, G., 2001. Enhancing post-crash vehicle safety through an Automatic Collision Notification System. *SAE International*.

Karlaftis , M.G., Kepaptsoglou , K. & Stathopoulos , A., 2004. "Optimal location of transit repair vehicles on a large urban network: A genetic algorithm based approach. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research*, pp.1879: 41 - 50.

Kepaptsoglou, K., Karlaftis, M.G. & Mintsis, G., 2012. Model for planning emergency response services in road safety. *ASCE: Journal of urban planning and development*.

Laporte, G., Louveaux, F., Semet, F. & Thirion, A., 2009. *Applications of the Double Standard Model for ambulance location*. Haidelberg: Springer – Verlag.

Larson, C.R., 1974. A hypercube queuing model for facility location and redistricting in urban emergency services. *Computers and Operations Research* , pp.67 - 95.

Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maquire, D.J. & Rhind, D.W., 2005. *Geographic Information Systems and Science, 2nd edition*. New York: Wiley.

- Marianov, V. & Serra, D., 2004. New trends in public facility location modeling. *Universitat Pompeu Fabra Economics and Business Working Paper 755*.
- McClendon, D., 2005. Expressways. *Encyclopedia of Chicago* .
- Mendonça, C. & Morabito, R., 2001. Analysing emergency medical service ambulance deployment on a Brazilian highway using the hypercube model. *J Opl Res Soc*, 52, pp.261-70.
- Mitchell, M., 1999. *An Introduction to Genetic Algorithms*. 5th ed. Cambridge, Massachusetts • London, England: A Bradford Book The MIT Press.
- Mulvey, M.J., 1996. Generating scenarios for the Towers Perrin investment system. *INTERFACES* 26 , 2, pp.1-15.
- Murawski, L. & Church, L.R., 2009. Improving accessibility to rural health services: the maximal covering network improvement problem. *Socioeconomic Planning Science* , 43, p.101–110.
- Murray, T.A., 2010. Advances in location modeling: GIS linkages and contributions. *Springer-Verlag*.
- National Safety Council, 2010. *Estimating the Costs of Unintentional Injuries*. [Online] Available at: http://www.nsc.org/news_resources/injury_and_death_statistics/Pages/EstimatingtheCostsofUnintentionalInjuries.aspx [Accessed 20 November 2012].
- OnStar, 2012. [Online] Available at: www.onstar.com [Accessed 25 November 2012].
- Ortuzar, J. & Willumsen, L.G., 2011. *Modelling Transport*. 4th ed. Wiley.
- Owen, S.H. & Daskin, M.S., 1998. Strategic facility location: A review. *European Journal of Operational Research* 111, pp.423 - 447.
- Palisade Corp., 2010. *Evolver - The genetic algorithm solver for MS Excel (Guide to using)*.
- Photis, Y.N., 1992. Locational planning on scenario-based networks. In *Proceedings of the IV World Congress of the R.S.A.I. , Vol. 1, No. 52.*, 1992.
- Repede, J.F. & Bernardo, J.J., 1994. Developing and validating a decision support system for locating emergency medical vehicles in Louisville, Kentucky. *European Journal of Operational Research* 75, pp. 567-581.
- ReVelle, S. & Hogan, K., 1989. The maximum availability location problem. *Transpn Sci*, 23, pp.192-200.
- ReVelle, C., Marks , D. & Liebman , C., 1970. An analysis of private and public sector location models. 16 (11), 692 - 707.
- Saccomanno, F., Liping, F. & Rajeev, R., 2001. Geographic Information System–Based Integrated Model for Analysis and Prediction of Road Accidents. *TRR*, pp.1768 (193-202).

Sanchez-Mangaz, R., Garcia-Ferrer, A., de Juan, A. & Martin Aroyo, A., 2010. The probability of death in road traffic accidents. How important is a quick medical response? *Accid. Anal. Prev.*, pp.42(4), 1048 - 1056.

Schilling, A.D., Jayaraman, V. & Barkhi, R., 1993. A review of covering problems in facility location. *Location Science*, pp.1: 25 - 55.

Services Office of Emergency Medical, 2012. *NHTSA*. [Online] Available at: www.ems.gov [Accessed 10 October 2012].

Takeda, A.R., Widmer, A.J. & Morabito, R., 2007. Analysis of ambulance decentralization in an urban emergency medical service using the hypercube queuing model. *Computers and Operations Research* 34, pp.727 - 741.

Trudeau, R.J., 1993. *Introduction to Graph Theory*. New York: Dover Pub.

Wells, P., 2007. Deaths and injuries from car accidents: An intractable problem? *J. Cleaner Prod.*, pp.15(11-12), 1116-1121.

Wikipedia, 2012. *Emergency medical services*. [Online] Available at: http://en.wikipedia.org/wiki/Emergency_medical_services [Accessed 12 October 2012].

Wikipedia, 2013. *Cook County, Illinois*. [Online] Available at: http://en.wikipedia.org/wiki/Cook_County,_Illinois#cite_note-2 [Accessed 18 Μαΐου 2013].

Zhu, Z. & McKnew, A., 1993. A goal programming workload balancing optimization model for ambulance allocation - An application to Shanghai, PR China. *Socio-Econ Plan Sci*, 27, pp.137-48.

Γραικούσης, Γ. & Φώτης, Γ.Ν., 2005. Χωροθέτηση πυροσβεστικών οχημάτων στο Δ. Αθηναίων με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και μεθόδων Τεχνητής Νοημοσύνης. *Τεχν. Χρον. Επιστ. Έκδ. ΤΕΕ, II, τεύχ. 1-2*, pp.49 - 56.

Κουτσόπουλος, Κ. & Ανδρουλακάκης, Ν., 2005. *Εφαρμογές του Λογισμικού ArcGIS 9x με απλά λόγια*. Αθήνα: Παπασωτηρίου.

Κωνσταντινίδου, Μ., 2010. Βέλτιστη χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στο πολεοδομικό συγκρότημα Θεσσαλονίκης - Προσέγγιση βάσει γενετικού αλγορίθμου. *Μεταπτυχιακή εργασία*.

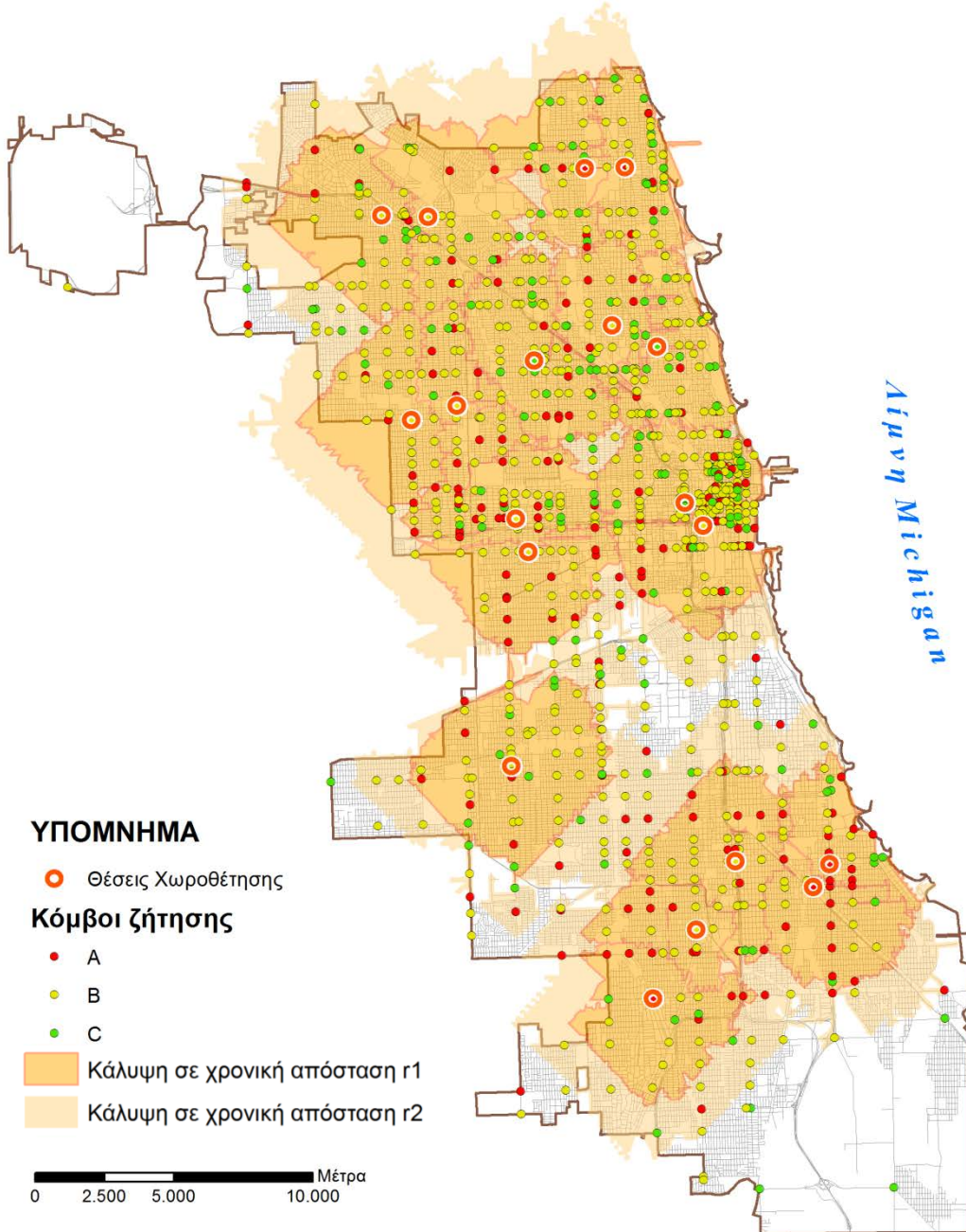
Συρίγος, Σ. & Φώτης, Γ.Ν., 2005. Χωροθετικός σχεδιασμός δικτύων αντιμετώπισης περιστατικών άμεσης ανάγκης βάσει εναλλακτικών σεναρίων: Η περίπτωση της χωροθέτησης ασθενοφόρων του ΕΚΑΒ στο πολεοδομικό συγκρότημα Βόλου – Ν. Ιωνίας. In *7ο Εθνικό Συνέδριο Ευρωπαϊκής Εταιρίας Περιφερειακής Επιστήμης (Ελληνικό τμήμα)*. Αθήνα, 2005.

Φώτης, Γ.Ν., 2000. Δείκτες εξέλιξης μαθητικών πληθυσμών και χωροθέτηση εκπαιδευτικών μονάδων. Δυο όψεις του ίδιου νομίσματος. In *Οι χωρικές διαστάσεις των δημογραφικών δεδομένων*. Βόλος, 2000.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

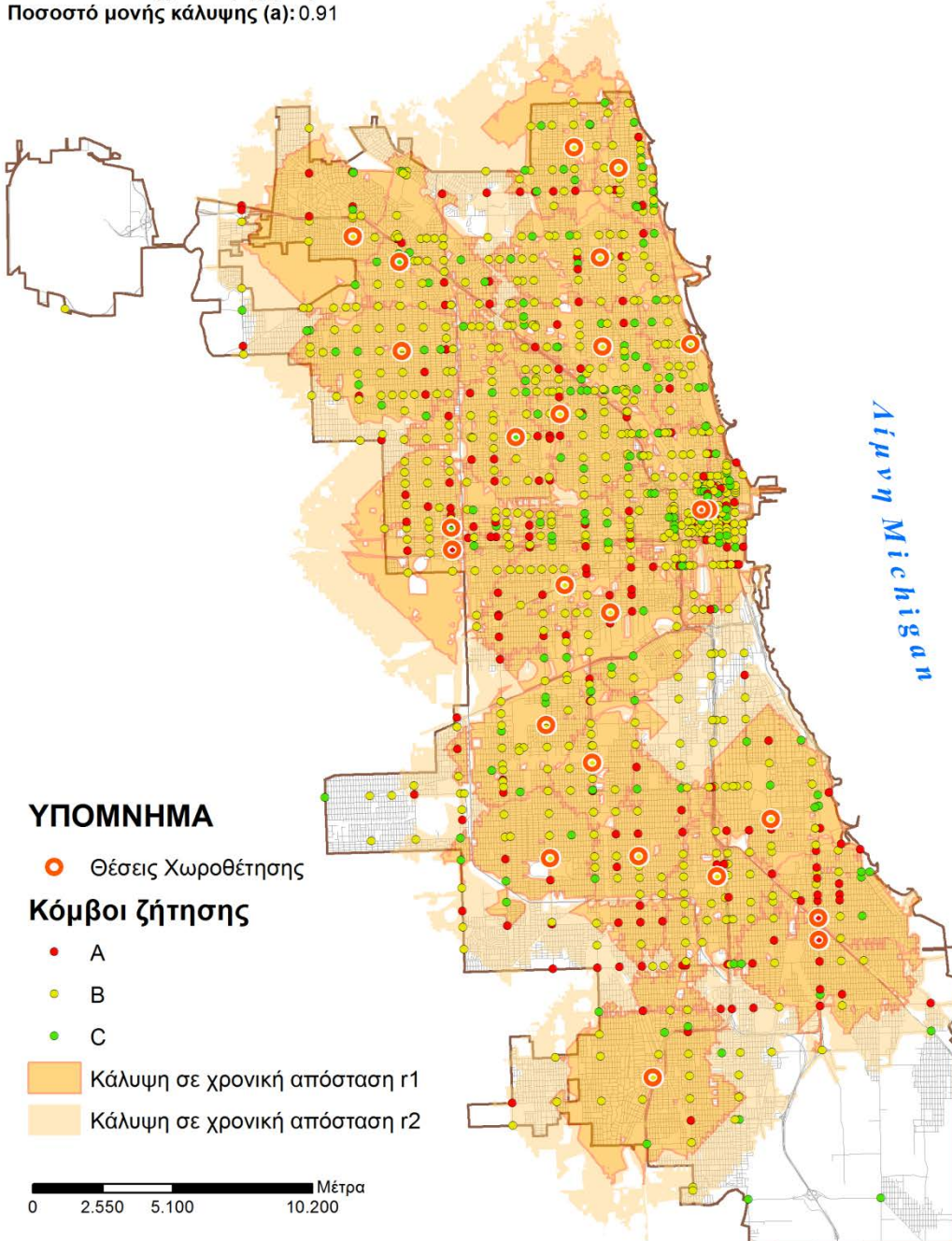
Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο

Αριθμός Οχημάτων: 20
Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS): A
Δεδομένα εισαγωγής χρον. περιόδου: 2003 - 2009
Ποσοστό διπλής κάλυψης (DC): 0.75
Ποσοστό μονής κάλυψης (a): 0.85



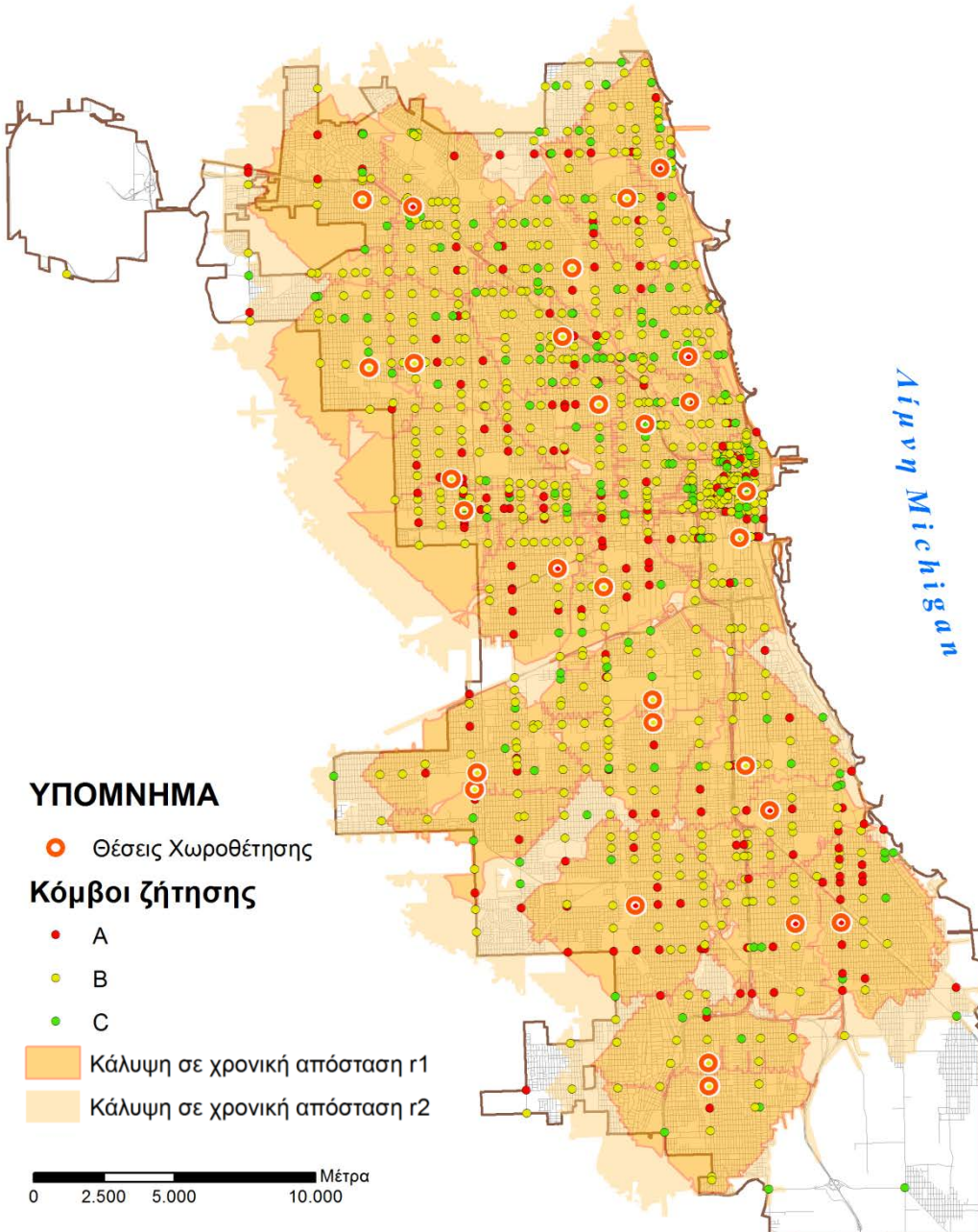
Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο

Αριθμός Οχημάτων: 25
Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS): A
Δεδομένα εισαγωγής χρον. περιόδου: 2003 - 2009
Ποσοστό διπλής κάλυψης (DC): 0.79
Ποσοστό μονής κάλυψης (a): 0.91



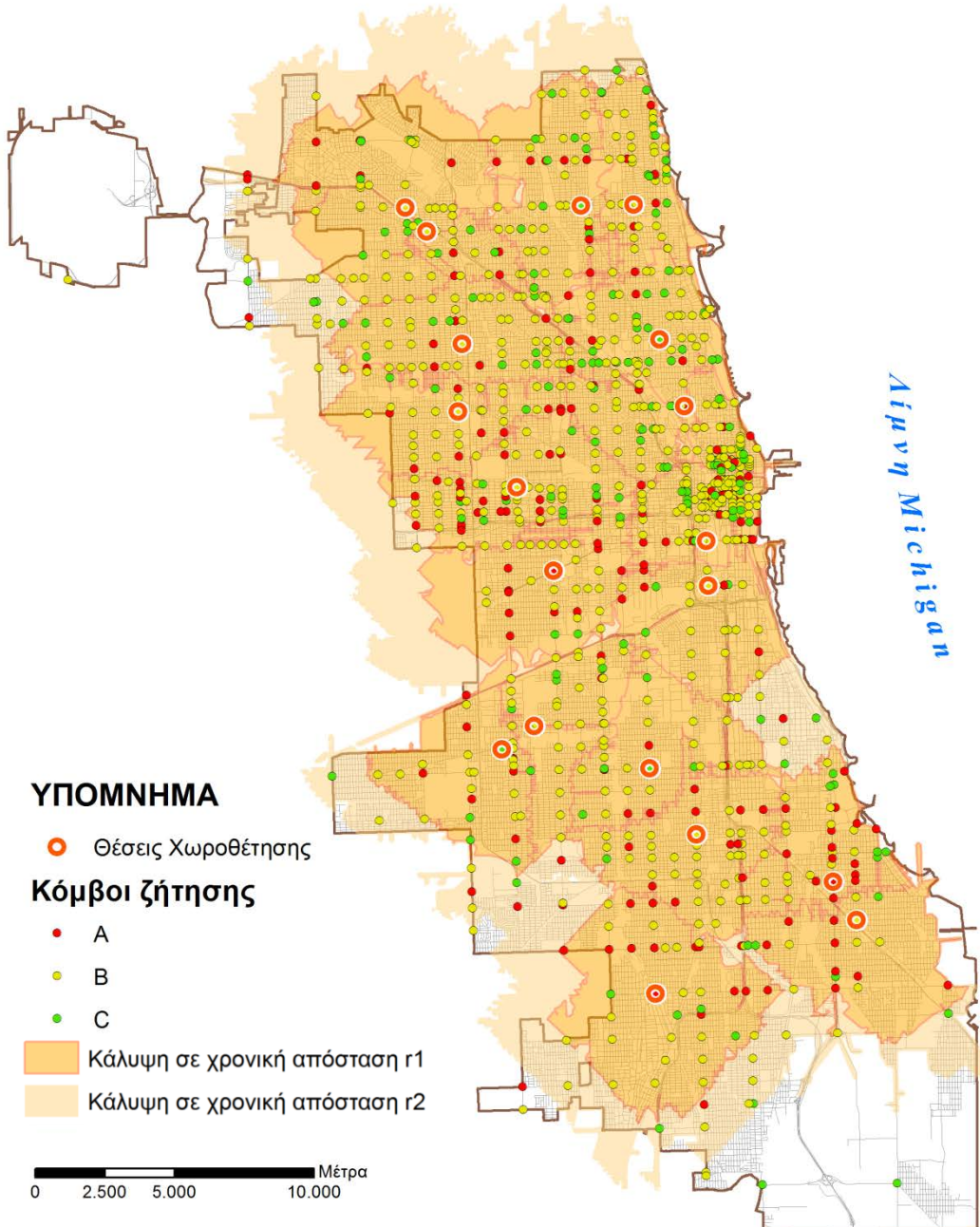
Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο

Αριθμός Οχημάτων: 30
Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS): A
Δεδομένα εισαγωγής χρον. περιόδου: 2003 - 2009
Ποσοστό διπλής κάλυψης (DC): 0.89
Ποσοστό μονής κάλυψης (a): 0.95



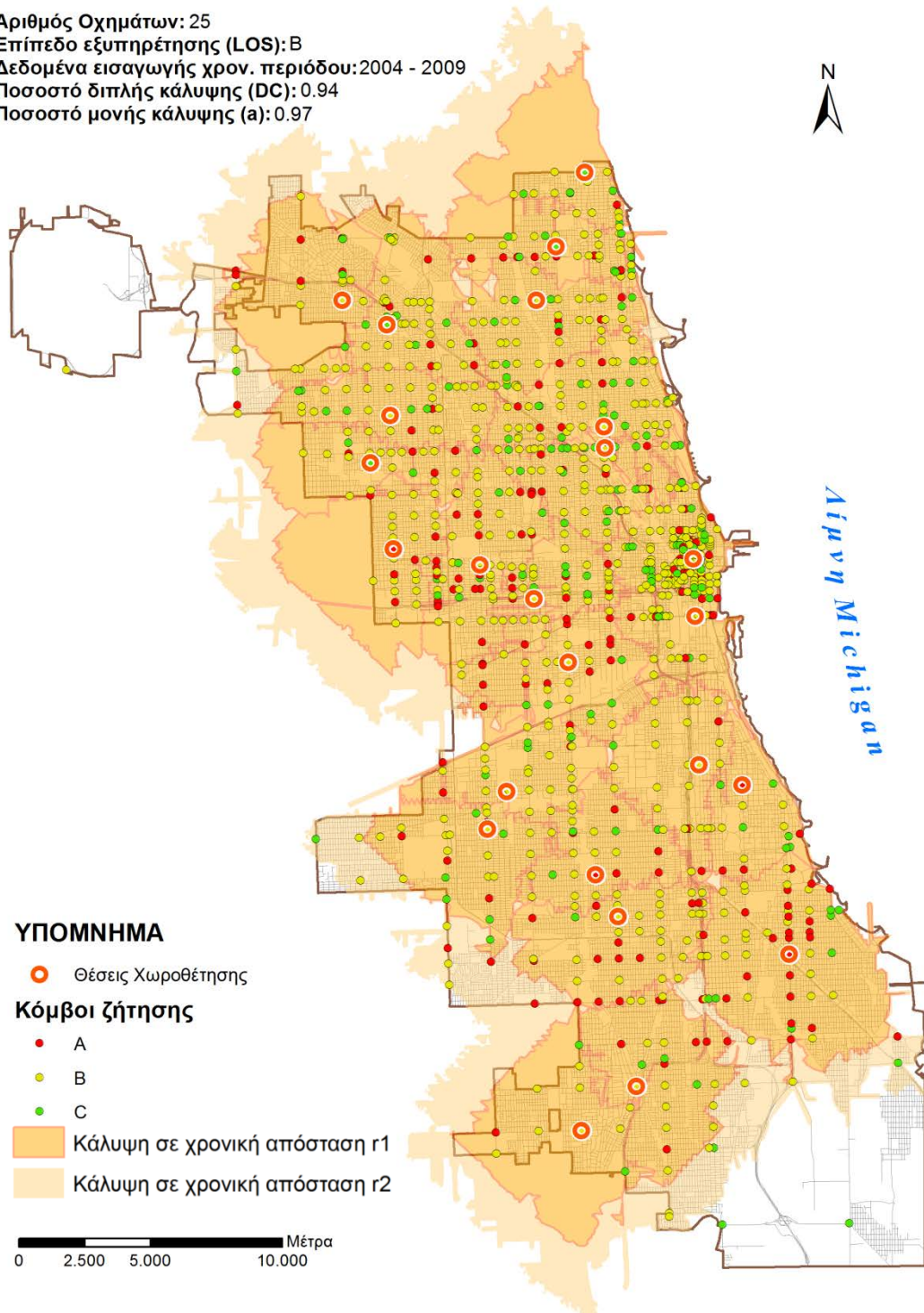
Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο

Αριθμός Οχημάτων: 20
Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS): B
Δεδομένα εισαγωγής χρον. περιόδου: 2003 - 2009
Ποσοστό διπλής κάλυψης (DC): 0.88
Ποσοστό μονής κάλυψης (a): 0.93



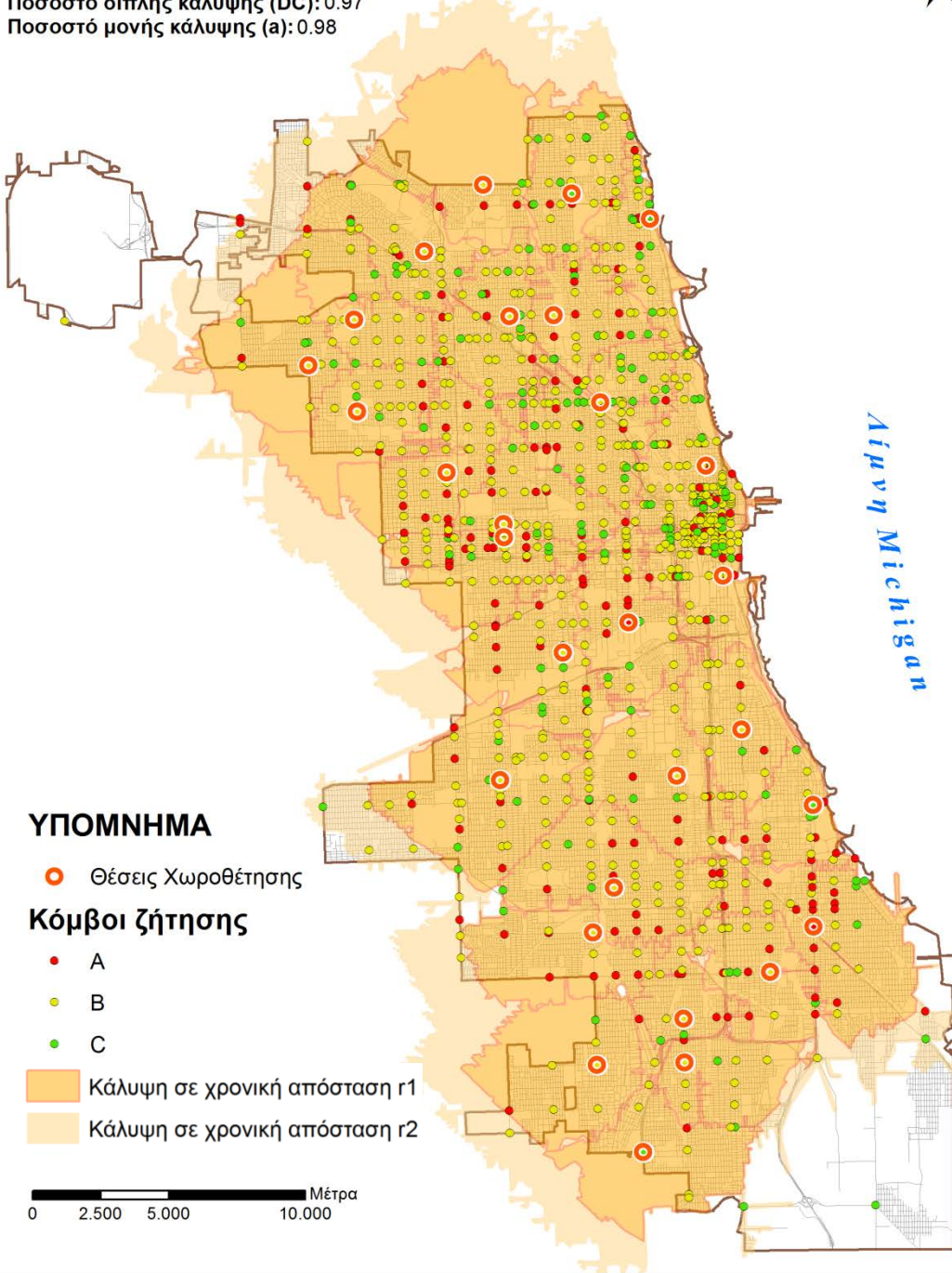
Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο

Αριθμός Οχημάτων: 25
Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS): B
Δεδομένα εισαγωγής χρον. περιόδου: 2004 - 2009
Ποσοστό διπλής κάλυψης (DC): 0.94
Ποσοστό μόνης κάλυψης (a): 0.97









Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο

Αριθμός Οχημάτων: 30
Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS): B
Δεδομένα εισαγωγής χρον. περιόδου: 2003 - 2009
Ποσοστό διπλής κάλυψης (DC): 0.97
Ποσοστό μονής κάλυψης (a): 0.98



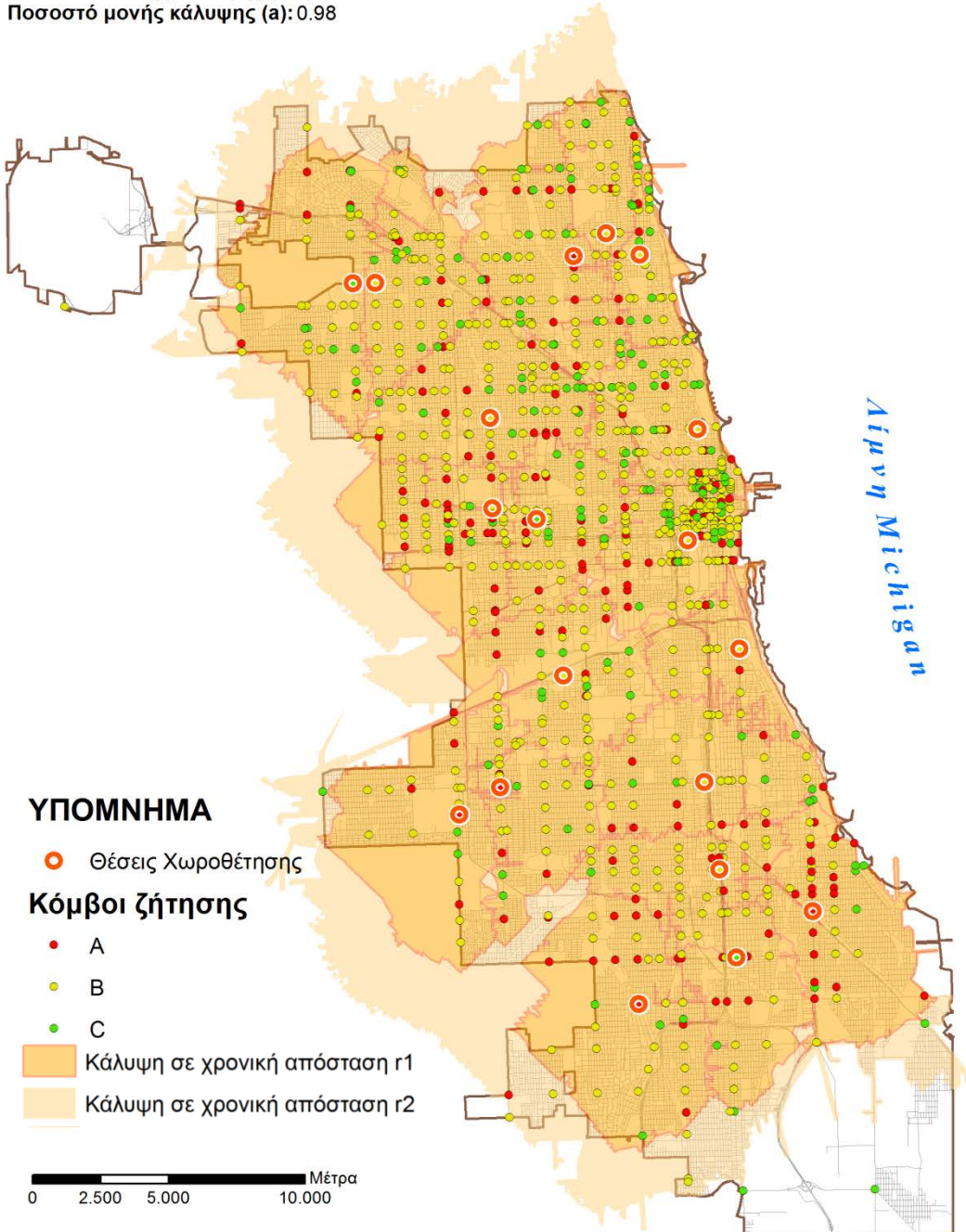
ΥΠΟΜΝΗΜΑ

-  Θέσεις Χωροθέτησης
- Κόμβοι ζήτησης**
-  A
-  B
-  C
-  Κάλυψη σε χρονική απόσταση r1
-  Κάλυψη σε χρονική απόσταση r2

0 2.500 5.000 10.000 Μέτρα

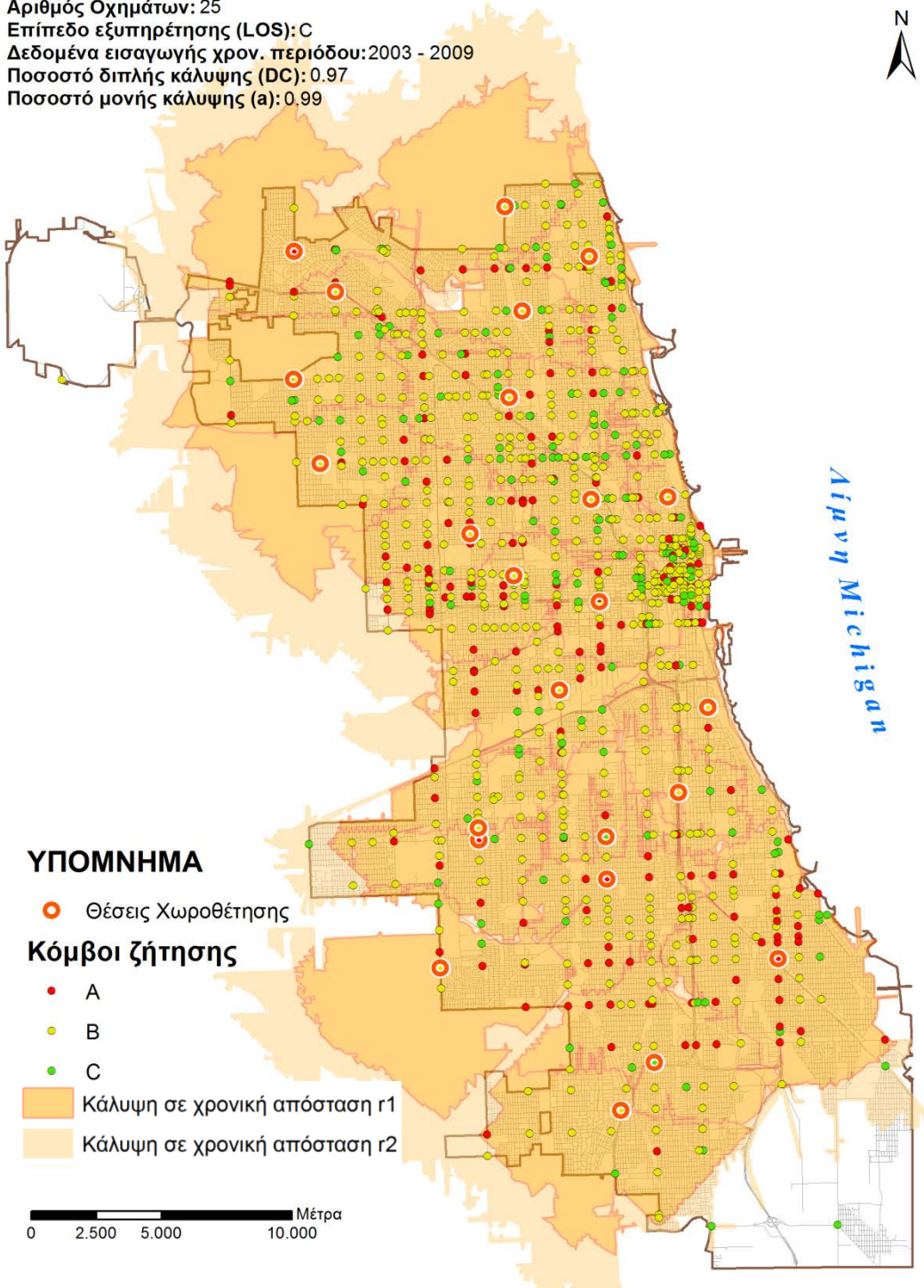
Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο

Αριθμός Οχημάτων: 20
Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS): C
Δεδομένα εισαγωγής χρον. περιόδου: 2003 - 2009
Ποσοστό διπλής κάλυψης (DC): 0.95
Ποσοστό μονής κάλυψης (a): 0.98



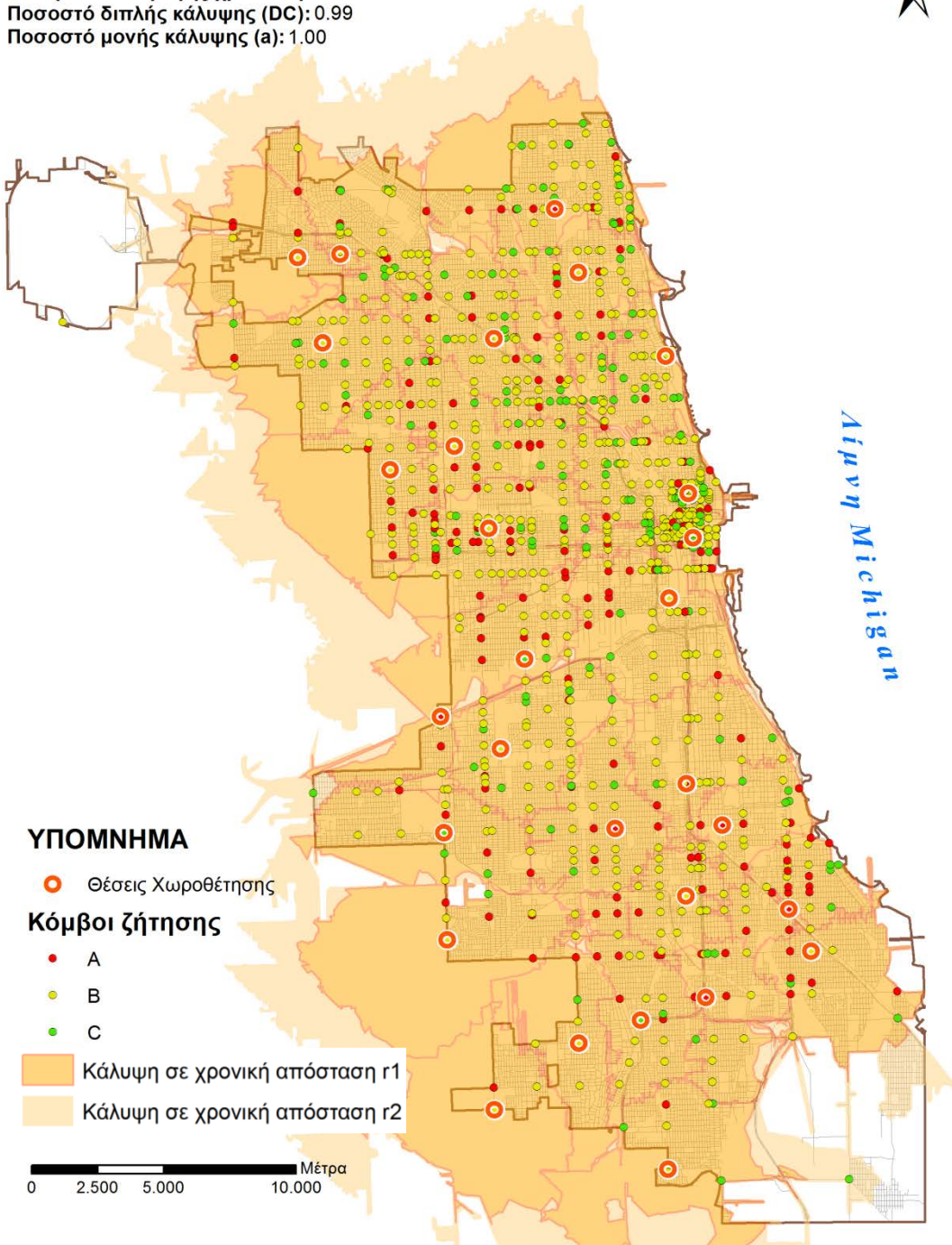
Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο

Αριθμός Οχημάτων: 25
Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS): C
Δεδομένα εισαγωγής χρον. περιόδου: 2003 - 2009
Ποσοστό διπλής κάλυψης (DC): 0.97
Ποσοστό μονής κάλυψης (a): 0.99



Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο

Αριθμός Οχημάτων: 30
Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS): C
Δεδομένα εισαγωγής χρον. περιόδου: 2003 - 2009
Ποσοστό διπλής κάλυψης (DC): 0.99
Ποσοστό μονής κάλυψης (a): 1.00



Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο

Έτος Χωροθέτησης: 2010

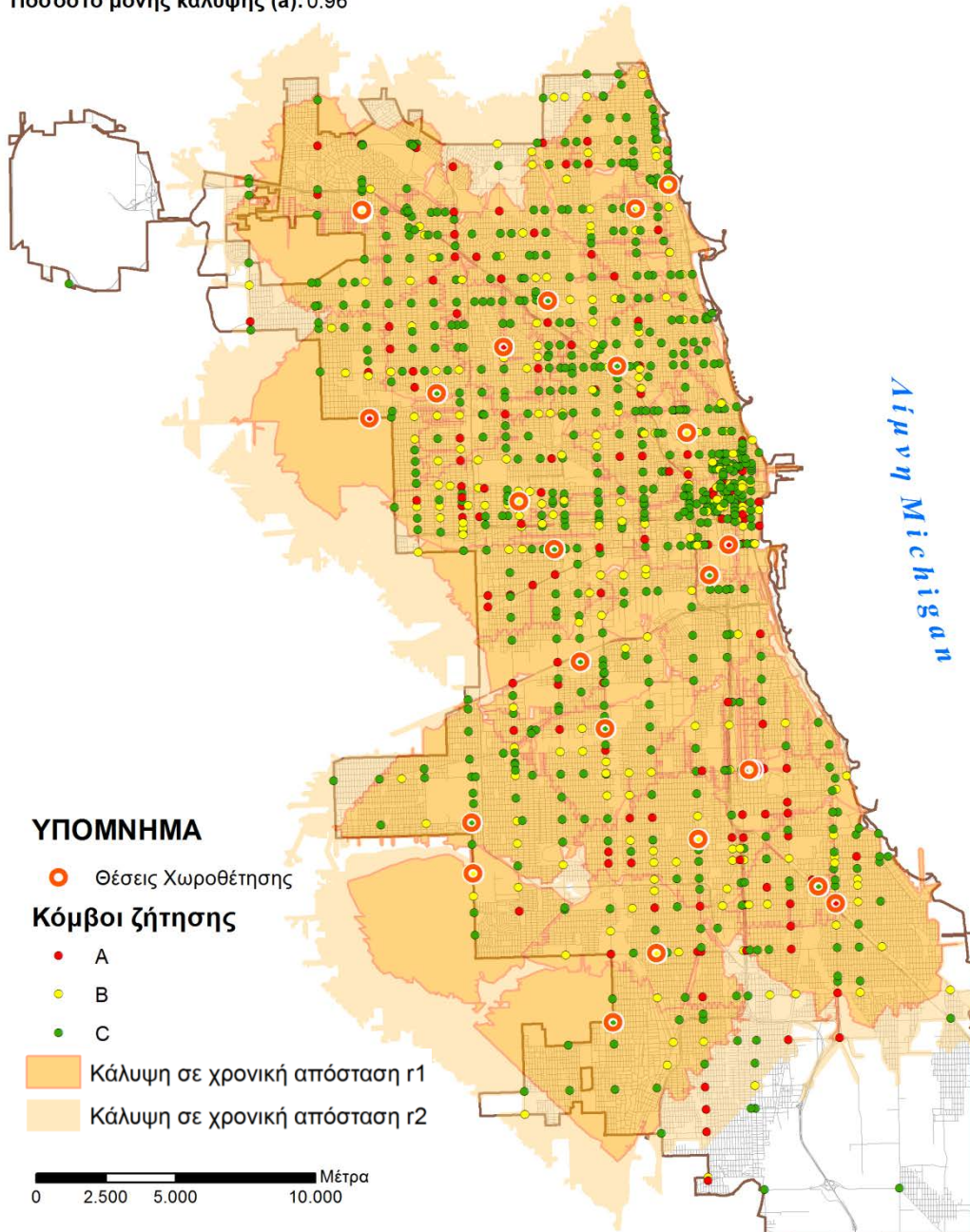
Αριθμός Οχημάτων: 25

Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS): B

Δεδομένα εισαγωγής χρον. περιόδου: 2009

Ποσοστό διπλής κάλυψης (DC): 0.93

Ποσοστό μονής κάλυψης (a): 0.96



Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο

Έτος Χωροθέτησης: 2010

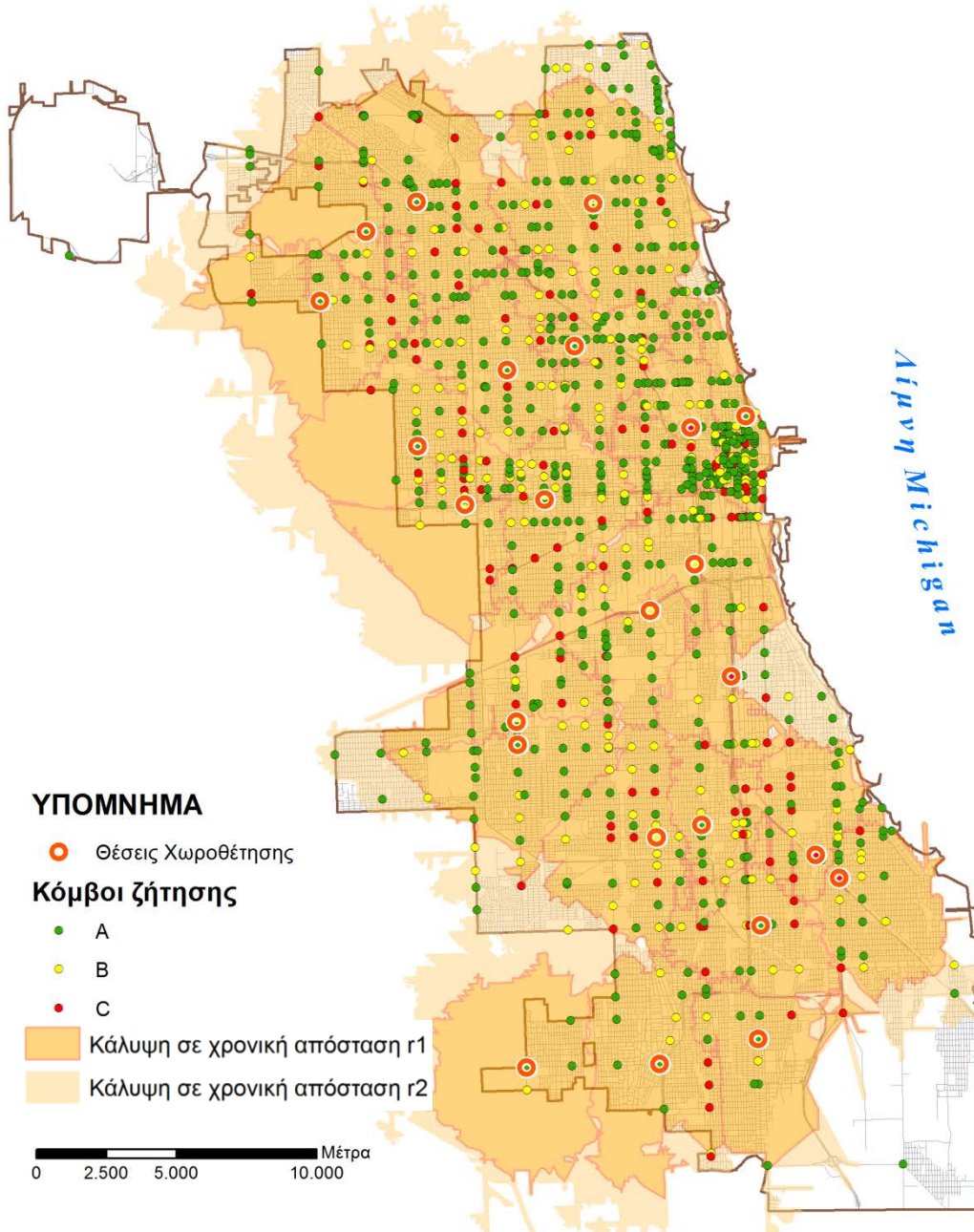
Αριθμός Οχημάτων: 25

Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS): B

Δεδομένα εισαγωγής χρον. περιόδου: 2008 - 2009

Ποσοστό διπλής κάλυψης (DC): 0.90

Ποσοστό μονής κάλυψης (a): 0.95



Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο

Έτος Χωροθέτησης: 2010

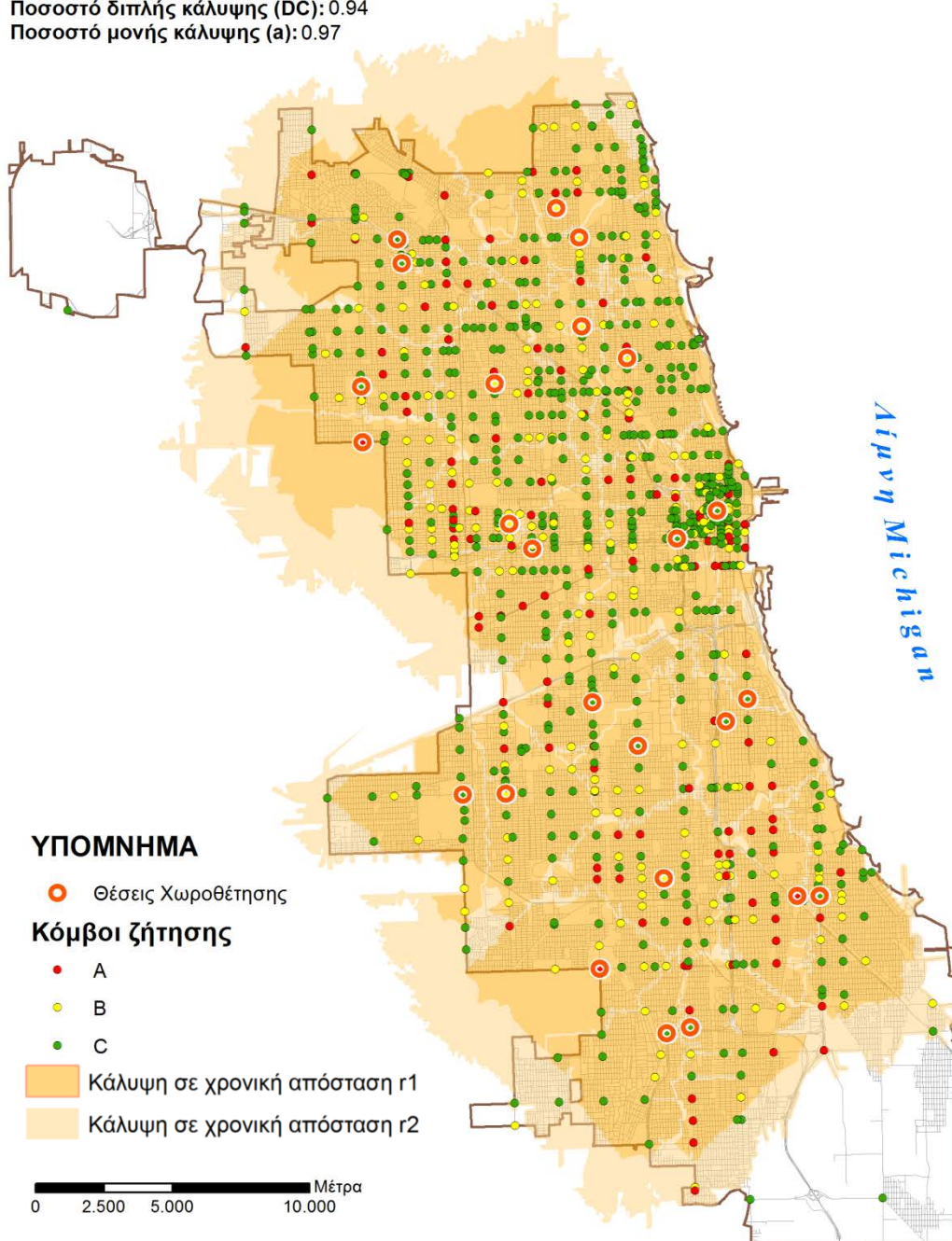
Αριθμός Οχημάτων: 25

Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS): B

Δεδομένα εισαγωγής χρον. περιόδου: 2007 - 2009

Ποσοστό διπλής κάλυψης (DC): 0.94

Ποσοστό μονής κάλυψης (a): 0.97



Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο

Έτος Χωροθέτησης: 2010

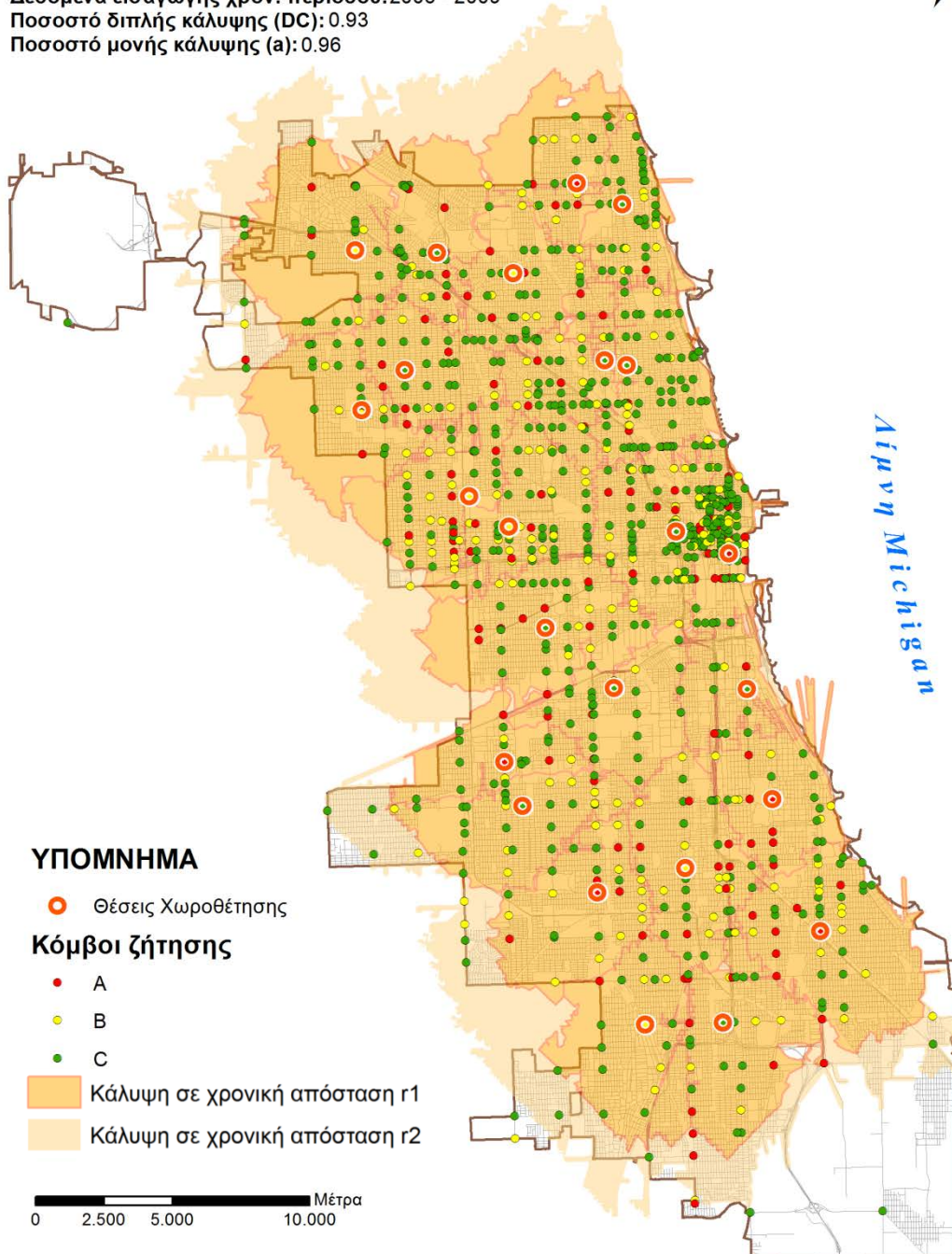
Αριθμός Οχημάτων: 25

Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS): B

Δεδομένα εισαγωγής χρον. περιόδου: 2006 - 2009

Ποσοστό διπλής κάλυψης (DC): 0.93

Ποσοστό μονής κάλυψης (a): 0.96



Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο

Έτος Χωροθέτησης: 2010

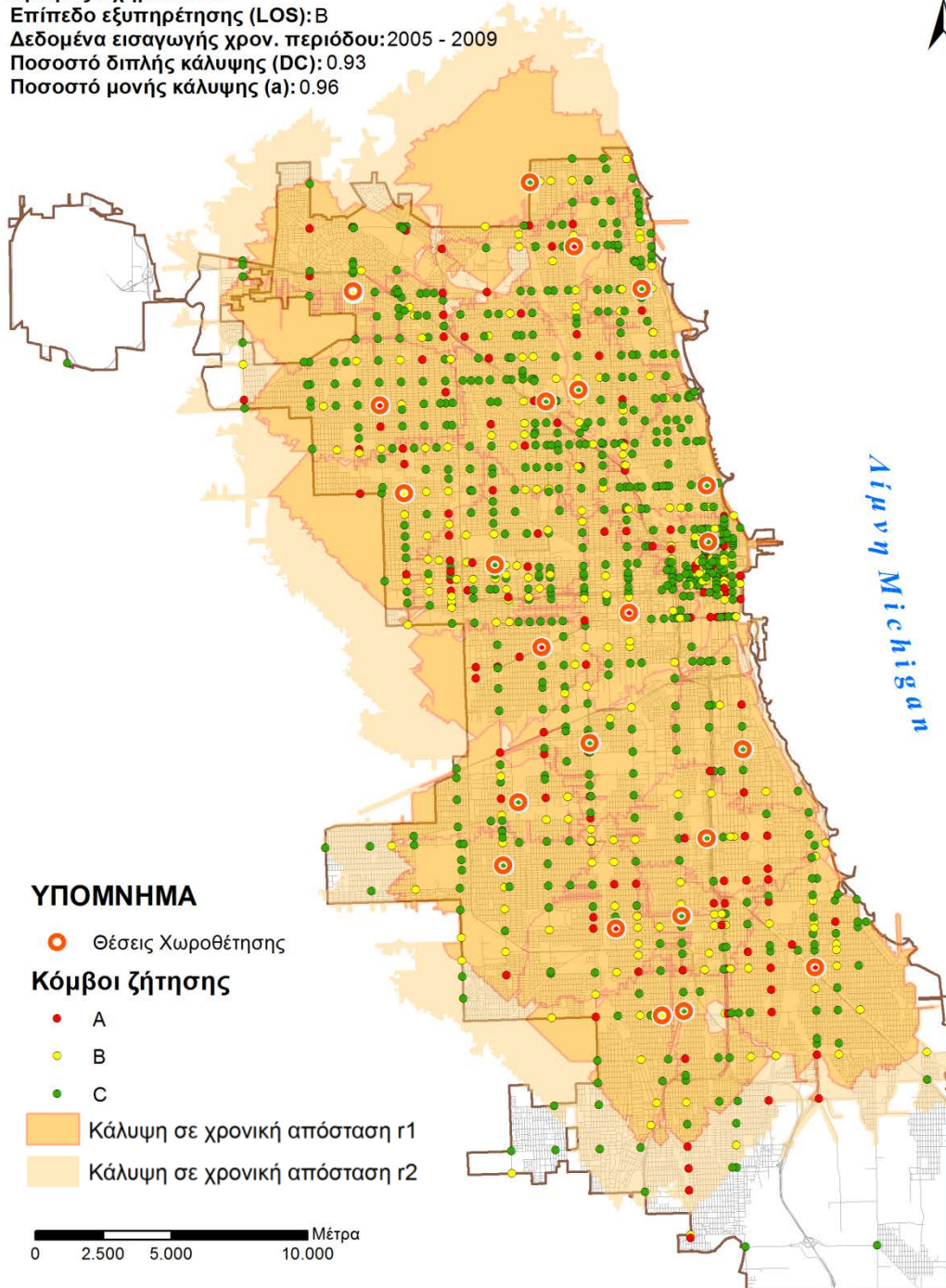
Αριθμός Οχημάτων: 25

Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS): B

Δεδομένα εισαγωγής χρον. περιόδου: 2005 - 2009

Ποσοστό διπλής κάλυψης (DC): 0.93

Ποσοστό μονής κάλυψης (a): 0.96



Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο

Έτος Χωροθέτησης: 2010

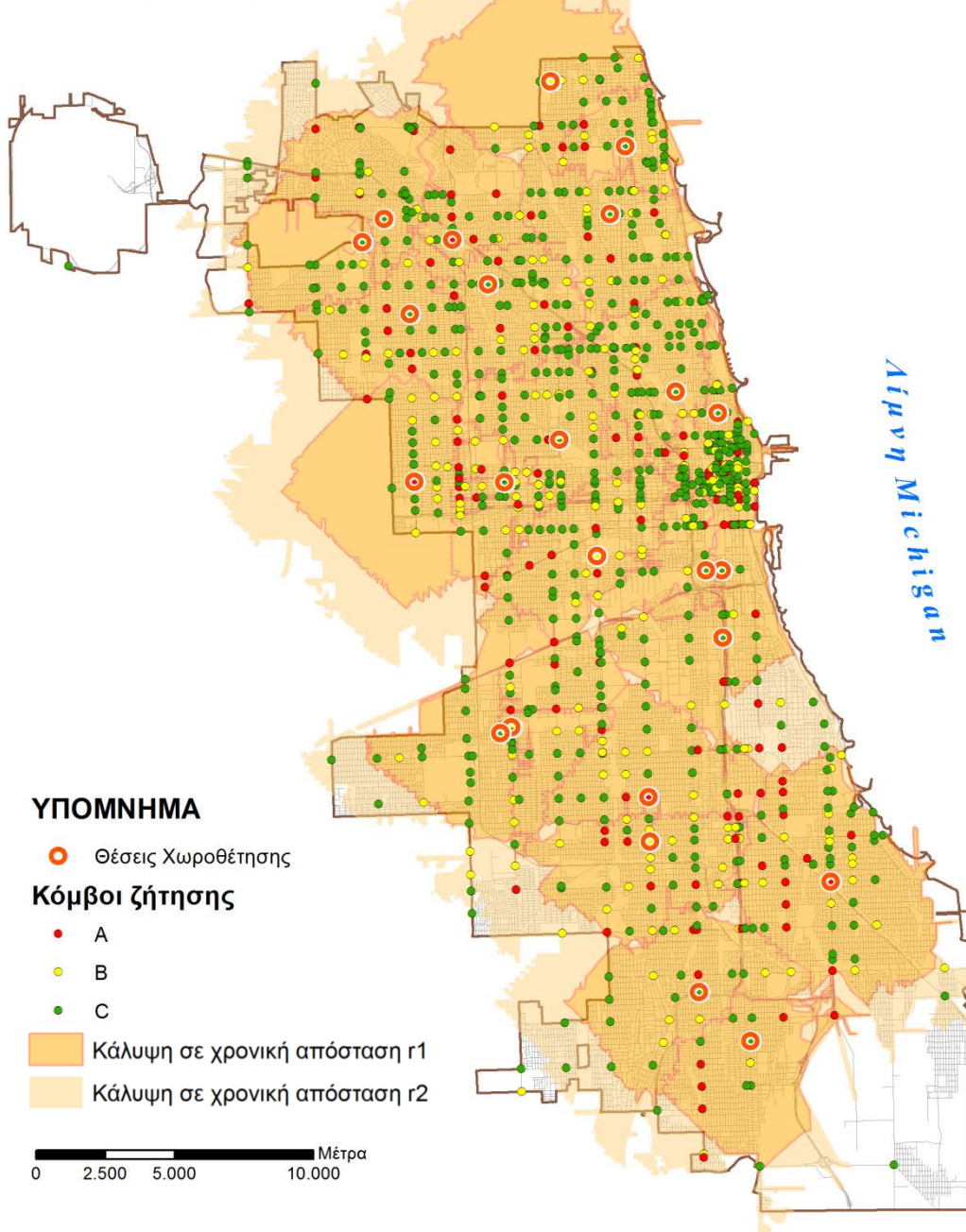
Αριθμός Οχημάτων: 25

Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS): B

Δεδομένα εισαγωγής χρον. περιόδου: 2004 - 2009

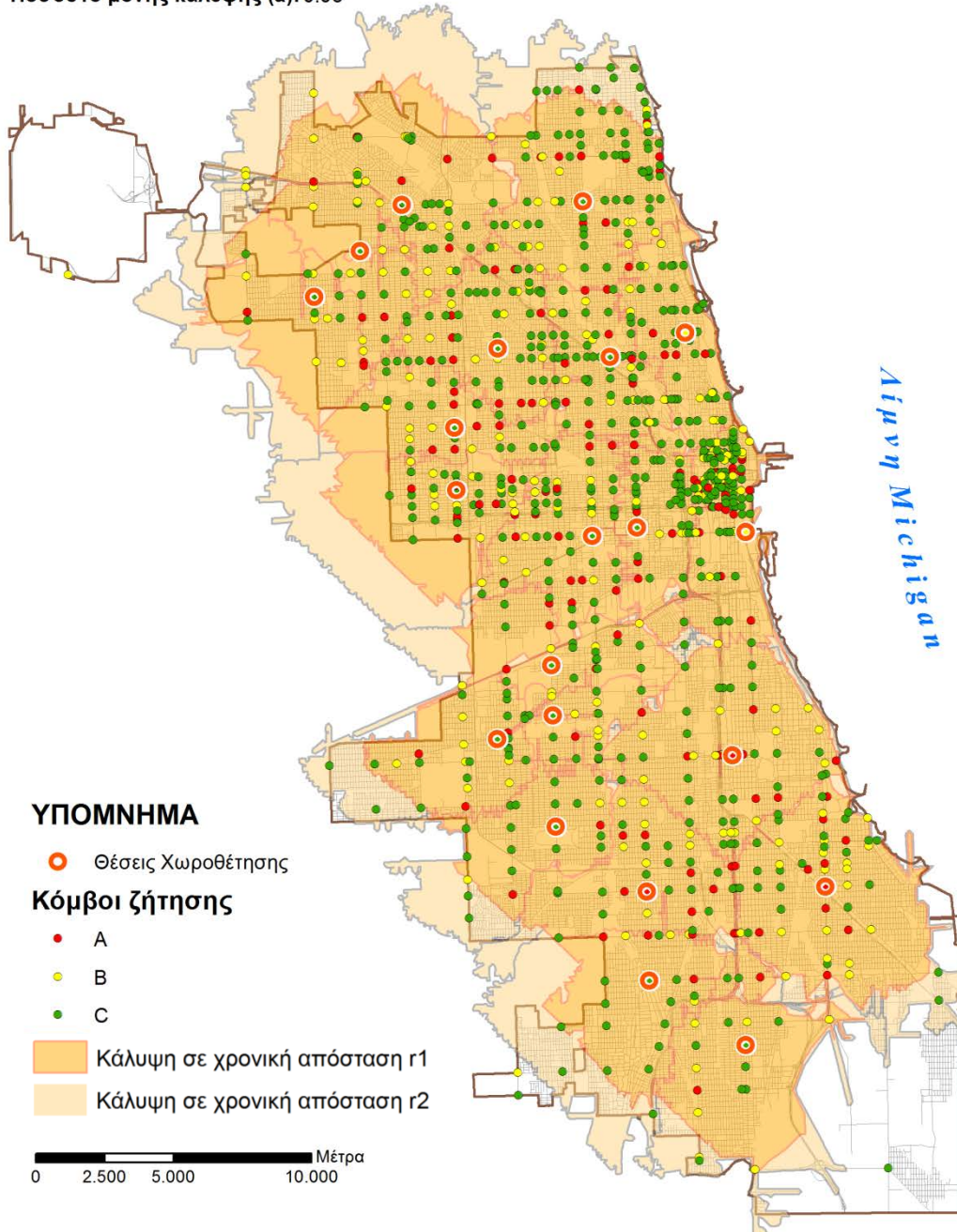
Ποσοστό διπλής κάλυψης (DC): 0.92

Ποσοστό μονής κάλυψης (a): 0.95



Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο

Έτος Χωροθέτησης: 2009
Αριθμός Οχημάτων: 25
Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS): B
Δεδομένα εισαγωγής χρον. περιόδου: 2008
Ποσοστό διπλής κάλυψης (DC): 0.92
Ποσοστό μόνης κάλυψης (a): 0.95



Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο

Έτος Χωροθέτησης: 2009

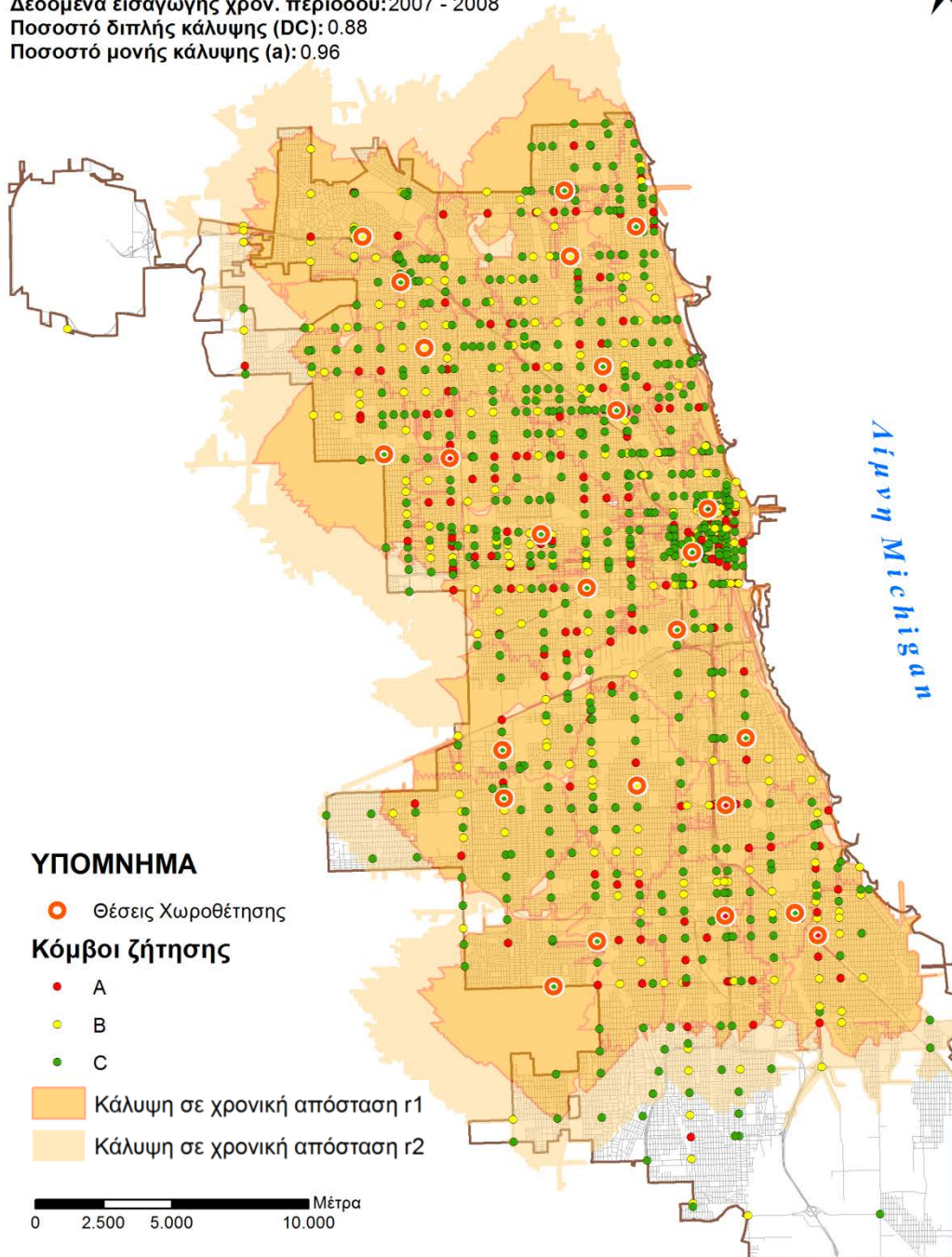
Αριθμός Οχημάτων: 25

Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS): B

Δεδομένα εισαγωγής χρον. περιόδου: 2007 - 2008

Ποσοστό διπλής κάλυψης (DC): 0.88

Ποσοστό μόνης κάλυψης (a): 0.96



Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο

Έτος Χωροθέτησης: 2009

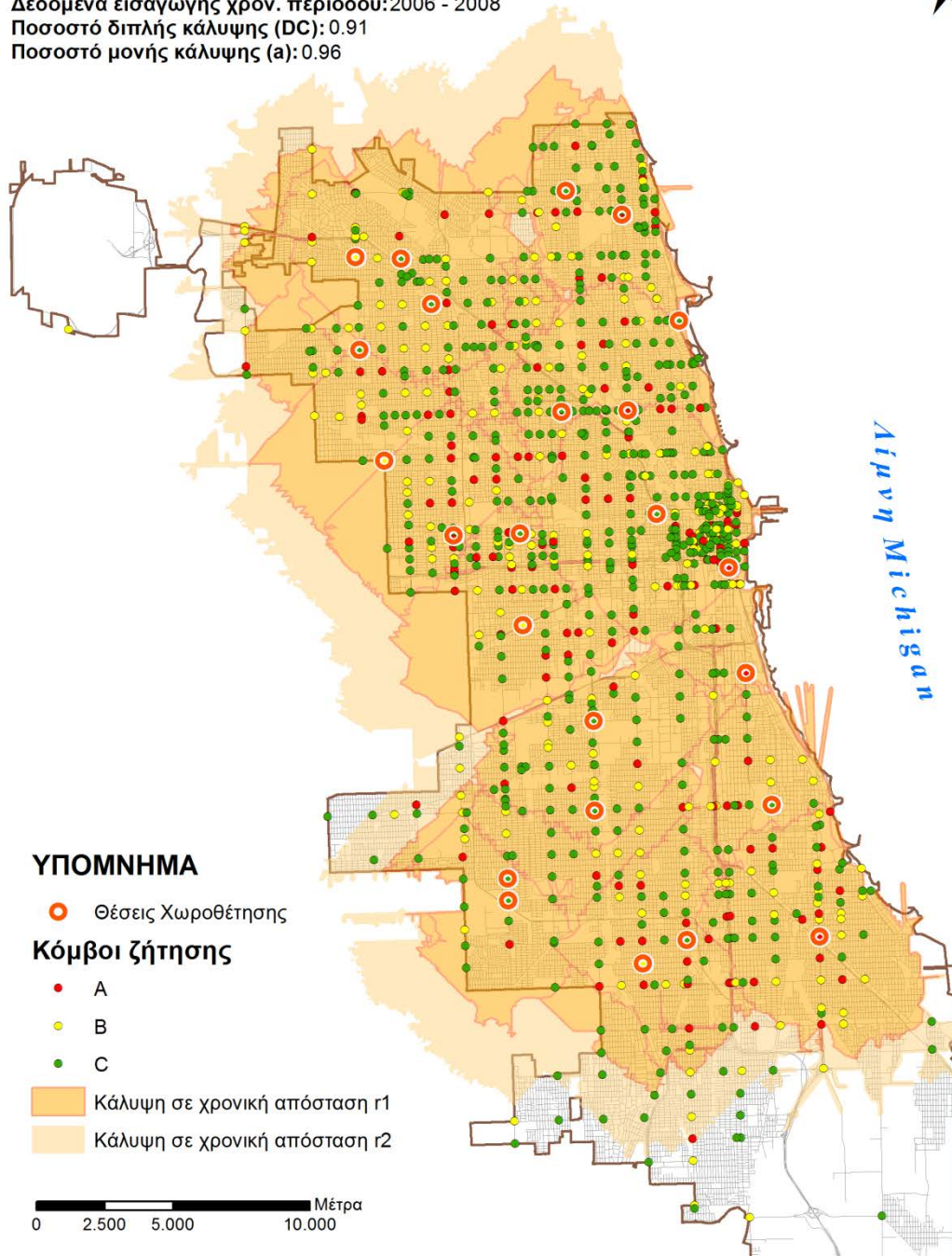
Αριθμός Οχημάτων: 25

Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS): B

Δεδομένα εισαγωγής χρον. περιόδου: 2006 - 2008

Ποσοστό διπλής κάλυψης (DC): 0.91

Ποσοστό μόνης κάλυψης (a): 0.96



Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο

Έτος Χωροθέτησης: 2009

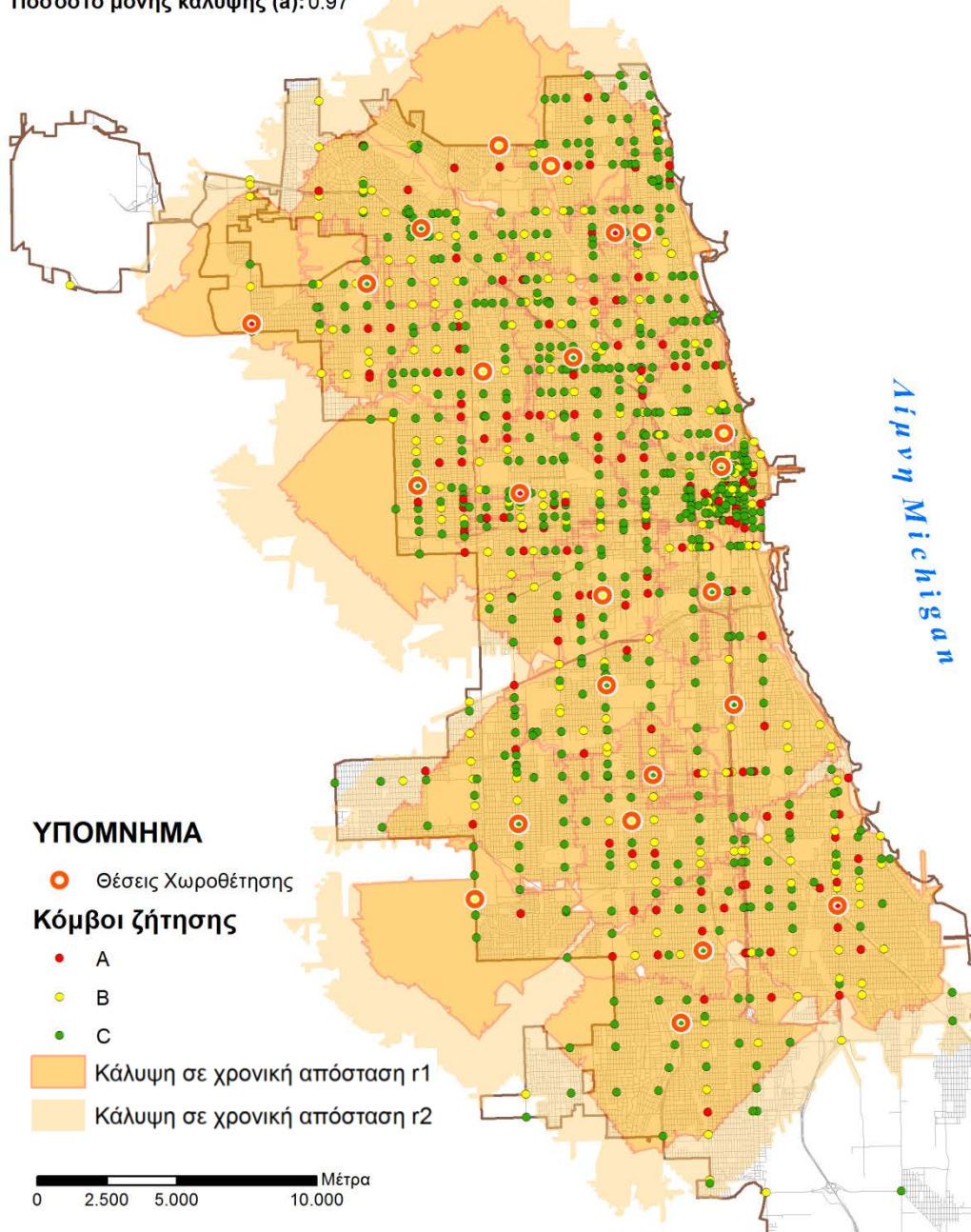
Αριθμός Οχημάτων: 25

Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS): B

Δεδομένα εισαγωγής χρον. περιόδου: 2005 - 2008

Ποσοστό διπλής κάλυψης (DC): 0.93

Ποσοστό μόνης κάλυψης (a): 0.97



Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο

Έτος Χωροθέτησης: 2009

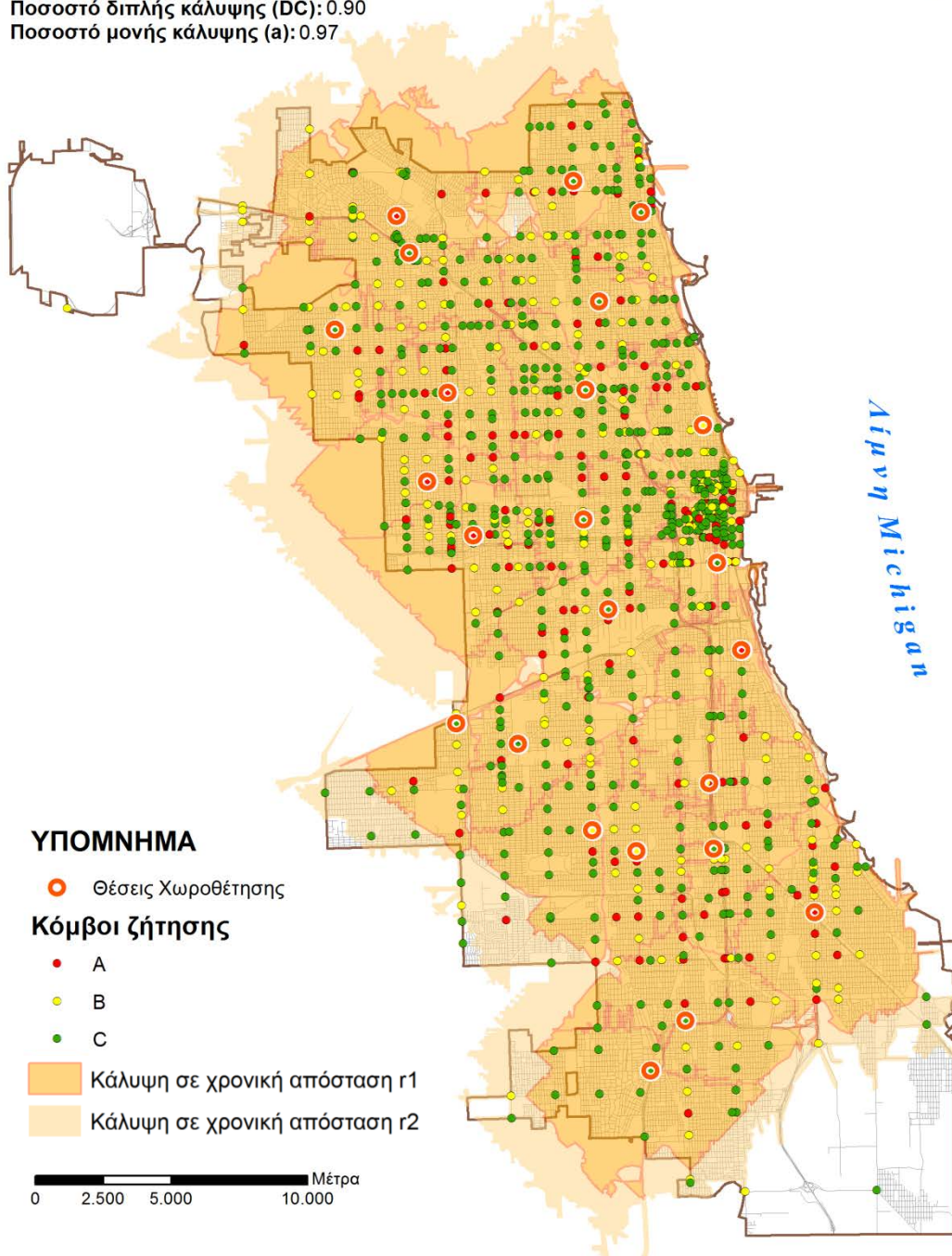
Αριθμός Οχημάτων: 25

Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS): B

Δεδομένα εισαγωγής χρον. περιόδου: 2004 - 2008

Ποσοστό διπλής κάλυψης (DC): 0.90

Ποσοστό μονής κάλυψης (a): 0.97



Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο

Έτος Χωροθέτησης: 2008

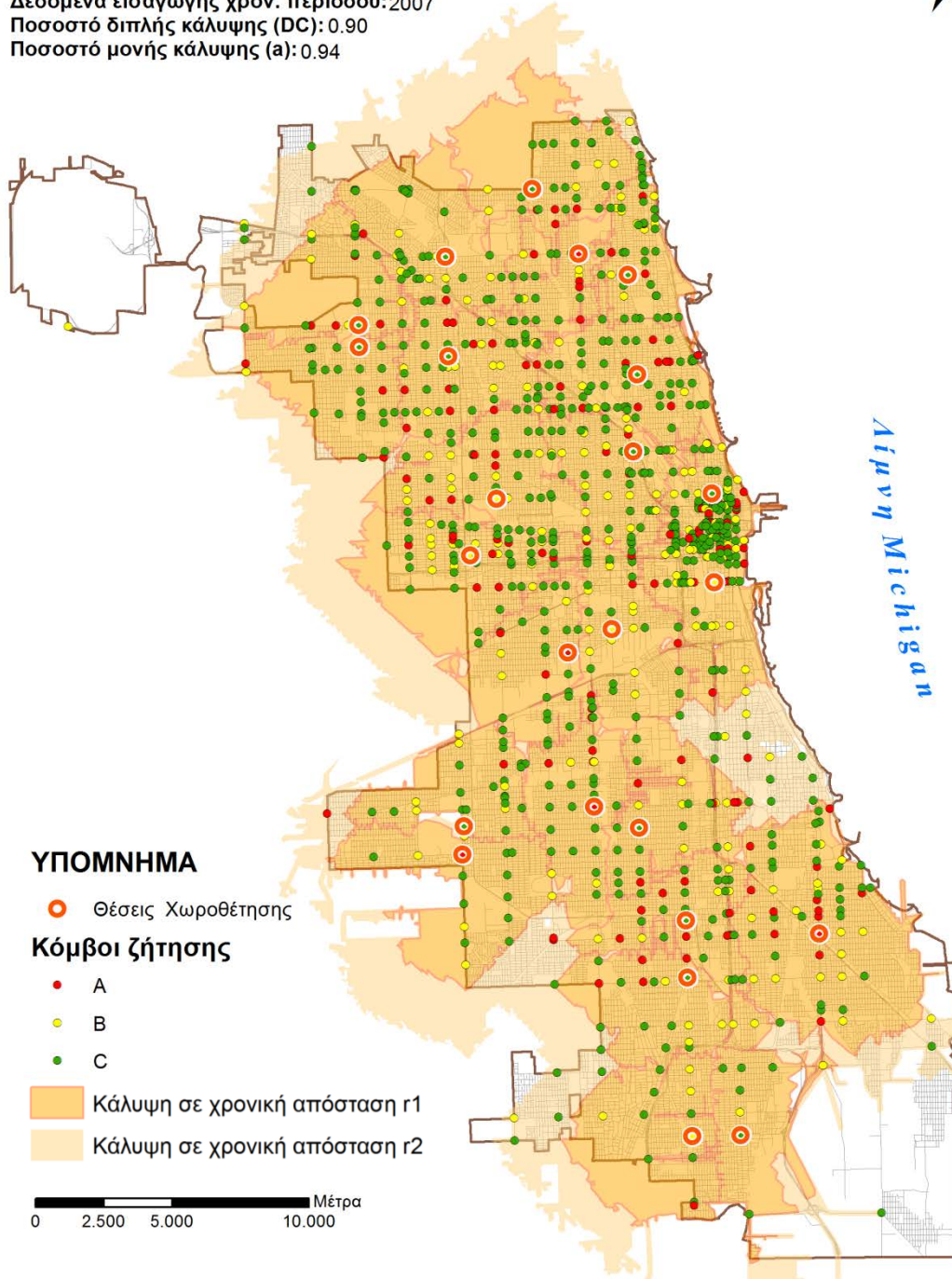
Αριθμός Οχημάτων: 25

Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS): B

Δεδομένα εισαγωγής χρον. περιόδου: 2007

Ποσοστό διπλής κάλυψης (DC): 0.90

Ποσοστό μονής κάλυψης (a): 0.94



Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο

Έτος Χωροθέτησης: 2008

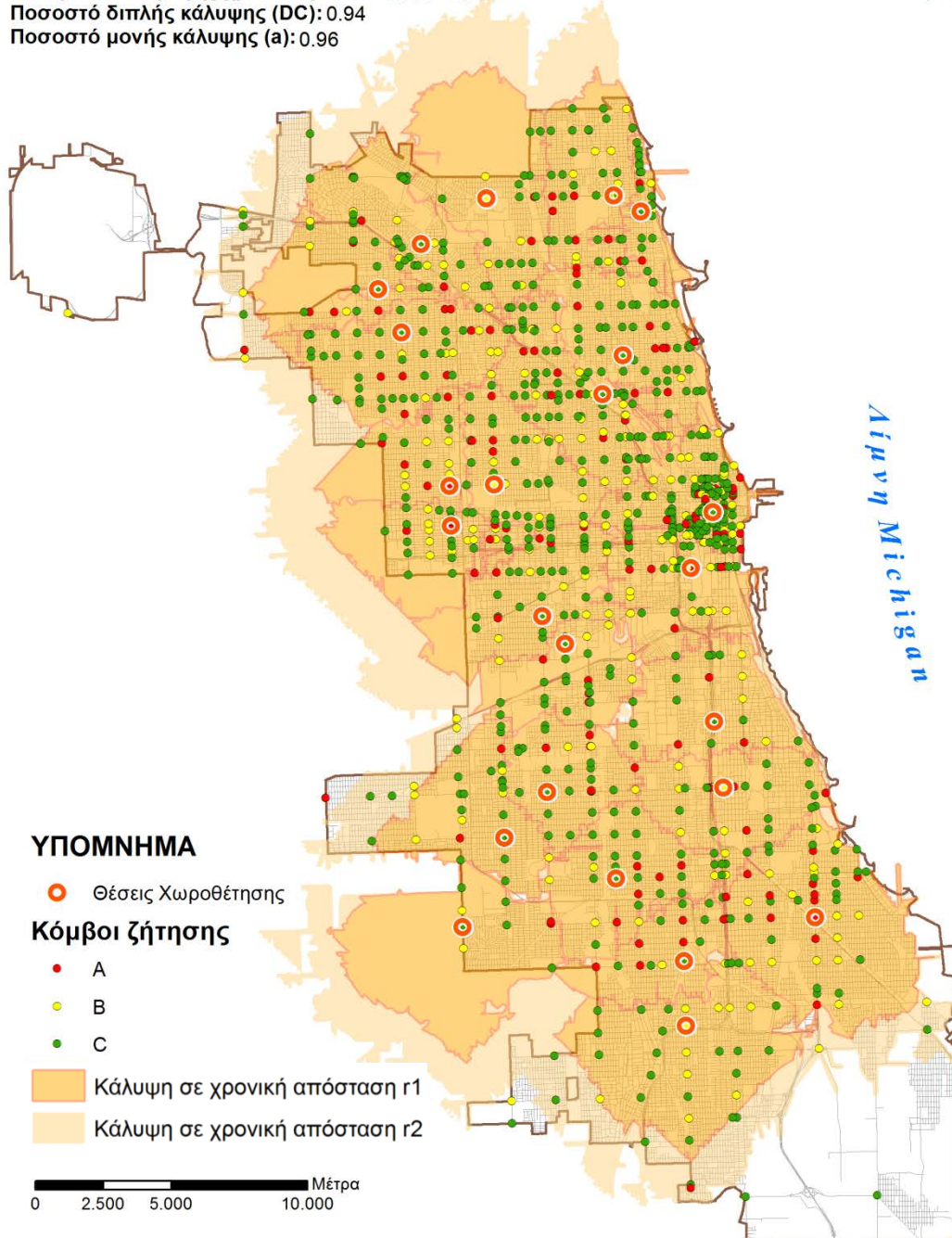
Αριθμός Οχημάτων: 25

Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS): B

Δεδομένα εισαγωγής χρον. περιόδου: 2006 - 2007

Ποσοστό διπλής κάλυψης (DC): 0.94

Ποσοστό μονής κάλυψης (a): 0.96



Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο

Έτος Χωροθέτησης: 2008

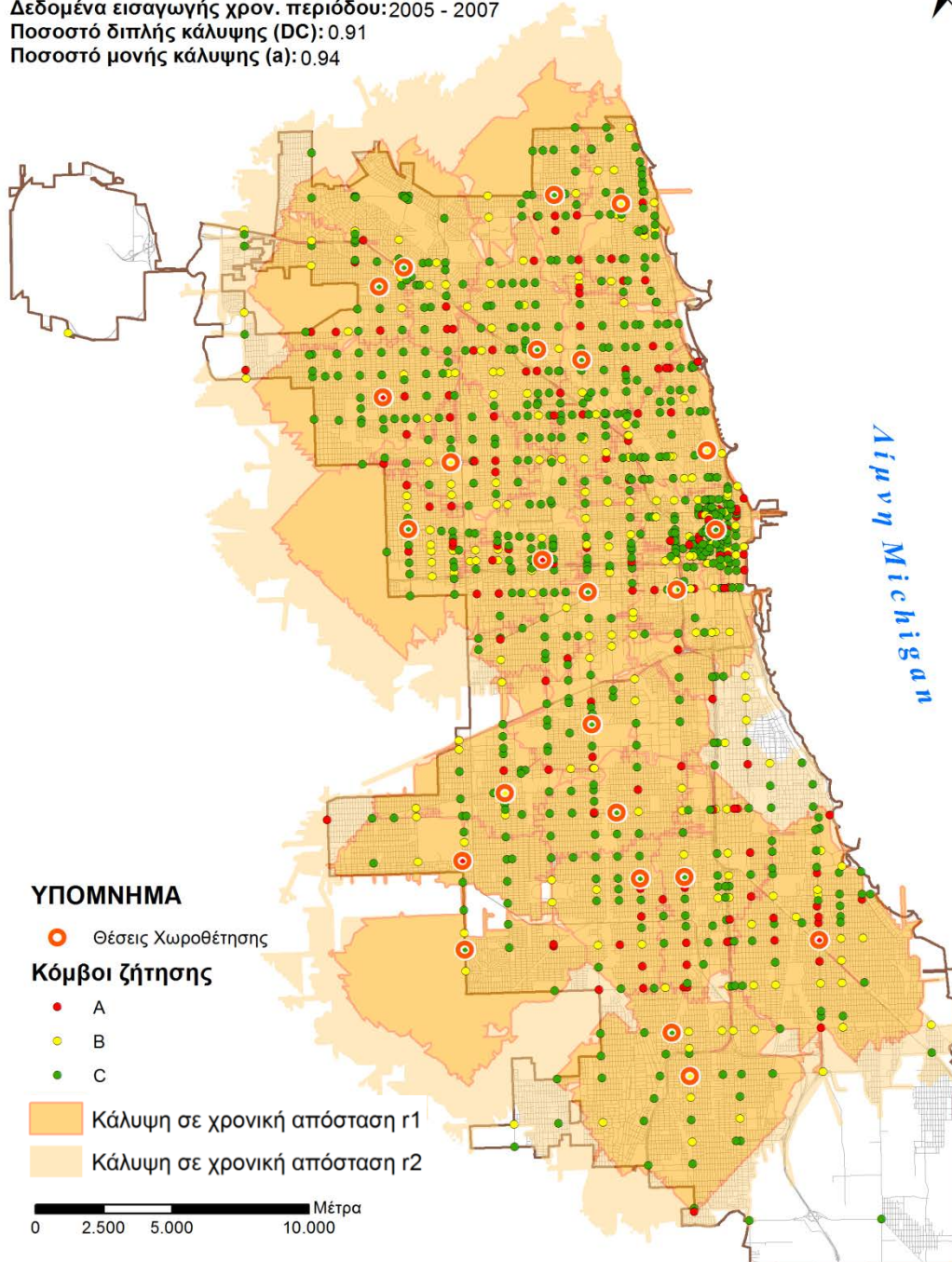
Αριθμός Οχημάτων: 25

Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS): B

Δεδομένα εισαγωγής χρον. περιόδου: 2005 - 2007

Ποσοστό διπλής κάλυψης (DC): 0.91

Ποσοστό μονής κάλυψης (a): 0.94



Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο

Έτος Χωροθέτησης: 2008

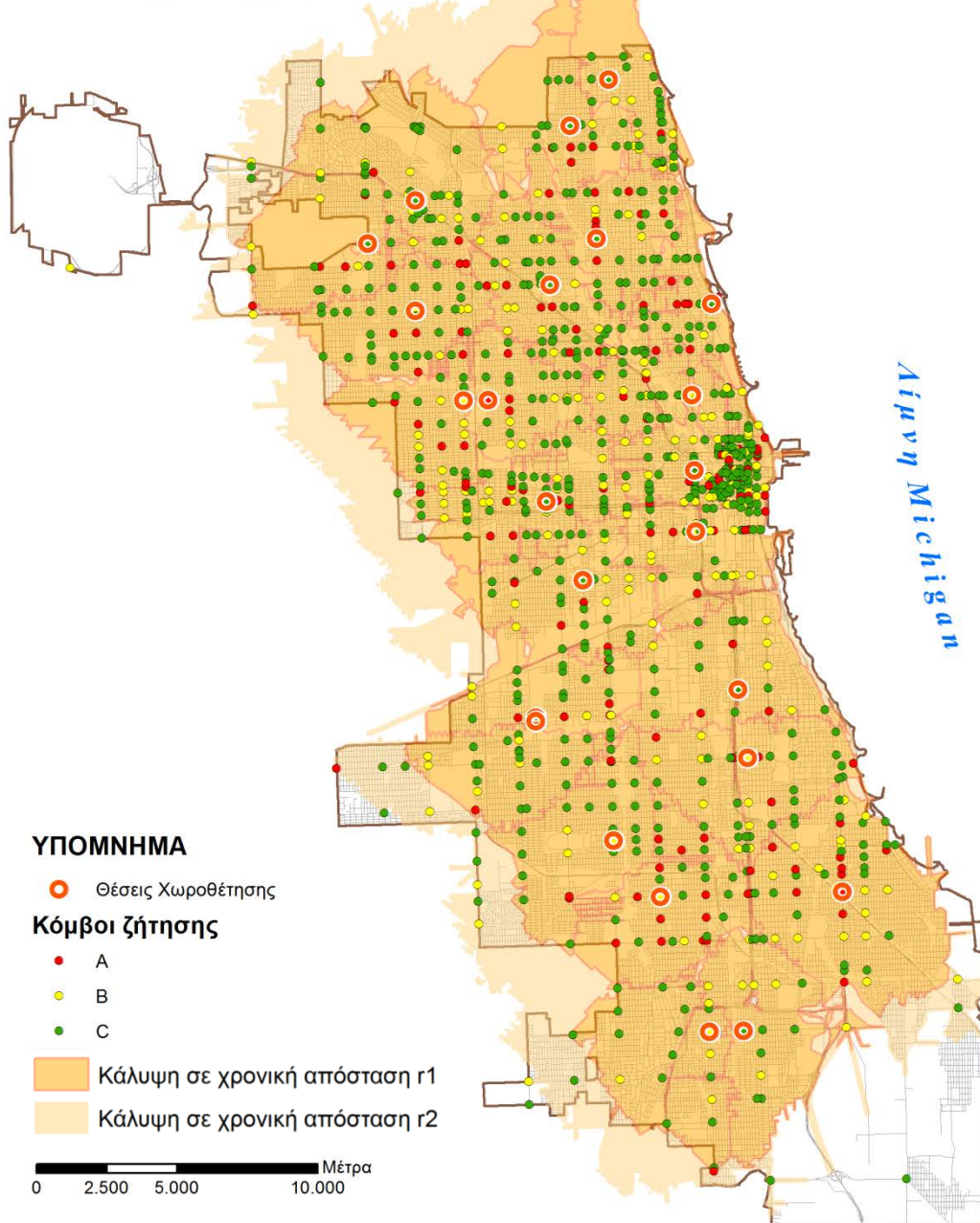
Αριθμός Οχημάτων: 25

Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS): B

Δεδομένα εισαγωγής χρον. περιόδου: 2004 - 2007

Ποσοστό διπλής κάλυψης (DC): 0.95

Ποσοστό μόνης κάλυψης (a): 0.97



Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο

Έτος Χωροθέτησης: 2007

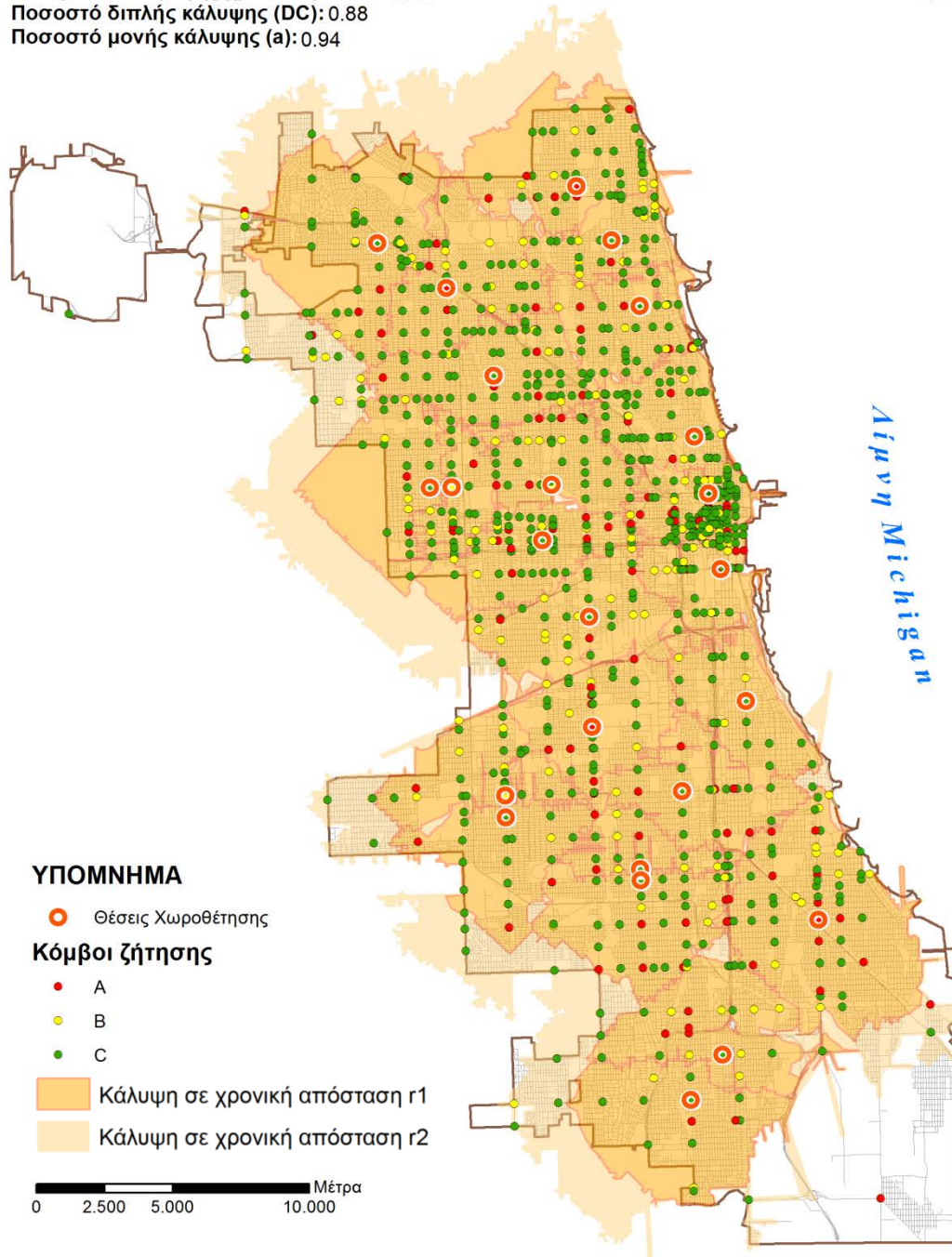
Αριθμός Οχημάτων: 25

Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS): B

Δεδομένα εισαγωγής χρον. περιόδου: 2006

Ποσοστό διπλής κάλυψης (DC): 0.88

Ποσοστό μονής κάλυψης (a): 0.94



Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο

Έτος Χωροθέτησης: 2007

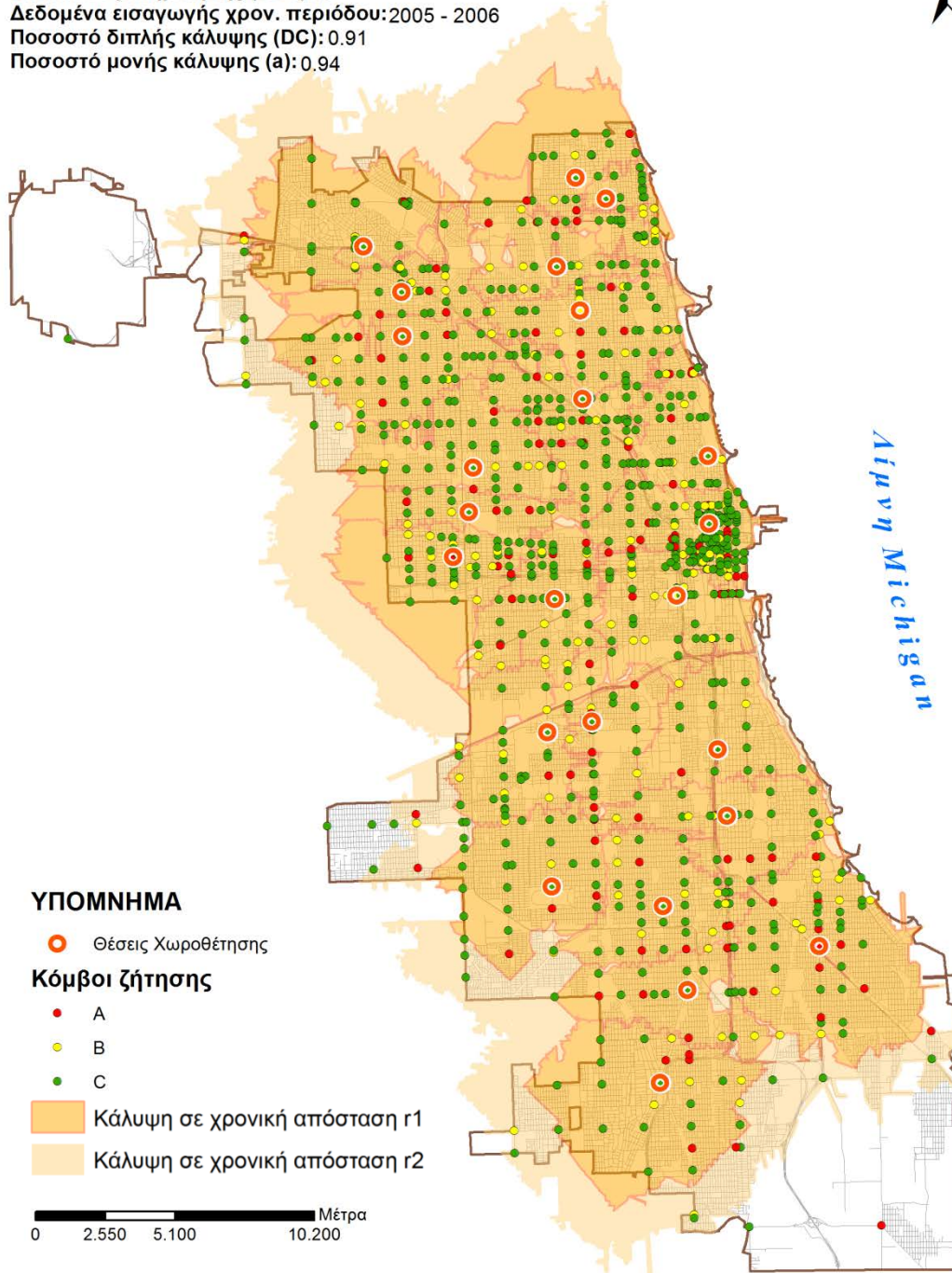
Αριθμός Οχημάτων: 25

Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS): B

Δεδομένα εισαγωγής χρον. περιόδου: 2005 - 2006

Ποσοστό διπλής κάλυψης (DC): 0.91

Ποσοστό μονής κάλυψης (a): 0.94



Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο

Έτος Χωροθέτησης: 2007

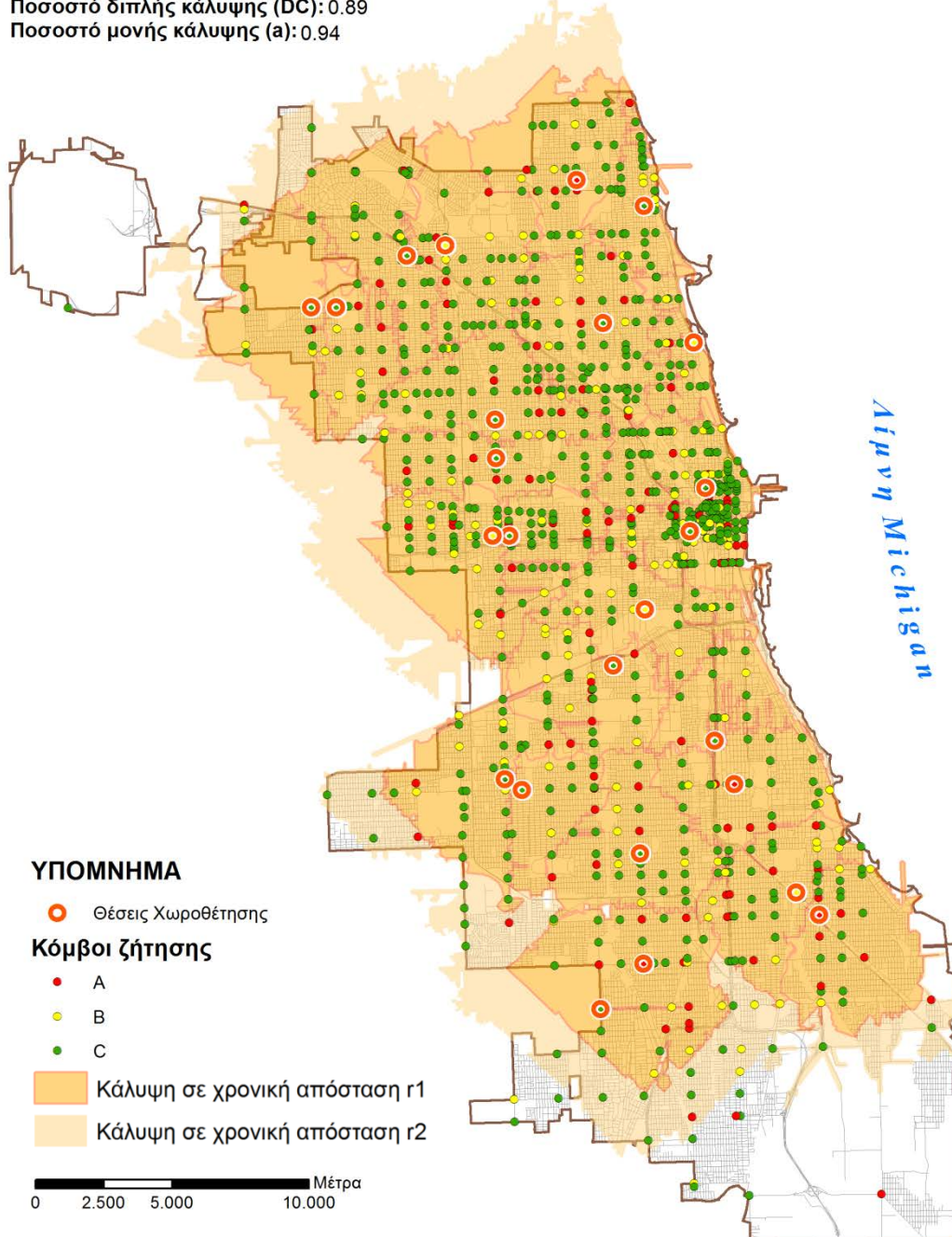
Αριθμός Οχημάτων: 25

Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS): B

Δεδομένα εισαγωγής χρον. περιόδου: 2004 - 2006

Ποσοστό διπλής κάλυψης (DC): 0.89

Ποσοστό μονής κάλυψης (a): 0.94



Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο

Έτος Χωροθέτησης: 2006

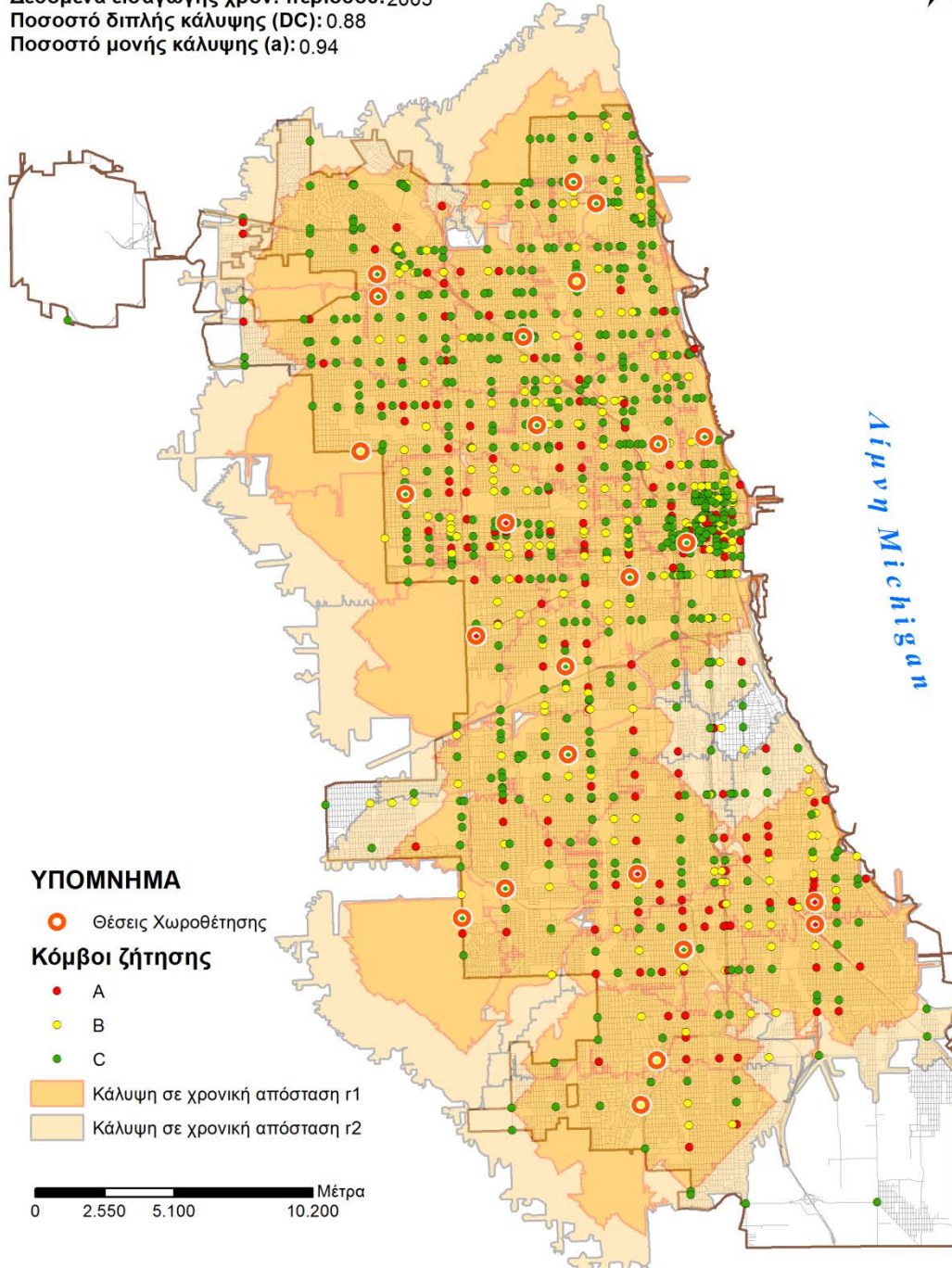
Αριθμός Οχημάτων: 25

Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS): B

Δεδομένα εισαγωγής χρον. περιόδου: 2005

Ποσοστό διπλής κάλυψης (DC): 0.88

Ποσοστό μονής κάλυψης (a): 0.94



Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο

Έτος Χωροθέτησης: 2006

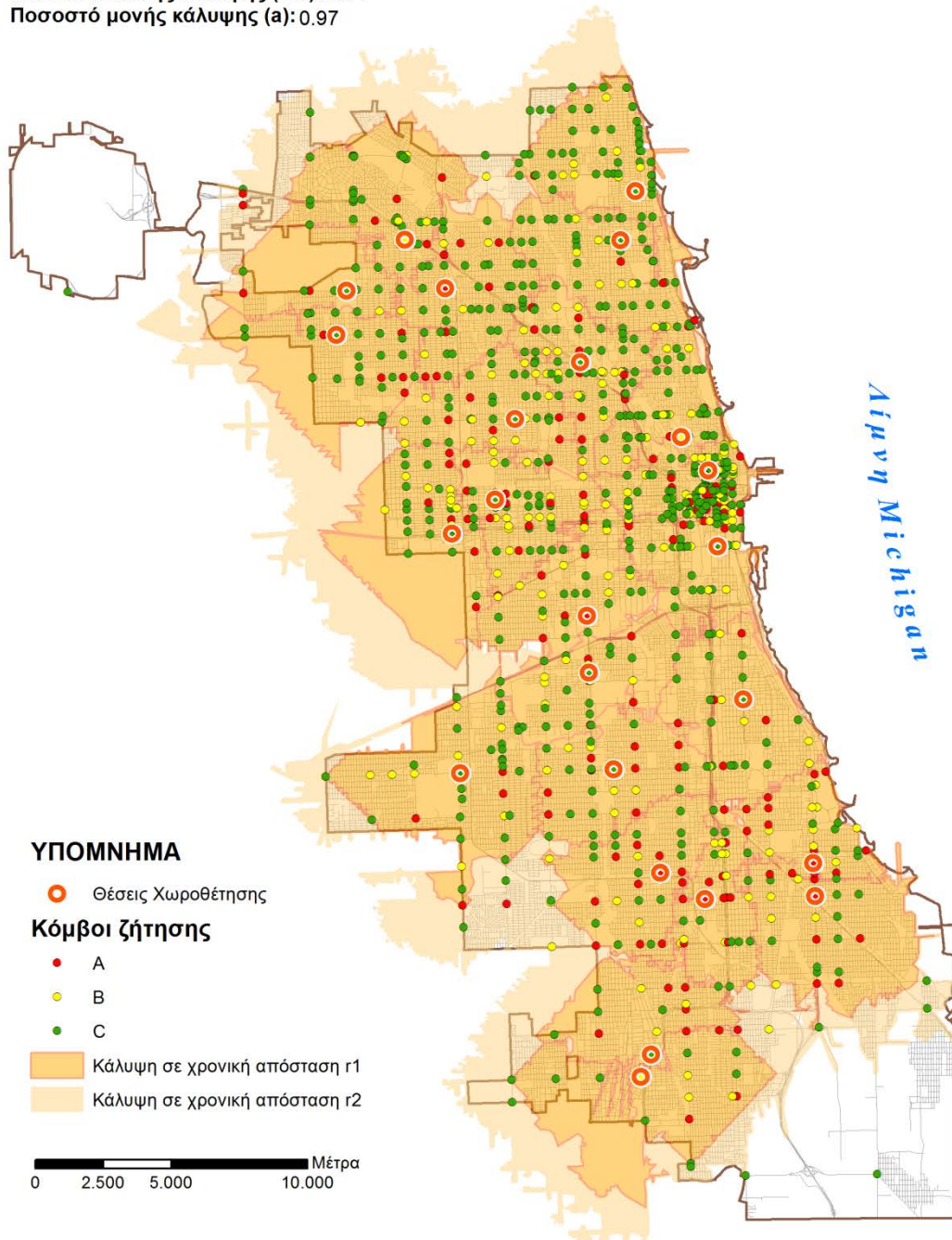
Αριθμός Οχημάτων: 25

Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS): B

Δεδομένα εισαγωγής χρον. περιόδου: 2004 - 2005

Ποσοστό διπλής κάλυψης (DC): 0.94

Ποσοστό μονής κάλυψης (a): 0.97



Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης στην πόλη του Σικάγο

Έτος Χωροθέτησης: 2005

Αριθμός Οχημάτων: 25

Επίπεδο εξυπηρέτησης (LOS): B

Δεδομένα εισαγωγής χρον. περιόδου: 2004

Ποσοστό διπλής κάλυψης (DC): 0.91

Ποσοστό μονής κάλυψης (a): 0.96

