



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Δομοστατικής

Έλεγχος δομικής επάρκειας έργων υποδομής με εφαρμογή μεθόδων βελτιστοποίησης



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεώργιος Μ. Χατζηδημητρίου
Αθήνα, Ιούλιος 2012

Επιβλέπων:
Ν. Λαγαρός
Λέκτορας ΕΜΠ

Επιβλέπων: Λέκτορας Ν. Λαγαρός

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	4
Abstract	5
Ευχαριστίες	6
1 Εισαγωγή	7
1.1 Το πρόβλημα	7
1.2 Επιθεώρηση έργων υποδομής οδικού άξονα	7
1.3. Αττική οδός	15
1.4. Δομή της εργασίας	18
2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση	19
2.1 Εισαγωγή – Η έννοια της χωροθέτησης	19
2.2 Στατικά και Ντετερμινιστικά πρότυπα χωροθέτησης	20
2.3 Στοχαστικά πρότυπα χωροθέτησης	33
2.4 Συμπεράσματα	48
3 Κατάστρωση της μεθοδολογίας	50
3.1 Εισαγωγή	50
3.2 Ο οδικός άξονας	51
3.4 Επίλυση με γενετικό αλγόριθμο	52
4 Εφαρμογή προτύπου – Διαδικασία υπολογισμού	56
4.1 Εισαγωγή	56
4.2 Δομικά έργα στον οδικό άξονα	56
4.3 Κατάστρωση βάσης δεδομένων	57
4.4 Λειτουργία αλγόριθμου	60
5 Επίλυση - Αποτελέσματα	67
5.1 Εισαγωγή	67
5.2 Οι παράμετροι του γενετικού αλγόριθμου	67
5.3 Αποτελέσματα	70
6 Συμπεράσματα	84
7 Βιβλιογραφία	86

Περίληψη

Ο έλεγχος της δομικής επάρκειας των έργων υποδομής, ο οποίος γίνεται προγραμματισμένα και ανά τακτά χρονικά διαστήματα, έχει καθοριστικό ρόλο στην ομαλή και ασφαλή λειτουργία τους. Οι επιθεωρήσεις ασφαλείας διενεργούνται από επιθεωρητές-μηχανικούς για τον εντοπισμό φθορών που συνιστούν επικείμενο ή άμεσο κίνδυνο για το κοινό, αλλά και λοιπών φθορών με σκοπό αν είναι πρακτικά εφικτό να αποκαθίστανται, να απομακρύνεται ο κίνδυνος ή να προβλέπονται άλλα μέτρα προστασίας.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται ο αλγόριθμος ο οποίος καθορίζει τα βέλτιστα τμήματα ευθύνης συνεργειών επιθεώρησης οδικού άξονα, ώστε να επιτυγχάνεται η ισοκατανομή του φόρτου εργασίας στα διαθέσιμα συνεργεία και άρα ο έλεγχος των έργων υποδομής να γίνεται στο μικρότερο χρονικό διάστημα.

Για να επιτευχθεί η βέλτιστη λύση στο πρόβλημα χωροθέτησης μελετήθηκε και αναλύθηκε η διεθνής βιβλιογραφία γύρω από τις δύο βασικές κατηγορίες προτύπων χωροθέτησης, τα Στατικά και Ντετερμινιστικά, και τα Στοχαστικά.

Επιλέχθηκε γενετικός αλγόριθμος καθώς είναι μια μεθοδολογία βελτιστοποίησης όπου παρουσιάζει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε συνδυαστικά προβλήματα πολλών αγνώστων και παραμέτρων, παρέχει τη δυνατότητα άμεσου χειρισμού διακριτών μεταβλητών και δεν εγκλωβίζεται σε τοπικά ακρότατα. Εφαρμόζεται μέθοδος επίλυσης με τροποποίηση του γενετικού αλγόριθμου Harmony Search Minimization (HMS) στον οδικό άξονα Ελεύθερη Λεωφόρος Ελευσίνας – Σταυρού - Σπατών, τμήμα της Αττικής Οδού για διαφορετικό αριθμό συνεργειών επιθεώρησης.

Τα σενάρια αυτά εμφανίζουν ικανοποιητικά αποτελέσματα σχετικά με τη χρησιμότητα του αλγόριθμου σε προβλήματα χωροθέτησης οδικού άξονα.

Abstract

Inspection of infrastructure, which is scheduled at regular intervals, has a key role in its safe operation. Those inspections are carried out by inspectors-engineers, in order to detect and identify any possible damage and wear that could be an immediate danger to the public. If applicable, damages are being restored so to remove the possible risk or to provide other safety measures.

This thesis presents the algorithm which determines the optimum responsibility allocation for road inspection crews, so that equipartition in workload is achieved and thus infrastructure's control time becomes shorter.

To achieve the optimal solution to the problem of location, literature of the two main types of location models, static and deterministic, and Stochastic has been studied and analyzed.

A genetic algorithm was picked since it's a methodology of optimization which presents good results in many combinatorial problems with unknown parameters. It also allows direct manipulation of discrete variables and can't be trapped in local extreme. A method of resolution is applied with a modification of the genetic algorithm "Harmony Search Minimization (HMS)" in the freeway of Elefsina - Stavros - Spata, Attiki Odos section for different number of inspection teams.

These scenarios show good results in regards of the usefulness of the algorithm in locating road problems.

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά:

Τον επιβλέποντα Λέκτορα Νίκο Λαγαρό για την ανάθεση του θέματος, τις πολύτιμες συμβουλές, τη συνεχή καθοδήγηση, τη συμπαράσταση και τη βοήθειά του καθ' όλη τη διάρκεια της παρούσας εργασίας.

Τους Αναπληρωτή Καθηγητή Ματθαίο Καρλαύτη, Πολιτικό Μηχανικό PhD Κωνσταντίνο Κεπαπτσόγλου, Πολιτικό Μηχανικό Νίκο Καλλιώρα για τη βοήθεια, τις πληροφορίες και τις συμβουλές τους.

Την οικογένειά μου: Μιχάλη, Άντρη, Μαριλένα.

1 Εισαγωγή

1.1. Το πρόβλημα

Η λεπτομερής επιθεώρηση των έργων υποδομής οδικού άξονα συνήθως γίνεται προγραμματισμένα και ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Μάλιστα, σε αυτοκινητόδρομους με μεγάλο κυκλοφοριακό φόρτο, όπως η Αττική Οδός που εξετάζεται στην παρούσα εργασία, η επιθεώρηση έχει καθοριστικό ρόλο στην ομαλή και ασφαλή λειτουργία τους. Κατά την επιθεώρηση οι μηχανικοί εντοπίζουν τυχόν προβλήματα και προτείνουν λύσεις για την αντιμετώπισή τους προτού διογκωθούν.

Όπως κάθε εργασία, έτσι και η επιθεώρηση μπορεί να γίνει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο (βελτιστοποίηση) ανάλογα με τους περιορισμούς του προβλήματος (κόστος, χρόνος, διαθέσιμα συνεργεία). Με σκοπό τη βέλτιστη λύση σε χρόνο, δηλαδή της επίτευξης όσο είναι δυνατόν της ισοκατανομής του φόρτου εργασίας στα διαθέσιμα συνεργεία σχεδιάστηκε πρόγραμμα σε περιβάλλον εργασίας Matlab, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιοδήποτε οδικό άξονα.

1.2. Επιθεώρηση έργων υποδομής οδικού άξονα

Οι επιθεωρήσεις ασφαλείας διενεργούνται για τον εντοπισμό φθορών που συνιστούν επικείμενο ή άμεσο κίνδυνο για το κοινό, αλλά και λοιπών φθορών με σκοπό με τον εντοπισμό τους και αν είναι πρακτικά εφικτό να αποκαθίστανται, να απομακρύνεται ο κίνδυνος ή να προβλέπονται άλλα μέτρα προστασίας από το προσωπικό που διενεργεί την επιθεώρηση. Οι επιθεωρήσεις ενός οδικού άξονα ή δικτύου μπορούν να χωριστούν σε καθημερινές και εξειδικευμένες. Η παρούσα εργασία έχει ως θέμα τις εξειδικευμένες επιθεωρήσεις οι οποίες για να γίνουν χρειάζονται περισσότερο χρόνο. Έτσι, επιδιώκεται να γίνονται στο ελάχιστο δυνατό χρονικό διάστημα, ανάλογα με τα διαθέσιμα συνεργεία επιθεώρησης, καθώς σε μερικές περιπτώσεις αποκόπτεται κάποια λωρίδα κυκλοφορίας.

Οι καθημερινές επιθεωρήσεις ασφαλείας πραγματοποιούνται από δύο τεχνικούς, που κινούνται με ένα όχημα με μικρή ταχύτητα σε περιόδους κυκλοφοριακής αιχμής ώστε να ελαχιστοποιείται η παρακώλυση της κυκλοφορίας. Οι επιθεωρήσεις ασφαλείας καλύπτουν με μια διέλευση τον αυτοκινητόδρομο και διενεργούνται κατά την ημέρα εκτός από μια

μηνιαίως που εκτελείται κατά της βραδινές ώρες με την συνδρομή ενός ηλεκτρολόγου. Τα αποτελέσματα των επιθεωρήσεων της τεχνικής αστυνόμευσης συμπληρώνονται από το προσωπικό σε κατάλληλα έντυπα που περιγράφονται από τις λειτουργικές διαδικασίες και τα δεδομένα καταχωρούνται στο πληροφοριακό σύστημα διαχείρισης στοιχειώδους συντήρησης.

Οι λεπτομερείς επιθεωρήσεις διεκπεραιώνονται έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η παρακώλυση της κυκλοφορίας, να υπάρχει επαρκής πρόσβαση για την πραγματοποίησή τους και να διασφαλίζεται η προστασία του προσωπικού που τις διενεργεί, με την τήρηση πάντοτε των απαραίτητων μέτρων ασφαλείας σύμφωνα με τις ισχύουσες διατάξεις. Όταν οι λεπτομερείς επιθεωρήσεις απαιτούν αποκλεισμό μιας ή όλων των λωρίδων κυκλοφορίας, πραγματοποιούνται όταν ο δρόμος τίθεται εκτός κυκλοφορίας για άλλες εργασίες συντήρησης. Όπου απαιτείται αποκλεισμός μεμονωμένων λωρίδων, η επιθεώρηση δεν πρέπει να πραγματοποιείται σε περιόδους αιχμής, ενώ θα πρέπει να προτιμάται η νυκτερινή εργασία ή ο αποκλεισμός των λωρίδων με κινητά φράγματα, ώστε να ελαχιστοποιείται η παρακώλυση της κυκλοφορίας. Οι λεπτομερείς επιθεωρήσεις για τον εντοπισμό φθορών στα ερείσματα τμημάτων της οδού με 3 λωρίδες κυκλοφορίας διενεργούνται από τη Λωρίδα Έκτακτης Ανάγκης (ΛΕΑ) ή το έρεισμα. Από τις θέσεις αυτές πρέπει επίσης να επιθεωρείται η κατάσταση του οδοστρώματος, καθώς και τα φρεάτια και κρασπεδόρειθρα που βρίσκονται στη ΛΕΑ, σύμφωνα με τις προβλεπόμενες συχνότητες. Ανά 2 έτη (ή συχνότερα εάν προβλέπεται αποκλεισμός της λωρίδας για άλλους σκοπούς ή συνιστάται βάσει της πρότερης εμπειρίας) πραγματοποιείται λεπτομερής επιθεώρηση από την πλευρά της διαχωριστικής νησίδας, με αποκλεισμό της αριστερής λωρίδας με κώνους. Η επιθεώρηση αυτή καλύπτει όλα τα στοιχεία εντός και εγγύς της διαχωριστικής νησίδας, καθώς και τα στοιχεία που υφίστανται επιθεώρηση ανά 2 έτη ή συχνότερα. Επιπλέον, αντίστοιχη επιθεώρηση πρέπει να πραγματοποιείται και στη δεξιά λωρίδα του καταστρώματος της οδού όπως και στη διαγράμμιση του οδοστρώματος. Για τα τμήματα της οδού με 2 λωρίδες κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση αρκούν κατά κανόνα οι επιθεωρήσεις από τη λωρίδα έκτακτης ανάγκης, για την καταγραφή φθορών σε όλο το πλάτος της επιφάνειας του καταστρώματος. Ο αποκλεισμός της αριστερής λωρίδας κυκλοφορίας πρέπει να εφαρμόζεται ανά 2 έτη ή αραιότερα, για την καλύτερη προστασία του προσωπικού επιθεώρησης εντός της διαχωριστικής νησίδας.

Οι λεπτομερείς επιθεωρήσεις διενεργούνται από 2 τεχνικούς οι οποίοι κινούνται πεζοί. Στον πίνακα 1.1. φαίνεται η συχνότητα που πρέπει να γίνονται λεπτομερείς επιθεωρήσεις σε κάθε τεχνικό έργο (γέφυρες, σήραγγες, οδόστρωμα), οι θέσεις επιθεώρησης, τα είδη φθοράς και η άμεση αντιμετώπιση, αν χρειάζεται.

Πίνακας 1.1.

Στοιχείο Γέφυρας	Συχνότητα Επιθεώρησης	Θέσεις επιθεώρησης	Είδη Φθοράς	Άμεση Ενέργεια
Αρμοί	1φορά/μήνα	Εγχειρίδιο Οπτικής Επιθεώρησης Αρμών	Φθορά μεταβατικών λωρίδων αρμού	-
			Φθορά ελαστομερούς επιφάνειας αρμού	-
			Φθορά/ απώλεια αγκύρωσης αρμού	-
			Απώλεια τεμαχίου αρμού	Κλείσιμο λωρίδας/ προσωρινή κάλυψη τεμαχίου
Τροχαυλάκωση οδοστρώματος	1φορά/2 χρόνια	Εγχειρίδιο Οπτικής Επιθεώρησης Γεφυρών	Πριν και μετά την γέφυρα	-
			Παντού	-
Ρωγμές οδοστρώματος γεφυρών	1 φορά/2 χρόνια	Εγχειρίδιο Οπτικής Επιθεώρησης Γεφυρών	Διαμήκειες ρωγμές Εγκάρσιες ρωγμές	-
Πεζοδρόμια	1 φορά/2 χρόνια	Εγχειρίδιο Οπτικής Επιθεώρησης Γεφυρών	Επιφανειακή Αποφλοίωση σκυροδέματος	-
			Εκτίναξη σκυροδέματος	
			Αστοχία αγκύρωσης στηθαίων	
Φρεάτια αποχέτευσης καταστρώματος	Μετά από μεγάλη βροχόπτωση 1 φορά/ χρόνο	Εγχειρίδιο Οπτικής Επιθεώρησης Γεφυρών	Βούλωμα φρεατίων λόγω πλήρωσης με φερτά/ απορρίμματα	-
			Αστοχία στεγάνωσης φρεατίων	
Προσκρούσεις κάτω παρειάς γεφυρών/ τελικής επένδυσης σήραγγων	1 φορά/χρόνο	Εγχειρίδιο Οπτικής Επιθεώρησης Γεφυρών	Απώλεια διατομής σκυροδέματος	-
			Έκθεση ράβδων οπλισμού	
			Θραύση ράβδων οπλισμού	
Ακρόβαθρα/ Μεσόβαθρα Άνω Διαβάσεων	1φορά/3 χρόνια	Εγχειρίδιο Οπτικής Επιθεώρησης Γεφυρών	Φθορά βαφής	-
			Επιφανειακή Αποφλοίωση σκυροδέματος	
			Ίχνη οξείδωσης οπλισμού	
			Εκτίναξη σκυροδέματος	
Συλλεκτήριοι αγωγοί Άνω Διαβάσεων	Μετά από μεγάλη βροχόπτωση ή 1 φορά/ χρόνο	Εγχειρίδιο Οπτικής Επιθεώρησης Γεφυρών	Οξείδωση/βλάβη σωλήνα	-
			Διαρροή σωλήνα	
Τελική επένδυση σήραγγων	1 φορά/χρόνο	Επιφάνεια σκυροδέματος τελικής επένδυσης σήραγγας	Ρωγμές εγκάρσιες/διαμήκειες. Περιοχές υγρασίας, διαρροής υπόγειων νερών. Εκτινάξεις, διογκώσεις, άλλες επιφ. φθορές σκυροδέματος	Κλείσιμο λωρίδας ή προειδοποιητική σήμανση

* Προσωρινή επισκευή (κάλυψη με ψυχρή αμμόασφαλτο) και προειδοποιητική σήμανση ή αποκλεισμός λωρίδας, αναλόγως της επικινδυνότητας για το χρήστη.

1.2.1. Επιθεώρηση οδοστρώματος

Η φθορά των οδοστρωμάτων αποτελεί ένα ιδιαίτερα συχνό φαινόμενο στα οδικά δίκτυα. Η κατάσταση του οδοστρώματος αφορά άμεσα τους χρήστες του δρόμου καθώς συνδέεται με την ασφάλεια της κυκλοφορίας, την ποιότητα κύλισης, το λειτουργικό κόστος του οχήματος, την ταχύτητα των οχημάτων και τους χρόνους μετακίνησης. Έτσι, είναι απαραίτητη η επιθεώρηση για να εντοπιστούν τυχόν αστοχίες στην επιφάνεια του οδοστρώματος και η περαιτέρω αποκατάστασή του.

Φθορά είναι κάθε είδους ανωμαλία, η οποία επιδεινώνει τις συνθήκες κύλισης των οχημάτων στην επιφάνεια ενός οδοστρώματος. Οι φθορές είναι συγχρόνως αιτίες και αποτελέσματα, καθώς οι αρχικές φθορές αποτελούν συνήθως αιτία νέων φθορών του ίδιου ή διαφορετικού τύπου. Οι φθορές που εμφανίζονται στα οδοστρώματα μπορούν να ταξινομηθούν σε ρηγματώσεις, παραμορφώσεις, αποσαθρώσεις και λείανση της επιφάνειας κύλισης. Εξελίσσονται είτε προοδευτικά σε μεγάλο χρονικό διάστημα όπως οι αυλακώσεις είτε γρήγορα και ξαφνικά σε ελάχιστο χρονικό διάστημα όπως οι μεγάλες λακκούβες, οι διογκώσεις και οι καθιζήσεις.

Οι κυριότεροι παράγοντες, που επηρεάζουν την συμπεριφορά ή απόδοση ενός οδοστρώματος είναι η ποιότητα της κατασκευής, ο βαθμός ορθότητας της μελέτης διαστασιολόγησης, η καταλληλότητα των χρησιμοποιούμενων υλικών, ο κυκλοφοριακός φόρτος (φορτίο ανά άξονα, διάρκεια εφαρμογής φορτίου, σύνθεση της κυκλοφορίας, ταχύτητα της κυκλοφορίας) και οι συνθήκες του περιβάλλοντος. Ο εντοπισμός και η αξιολόγηση των φθορών των οδοστρωμάτων μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους και τεχνικές (χειρωνακτικές ή αυτοματοποιημένες).

Οι χειρωνακτικές βασίζονται στην οπτική παρατήρηση. Είναι ακόμα και σήμερα ίσως ο πιο διαδεδομένος τρόπος για την επιθεώρηση των οδοστρωμάτων. Οι μέθοδοι αυτές πραγματοποιούνται από εκπαιδευμένους και συνήθως έμπειρους μηχανικούς που εργάζονται ή οδηγούν κατά μήκος του δρόμου και μετρούν την κάθε αστοχία. Χρησιμοποιούνται αρκετές τεχνικές καθώς η φθορά των οδοστρωμάτων εκφράζεται με αρκετούς τρόπους όπως ρωγμές, αυλακώσεις, διογκώσεις κ.α. Για παράδειγμα, η μέτρηση ενός αυλακιού (εικόνα 1.1.) μπορεί να γίνει με χρήση ενός χάρακα σε συνδυασμό είτε με μια επίπεδη επιφάνεια ή με ένα σύρμα. Δύο μέλη του συνεργείου εξασφαλίζουν ότι το σύρμα είναι τεντωμένο κατά μήκος του αυλακιού πατώντας το, ενώ ένα τρίτο μέλος μετράει το βάθος του αυλακιού από το ύψος του σύρματος μέχρι το κάτω μέρος του.

Εικόνα 1.1.



Τα μειονεκτήματα των χειρονακτικών μεθόδων είναι ότι είναι αργές, δαπανηρές και απαιτούν υψηλής εντάσεως εργασία, οδηγούν σε αρκετά σφάλματα, αφού δεν μπορεί να γίνει απόλυτη μέτρηση της επιφάνειας καθώς υπεισέρχεται μεγάλος βαθμός υποκειμενικότητας. Το σημαντικότερο μειονέκτημα αυτών των μεθόδων είναι οι κίνδυνοι στους οποίους εκτίθεται το προσωπικό καθώς οι εργασίες γίνονται παράλληλα με υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο σε μεγάλες ταχύτητες.

Ως επακόλουθο των προαναφερθέντων μειονεκτημάτων των χειρονακτικών ερευνών, αναπτύχθηκαν διάφορες αυτοματοποιημένες μέθοδοι για την παρακολούθηση και αξιολόγηση των φθορών του οδοστρώματος. Οι μέθοδοι αυτές προσανατολίζονται στον καθορισμό τεχνικών συλλογής δεδομένων που να καθιστά δυνατή την απόκτηση κατάλληλης γνώσης εντός περιορισμένου χρόνου και κόστους διαχείρισης. Μια τέτοια μέθοδος πρέπει να μπορεί να αναγνωρίζει όλους τους τύπους επιφανειακής αστοχίας και να χρησιμοποιεί ένα ευρύ φάσμα ταχυτήτων συλλογής δεδομένων κάτω από διαφορετικές καιρικές συνθήκες. Κατά τις δύο περασμένες δεκαετίες διάφορες εταιρίες προσπάθησαν να αναπτύξουν μεθόδους για την αναγνώριση, ταξινόμηση και μέτρηση των αστοχιών του οδοστρώματος. Αυτές βασίζονται κυρίως στις τεχνικές της φωτογραμμετρίας, την υπέρυθη ακτινοβολία και την τεχνολογία σάρωσης laser και χρησιμοποιούνται ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές και σαρωτές(εικόνα 1.2.).

Εικόνα 1.2.



1.2.2.Επιθεώρηση σηράγγων

Το διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών επιθεωρήσεων μιας δεδομένης σήραγγας συνήθως δεν υπερβαίνει το ένα έτος. Αν με την έκθεση του Φορέα Επιθεώρησης, η Διοικητική Αρχή κρίνει ότι μία σήραγγα δεν είναι σύμφωνη προς τις διατάξεις των ισχυόντων κανονισμών και οδηγιών, κοινοποιεί στο Διαχειριστή της σήραγγας και τον Αρμόδιο Ασφαλείας ότι η σήραγγα πρέπει να ανακαινισθεί. Μετά την ανακαίνισή της, η σήραγγα τίθεται και πάλι σε λειτουργία.

Οι αναλύσεις κινδύνου εκτελούνται από ανεξάρτητο φορέα, κατ' αίτηση και υπ' ευθύνη της Διοικητικής Αρχής. Η ανάλυση κινδύνου σε μία δεδομένη σήραγγα λαμβάνει υπόψη όλους τους παράγοντες σχεδιασμού και τις συνθήκες κυκλοφορίας που επηρεάζουν την ασφάλεια, και ιδίως τα χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας, το μήκος της σήραγγας, τον τύπο κυκλοφορίας και τη μορφή της σήραγγας, καθώς και τον προβλεπόμενο αριθμό διέλευσης βαρέων φορτηγών οχημάτων ανά ημέρα.

Η επιφάνεια σκυροδέματος τελικής επένδυσης των σηράγγων πρέπει να επιθεωρείται τουλάχιστον μία φορά το χρόνο από έμπειρους μηχανικούς (εικόνα 1.3.). Πιθανά είδη φθοράς που μπορεί να υποστεί είναι εγκάρσιες ή διαμήκεις ρωγμές. Μπορεί να παρουσιαστούν περιοχές υγρασίας λόγω των υπογείων νερών. Επίσης, πιθανά είδη αστοχίας είναι η διόγκωση και η εκτίναξη.

Εικόνα 1.3.



1.2.3.Επιθέρηση γεφυρών

Οι γέφυρες είναι σημαντικά τεχνικά έργα και συνιστούν ένα μεγάλο κεφάλαιο για κάθε χώρα. Όπως κάθε τεχνικό έργο φθείρεται με την πάροδο του χρόνου με αποτέλεσμα τόσο ο χρόνος ζωής του όσο και το επίπεδο εξυπηρέτησής του να μειώνεται συνεχώς. Η φθορά που επέρχεται με την πάροδο του χρόνου οφείλεται στη γήρανση των υλικών κατασκευής, στις επιδράσεις περιβαλλοντικών συνθηκών (π.χ. διάβρωση), στην εκτεταμένη χρήση, στην ανεπαρκή συντήρηση ή ακόμη και σε ατέλειες της αρχικής μελέτης και κακοτεχνίες στη διάρκεια της κατασκευής. Η γέφυρα πέρα από τη φθορά του χρόνου επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες όπως τα φορτία κυκλοφορίας, οι ατυχηματικές δράσεις, όπως για παράδειγμα η σύγκρουση οχήματος στα ερείσματα του καταστρώματος, και τέλος οι ατυχηματικές περιβαλλοντικές δράσεις, όπως είναι ο ισχυρός άνεμος, η σεισμική δόνηση και η πλημμύρα.

Μία γέφυρα αποτελείται από τμήματα όπως τα ακρόβαθρα, τα μεσόβαθρα, το κατάστρωμα της ανωδομής, τους περυγότοιχους και εξαρτήματα όπως οι αρμοί, τα εφέδρανα, τα στηθαία ασφαλείας, τις συσκευές δυναμικής εμπλοκής, τα σύστημα αποχέτευσης και αποστράγγισης και τους πυλώνες ηλεκτροφωτισμού. Η συστηματική παρακολούθηση της κατάστασης των τμημάτων και των εξαρτημάτων και ο καθορισμός των απαραίτητων διορθωτικών κινήσεων (συντήρηση, επισκευές) στα τμήματα που έχουν υποστεί φθορές είναι ένα πολύ σημαντικό ζήτημα.

Το παρόν ζήτημα καθορίζει την προσέγγιση και την επιλογή ενός κατάλληλου συστήματος επιθεώρησης της κατασκευής. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές παρακολούθησης της κατάστασης των γεφυρών. Μία τεχνική είναι ο απλός οπτικός έλεγχος μέσω επιφανειακής επιθεώρησης των διαφόρων στοιχείων του δομήματος. Εφαρμόζεται από

έμπειρους μηχανικούς οι οποίοι, μέσα από επιφανειακές επιθεωρήσεις στα διάφορα τμήματα της γέφυρας, εντοπίζουν πιθανές βλάβες ή φθορές που έχει υποστεί η κατασκευή (εικόνα 1.4). Για να περιορίζεται ο παράγοντας της υποκειμενικότητας και της εσφαλμένης κρίσης του ελεγκτή, η διάγνωση των βλαβών συνοδεύεται από βοηθητικά ερωτηματολόγια τα οποία κατατάσσουν το κτίριο σε συγκεκριμένη κατηγορία ανάλογα με τις βλάβες που παρουσιάστηκαν.

Εικόνα 1.4.



Μια άλλη τεχνική είναι ο ενόργανος οπτικός έλεγχος, ο οποίος είναι ένα βήμα πιο μπροστά από τον απλό οπτικό έλεγχο. Η διαφορά αυτής της τεχνικής είναι ότι οι εκτιμήσεις της κατάστασης των διαφόρων μελών τεκμηριώνονται μέσα από πειραματικά στοιχεία. Σε αυτό το επίπεδο ελέγχου γίνεται χρήση διάφορων συσκευών οι οποίες δίνουν μια πιο κοντινή στην πραγματικότητα εικόνα της κατασκευής και των οπλισμών της σε σχέση με τα σχέδια και τις προδιαγραφές της αρχικής μελέτης.

Τέλος, υπάρχει και ένας τρίτος τρόπος παρακολούθησης γεφυρών ο οποίος στηρίζεται σε σύγχρονα τεχνολογικά μέσα (έξυπνα συστήματα παρακολούθησης) και κατάλληλη επεξεργασία των μετρητικών δεδομένων μέσα από προσομοιώματα σε υπολογιστές. Γενικά υπάρχουν πολλά τεχνολογικά συστήματα που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση μεγάλων τεχνικών έργων όπως είναι οι γέφυρες (εικόνα 1.5.: ακουστική μονάδα συστήματος παρακολούθησης, εικόνα 1.6.: λεπτομέρεια δικτύου αισθητήρων σε μεταλλική γέφυρα). Τα συστήματα αυτά είναι δυο κατηγοριών. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν αυτά τα οποία συνδέονται με τις μονάδες παρακολούθησης μέσω καλωδίων ενώ στη δεύτερη και πιο σύγχρονη κατηγορία ανήκουν αυτά τα οποία συνδέονται με τις οθόνες ελέγχου με ραδιενεργά ή ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Και οι δυο κατηγορίες πάντως έχουν το μειονέκτημα του υψηλού κόστους τοποθέτησης και διατήρησης πράγμα που καθιστά το τρίτο είδος ελέγχων τελευταίο σε προτεραιότητα από όλους τους ελέγχους που γίνονται σε μια κατασκευή.

Εικόνα 1.5.



Εικόνα 1.6.



Τα στοιχεία που προκύπτουν από τους παραπάνω ελέγχους συγκεντρώνονται σε βάσεις δεδομένων, οι οποίες μετά από κατάλληλη επεξεργασία καταλήγουν στην τελική εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας του δομήματος. Οι βάσεις δεδομένων που δημιουργούνται έχουν και μια επιπλέον χρησιμότητα καθώς συγκεντρώνουν και τις πιθανές μορφές που μπορούν να παρουσιαστούν σε μια κατασκευή και τους τρόπους συντήρησης που μπορούν να λάβουν χώρα, ανάλογα με τη βλάβη του στοιχείου.

1.3.Αττική οδός

Από τη δεκαετία του '60 είχε εντοπιστεί η ανάγκη για την κατασκευή ενός αυτοκινητόδρομου που θα αποτελούσε τον περιφερειακό δακτύλιο της Αθήνας. Οι στόχοι της ιδέας αυτής ήταν η περιβαλλοντική ανακούφιση της περιοχής και η διευκόλυνση της κυκλοφορίας στο οδικό δίκτυο του Λεκανοπεδίου. Πρώτο όνομα του έργου ήταν "Λεωφόρος Ελευσίνας-Σταυρού". Στη δεκαετία του '80 ο σχεδιαζόμενος τότε αυτοκινητόδρομος μετονομάστηκε σε Ελεύθερη Λεωφόρο Ελευσίνας - Σταυρού - Σπάτων (Ε.Λ.Ε-Σ-Σ) λόγω της χωροθέτησης του Αεροδρομίου "Ελευθέριος Βενιζέλος" στα Σπάτα. Η Δυτική Περιφερειακή Λεωφόρος Υμηττού (Δ.Π.Λ.Υ) εντάχθηκε στα σχέδια του περιφερειακού δακτυλίου κατά τη δεκαετία του '90. Η ενοποίηση των δύο παραπάνω αυτοκινητοδρόμων ονομάστηκε Αττική Οδός.

Η Αττική Οδός ήταν ένα έργο που για να υλοποιηθεί χρειάστηκε πολύ σκέψη και μελέτη κατά τη δεκαετία του '90. Οι δυσκολίες ήταν το μέγεθος και οι ιδιαιτερότητες της κατασκευής καθώς η Αττική Οδός θα διαπερνούσε χώρους μεγάλης ιστορικής σημασίας και κατοικημένες περιοχές.

Η Αττική Οδός είναι ένα πρωτοποριακό έργο που κατασκευάστηκε με τη μέθοδο της παραχώρησης. Έχει μήκους 65 χλμ. Αποτελεί τον περιφερειακό δακτύλιο της ευρύτερης μητροπολιτικής περιοχής της Αθήνας και τη σπονδυλική στήλη του οδικού δικτύου ολόκληρου του Νομού Αττικής. Είναι ένας αστικού τύπου αυτοκινητόδρομος. Έχει 3 λωρίδες κυκλοφορίας και μια λωρίδα έκτακτης ανάγκης ανά κατεύθυνση. Στο μέσον της, σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο, κινείται ο προαστιακός σιδηρόδρομος. Αποτελεί έργο υποδομής μοναδικό, ακόμα και για τα ευρωπαϊκά δεδομένα, καθώς είναι ένας κλειστός αυτοκινητόδρομος με διόδους, που διασχίζει μια μητροπολιτική πρωτεύουσα με έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση.

Τα οφέλη που προέκυψαν από την κατασκευή και από τη λειτουργία της Αττικής Οδού είναι πολλά και σημαντικά. Δημιουργεί το βασικό κορμό διασύνδεσης όλων των μεταφορικών μέσων και υποδομών της Αττικής: οδικών, εναέριων, σταθερής τροχιάς (Μετρό, Τραμ, Σιδηρόδρομος, Προαστιακός κ.ά.) και λιμανιών. Βοηθά στη στρατηγική αναδιάρθρωση των δικτύων ενέργειας και τηλεπικοινωνιών. Συντελεί στην ανάπτυξη και ολοκλήρωση του χωροταξικού και πολεοδομικού σχεδιασμού του Νομού Αττικής. Συμβάλλει στην οικιστική και επιχειρηματική ανάπτυξη των απομακρυσμένων περιοχών του Νομού. Μειώνει σημαντικά τον κυκλοφοριακό φόρτο της πρωτεύουσας, αφού υπολογίζεται ότι έχει απορροφήσει σημαντικό ποσοστό της συνολικής καθημερινής διαμετρικής κίνησης των οχημάτων στο Λεκανοπέδιο.

Ο αυτοκινητόδρομος της Αττικής Οδού αποτελεί το συνδετικό κρίκο του οδικού άξονα ΠΑΘΕ (Πάτρα-Αθήνα-Θεσσαλονίκη-Εύζωνοι) αφού συνδέει την Εθνική Οδό Αθηνών-Λαμίας με την Εθνική Οδό Αθηνών-Κορίνθου, παρακάμπτοντας το κέντρο της Αθήνας. Ως κλειστός αυτοκινητόδρομος έχει ελεγχόμενες προσβάσεις και αποτελείται από δύο κάθετα μεταξύ τους τμήματα:

- Την Ελεύθερη Λεωφόρο Ελευσίνας-Σταυρού-Σπάτων (Ε.Λ.Ε-Σ-Σ), μήκους περίπου 52 χλμ. (της οποίας η επιθεώρηση θα εξεταστεί στην παρούσα εργασία)
- Τη Δυτική Περιφερειακή Λεωφόρο Υμηττού (Δ.Π.Λ.Υ), μήκους περίπου 13 χλμ

Ο πίνακας 1.2. παρουσιάζει τα βασικά στοιχεία του έργου. Κατά την κατασκευή της Αττικής Οδού έγιναν κάποιες καινοτομίες. Στη διάνοιξη σηράγγων εκτός από τη μέθοδο NATM (Drill & Blast) χρησιμοποιήθηκε και εφαρμόστηκε και η μέθοδος εκσκαφής σηράγγων με Roadheader για τη μείωση των δονήσεων (η τιμή ταχύτητας εδαφικής δόνησης περιορίστηκε στα 0,7 mm/sec) και την αποφυγή χρήσης εκρηκτικών σε χώρους ιστορικού ενδιαφέροντος (μνημεία, εκκλησίες, κλπ.). Στη γεφυροποιία εκτός των γνωστών μεθόδων της επί τόπου σκυροδέτησης συμβατικών ή προεντεταμένων φορέων, εφαρμόστηκε και η μέθοδος Προώθησης (Incremental Launching System) για την κατασκευή της ανωδομής γεφυρών. Επίσης, εφαρμόστηκε για πρώτη φορά η κατασκευή οδοστρωμάτων με σύγχρονες

κατασκευαστικές μεθόδους και μηχανικό εξοπλισμό, αξιόπιστα υλικά και εξειδικευμένες εργαστηριακές μετρήσεις και δοκιμές που εξασφαλίζουν την αντοχή τους στο χρόνο.

Στον πίνακα 1.2. παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά της Αττικής Οδού.

Πίνακας 1.2.

Η ταυτότητα του Έργου	
Συνολικό μήκος	65,20 χλμ.
Δίκτυο βοηθητικών/ παράπλευρων οδών	150 χλμ.
Ανισόπεδοι κόμβοι σε λειτουργία	29
Οδικές γέφυρες-Άνω διαβάσεις	100
Οδικές γέφυρες-Κάτω διαβάσεις	25
Γέφυρες σιδηροδρομικών γραμμών	38
Γέφυρες ρεμάτων	21
Πεζογέφυρες (άνω διαβάσεις)	12
Σηράγγες και πλήρως υπογειοποιημένα τμήματα Cut & Cover	56
Συνολικό μήκος σηράγγων και Cut & Cover	15,36 χλμ.
Μήκος Αντιπλημμυρικών Έργων	66,70 χλμ.
Σταθμοί Εξυπηρέτησης Αυτοκινητιστών / Σ.Ε.Α.	4
Κέντρο Λειτουργίας και Συντήρησης	1
Σημεία Εξυπηρέτησης Συνδρομητών	11
Σταθμοί Διοδίων	39
Συνολικές λωρίδες διοδίων	195
Ηλεκτρονικές λωρίδες διοδίων	55
Λωρίδες διοδίων με εισπράκτορα	140

1.4. Δομή της εργασίας

Η δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εξής:

- Δεύτερο κεφάλαιο: Βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με το αντικείμενο της χωροθέτησης. Ανάλυση και επεξήγηση των σημαντικότερων προτύπων χωροθέτησης των τελευταίων 40 ετών.
- Τρίτο κεφάλαιο: Κατάστρωση της μεθοδολογίας. Επιλογή συγκεκριμένου αλγόριθμου για το συγκεκριμένο πρόβλημα
- Τέταρτο κεφάλαιο: Εφαρμογή του αλγορίθμου που επιλέχθηκε και προσαρμογή του στο πρόβλημα. Διαγράμματα ροής αλγόριθμου και κυρίως προγράμματος.
- Πέμπτο κεφάλαιο: Αποτελέσματα της εφαρμογής του αλγόριθμου στον οδικό άξονα Αττικής οδού και παρουσίαση της καλύτερης λύσης
- Έκτο κεφάλαιο: Συμπεράσματα και προτάσεις τα οποία προέκυψαν από την μεέτη του προβλήματος.
- Έβδομο κεφάλαιο: Βιβλιογραφία

2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1. Εισαγωγή – Η έννοια της χωροθέτησης

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια σύντομη παρουσίαση και ανάλυση της βιβλιογραφίας που έχει δημιουργηθεί τα τελευταία χρόνια για τα προβλήματα χωροθέτησης μονάδων παροχής εξυπηρέτησης και άμεσης αντιμετώπισης.

Η επιστήμη αυτή προέρχεται από τους αρχαίους Έλληνες γεωμέτρους, Ευκλείδη και Πυθαγόρα, οι οποίοι πρώτοι ασχολήθηκαν με γεωμετρικές αποστάσεις. Ωστόσο ιστορικά, η πρώτη μελέτη που έλυσε πρόβλημα 'χωροθέτησης' έγινε από τον Κωνσταντίνο τον Πορφυρογέννητο κατά την περίοδο της Βυζαντινής αυτοκρατορίας του 4ο μ.Χ. αιώνα. Αναζήτησε λύση στο εξής πρόβλημα: Σε ένα δίκτυο με διακριτές διαθέσιμες θέσεις θέλησε να τοποθετήσει με το βέλτιστο τρόπο έξι Ρωμαϊκές Λεγεώνες ούτως ώστε όταν μια ομάδα στρατιωτών από κάθε απόσπασμα επιφυλακής κάνει μια απλή μετακίνηση να μπορεί να υπερασπιστεί ταυτόχρονα τόσο το εσωτερικό της αυτοκρατορίας από πιθανές τοπικές αναταραχές, όσο και τα σύνορα από απειλές εισβολέων.

Η έννοια της χωροθέτησης έγινε ευρέως γνωστή τα τελευταία 40 χρόνια για τους εξής δύο λόγους:

- Η ραγδαία ανάπτυξη στην τεχνολογία των υπολογιστών. Τα τελευταία χρόνια αναλύθηκαν πρότυπα και αλγόριθμοι, εκτελέστηκαν και επιλύθηκαν μαθηματικά προγράμματα με χρήση λογισμικών φιλικών προς το χρήστη.
- Ο Charles ReVelle, ο οποίος το 1970 όταν σχεδόν κανείς δεν ασχολείτο με την χωροθέτηση δημοσίευσε τη λύση του σε ένα πρόβλημα που είχε θέσει λίγα χρόνια νωρίτερα ο Πρόεδρος των Η.Π.Α. Lyndon Baines Johnson. Στα χρόνια που ακολούθησαν δημοσίευσε πάνω από 150 άρθρα και έγραψε 6 βιβλία που αναφέρονται στην έννοια αυτή.

Το πρώτο πρόβλημα που κλήθηκε να λύσει ο Charles ReVelle μιλούσε για το που θα έπρεπε να τοποθετηθούν νοσοκομεία που εξειδικεύονται στον καρκίνο, στην καρδιά και σε εγκεφαλικό επεισόδιο σε όλη τη χώρα. Χρησιμοποιώντας τον κλάδο των μαθηματικών γνωστός ως βελτιστοποίηση, και το εργαλείο που ονομάζεται γραμμικός προγραμματισμός, επινόησε το εξής μοντέλο: Τα αστικά κέντρα θα ενσωματώνονται ως «κόμβοι» και τα νοσοκομεία θα τοποθετούνται έτσι ώστε η μέση απόσταση που θα διένυαν οι άνθρωποι να είναι ως όσο το δυνατόν μικρότερη. Τα επόμενα χρόνια σε διαφορετικά προβλήματα πρότεινε τις καλύτερες θέσεις εγκατάστασης εργοστασίων, ασθενοφόρων, πυροσβεστικών σταθμών, αγωγών, αποθηκών και τις πιο ασφαλείς και πιο αποτελεσματικές οδούς για τη

μεταφορά χρησιμοποιημένων πυρηνικών ράβδων καυσίμου. (Johns Hopkins Magazine, 1997)

Τα πρότυπα βελτιστοποίησης μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες, οι οποίες θα αναλυθούν και θα επεξηγηθούν στα επόμενα υποκεφάλαια:

- Στατικά και ντετερμινιστικά πρότυπα: Αγνοούν τις πιθανοτικές συνιστώσες του προβλήματος, γι' αυτό και χρησιμοποιούνται κυρίως στο στάδιο του σχεδιασμού. (2.2.)
- Στοχαστικά πρότυπα: Προσεγγίζουν το στοχαστικό χαρακτήρα των συστημάτων, δηλαδή οι μονάδες παροχής εξυπηρέτησης οι οποίες, κάποιες φορές μπορεί να μην είναι διαθέσιμες για να εξυπηρετήσουν μία κλήση για επέμβαση, λειτουργούν ως ένα σύστημα χωρικών ουρών (spatial queues).(2.3)

2.2. Στατικά και Ντετερμινιστικά πρότυπα χωροθέτησης

2.2.1. Γενικά στοιχεία

Στο υποκεφάλαιο αυτό θα γίνει ανάλυση και επεξήγηση των βασικών στατικών και ντετερμινιστικών προτύπων. Θα εξεταστούν διάφορες αντικειμενικές συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται σε συνηθισμένες εφαρμογές και θα παρουσιαστούν οι σημαντικότερες έρευνες που σχετίζονται με την κάθε κατηγορία προβλήματος. Τα πρότυπα αυτά είναι τα πρώτα που προτάθηκαν για επίλυση προβλημάτων χωροθέτησης μονάδων παροχής εξυπηρέτησης και άμεσης βοήθειας. Τα δεδομένα εισόδου είναι σταθερές. Η επιλογή της λύσης γίνεται λαμβάνοντας υπόψη ένα από τα πολλά πιθανά κριτήρια ή αντικειμενικές συναρτήσεις. Η λύση αντιστοιχεί μόνο σε μια χρονική στιγμή (σταθερή ως προς το χρόνο). Τα κυριότερα πρότυπα, τα οποία θα αναλυθούν στη συνέχεια παρουσιάζονται στον πιο κάτω πίνακα.

Πίνακας 2.1. Σύνοψη στατικών και ντετερμινιστικών προτύπων

Συγγρα- φείς	Χρονο- λογία	Πρότυ- πο	Αντικειμενική συνάρτηση	Οχήματα
Hakimi	1964	P- median	Ελαχιστοποιεί τη μέση διανυόμενη απόσταση	Ένας τύπος. Απεριόριστ

				ος αριθμός
Toregas et al.	1971	LSCM	Ελαχιστοποιεί τον αριθμό των μονάδων	Ένας τύπος. Δεδομένος αριθμός
Church και Revelle	1974	MCLP	Μεγιστοποιεί την κάλυψη της ζήτησης	Ένας τύπος. Δεδομένος αριθμός
Shilling et al.	1979	TEAM	Μεγιστοποιεί την κάλυψη της ζήτησης	Δύο τύποι. Δεδομένος αριθμός
Daskin και Stern	1981	MMCL P	Μεγιστοποιεί την πολλαπλή κάλυψη της ζήτησης	Ένας τύπος. Δεδομένος αριθμός
Hogan και Revelle	1986	BACO P 1,2	Μεγιστοποιεί την κάλυψη της ζήτησης απλά και διπλά	Ένας τύπος. Δεδομένος αριθμός
Gendrea u et al.	1997	DSM	Μεγιστοποιεί την κάλυψη της ζήτησης τουλάχιστον διπλά σε χρόνο r_1	Ένας τύπος. Δεδομένος αριθμός

2.2.2. P-Median Problem (Προβλήματα διάμεσου)

Ο Hakimi (1964) εισήγαγε ένα τυπικό πρότυπο έρευνας (P- διάμεσο) για τον καθορισμό ομοιόμορφων περιοχών, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε προβλήματα παροχής εξυπηρέτησης ή άμεσης βοήθειας. Διαμόρφωσε ένα μέτρο αποτελεσματικότητας για σύστημα χωροθετημένων μονάδων όταν η ζήτηση είναι ανεξάρτητη του επιπέδου παροχής εξυπηρέτησης. Σύμφωνα με το πρότυπο αυτό τοποθετείται μια συνάρτηση βάρους σχετιζόμενη με τη ζήτηση μεταξύ κόμβων ζήτησης και χωροθετημένων μονάδων και υπολογίζεται η μέση, σταθμισμένη με τη ζήτηση, διανυόμενη απόσταση μεταξύ κόμβων ζήτησης και μονάδων εξυπηρέτησης.

Η εκφώνηση του προβλήματος P-διάμεσου (*P-median problem*) είναι (Marianon and Serra, 2002): Ζητείται η βέλτιστη χωροθέτηση P μονάδων ώστε να ελαχιστοποιηθεί η μέση σταθμισμένη διανυόμενη απόσταση μεταξύ των σημείων ζήτησης και των χωροθετημένων μονάδων.

Το πρότυπο P-διάμεσου δίνει τη βέλτιστη χωροθέτηση μονάδων παροχής εξυπηρέτησης ή άμεσης βοήθειας, όπως επίσης και τα σημεία ζήτησης που αντιστοιχούν σε κάθε μονάδα. Τα σημείων αυτά αποτελούν υποπεριοχή του αστικού χώρου ως ομοιογενές σύνολο που είναι. Έχουν κέντρο τη θέση της μονάδας παροχής βοήθειας. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται η διαμέριση του χώρου.

Σύμφωνα με τους Marriano και Serra (2002) η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος είναι η εξής:

$$(1) \quad \text{Minimize} \quad \sum_{i \in V} \sum_{j \in W} h_i d_{ij} Y_{ij}$$

Η αντικειμενική συνάρτηση (1) ζητά να ελαχιστοποιήσει τη μέση σταθμισμένη διανυόμενη απόσταση μεταξύ των σημείων ζήτησης και των χωροθετημένων μονάδων.

$$(2) \quad \sum_{j \in W} X_j = P,$$

Ο περιορισμός (2) επιβάλλει ότι συνολικά P μονάδες θα τοποθετηθούν.

$$(3) \quad \sum_{j \in W} Y_{ij} = 1 \quad \forall i,$$

Ο περιορισμός (3) εξασφαλίζει ότι κάθε κόμβος ζήτησης ανατίθεται σε κάποια μονάδα.

$$(4) \quad Y_{ij} - X_j \leq 0 \quad \forall i, j$$

Ο περιορισμός (4) επιτρέπει αποστολή μόνο σε κόμβους όπου έχει τοποθετηθεί μονάδα.

$$(5) \quad X_j \in \{0,1\} \quad \forall j,$$

$$(6) \quad Y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j.$$

όπου:

W = σύνολο δυνατών (εφικτών) θέσεων χωροθέτησης μονάδων (με δείκτη j)

V = σύνολο κόμβων ζήτησης (με δείκτη i)

h_i = ζήτηση στον κόμβο i

d_{ij} = απόσταση μεταξύ κόμβων i και j

P = αριθμός τοποθετούμενων μονάδων παροχής

$$X_j = \begin{cases} 1 & \text{αν η μονάδα τοποθετείται στο κόμβο } j \\ 0 & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{αν η ζήτηση στον κόμβο } i \text{ εξυπηρετείται από μια μονάδα στον κόμβο } j \\ 0 & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

Σε ένα γενικευμένο δίκτυο το πρόβλημα p -διάμεσου είναι δύσκολο να δώσει βέλτιστη λύση. Για να μειωθεί ο αριθμός των πιθανών συνδυασμών χωροθέτησης περιορίζονται οι δυνατές θέσεις χωροθετημένων μονάδων στους κόμβους του δικτύου σε:

$$(7) \quad \binom{N}{P} = \frac{N!}{P!(N-P)!}$$

N είναι ο αριθμός των κόμβων στο δίκτυο. Για λογικές τιμές των P και N (δεκάδες εκατοντάδες κόμβοι και δεκάδες χωροθετημένες μονάδες) μια συνολική προσέγγιση θα ήταν υπολογιστικά απαγορευτική. Λόγω της δυσκολίας αυτής αναπτύχθηκαν μαθηματικοί αλγόριθμοι και ευρεστικές τεχνικές για την επίλυση του προβλήματος. Οι Daskin και Haghani (1984) έκαναν μια περιληπτική αναφορά σε ευρεστικές τεχνικές και οι Schilling et al. (1993) ασχολήθηκαν με συγκεκριμένες μεθόδους επίλυσης και εφαρμογές.

2.2.3. Προβλήματα κάλυψης

2.2.3.1. Γενικά στοιχεία

Σε κάποιες περιπτώσεις, όπως η χωροθέτηση ασθενοφόρων ή πυροσβεστικών οχημάτων σε μία πόλη, το p -median πρόβλημα, το οποίο ελαχιστοποιεί τη μέση διανυόμενη απόσταση μάλλον κρίνεται ακατάλληλο (Daskin και Owen, 1998). Ο λόγος είναι ότι η ζήτηση για την παροχή υπηρεσιών από συνεργεία άμεσης επέμβασης απαιτεί ένα μέγιστο αποδεκτό χρόνο ή απόσταση επέμβασης. Έτσι η αποτελεσματικότητα πρέπει να μετρηθεί με κάποιο άλλο τρόπο. Ως περιορισμοί για την κάλυψη (*coverage*) της περιοχής είναι η ζήτηση και ο μέγιστος χρόνος απόκρισης. Άρα μια περιοχή θεωρείται ότι καλύπτεται όταν σε θέση να εξυπηρετηθεί εντός ενός προκαθορισμένου χρόνου ή απόστασης. Τα πρότυπα κάλυψης, τα οποίων αντιπροσωπευτικά παραδείγματα θα αναλυθούν στα επόμενα υποκεφάλαια χωρίζονται στις εξής δύο κατηγορίες:

- Πρότυπα με απαιτούμενη κάλυψη (2.2.3.2.)
- Πρότυπα με βελτιστοποίηση κάλυψης (2.2.3.3.)

Η δεύτερη κατηγορία, μάλιστα, χωρίζεται σε άλλες δυο υποκατηγορίες:

- Χωροθέτηση μέγιστης κάλυψης (2.2.3.3.1)
- Χωροθέτηση πολλαπλής μέγιστης κάλυψης – Υπερκάλυψη (2.2.3.3.2)

2.2.3.2. Πρότυπο καθορισμένης κάλυψης (Location Set Covering Model, LSCM)

Αντιπροσωπευτικό πρότυπο της κατηγορίας πρότυπα με απαιτούμενη κάλυψη είναι το πρότυπο Καθορισμένης Κάλυψης (Location Set Covering Model, LSCM), το οποίο εισήγαγαν οι Toregas et al. (1971). Σκοπός του συγκεκριμένου προτύπου είναι ο αριθμός των απαιτούμενων μονάδων να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος, αλλά ταυτόχρονα να καλύπτεται όλη η ζήτηση για την εξυπηρέτηση της περιοχής εντός συγκεκριμένου χρόνου. Το πρότυπο Καθορισμένης Κάλυψης αγνοεί 2 σημαντικές όψεις των πραγματικών προβλημάτων. Αρχικά, δεν υπάρχει διάκριση μεταξύ της ζήτησης για εξυπηρέτηση κάθε κόμβου. Συγκεκριμένα, κάθε κόμβος είτε περιλαμβάνει έναν μόνο πελάτη είτε μεγάλο τμήμα της συνολικής ζήτησης και πρέπει, άσχετα με το κόστος, να καλυφθεί από τη δοθείσα χρονική απόσταση r . Και επίσης προτάσσει ένα κάτω όριο του αριθμού των μονάδων που απαιτούνται ώστε να έχουμε πλήρη κάλυψη της περιοχής. Αυτό διότι σύμφωνα με το πρότυπο αυτό αν ένα όχημα είναι μη διαθέσιμο, ίσως κάποια σημεία να μην καλύπτονται πια εντός της δοθείσας χρονικής απόστασης (Laporte et al., 2003).

Το πρόβλημα διατυπώνεται ως εξής:

Minimize

$$\sum_{j \in W} x_j$$

(1) Αντικειμενική συνάρτηση: Ελαχιστοποιεί τον αριθμό των οχημάτων ώστε να καλυφθεί η ζήτηση της περιοχής μέσα σε προκαθορισμένο χρόνο

subject to

$$\sum_{j \in W_i} x_j \geq 1 \quad (i \in V)$$

(2) Περιορισμός: Καθορίζει ότι όλα τα σημεία της περιοχής πρέπει να καλύπτονται εντός χρόνου r .

$$x_j \in \{0,1\} \quad (j \in W)$$

όπου:

W = σύνολο δυνατών θέσεων τοποθέτησης κινητού συνεργείου παροχής υπηρεσιών (με δείκτη j)

V = σύνολο κόμβων ζήτησης παροχής υπηρεσίας (με δείκτη i)

$$W_i = \{ j \in W : t_{ij} \leq r \}$$

t_{ij} = χρόνος συντομότερης διαδρομής από κόμβο i σε συνεργείο j

r = προκαθορισμένη σταθερά χρονικής κάλυψης (preset coverage standard)

$$x = \begin{cases} 1 & \text{αν το κινητό συνεργείο τοποθετείται στον κόμβο } j \\ 0 & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

2.2.3.3 Πρότυπα με βελτιστοποίηση κάλυψης

2.2.3.3.1 Πρότυπο Μέγιστης Κάλυψης Πρόβλημα Χωροθέτησης (Maximal Covering Location Problem, MCLP)

Το πρότυπο το Μέγιστης Κάλυψης Πρόβλημα Χωροθέτησης (Maximal Covering Location Problem, MCLP) είναι αντιπροσωπευτικό πρότυπο της κατηγορίας προτύπων μέγιστης κάλυψης. Τα πρότειναν οι Church και Reville (1974) με σκοπό να καλύψουν τις μειονεκτίματα του προτύπου Καθορισμένης Κάλυψης (Location Set Covering Model, LSCM), που αναλύθηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο. Τα καινούρια στοιχεία του προτύπου αφού σε σχέση με τα προηγούμενα πρότυπα είναι ότι λήφθηκε υπόψη το γεγονός ότι η κάλυψη ενός κόμβου επιτυγχάνεται μόνο στην περίπτωση που η μονάδα θα τοποθετηθεί έτσι ώστε να απέχει το πολύ μια χρονική ή χωρική σταθερά, και τέθηκε ένας περιορισμένος αριθμός μονάδων παροχής εξυπηρέτησης και άμεσης βοήθειας. Στο πρότυπο αυτό τοποθετούνται p μονάδες σε ένα δίκτυο κατά τέτοιο τρόπο ώστε ο μέγιστος πληθυσμός να καλύπτεται από τουλάχιστον μία μονάδα. Οι Eaton et al. (1985) χρησιμοποίησαν το πρότυπο Μέγιστης Κάλυψης Πρόβλημα Χωροθέτησης (Maximal Covering Location Problem, MCLP) για να σχεδιάσουν το σύστημα επείγουσας ιατρικής ανάγκης στο Austin του Texas. Το προτεινόμενο σχέδιο εφαρμογής μείωσε τα κατασκευαστικά έξοδα της πόλης κατά 3.4 εκατομμύρια δολάρια (\$) και τα έξοδα λειτουργίας κατά 1.2 εκατομμύρια δολάρια (\$). Ταυτόχρονα, ο μέσος χρόνος επέμβασης μειώθηκε, αν και οι κλήσεις για επέμβαση αυξήθηκαν. Το αρνητικό που παρουσιάζεται στο πρότυπο αυτό είναι ότι δεν υπολογίζει την πιθανότητα ότι κάποια μονάδα μπορεί να είναι μη διαθέσιμη στην περίπτωση που θα κληθεί να καλύψει συγκεκριμένη ζήτηση.

Το πρόβλημα διατυπώνεται ως εξής:

Maximize

$$\sum_{i \in V} d_i y_i$$

(1) Η αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποιεί την καλυπτόμενη ζήτηση.

subject to

$$\sum_{j \in W} x_j \geq y_i \quad (i \in V)$$

(2) Ο περιορισμός καθορίζει το αν η ζήτηση στον κόμβο i καλύπτεται κάθε φορά από μία τουλάχιστον μονάδα που απέχει το πολύ απόσταση r από τον κόμβο i .

$$\sum_{j \in W} x_j = p$$

(3) Ο περιορισμός δείχνει τον αριθμό των μονάδων που θα τοποθετηθεί. Ο περιορισμός αυτός μπορεί να «χαλαρώσει» (*relaxed*) στον:

$$\sum_{j \in W} x_j \leq p$$

Για μια καταλληλότερη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης (1) θα οδηγήσει την επίλυση στον απαιτούμενο αριθμό συνεργείων.

$$(4) \quad x_j \in \{0,1\} \quad (j \in W)$$

$$(5) \quad y_i \in \{0,1\} \quad (i \in V)$$

όπου:

W = σύνολο δυνατών θέσεων μονάδων παροχής άμεσης βοήθειας (με δείκτη j)

V = σύνολο κόμβων ζήτησης παροχής υπηρεσίας (με δείκτη i)

$$W_i = \{j \in W : t_{ij} \leq r\}$$

t_{ij} = χρόνος συντομότερης διαδρομής από κόμβο i σε κόμβο j

r = προκαθορισμένη σταθερά χρονικής κάλυψης (preset coverage standard)

p = αριθμός τοποθετούμενων μονάδων

d_i = ζήτηση για εξυπηρέτηση κόμβου i

$$x_j = \begin{cases} 1 & \text{αν το συνεργείο τοποθετείται στον κόμβο } j \\ 0 & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{αν ο κόμβος } i \text{ καλύπτεται τουλάχιστον από 1 συνεργείο} \\ 0 & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

2.2.3.3.2 Πρότυπα πολλαπλής μέγιστης κάλυψης – υπερκάλυψης

Η διαφορά του προτύπου πολλαπλής μέγιστης κάλυψης – υπερκάλυψης με τα προηγούμενα πρότυπα που αναλύσαμε είναι ότι ασχολείται με την πιθανότητα ύπαρξης διαφορετικών τύπων οχημάτων που καλούνται σε κάθε περιστατικό. Οι πυροσβεστικές υπηρεσίες για παράδειγμα, συνήθως, λειτουργούν με τους εξής δύο τύπους οχημάτων: Πυροσβεστικές αντλίες και σκάλες διάσωσης, και ασθενοφόρα επείγουσας (Advanced Life Support) και άμεσης (Basic Life Support) επέμβασης. Σε αυτό το υποκεφάλαιο αναπτύσσονται τα ακόλουθα πρότυπα που σχετίζονται με την πολλαπλή κάλυψη των περιστατικών:

- Συνεργαζόμενων Εξοπλισμών Πρότυπο Χωροθέτησης (Tandem Equipment Allocation Model), (2.2.3.3.2.1.)
- Προτύπων Εφεδρικής Κάλυψης (BAckup COverage Problem) 1 και 2 (2.2.3.3.2.2.)
- Πρότυπο Διπλής Σταθεράς (Double Standard Model, DSM) (2.2.3.3.2.3.)

2.2.3.3.2.1. Πρότυπο Συνεργαζόμενων Εξοπλισμών Χωροθέτησης (Tandem Equipment Allocation Model)

Το Συνεργαζόμενων Εξοπλισμών Πρότυπο Χωροθέτησης (Tandem Equipment Allocation Model) από τους Schilling et al. (1979) είναι από τα πρώτα πρότυπα που αναπτύχθηκαν για τη διαχείριση οχημάτων διάφορων τύπων. Σύμφωνα με αυτό υπάρχουν δύο τύποι οχημάτων A και B. Το πρότυπο αυτό αποτελεί μία απευθείας επέκταση του Μέγιστης Κάλυψης Προβλήματος Χωροθέτησης (MCLP) για να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις μονάδων διαφορετικού τύπου. Με βάση την ίδια λογική μπορεί να διαμορφωθεί ώστε να υπάρξει εφαρμογή και για περισσότερα από δύο διαφορετικού τύπου οχήματα.

Το πρόβλημα διατυπώνεται ως εξής:

$$\text{Maximize } \sum d_i y_i \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{j \in W_i^A} x_j^A \geq y_i \quad (\text{ieV}) \quad (2)$$

$$\sum_{j \in W_i^B} x_j^B \geq y_i \quad (\text{ieV}) \quad (3)$$

$$\sum_{j \in W} x_j^A = p^A \quad (4)$$

$$\sum_{j \in W} x_j^B = p^B \quad (5)$$

$$x_j^A \leq x_j^B \quad (j \in W) \quad (6)$$

$$x_j^A, x_j^B \in \{0,1\} \quad (j \in W) \quad (7)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad (\text{ieV}) \quad (8)$$

όπου:

W = σύνολο δυνατών θέσεων μονάδων παροχής άμεσης βοήθειας (με δείκτη j)

V = σύνολο κόμβων ζήτησης παροχής υπηρεσίας (με δείκτη i)

$$W_i^A = \{ j \in W : t_{ij} \leq r^A \}$$

$$W_i^B = \{ j \in W : t_{ij} \leq r^B \}$$

r^A, r^B = προκαθορισμένη σταθερά χρονικής κάλυψης για τα οχήματα τύπου A,B

p^A, p^B = αριθμός τοποθετούμενων μονάδων τύπου A,B

d_i = ζήτηση για εξυπηρέτηση κόμβου i

$$x_j^A, x_j^B = \begin{cases} 1 & \text{αν το όχημα τύπου A, B τοποθετείται στον κόμβο } j \\ 0 & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{αν ο κόμβος } i \text{ καλύπτεται από του 2 τύπους οχημάτων} \\ 0 & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

- (1) Η αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποιεί την καλυπτόμενη ζήτηση.
- (2), (3) Οι περιορισμοί αυτοί καθορίζουν αν η ζήτηση στον κόμβο i καλύπτεται κάθε φορά από μία τουλάχιστον μονάδα τύπου A ή B που απέχουν το πολύ απόσταση r_A ή r_B αντίστοιχα από τον κόμβο i .
- (4), (5) Οι περιορισμοί αυτοί προσδιορίζουν τον αριθμό των μονάδων τύπου A και τύπου B που θα τοποθετηθούν.
- (6) Ο περιορισμός αυτός θέτει μια ιεραρχία μεταξύ των δύο τύπων οχημάτων, η οποία όμως μπορεί και να παραληφθεί σε περιπτώσεις που οι συνθήκες του προβλήματος δε τη δικαιολογούν.

2.2.3.3.2.2. Πρότυπα Εφεδρικής Κάλυψης (BAckup COverage Problem) 1 και 2

Τα πρότυπα Συνεργαζόμενων Εξοπλισμών Χωροθέτησης (Tandem Equipment Allocation Model) και Μέγιστης Κάλυψης Πρόβλημα Χωροθέτησης (Maximal Covering Location Problem, MCLP) καθιστούν ανεπαρκή την κάλυψη σε περίπτωση που κάποιες μονάδες είναι απασχολημένες. Οι Hogan και Reville (1986) προσπάθησαν να δώσουν μια λύση σε αυτό. Έτσι, ανέπτυξαν μια στρατηγική που να παρέχει καλύτερη πολλαπλή κάλυψη, χωρίς να παρατηρείται όμως αύξηση στον συνολικό αριθμό μονάδων παραπάνω από p . Οι Daskin και Stern (1981) πρότειναν την ενσωμάτωση μιας ακόμη (δεύτερη) αντικειμενικής συνάρτησης στο Πρότυπο Μέγιστης Κάλυψης Πρόβλημα Χωροθέτησης (Maximal Covering Location Problem, MCLP). Ο λόγος είναι ότι επιδίωξαν να γίνονται πιο ευδιάκριτα τα πολλαπλά βέλτιστα της αντικειμενικής συνάρτησης (1). Έτσι, εφαρμόζεται μια ιεραρχική αντικειμενική συνάρτηση για να μεγιστοποιηθεί ο αριθμός των σημείων ζήτησης που καλύπτονται περισσότερο από μία φορά ή για να μεγιστοποιήσει την ζήτηση, η οποία καλύπτεται δύο φορές (δηλαδή από δύο μονάδες).

Τα Πρότυπα Εφεδρικής Κάλυψης (BAckup COverage Problem) 1 και 2 διατυπώνονται ως εξής:

$$\text{Maximize } \sum_{i \in V} d_i u_i \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{j \in W_i} x_j - u_i \geq 1 \quad (\text{ieV}) \quad (2)$$

$$\sum_{j \in W} x_j = P \quad (\text{ieV}) \quad (3)$$

$$u_i \in \{0,1\} \quad (\text{ieW}) \quad (4)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad (\text{jeW}) \quad (5)$$

και

$$\text{Maximize } \theta \sum_{i \in V} d_i y_i + (1-\theta) \sum_{i \in V} d_i u_i \quad (6)$$

subject to

$$\sum_{j \in W_i} x_j - y_i - u_i \geq 0 \quad (\text{ieV}) \quad (7)$$

$$y_i - u_i \geq 0 \quad (\text{ieV}) \quad (8)$$

$$\sum_{j \in W} x_j = P \quad (9)$$

$$u_i \in \{0,1\} \quad (\text{ieV}) \quad (10)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad (\text{ieV}) \quad (11)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad (\text{jeW}) \quad (12)$$

όπου:

W = σύνολο δυνατών θέσεων μονάδων παροχής άμεσης βοήθειας (με δείκτη j)

V = σύνολο κόμβων ζήτησης παροχής υπηρεσίας (με δείκτη i)

$W_i = \{ j \in W : t_{ij} \leq r \}$

t_{ij} = χρόνος συντομότερης διαδρομής από κόμβο i σε κόμβο j

r = προκαθορισμένη σταθερά χρονικής κάλυψης (preset coverage standard)

p = αριθμός τοποθετούμενων μονάδων

d_i = ζήτηση για εξυπηρέτηση κόμβου i

θ = μέτρο στάθμισης στο $[0,1]$

$x_j \begin{cases} 1 & \text{αν το κινεϊτο συνεργείο τοποθετείται στον κόμβο } j \\ 0 & \text{διαφορετικά} \end{cases}$

$u_i \begin{cases} 1 & \text{αν ο κόμβος } i \text{ καλύπτεται από 2 μονάδες} \\ 0 & \text{διαφορετικά} \end{cases}$

$y_i \begin{cases} 1 & \text{αν ο κόμβος } i \text{ καλύπτεται από μόνο μια μονάδα} \\ 0 & \text{διαφορετικά} \end{cases}$

(1) Η αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποιεί τη ζήτηση η οποία καλύπτεται δύο φορές τουλάχιστον

(6) Η αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποιεί το σταθμισμένο άθροισμα των κόμβων ζήτησης που καλύπτονται μία και δύο φορές αντίστοιχα.

(2), (7) Οι περιορισμοί αυτοί καθορίζουν αν η ζήτηση στον κόμβο i καλύπτεται διπλά για το Πρότυπο Εφεδρικής Κάλυψης 1 (BAckup COverage Problem) και διπλά ή απλά για το Πρότυπο Εφεδρικής Κάλυψης 2 (BAckup COverage Problem).

(3),(9) Οι περιορισμοί αυτοί προσδιορίζουν τον αριθμό των μονάδων που θα τοποθετηθούν.

(8) Είναι ο μόνος διαφορετικός περιορισμός στα δύο πρότυπα, ο οποίος επιβάλλει ένας κόμβος που καλύπτεται διπλά να καλύπτεται και απλά.

2.2.3.3.2.3.Πρότυπο Διπλής Σταθεράς (Double Standard Model, DSM)

Το Πρότυπο Διπλής Σταθεράς (Double Standard Model, DSM) είναι το τρίτο πρότυπο που σχετίζεται με την πολλαπλή κάλυψη των περιστατικών που θα αναλυθεί. Το πρότυπο προτάθηκε από τους Gendreau et al. (1997). Σύμφωνα, λοιπόν, με αυτό υπάρχουν δύο χρονικές σταθερές κάλυψης: r_1 και r_2 , με $r_1 < r_2$. Η συνολική ζήτηση πρέπει να καλυφθεί μέσα σε χρόνο r_2 , αλλά υπάρχει και ο επιπλέον περιορισμός ότι ένα ποσοστό α της ζήτησης πρέπει να καλυφθεί μέσα σε χρόνο r_1 . Η μονάδα που καλύπτει ένα σημείο μέσα σε χρόνο r_2 μπορεί να συμπίπτει με τη μονάδα που καλύπτει ένα σημείο μέσα σε χρόνο r_1 . Σκοπός του συγκεκριμένου προτύπου είναι να μεγιστοποιήσει τη ζήτηση που καλύπτεται διπλά μέσα σε χρόνο r_1 χρησιμοποιώντας p μονάδες, τοποθετώντας το πολύ p_j μονάδες σε κάθε κόμβο j .

Το πρότυπο διατυπώνεται ως εξής:

$$\text{Maximize } \sum_{i \in V} d_i x_i^2 \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{j \in W_i^2} y_j \geq 1 \quad (i \in V) \quad (2)$$

$$\sum_{j \in V} d_j x_j^1 \geq a \sum_{i \in V} d_i \quad (3)$$

$$\sum_{j \in W_i^1} y_j \geq x_i^1 + x_i^2 \quad (i \in V) \quad (4)$$

$$x_i^1 \geq x_i^2 \quad (i \in V) \quad (5)$$

$$\sum_{j \in W} y_j = p \quad (6)$$

$$y_j \leq p_j \quad (j \in W) \quad (7)$$

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

$$y_i \text{ ακέραιος} \quad (j \in W) \quad (9)$$

όπου:

W = σύνολο δυνατών θέσεων μονάδων παροχής άμεσης βοήθειας (με δείκτη j)

V = σύνολο κόμβων ζήτησης παροχής υπηρεσίας (με δείκτη i)

$W_i^1 = \{ j \in W : t_{ij} \leq r_1 \}$

$W_i^2 = \{ j \in W : t_{ij} \leq r_2 \}$

r_1, r_2 = προκαθορισμένες σταθερές χρονικής κάλυψης

a = ελάχιστο ποσοστό ζήτησης που πρέπει να καλυφθεί σε χρόνο r_1

p = συνολικός αριθμός τοποθετούμενων μονάδων

p_j = μέγιστος αριθμός τοποθετούμενων μονάδων στον κόμβο j

d_i = ζήτηση για εξυπηρέτηση κόμβου i

$x_j^k = \begin{cases} 1 & \text{αν η ζήτηση στον κόμβο } i \text{ καλύπτεται } k \text{ φορές σε χρόνο } r_k \\ 0 & \text{διαφορετικά} \end{cases}$

y_j = αριθμός μονάδων που τοποθετούνται στον κόμβο j

- (1) Η αντικειμενική συνάρτηση υπολογίζει την ζήτηση η οποία καλύπτεται διπλά μέσα σε χρόνο $r1$.
- (2),(3) Οι περιορισμοί αυτοί εκφράζουν τις απαιτήσεις της διπλής κάλυψης.
- (4) Ο περιορισμός εκφράζει τον αριθμό των μονάδων που καλύπτουν τον κόμβο i μέσα σε σε χρόνο $r1$
- (5) περιορισμός δηλώνει ότι η ζήτηση ενός σημείου δεν μπορεί να καλυφθεί διπλά αν δεν έχει καλυφθεί απλά.
- (6) Ο περιορισμός καθορίζει τον αριθμό των μονάδων που θα τοποθετηθούν.
- (7) Ο περιορισμός τοποθετεί ένα άνω όριο στον αριθμό των μονάδων σε κάθε κόμβο.

2.3. Στοχαστικά πρότυπα χωροθέτησης

2.3.1. Γενικά στοιχεία

Τα στοχαστικά πρότυπα χωροθέτησης προσεγγίζουν το στοχαστικό χαρακτήρα των συστημάτων. Σε αντίθεση με τα στατικά και ντετερμινιστικά πρότυπα λαμβάνουν υπόψη την ύπαρξη βαθμού αβεβαιότητας και τυχαιότητας στα πραγματικά συστήματα χωροθέτησης, δηλαδή ο κάθε αριθμός παραμέτρων του προβλήματος μπορεί να θεωρηθεί αβέβαιος, όπως για παράδειγμα, οι ποσότητες της ζήτησης, οι θέσεις των μονάδων ή οι χρόνοι επέμβασης. Σκοπός των προτύπων αυτών είναι να τοποθετηθούν οι μονάδες άμεσης επέμβασης στις καταλληλότερες θέσεις, προκειμένου να πληρούνται όλοι οι όροι των ορισμένων σεναρίων και περιορισμών. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία τα στοχαστικά προβλήματα χωροθέτησης μπορεί να χωριστούν στις εξής τρεις κατηγορίες:

- Δυναμικά πρότυπα χωροθέτησης (2.3.2.)
- Πιθανοτικά πρότυπα χωροθέτησης (2.3.3.)
- Πρότυπα σχεδιασμού σεναρίων (2.3.4.)

Τα κυριότερα πρότυπα, τα οποία θα αναλυθούν στη συνέχεια παρουσιάζονται στον πιο κάτω πίνακα:

Πίνακας 2.2. Σύνοψη στοχαστικών προτύπων χωροθέτησης

Συγγραφέις	Χρονο-λογία	Πρότυπο	Αντικειμενική συνάρτηση	Τύπος
Shilling	1980	DMCLP	Μεγιστοποιεί δυναμικά την κάλυψη της ζήτησης	Δυναμικό πρότυπο
Gendreau	2001	DDSM	Μεγιστοποιεί δυναμικά την κάλυψη της ζήτησης τουλάχιστον διπλά r μειωμένη με ποινή λόγω αναδιάταξης	Δυναμικό πρότυπο
Larson	1974	Hypercube	Περιγράφει λεπτομερώς την κατάσταση του συστήματος χωρικών ουρών	Πιθανοτικό πρότυπο
Daskin	1983	MEXCLP	Μεγιστοποιεί την προσδοκόμενη κάλυψη της ζήτησης με ενιαίο συντελεστή απασχόλησης	Πιθανοτικό πρότυπο
Batta et al.	1989	AMEXCLP	Μεγιστοποιεί την προσδοκόμενη κάλυψη της ζήτησης με διόρθωση για τον ενιαίο συντελεστή απασχόλησης	Πιθανοτικό πρότυπο
ReVelle και Hogan	1989	MALP I, II	Μεγιστοποιεί την ολική κάλυψη της ζήτησης με πιθανότητα τουλάχιστον a	Πιθανοτικό πρότυπο
Mariano ν και ReVelle	1994	QPLSCP	Μεγιστοποιεί την ολική κάλυψη της ζήτησης με πιθανότητα τουλάχιστον a	Πιθανοτικό πρότυπο

Mariano v και ReVelle	1996	QMALP	Μεγιστοποιεί την ολική κάλυψη της ζήτησης με πιθανότητα τουλάχιστον α	Πιθανοτικό πρότυπο
Church και ReVelle	1998	QMCLP	Μεγιστοποιεί την ολική κάλυψη της ζήτησης με χρόνο στην ουρά αναμονής το πολύ t με πιθανότητα τουλάχιστον α	Πιθανοτικό πρότυπο

2.3.2 Δυναμικά πρότυπα χωροθέτησης

2.3.2.1. Δυναμικό Πρότυπο Μέγιστης Κάλυψης Πρόβλημα Χωροθέτησης (Dynamic Maximal Covering Location Problem, DMCLP)

Τα προβλήματα χωροθέτησης απαιτούν ανάπτυξη προτύπων που λαμβάνουν υπόψη τους την μελλοντική αβεβαιότητα. Έτσι παρουσιάζεται η δυσκολία που αυτά πρέπει να λύνονται πολλές φορές επαναλαμβανόμενα με μικρή χρονική προθεσμία. Το δυναμικό πρόβλημα, με την ανάπτυξη γρήγορων ευρεστικών αλγορίθμων και υπολογιστικών τεχνολογιών, είναι δυνατό να λύνεται σε πραγματικό χρόνο. Οι Kolesar και Walker (1974) σχεδίασαν ένα σύστημα επανατοποθέτησης για πυροσβεστικούς σταθμούς. Οι αποφάσεις για την επανατοποθέτηση (relocation decisions), που έπεται της τοποθέτησης μονάδων άμεσης επέμβασης, πρέπει να λαμβάνονται κατά συχνά χρονικά διαστήματα ώστε να μην υπάρχουν περιοχές που πιθανώς δεν θα εξυπηρετούνται τουλάχιστον εντός των χρονικών ορίων που θέτονται. Μετά από 6 χρόνια ο Schilling (1980) μελέτησε μια εναλλακτική προσέγγιση του δυναμικού προβλήματος χωροθέτησης. Σύμφωνα με αυτήν μια πολυκριτηριακή διατύπωση μέγιστης κάλυψης προσπαθεί να ανακαλύψει ένα σύνολο από αποτελεσματικές λύσεις. Από αυτές επιλέγεται μια για υλοποίηση. Παρατηρείται ότι το πρότυπο του Schilling εκτός από τον περιορισμό (4) αποτελεί μια επέκταση του Πρότυπο Μέγιστης Κάλυψης Πρόβλημα Χωροθέτησης (Maximal Covering Location Problem, MCLP) , (2.2.3.3.1) σε δυναμικές συνθήκες καθώς οι περιορισμοί (2), (3) καθώς και η αντικειμενική συνάρτηση (1) είναι πανομοιότυπες με τις (2), (3) και (1) του MCLP αντίστοιχα.

Το πρότυπο διατυπώνεται ως εξής:

$$\text{Maximize } \sum_i h_{it} Y_{it} \quad \forall t, \dots, T \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{j \in N_{it}} X_{jt} \geq Y_{it} \quad \forall t, t \quad (2)$$

$$\sum_j X_{jt} \geq P_t \quad \forall t = 1, \dots, T \quad (3)$$

$$X_{jt} \geq X_{j,t-1} \quad \forall j, t=2, \dots, T \quad (4)$$

$$X_{jt} \in \{0,1\} \quad \forall j, t=1, \dots, T \quad (5)$$

$$Y_{it} \in \{0,1\} \quad \forall j, t=1, \dots, T \quad (6)$$

όπου:

d_{ijt} = η ελάχιστη χωρική ή χρονική απόσταση από τον κόμβο i στον κόμβο j τη χρονική περίοδο t

h_{it} = ζήτηση στον κόμβο i τη χρονική περίοδο t

P_t = αριθμός μονάδων που εργάζονται τη χρονική περίοδο t

$N_{it} = \{j \mid d_{ijt} \leq S\}$ = σύνολο μονάδων που μπορούν να καλύψουν τον κόμβο την χρονική περίοδο

$$X_{jt} = \begin{cases} 1 & \text{αν η μονάδα εργάζεται στη θέση } j \text{ την περίοδο } t \\ 0 & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

$$Y_{it} = \begin{cases} 1 & \text{αν ο κόμβος } i \text{ καλύπτεται την περίοδο } t \\ 0 & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

(1) Η αντικειμενική συνάρτηση είναι ουσιαστικά ένα διάνυσμα από T ξεχωριστές περιοδικές αντικειμενικές συναρτήσεις, που κατά βάσει δεν έχουν ένα μοναδικό βέλτιστο.

(2) Ο περιορισμός καθορίζει αν η ζήτηση στον κόμβο i καλύπτεται από τουλάχιστον μια μονάδα που απέχει απόσταση S την χρονική περίοδο t .

(3) Ο περιορισμός δείχνει τον αριθμό των μονάδων που θα τοποθετηθούν την χρονική περίοδο t .

(4) Το πρότυπο υποθέτει ότι αν μια μονάδα είναι ελεύθερη κάποια χρονική περίοδο, θα είναι ελεύθερη και σε όλες τις μελλοντικές χρονικές περιόδους.

2.3.2.2. Δυναμικό Πρότυπο Διπλής Σταθεράς (Dynamic Double Standard Model)

Οι Gendreau et al. (2001) ανέπτυξαν το Δυναμικό Πρότυπο Διπλής Σταθεράς (Dynamic Double Standard Model) πιο γενικευμένο δυναμικό πρότυπο χωροθέτησης, χρησιμοποιώντας το DSM που περιγράφηκε στο υποκεφάλαιο 2.2.3.3.2.3. Στο πρότυπο αυτό εκτός από τις σταθερές κάλυψης και του περιορισμούς ικανότητας παροχής εξυπηρέτησης του DSM λαμβάνονται υπόψη πρακτικές θεωρήσεις που υπάρχουν στην δυναμική φύση του προβλήματος. Οι θεωρήσεις αυτές είναι ότι πρέπει να αποφεύγονται επαναλαμβανόμενες κυκλικές διαδρομές μεταξύ των ίδιων δύο θέσεων εγκατάστασης μονάδας, να αποτρέπονται μεγάλες διαδρομές μεταξύ των αρχικών και των τελικών θέσεων εγκατάστασης μονάδας (Schilling, 1980) και ότι δεν είναι εφικτό να είναι πάντα ίδιες, μονάδες που κινούνται σε επιτυχείς αναδιαρθρώσεις. Για την επίλυση του προτύπου αυτού οι Gendreau et al. ανέπτυξαν ένα γρήγορο tabu αναζήτησης, ευρεστικό αλγόριθμο αναζήτησης (fast tabu search heuristic), εκτελούμενο σε παράλληλους επεξεργαστές. Το πρότυπο εφαρμόστηκε στο το νησί του Montreal χρησιμοποιώντας πραγματικά δεδομένα. Για τη λύση του προβλήματος δημιουργήθηκαν 120 και 140 κλήσεις για άμεση επέμβαση τυχαία από τις 5 έως τις 12 τα μεσάνυχτα. Το νησί χωρίστηκε σε 2521 κόμβους ζήτησης. Οι κόμβοι εξυπηρετούνταν από 40 έως 51 ασθενοφόρα. Ο ευρεστικός αλγόριθμος αναζήτησης ήταν σε θέση να υπολογίζει την επανατοποθέτηση των οχημάτων στο 95% των περιπτώσεων (Gendreau et al., 2001). Έτσι, τα αποτελέσματα του προτύπου κρίθηκαν ικανοποιητικά.

Το πρότυπο διατυπώνεται ως εξής:

$$\text{Maximize } \sum_{i \in V} d_i x_i^2 - \sum_{j \in W} \sum_{l=1}^p M_{jl}^t y_{jl} \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{j \in W_i} \sum_{l=1}^p Y_{jl} \geq 1 \quad (i \in V) \quad (2)$$

$$\sum_{i \in V} d_i x_i^1 \geq a \sum_{i \in V} d_i \quad (3)$$

$$\sum_{j \in W_i^1} \sum_{l=1}^p y_{jl} \geq x_i^1 + x_i^2 \quad (i \in V) \quad (4)$$

$$x_i^2 \leq x_i^1 \quad (i \in V) \quad (5)$$

$$\sum_{j \in W} y_{jl} = 1 \quad (l=1, \dots, p) \quad (6)$$

$$\sum_{l=1}^p y_{jl} \leq p_j \quad (j \in W) \quad (7)$$

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

$$y_{jl} \in \{0,1\} \quad (j \in W, l=1, \dots, p) \quad (9)$$

όπου:

W = σύνολο δυνατών θέσεων μονάδων παροχής άμεσης βοήθειας (με δείκτη j)

V = σύνολο κόμβων ζήτησης παροχής υπηρεσίας (με δείκτη i)

$W_i^1 = \{j \in W : t_{ij} \leq r1\}$

$W_i^2 = \{j \in W : t_{ij} \leq r2\}$

$r1, r2$ = προκαθορισμένες σταθερές χρονικής κάλυψης

a = ελάχιστο ποσοστό ζήτησης που πρέπει να καλυφθεί σε χρόνο $r1$

p = συνολικός αριθμός τοποθετούμενων μονάδων

p_j = μέγιστος αριθμός τοποθετούμενων μονάδων στον κόμβο j

d_i = ζήτηση για εξυπηρέτηση κόμβου i

$x_i^k = \begin{cases} 1 & \text{αν η ζήτηση στον κόμβο } i \text{ καλύπτεται } k \text{ φορές σε χρόνο } r1 \\ 0 & \text{διαφορετικά} \end{cases}$

$y_{jl} = \begin{cases} 1 & \text{αν η μονάδα } l \text{ κινείται προς τη θέση } j \\ 0 & \text{διαφορετικά} \end{cases}$

(1) Η αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποιεί τη ζήτηση που καλύπτεται διπλά μειωμένη κατά το κόστος ποινής για αναδιάρθρωση των μονάδων.

(2) Ο περιορισμός (2.53) εκφράζει τις απαιτήσεις καλύψεις εντός χρόνου $r2$.

(3),(4),(5) Οι περιορισμοί αυτοί είναι ίδιοι με τους (4), (5) και (6) του Πρότυπου Διπλής Σταθεράς (Double Standard Model, DSM), (2.2.3.3.2.3).

(6)Ο περιορισμός καθορίζει ότι κάθε μονάδα μπορεί να τοποθετηθεί μόνο σε μία θέση κάθε χρονική περίοδο t .

(7)Ο περιορισμός θέτει ένα άνω όριο στον αριθμό των μονάδων που μπορούν να τοποθετηθούν σε κάθε θέση.

2.3.3. Πιθανοτικά πρότυπα χωροθέτησης

2.3.3.1 Πρόβλημα Χωροθέτησης Μέγιστου Ορίου Αναμενόμενης Κάλυψης (Maximum Expected Coverage Location Problem)

Το Πρόβλημα Χωροθέτησης Μέγιστου Ορίου Αναμενόμενης Κάλυψης (Maximum Expected Coverage Location Problem) προβλήθηκε από τον Daskin (1983). Προσπάθησε να αναπτύξει ένα πιθανοτικό πρότυπο βελτιστοποίησης. Το πρότυπο αυτό αφορούσε την αντιμετώπιση της συμφόρησης των μονάδων άμεσης βοήθειας. Σκοπός του ήταν να βελτιώσει την προσδοκώμενη κάλυψη σε περίπτωση που οι μονάδες είναι απασχολημένες και μη διαθέσιμες με μια υπολογίσιμη για το σύστημα πιθανότητα q . Η διατύπωση του προτύπου είναι η εξής: Ζητείται η χωροθέτηση p μονάδων παροχής άμεσης βοήθειας σε δυνατές θέσεις σε ένα δίκτυο ώστε να μεγιστοποιηθεί ο πληθυσμός που αναμένεται να εξυπηρετηθεί εντός δοθείσας χρονικής απόστασης r και δοθείσας της πιθανότητας κάθε όχημα να είναι μη διαθέσιμο. Το MEXCLP, πέρα από τη διατύπωση που παρουσιάζεται παρακάτω, μπορεί να επαναδιατυπωθεί χρησιμοποιώντας λιγότερο αριθμό μεταβλητών και μη γραμμική αντικειμενική συνάρτηση. Η διαφορά της μη γραμμικής διατύπωσης του MEXCLP είναι ότι προσαρμόζεται ευκολότερα για χρήση μέσω γενετικών αλγορίθμων. Είναι πιο αποτελεσματικό, δοθείσας μιας εφικτής λύσης, να υπολογίσει τις φορές που κάθε κόμβος καλύπτεται με ένα ανυσματικό πολλαπλασιασμό υπό περιορισμούς (conditional vector multiplication). Το Πρόβλημα Χωροθέτησης Μέγιστου Ορίου Αναμενόμενης Κάλυψης (Maximum Expected Coverage Location Problem) εφαρμόστηκε το 1987 στην πόλη της Bangkok από τους Fujiyama et al. Οι συγγραφείς έλυσαν το πρόβλημα για μεταβλητό αριθμό παροχέων από 10 έως 30. Το συμπέρασμα που έβγαλαν είναι ο μέσος χρόνος επέμβασης και η προσδοκώμενη κάλυψη δεν μεταβάλλονται ιδιαίτερα όταν μείωσαν τον αριθμό των παροχέων από 21 σε 15.

Το πρότυπο διατυπώνεται ως εξής:

$$\text{Maximize } \sum_{i \in V} \sum_{k=1}^p d_i (1-q) q^{k-1} y_{ik} \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{j \in W_i} \sum_{k=1}^p y_{ik} \geq 0 \quad (i \in V) \quad (2)$$

$$\sum_{j \in W} x_j \leq p \quad (3)$$

$$x_j \text{ ακέραιος} \quad (j \in W) \quad (4)$$

$$y_{jk} \in \{0,1\} \quad (i \in V, k=1,\dots,p) \quad (5)$$

όπου:

W = σύνολο δυνατών θέσεων μονάδων παροχής υπηρεσιών (με δείκτη j)

V = σύνολο κόμβων ζήτησης παροχής υπηρεσίας (με δείκτη i)

$W_i = \{j \in W : t_{ij} \leq r\}$

t_{ij} = χρόνος συντομότερης διαδρομής από κόμβο i σε συνεργείο j

r = προκαθορισμένη σταθερά χρονικής κάλυψης (preset coverage standard)

p = μέγιστος αριθμός μονάδων

q = πιθανότητα η κάθε μονάδα να είναι μη διαθέσιμη

$x_i^k = \begin{cases} 1 & \text{αν το κινητό συνεργείο τοποθετείται στον κόμβο } j \\ 0 & \text{διαφορετικά} \end{cases}$

$y_{ji} = \begin{cases} 1 & \text{αν ο κόμβος } i \text{ καλύπτεται από τουλάχιστον } k \text{ μονάδες} \\ 0 & \text{διαφορετικά} \end{cases}$

(1) Η αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποιεί την προσδοκώμενη ζήτηση για εξυπηρέτηση που μπορεί να καλυφθεί εντός χρόνου r .

(2) Ο περιορισμός υπολογίζει τις φορές που ο κόμβος j καλύπτεται και συσχετίζει τις μεταβλητές απόφασης y_{ik} με το σύνολο των μεταβλητών απόφασης x_j .

(3) Ο περιορισμός καθορίζει το μέγιστο αριθμό μονάδων που τοποθετούνται στο δίκτυο. (4) Ο περιορισμός επιτρέπει την τοποθέτηση περισσότερων της μιας μονάδας σε ένα κόμβο.

2.3.3.2. Πρόβλημα Χωροθέτησης Μέγιστης Διαθεσιμότητας (Maximum Availability Location Problem)

Το Πρόβλημα Χωροθέτησης Μέγιστης Διαθεσιμότητας (Maximum Availability Location Problem) διατυπώθηκε από τους ReVelle και Hogan (1989), οι οποίοι πήραν ως δυνατή την πιθανότητα ύπαρξης συμφόρησης σε συστήματα άμεσης επέμβασης. Υπέθεσαν ενιαία εκτίμηση του συντελεστή απασχόλησης κάθε μονάδας. Το πρότυπο δέχεται ότι η περιοχή W_i είναι μια απομονωμένη ομογενής γεωγραφική περιοχή, όπου όλες οι μονάδες είναι πανομοιότυπες ως προς τον μέσο χρόνο εξυπηρέτησης. Οι ReVelle και Hogan παρουσίασαν δύο πρότυπα βασισμένα στην παραπάνω λογική. Η διαφορά τους είναι ότι το πρώτο (MALP I) χρησιμοποιεί ενιαίο συντελεστή απασχόλησης για όλο το σύστημα, ενώ το δεύτερο (MALP II) κάνει χρήση του τοπικού συντελεστή απασχόλησης.

Η διατύπωση του προβλήματος MALP II είναι η εξής :

$$\text{Maximize } \sum_{i \in V} d_i y_{ib} \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{k=1}^{b_i} y_{jk} \leq \sum_{j \in W_i} x_j \quad (i \in V) \quad (2)$$

$$y_{ik} \leq y_{i,k-1} \quad (i \in V, k=2, \dots, b_i) \quad (3)$$

$$\sum_{j \in W} x_j = p \quad (4)$$

$$x_j \text{ ακέραιος} \quad (j \in W) \quad (5)$$

$$y_{jk} \in \{0,1\} \quad (i \in V, k=1, \dots, p) \quad (6)$$

όπου:

W = σύνολο κόμβων, όπου μπορεί να τοποθετηθεί μονάδα (με δείκτη j)

V = σύνολο κόμβων ζήτησης (με δείκτη i)

x_j = ακέραια μεταβλητή που δηλώνει τον αριθμό των μονάδων που τοποθετούνται στον κόμβο j

t = η μέση διάρκεια εξυπηρέτησης ενός συμβάντος

f_k = συχνότητα κλήσεων για επέμβαση στον κόμβο k ανά ημέρα

p = αριθμός μονάδων που θα τοποθετηθούν

$M_i = \{k | t_{ki} \leq S\}$

$W_i = \{j | t_{ji} \leq S\}$

$y_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{αν ο κόμβος } i \text{ καλύπτεται από τουλάχιστον } k \text{ μονάδες} \\ 0 & \text{διαφορετικά} \end{cases}$

(1) Η αντικειμενική συνάρτηση δείχνει τον αριθμό των κλήσεων της περιοχής, που καλύπτεται τουλάχιστον b_i φορές και αυξάνεται με επίπεδο αξιοπιστίας τουλάχιστον a .

(2) Ο περιορισμός υποδηλώνει ότι ο κόμβος i καλύπτεται b_i φορές μόνο αν τουλάχιστον b_i μονάδες έχουν τοποθετηθεί μέσα στα δοθέντα χρονικά όρια.

(3) Ο περιορισμός δηλώνει ότι ο κόμβος k μπορεί να καλύπτεται k φορές, μόνο αν έχει καλυφθεί και $k-1$ φορές.

(4) Ο περιορισμός καθορίζει τον αριθμό των μονάδων που θα τοποθετηθούν.

Η μαθηματική διατύπωση του MALP I είναι ακριβώς η ίδια με του MALP II. Η μοναδική διαφορά είναι ότι αντί για τους συντελεστές b_i , χρησιμοποιείται ενιαίος συντελεστής b που είναι ο μικρότερος ακέραιος που ικανοποιεί τη σχέση:

$$\log(1-a) / \log(q) \leq b$$

2.3.3.3 Πρότυπα χωρικών ουρών

2.3.3.3.1. Εισαγωγή

Όπως παρουσιάστηκε στις παραγράφους 2.3.3.1 και 2.3.3.2, το Δυναμικό Πρότυπο Μέγιστης Κάλυψης Πρόβλημα Χωροθέτησης (Dynamic Maximal Covering Location Problem, DMCLP) και το Δυναμικό Πρότυπο Διπλής Σταθεράς (Dynamic Double Standard

Model) αντίστοιχα ενσωματώνουν έναν αριθμό στοχαστικών (πιθανοτικών) παραμέτρων. Εδώ θα παρουσιαστεί πως οι πιθανοτικές κατανομές συνδυάζονται. Αποτέλεσμα αυτού σε συνδυασμό με τη θεωρία ουρών είναι η εξέταση περαιτέρω όψεων της χωροθέτησης.

Το 1974 ο Larson ανέπτυξε το υπερκυβικό πρότυπο (hypercube model), το οποίο ήταν το πρώτο πρότυπο που ενέπλεξε την θεωρία χωρικών ουρών (spatial queues) στα προβλήματα χωροθέτησης. Αυτό, λοιπόν, το αρχικό πρότυπο μελετά το πλάνο επέμβασης των περιοχών ανταπόκρισης σε συστήματα παροχής άμεσης βοήθειας. Ο Larson σχεδίασε το επείγουσας ανάγκης σύστημα εξυπηρέτησης ως ένα σύστημα ουράς πολλαπλών παροχέων εξυπηρέτησης με διακριτούς παροχείς. Για να το σχεδιάσει έλαβε υπόψη του πιθανοτικές αφίξεις κλήσεων για επείγουσα ανάγκη, μεταβλητούς χρόνους επέμβασης και τις επεμβάσεις που μπορεί να γίνουν εντός και εκτός περιοχή ευθύνης κάθε μονάδας. Το πρότυπο αυτό υποθέτει εκθετικούς χρόνους εξυπηρέτησης και τυχαίες αφίξεις κλήσεων για την παροχή βοήθειας. Χρησιμοποιεί γεωγραφική ανάλυση της περιοχής μελέτης και ένα κριτήριο αποστολής παροχών. Σύμφωνα με μια επαναληπτική μέθοδο, για να παραχθεί ο μεταβατικός πίνακας (transition matrix) της διαδικασίας Markov, ο χώρος της διαδικασίας αυτής απεικονίζεται ως οι κορυφές ενός N-διάστατου υπερκύβου, όπου N ο αριθμός των παροχέων. Η κάθε κορυφή αντιπροσωπεύει ένα συνδυασμό των διαθέσιμων για επέμβαση παροχέων του συστήματος. Τελικά, το πρότυπο παράγει έναν αριθμό εκτιμητών της απόδοσης του συστήματος. Το πρότυπο αυτό έχει χρησιμοποιηθεί σε ευρεστικές διαδικασίες και βρήκε λύση σε προβλήματα χωροθέτησης με θεωρία ουρών.

2.3.3.3.2. Πρόβλημα Χωροθέτησης Μέγιστης Διαθεσιμότητας με Ουρές αναμονής (Queueing Maximum Availability Location Problem)

Οι Marianon και ReVelle (1996) χρησιμοποίησαν μια εφαρμογή του υπερκυβικού προτύπου του Larson για να επεκτείνουν το Πρόβλημα Χωροθέτησης Μέγιστης Διαθεσιμότητας (MALP) στο Πρόβλημα Χωροθέτησης Μέγιστης Διαθεσιμότητας με Ουρές αναμονής (Queueing Maximum Availability Location Problem). Οι διαφορές των δύο προτύπων έχουν σχέση με την μεθοδολογία που ακολουθείται στον προσδιορισμό των συντελεστών b_i και στον εντοπισμό της μεταχείρισης των χρόνων διαδρομής, οι οποίοι στο QMALP δεν είναι σταθεροί, αλλά ακολουθούν κάποια πιθανοτική κατανομή. Στο πρότυπο QMALP γίνονται οι παραδοχές ότι για την εξυπηρέτηση του συμβάντος στον τόπο του ατυχήματος οι χρόνοι είναι μεγάλοι σχετικά με τους χρόνους διαδρομής και ότι μία περιοχή i και οι περιοχές που συνορεύουν με αυτήν δε διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό αναφορικά με τους

ρυθμούς κλήσεων για εξυπηρέτηση. Κάθε υποπεριοχή του δικτύου λειτουργεί ως μια απομονωμένη ανεξάρτητη μονάδα. Η ζήτηση της δεν επηρεάζει τους χρόνους εξυπηρέτησης της γειτονικής περιοχής. Υποθέτεται τυχαία κατανομή αφίξεων, γενική κατανομή χρόνου εξυπηρέτησης και s παροχές εξυπηρέτησης, ενώ αν υπάρξει κλήση για επέμβαση όταν και οι s παροχές είναι μη διαθέσιμοι, οι κλήσεις χάνονται. Γενικά, το πρότυπο έχει σκοπό με μια πιθανότητα α να μην υπάρχει αναμονή στην ουρά για εξυπηρέτηση. Υπολογίζει πιο ξεκάθαρα πόσες φορές και από ποιον πρέπει να καλύπτεται κάθε υποπεριοχή του δικτύου. Το πρότυπο QMALP είναι από τα πιο εξελιγμένα πρότυπα χωροθέτησης που έχουν δημιουργηθεί. Το πρότυπο αυτό έχει τη δυνατότητα να δίνει μεγάλης ακρίβειας λύσεις και να προσεγγίζει ένα χωρικό σύστημα παροχών. Όμως, εμφανίζει αμφίβολη ακρίβεια όταν η υπόθεση που σχετίζεται με τους χρόνους εξυπηρέτησης δεν είναι αντικειμενική. Ο λόγος είναι ότι ο χρόνος που καταναλώνεται στον τόπο της επέμβασης πιθανότατα να είναι αρκετά σημαντικός σε σχέση με το χρόνο διαδρομής.

Η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος είναι η εξής:

$$\text{Maximize } \sum_{i \in V} f_i y_{ib} \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{k=1}^{b_i} y_{jk} \leq \sum_{j \in W_i} \sum_{k=1}^{C_j} x_{kj} \quad (i \in V) \quad (2)$$

$$y_{ik} \leq y_{i,k-1} \quad (i \in V, k=2, \dots, b_i) \quad (3)$$

$$\sum_{j \in W_i} \sum_{k=1}^{C_j} x_{kj} = p \quad (4)$$

$$x_{kj} \in \{0,1\} \quad (j \in W, k=1, \dots, C_j) \quad (5)$$

$$y_{jk} \in \{0,1\} \quad (i \in V, k=1, \dots, p) \quad (6)$$

όπου:

W = σύνολο κόμβων, όπου μπορεί να τοποθετηθεί μονάδα (με δείκτη j)

V = σύνολο κόμβων ζήτησης (με δείκτη i)

x_j = ακέραια μεταβλητή που δηλώνει τον αριθμό των μονάδων που τοποθετούνται στον κόμβο j

t = η μέση διάρκεια εξυπηρέτησης ενός συμβάντος

f_k = συχνότητα κλήσεων για επέμβαση στον κόμβο k ανά ημέρα

C_j = χωρητικότητα κόμβου j

p = αριθμός μονάδων που θα τοποθετηθούν

$$x_{kj} = \begin{cases} 1 & \text{αν ο } k - \text{οστός παροχέας τοποθετείται στον κόμβο } i \\ 0 & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

$$y_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{αν ο κόμβος } i \text{ καλύπτεται από τουλάχιστον } k \text{ μονάδες} \\ 0 & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

2.3.3.3. Μέγιστης Κάλυψης Πρόβλημα Χωροθέτησης με Ουρές Αναμονής (Queueing Maximal Covering Location-Allocation Problem)

Οι Marianon και Serra (1998) παρουσίασαν το Μέγιστης Κάλυψης Πρόβλημα Χωροθέτησης με Ουρές Αναμονής (Queueing Maximal Covering Location- Allocation Problem) καθώς στο σύνηθες MCLP των Church και ReVelle (1974) δεν μπορεί να γίνει μετατροπή ούτως ώστε να προσαρμόζεται στον περιορισμό της συμφόρησης ενός συστήματος. Η διατύπωση του QM-CLAM είναι η εξής: Ζητείται η χωροθέτηση p μονάδων έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί ο καλυπτόμενος πληθυσμός, όταν η κάλυψη ορίζεται ως: α) ο καλυπτόμενος πληθυσμός κατανέμεται γύρω από ένα σύστημα παροχέων απέχοντας χρόνο ή απόσταση το πολύ S από τον κοντινότερο παροχέα, και β) αν ένας χρήστης 'καλύπτεται' από την κοντινότερη μονάδα, δεν θα περιμένει στην ουρά αναμονής περισσότερο από τ με πιθανότητα τουλάχιστον α .

Η διατύπωση του προβλήματος είναι η εξής :

$$\text{Maximize } \sum_{i,j} a_i x_{ij} \quad (1)$$

subject to

$$x_{ij} \leq y_j \quad \forall i, j \quad (2)$$

$$\sum_j x_{ij} \leq 1 \quad \forall i \quad (3)$$

$$\sum_i y_i = p \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I} f_i x_{ij} \leq \mu_j + (1/\tau) \ln(1-\alpha), \quad \forall j \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \quad j \in N_i, \quad \forall i, j \quad (6)$$

$$y_j \in \{0,1\} \quad \forall j \quad (7)$$

όπου:

J = σύνολο κόμβων, όπου μπορεί να τοποθετηθεί μονάδα (με δείκτη j)

I = σύνολο κόμβων ζήτησης (με δείκτη i)

μ_j = μέση τιμή της κατανομής του χρόνου εξυπηρέτησης του παροχέα j

τ = μέγιστος χρόνος αναμονής στην ουρά για εξυπηρέτηση

f_i = μέση τιμή κατανομής Poisson του ρυθμού άφιξης των κλήσεων για επέμβαση

a_i = πληθυσμός κόμβου i

p = αριθμός τοποθετούμενων παροχέων

α = πιθανότητα που δηλώνει την αξιοπιστία του συστήματος

$N_i = \{ j | t_{ji} \leq S \}$

$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{αν ο χρήστης στον κόμβο } i \text{ εξυπηρετείται από τον παροχέα στον κόμβο } j \\ 0 & \text{διαφορετικά} \end{cases}$

$y_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{αν ένας παροχέας τοποθετείται στον κόμβο } j \\ 0 & \text{διαφορετικά} \end{cases}$

(1) Η αντικειμενική συνάρτηση μεγιστοποιεί τον καλυπτόμενο πληθυσμό όπως ορίστηκε η κάλυψη στην διατύπωση του προβλήματος.

(2) Ο περιορισμός δηλώνει ότι δεν μπορεί να εξυπηρετηθεί ένας χρήστης από ένα κόμβο στον οποίο δεν έχει τοποθετηθεί παροχέας.

- (3) Ο περιορισμός επιβάλλει ότι κάθε χρήστης κατανέμεται το πολύ σε ένα παροχέα.
 (4) Ο περιορισμός καθορίζει τον αριθμό των παροχέων που θα τοποθετηθούν στο δίκτυο
 (5) Ο περιορισμός υποχρεώνει ο χρόνος που σπαταλείται από ένα χρήστη στην ουρά αναμονής να μην είναι μεγαλύτερος από τ με πιθανότητα α .

2.3.4 Πρότυπα σχεδιασμού σεναρίων

Μια λύση για την αντιμετώπιση άμεσων προβλημάτων που διακρίνονται από αβεβαιότητα είναι ο σχεδιασμός σεναρίων (scenario planning), προδιαγράφοντας έναν αριθμό πιθανών μελλοντικών καταστάσεων. Ο στόχος είναι η εξεύρεση λύσεων, οι οποίες να είναι όσο περισσότερο γίνεται αποτελεσματικές σε όλα τα σενάρια. Στα προβλήματα χωροθέτησης, η μέθοδος αυτή δημιουργεί ένα σύνολο σεναρίων το οποίο ασχολείται με τις πιθανές συμπεριφορές άγνωστων παραμέτρων του προβλήματος. Έτσι, καθορίζεται μια λύση κατανομής των παροχέων στο σύστημα που θα πλησιάζει τη βέλτιστη. Τα πρότυπα σχεδιασμού σεναρίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ένα χρήσιμο εργαλείο σε περιπτώσεις έλλειψης στοιχείων κάποιων παραμέτρων του προβλήματος χωροθέτησης. Οι Serra και Marianon (1992) εφάρμοσαν τη μέθοδο αυτή επίλυσης για τη χωροθέτηση πυροσβεστικών οχημάτων στην πόλη της Barcelona. Τα σενάρια χρησιμοποιήθηκαν για να καλύψουν διαφορετικές συνθήκες ζήτησης και χρόνους διαδρομής. Θα μελετηθεί το πρόβλημα p-διαμέσου το οποίο που αναλύθηκε στην παράγραφο 2.2.2 για να διευκρινιστεί πώς διατυπώνονται οι σκοποί της μεθόδου με προσέγγιση σχεδιασμού σεναρίων (P-median problem under the scenario planning approach).

Η διατύπωση του προβλήματος είναι η εξής:

$$\text{Minimize } \sum_k q_k R_k \quad (1)$$

subject to

$$\sum_j X_j = P \quad (2)$$

$$\sum_j Y_{ijk} = 1 \quad \forall i,k \quad (3)$$

$$Y_{ijk} - X_j \leq 0 \quad \forall i,j,k \quad (4)$$

$$R_k - \left(\sum_i \sum_j h_{ik} d_{ijk} Y_{ijk} - V_k \right) = 0 \quad \forall k \quad (5)$$

$$X_j \in \{0,1\} \quad \forall j \quad (6)$$

$$Y_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i,j,k \quad (7)$$

όπου:

k = δείκτης των πιθανών σεναρίων

V_k = η βέλτιστη λύση του προβλήματος p -διαμέσου για το σενάριο k

d_{ijk} = η ελάχιστη χωρική ή χρονική απόσταση από τον κόμβο I στον κόμβο j στο σενάριο k

h_{ik} = ζήτηση στον κόμβο I στο σενάριο k

P_i = αριθμός μονάδων που θα τοποθετηθούν

$R_k = V_k - V_k^*$, όπου V_k^* η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης του προβλήματος p -διαμέσου της επιλεγείσας λύσης.

$Y_{ijk} =$

$\begin{cases} 1 & \text{αν ο χρήστης στον κόμβο } i \text{ εξυπηρετείται από την μονάδα στη θέση } j \text{ στο σενάριο } k \\ 0 & \text{διαφορετικά} \end{cases}$

$X_j = \begin{cases} 1 & \text{αν τοποθετηθεί μονάδα στον κόμβο } j \\ 0 & \text{διαφορετικά} \end{cases}$

(1) Η αντικειμενική συνάρτηση ελαχιστοποιεί το σταθμισμένο άθροισμα των αποκλίσεων της επιλεγείσας λύσης από τη βέλτιστη του κάθε σεναρίου.

(2),(3),(4) Οι περιορισμοί είναι οι περιορισμοί του προβλήματος p - διαμέσου για το σύνολο των σεναρίων.

(5) Ο περιορισμός ορίζει τη μεταβλητή R_k του προβλήματος.

2.4. Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάστηκε η βιβλιογραφία που αφορά τα σημαντικότερα πρότυπα χωροθέτησης μονάδων εξυπηρέτησης και έκτακτης ανάγκης σε γραμμικά συγκοινωνιακά έργα (παρούσα διπλωματική) και σε γενικότερες περιοχές κάλυψης. Τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από αυτό το κεφάλαιο θα χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη της μεθοδολογίας της παρούσης διπλωματικής εργασίας. Στο επόμενο κεφάλαιο αναπτύσσεται μια μεθοδολογία που χρησιμοποιεί πολλά από τα εργαλεία των προτύπων αυτής της ανασκόπησης αλλά και πρωτότυπες τεχνικές και θεωρίες προσπαθώντας να

προσεγγίσει όσον το δυνατόν ακριβέστερα το πρόβλημα χωροθέτησης μονάδων παροχής εξυπηρέτησης.

Στο υποκεφάλαιο 2.2. αναπτύχθηκαν Στατικά πρότυπα χωροθέτησης. Τα πρώιμα αυτά πρότυπα κατέστησαν τη βάση για τα επόμενα πιο πολύπλοκα και με μεγαλύτερη ακρίβεια πρότυπα. Τα πρότυπα αυτά είχαν δύο κύρια μειονεκτήματα: Δεν ασχολούνται αρκετά με τον δυναμικό χαρακτήρα των πραγματικών περιστατικών και το γεγονός ότι όταν ο παροχέας δεν είναι διαθέσιμος ορισμένες κλήσεις είναι δυνατόν να μην μπορούν να εξυπηρετηθούν εντός του προκαθορισμένου χρόνου.

Με την ανάπτυξη των Δυναμικών προτύπων (2.3.2.) ως προς το χρόνο αντιμετωπίστηκε το ζήτημα της μεταβολής ως προς τον χρόνο κάποιων παραμέτρων του συστήματος, τα οποία λύνουν επαναλαμβανόμενα το πρόβλημα ανά τακτές χρονικές περιόδους αναδιατάσσοντας τις θέσεις των μονάδων. Το ζήτημα της μη διαθεσιμότητας αντιμετωπίστηκε με την ανάπτυξη των ντετερμινιστικών προτύπων (2.2.) και πιθανοτικών προτύπων (2.3.2).

Τα ντετερμινιστικά πρότυπα αναζητούν λύσεις όπου η ζήτηση των σημείων υπερκαλύπτεται. Όμως, δε μελετούν άμεσα την ακριβή διαθεσιμότητα των μονάδων. Τα ντετερμινιστικά πρότυπα έμμεσου ελέγχου της διαθεσιμότητας, βασίζονται στη λογική ότι οι περιοχές αυξημένης ζήτησης που εξυπηρετούνται από περισσότερες από μία μονάδες έχουν μικρότερη πιθανότητα να είναι όλες οι μονάδες απασχολημένες σε περίπτωση συμβάντος.

Τα πιθανοτικά πρότυπα εκμεταλλεύονται τον συντελεστή απασχόλησης των μονάδων και ελέγχουν άμεσα την διαθεσιμότητα των μονάδων. Τα πρώτα πιθανοτικά πρότυπα υπολογίζουν πολύ προσεγγιστικά το συντελεστή απασχόλησης όλου του συστήματος. Η λογική αυτή δίνει σωστά αποτελέσματα σε περιπτώσεις ομοιογενών δικτύων ως προς τη ζήτηση. Όμως, οδηγεί σε λάθη στην πραγματικότητα σε περιπτώσεις δικτύων διότι η ζήτηση είναι ποικίλη.

Το μειονέκτημα αυτό αντιμετωπίστηκε με χρήση θεωρίας χωρικών ουρών (2.3.3.3) για τον υπολογισμό του συντελεστή απασχόλησης της κάθε μονάδας. Οι μονάδες λειτουργούν ως ένα ενιαίο σύστημα προσφοράς και ζήτησης και όχι ως μία ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες μονάδες. Στα τελευταία αυτά πρότυπα υποθέτουμε ότι ο χρόνος επέμβασης (διαδρομής) δεν είναι υπολογίσιμος συγκριτικά με το χρόνο εξυπηρέτησης στον τόπο του συμβάντος. Έτσι, θεωρείται ότι ο συνολικός χρόνος απασχόλησης του παροχέα ακολουθεί την ίδια κατανομή για όλες τις μονάδες. Αυτή η υπόθεση είναι αρκετά χρήσιμη και σχετική με πραγματικά γεγονότα σε σταθμούς πυρόσβεσης. Αλλά, σε περιπτώσεις όπως συνεργεία άμεσης επέμβασης κατά μήκος αυτοκινητοδρόμων ή συστήματα ασθενοφόρων σε αστικά δίκτυα η υπόθεση αυτή υποδιαστασιολογεί το πρόβλημα και άρα περιέχει ένα ποσοστό σημαντικού σφάλματος.

3 Κατάστρωση της μεθοδολογίας

3.1. Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία ασχολείται με τον έλεγχο της δομικής επάρκειας των έργων υποδομής ενός οδικού άξονα, και πιο συγκεκριμένα τον καθορισμό των ζωνών-χιλιομετρικών θέσεων ευθύνης του κάθε συνεργείου επιθεώρησης. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός πρότυπου αλγορίθμου, για την οριοθέτηση των βέλτιστων περιοχών ευθύνης των συνεργείων επιθεώρησης των έργων υποδομής, ούτως ώστε να καταστεί εφικτή η αποτελεσματικότερη και πιο ταχεία καταγραφή και αποτίμηση της κατάστασης των έργων υποδομής σε όλο το εύρος του οδικού άξονα, ανάλογα με το υπάρχον ανθρώπινο δυναμικό. Η αντιμετώπιση του περιγραφέντος προβλήματος βασίζεται στα δεδομένα που αφορούν τα δομικά έργα, δηλαδή στο χρόνο που χρειάζεται για να επιθεωρηθούν το οδόστρωμα, οι γέφυρες και οι σήραγγες, ανάλογα με το μέγεθός τους και τον τύπο τους. Τα δεδομένα αυτά καθορίζουν – ποσοτικοποιούν το εύρος του απαιτούμενου έργου για την ολοκλήρωση της επιθεώρησης του. Η μεθοδολογία για την αντιμετώπιση του προβλήματος παρουσιάζεται αναλυτικά στη συνέχεια του κεφαλαίου.

3.2. Ο οδικός άξονας

Ο οδικός άξονας που θα εξεταστεί είναι το τμήμα της Αττικής Οδού: Ελεύθερη Λεωφόρος Ελευσίνας-Σταυρού-Σπάτων (Ε.Λ.Ε-Σ-Σ). Έχει μήκος 52km. Θα χωριστεί σε τμήματα των 500 μέτρων, άρα σε 104 τμήματα. Το πρόγραμμα θα παρουσιάζει για το κάθε συνεργείο ποια κομμάτια του οδικού άξονα αναλαμβάνει να επιθεωρήσει.

Θεωρείται ότι κάθε συνεργείο αποτελείται από 2 έμπειρους μηχανικούς σε θέματα επιθεώρησης οδοστρώματος, γεφυρών και σηράγγων και 2 βοηθούς τεχνίτες. Έτσι, δεν χρειάζονται 3 διαφορετικού τύπου επιθεώρησης συνεργεία. Η επιθεώρηση που διενεργείται είναι λεπτομερής και αφορά τα έργα υποδομής του οδικού άξονα, δηλαδή τις γέφυρες, τις σήραγγες και το οδόστρωμα.

Η Ελεύθερη Λεωφόρος Ελευσίνας-Σταυρού-Σπάτων (Ε.Λ.Ε-Σ-Σ), τμήμα της Αττικής Οδού φαίνεται στον χάρτη 3.1:

Χάρτης 3.1.



3.3. Η κατάστρωση του προβλήματος

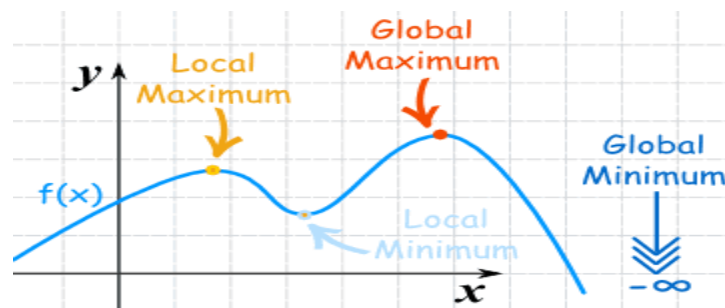
Οι χρόνοι επιθεώρησης που λήφθηκαν είναι ανάλογοι του τύπου και του μεγέθους των γεφυρών και σηράγγων του συγκεκριμένου οδικού άξονα και δόθηκαν από έμπειρο μηχανικό. Θεωρήθηκε, λοιπόν, ότι το οδόστρωμα για να επιθεωρηθεί χρειάζεται 1ώρα/κατεύθυνση/km, άρα 2 ώρες/km καθώς κινείται το συνεργείο στον οδικό άξονα. Μία γέφυρα χρειάζεται από 2-16 ώρες για να επιθεωρηθεί ανάλογα με το μέγεθος και τον τύπο της και μία σήραγγα από 2-8 ώρες.

Στην παρούσα εργασία η ζήτηση κάθε ενός από τα 104 τμήματα που χωρίστηκε ο οδικός άξονας ορίζεται ως ποσοτικό ανάλογο του απαιτούμενου χρόνου για την επιθεώρηση αυτού. Για τον υπολογισμό της ζήτησης θα χρησιμοποιήσουμε τους προαναφερθέντες χρόνους επιθεώρησης.

3.4. Επίλυση με γενετικό αλγόριθμο

3.4.1. Γενικά στοιχεία

Οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι μια γενική μεθοδολογία βελτιστοποίησης. Χρησιμοποιούνται, συνήθως σε συνδυαστικά προβλήματα πολλών αγνώστων και παραμέτρων. Ο λόγος είναι ότι σε τέτοιου είδους προβλήματα οι γενετικοί αλγόριθμοι παρουσιάζουν πλεονεκτήματα. Ένα κύριο πλεονέκτημα είναι ότι εξετάζουν ευρύ πεδίο λύσεων και δεν εγκλωβίζονται σε τοπικά ακρότατα. (βλέπε σχήμα 3.1.)



Σχήμα 3.1

Σύμφωνα με τους Gen και Cheng (1999), οι γενετικοί αλγόριθμοι παρουσιάζουν ικανοποιητική απόδοση στην επίλυση συνδυαστικών προβλημάτων, όχι μόνο επειδή δεν εγκλωβίζονται σε τοπικά ακρότατα αλλά και επειδή παρέχουν τη δυνατότητα άμεσου χειρισμού διακριτών μεταβλητών, γεγονός που διευκολύνει στην απεικόνιση συνδυαστικών προβλημάτων. Για την βελτιστοποίηση συνδυαστικών προτύπων (combinatorial models) οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι οι κατάλληλοι. Τα συνδυαστικά πρότυπα έχουν ως χαρακτηριστικό τον πεπερασμένο αριθμό δυνατών λύσεων, που αποτελούν συνδυασμό των δυνατών τιμών των ανεξάρτητων μεταβλητών (Winston, 1994). Το πρότυπο P-median το οποίο αναλύθηκε στην παράγραφο 2.2.2 είναι συνδυαστικό, αφού πρέπει να βρεθεί ο συνδυασμός των τιμών των μεταβλητών X και Y του προτύπου ώστε να ελαχιστοποιηθεί η αντικειμενική συνάρτηση. Για την επίλυσή του έχουν προταθεί διάφοροι γενετικοί αλγόριθμοι.

3.4.2 Harmony Search Minimization

Οι αλγόριθμοι οι οποίοι χρησιμοποιούνται στη βελτιστοποίηση βασίζονται στον απειροστικό λογισμό. Χρησιμοποιούν την παράγωγο (κλίση) της συνάρτησης που

βελτιστοποιείται για να βρουν την ορθή διεύθυνση προς τη βέλτιστη λύση. Παρουσιάζεται πρόβλημα όταν οι μεταβλητές είναι διακριτές αντί για συνεχείς καθώς οι διακριτές μεταβλητές δεν παραγωγίζονται.

Ο αλγόριθμος Harmony Search αντιμετωπίζει αυτό το εμπόδιο χρησιμοποιώντας μία στοχαστική παράγωγο. Αυτή η παράγωγος λειτουργεί με πανομοιότυπο τρόπο με τους μουσικούς του μουσικού είδους jazz όταν αυτοί αυτοσχεδιάζουν. Από εκεί προέρχεται και η ονομασία του αλγόριθμου. Η στοχαστική παράγωγος του Harmony Search, δίνει μια πιθανότητα επιλογής για κάθε τιμή της μεταβλητής απόφασης. Αν για παράδειγμα η μεταβλητή απόφασης y έχει τρεις δυνατές τιμές $\{\alpha, \beta, \gamma\}$, η μερική στοχαστική παράγωγος της αντικειμενικής συνάρτησης ως προς τη y σε κάθε διακριτή τιμή, δίνει την πιθανότητα επιλογής για κάθε τιμή, για παράδειγμα 15% για α , 35% για β , και 50% για γ . Ενώ η αθροιστική πιθανότητα γίνεται μονάδα (100%), η πιθανότητα για κάθε τιμή της ανανεώνεται σε κάθε νέα επανάληψη. Το επιθυμητό είναι, η τιμή η οποία περιλαμβάνεται στο βέλτιστο διάνυσμα λύσης, να έχει μεγαλύτερη πιθανότητα να επιλεγεί με την αύξηση των επαναλήψεων.

Για να εφαρμοσθεί ο αλγόριθμος HS στην παρούσα διπλωματική εργασία πρέπει το προς επίλυση πρόβλημα να διατυπωθεί στη μορφή βελτιστοποίησης καθώς ο αλγόριθμος HS επινοήθηκε για την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης. Πρέπει δηλαδή να βελτιστοποιείται μία αντικειμενική συνάρτηση που υπόκειται σε περιορισμούς. Βελτιστοποιείται μια συνάρτηση σημαίνει είτε μεγιστοποιείται είτε ελαχιστοποιείται.

Ακολουθεί μία επεξηγηματική διατύπωση-μοντελοποίηση:

Βελτιστοποίησε την $f(x)$. (1)

που υπόκειται στους περιορισμούς (2),(3),(4):

$$h_i(x) = 0 \quad i = 1, \dots, p \quad (2)$$

$$g_i(x) \geq 0 \quad i = 1, \dots, q \quad (3)$$

$$x_i \in X_i = \{ x_i(1), \dots, x_i(k), \dots, x_i(K_i) \} \quad (4a)$$

$$x_i^L \leq x_i \leq x_i^U \quad (4b)$$

(1) Ο αλγόριθμος HS ψάχνει ολόκληρες περιοχές λύσεων, ώστε να βρει το διάνυσμα βέλτιστης λύσης: $x = (x_1, \dots, x_n)$, το οποίο βελτιστοποιεί την αντικειμενική συνάρτηση $f(x)$.

(2) Ισοτικός περιορισμός

(3) Ανισοτικός περιορισμός

(4a) Αν η μεταβλητή απόφασης έχει διακριτές τιμές το σύνολο των αποδεκτών τιμών

(4b) Αν η μεταβλητή απόφασης έχει συνεχείς τιμές το σύνολο των αποδεκτών τιμών

Μετά τη μοντελοποίηση του προς επίλυση προβλήματος πρέπει να δοθούν τιμές στις παραμέτρους της HS, οι οποίες τιμές πρέπει να βρίσκονται εντός συγκεκριμένων ορίων. Οι παράμετροι είναι οι εξής:

HMS: Είναι το μέγεθος της μνήμης του αλγορίθμου. Δηλαδή ορίζει τον αριθμό των διανυσμάτων - λύσεων που κρατά – αξιοποιεί ο αλγόριθμος

HMCR: Είναι η πιθανότητα ($0 \leq \text{HMCR} \leq 1$) ο αλγόριθμος να επιλέξει μια τυχαία λύση από τη μνήμη του. Άρα για πιθανότητα $1 - \text{HMCR}$ ο αλγόριθμος θα διαλέξει μια νέα τυχαία λύση, μη αποθηκευμένη στη μνήμη.

PAR: Είναι η πιθανότητα ($0 \leq \text{PAR} \leq 1$) για την οποία ο αλγόριθμος βελτιστοποιεί μια από τις αποθηκευμένες στη μνήμη λύσεις. Άρα για πιθανότητα $1 - \text{PAR}$ ο αλγόριθμος επιλέγει μία λύση από τις αποθηκευμένες στη μνήμη και την βελτιστοποιεί.

MI: Είναι ο αριθμός επαναλήψεων που θα κάνει ο αλγόριθμος.

FW: Είναι ένα τυχαίο (αυθαίρετα επιλεγμένο μήκος) που χρησιμοποιείται για συνεχείς μεταβλητές. Δεν εφαρμόζεται στην παρούσα διπλωματική διότι ψάχνουμε για διακριτές λύσεις.

Κάποιοι ερευνητές έχουν προτείνει αντί για τυχαίες τιμές παραμέτρων να ορίζονται τιμές γραμμικά μεταβαλλόμενες σε κάθε επανάληψη. Υπάρχουν και τυποποιημένοι συνδυασμοί παραμέτρων, οι οποίοι προέκυψαν από επαναλήψεις επιλύσεων.

Χρειάζεται μία αρχική μνήμη πριν το τμήμα βελτιστοποίησης του αλγορίθμου. Όπως οι μουσικοί της jazz έχουν στην μνήμη τους αποθηκευμένες ακολουθίες από νότες, έτσι και ο αλγόριθμος απαιτεί την προϋπαρξη αποθηκευμένων λύσεων (μνήμης). Ο αριθμός των λύσεων καθορίζεται από την παράμετρο HMS. Αυτή η μνήμη μπορεί να απεικονιστεί όπως ο ακόλουθος πίνακας:

$$\mathbf{HM} = \left[\begin{array}{ccc|c} x_1^1 & \dots & x_n^1 & f(\mathbf{x}^1) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ x_1^{\text{hms}} & \dots & x_n^{\text{hms}} & f(\mathbf{x}^{\text{hms}}) \end{array} \right].$$

Οι μουσικοί της jazz ακούνε την τελευταία νότα που παίχτηκε και αυτοσχεδιάζουν με τους εξής τρόπους: Παίζουν μία τυχαία νότα για να ακούσουν τη μελωδία που θα προκύψει ή θυμούνται (φέρνουν στη μνήμη τους) μία νότα που ξέρουν ότι συνδυάζεται αρμονικά με την προηγούμενη. Ο αλγόριθμος Harmony Search με τον ίδιο τρόπο μιας και είναι εμπνευσμένος από αυτόν τον αυτοσχεδιασμό λειτουργεί με τους εξής τρόπους:

(1)Επιλέγει μία τυχαία νέα λύση:

Όταν ο αλγόριθμος διαβάζει την τιμή x_i^{new} για μια καινούρια επανάληψη (αρμονία):

$$\mathbf{x}^{\text{new}} = (x_1^{\text{new}}, \dots, x_n^{\text{new}})$$

Τότε διαλέγει τυχαία μία τιμή μέσα από το σύνολο:

$$\{ x_i(1), \dots, x_i(K_i) \} \text{ ή } x_i^L \leq x_i \leq x_i^{\text{HMS}}$$

Με πιθανότητα επιλογής : 1 – HMCR

(2)Επιλέγει τυχαία μία από τις αποθηκευμένες λύσεις:

Όταν ο αλγόριθμος διαβάζει την τιμή x_i^{new} για μια καινούρια επανάληψη (αρμονία), τότε διαλέγει τυχαία μία τιμή από την $HM = \{ x_i^1, \dots, x_i^{HMS} \}$

Με πιθανότητα επιλογής: HMCR

(3)Βελτιστοποιεί μία από τις αποθηκευμένες λύσεις:

Όταν ο αλγόριθμος διαβάζει την τιμή x_i^{new} για μια καινούρια επανάληψη (αρμονία), ο αλγόριθμός επεμβαίνει σε αυτήν μεταβάλλοντας την λίγο για να οδηγήσει σε μια νέα καλύτερη λύση.

Με πιθανότητα επιλογής: PAR

Όποια από τις τρεις περιπτώσεις και αν επιλεγεί, προκύπτει ένα νέο διάνυσμα – λύση x_{New} . Στη συνέχεια γίνεται έλεγχος αν η νέα λύση ικανοποιεί τους περιορισμούς του προβλήματος. Αν δεν ικανοποιεί τους περιορισμούς τότε προσθέτει κάποια ποινή στην τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης ή εγκαταλείπει τη συγκεκριμένη λύση. Αν τους ικανοποιεί τότε ο αλγόριθμος αρχίζει τη σύγκρισή της με τις λύσεις που είναι αποθηκευμένες στη μνήμη του, με βάση την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης της κάθε λύσης. Αν η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης είναι καλύτερη (μικρότερη ή μεγαλύτερη, ανάλογα με το τι επιθυμώ) από αυτήν της χειρότερης αποθηκευμένης λύσης, τότε η νέα λύση παίρνει τη θέση της. Διαφορετικά η νέα λύση αγνοείται.

Ο αλγόριθμος τερματίζεται όταν ικανοποιηθεί κάποιο από τα κριτήρια τερματισμού του. Αυτά είναι η πολύ μικρή μείωση της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης για μεγάλο αριθμό συνεχόμενων επαναλήψεων, κάποιο χρονικό όριο εκτέλεσης ή ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων.

4 Εφαρμογή προτύπου - Διαδικασία υπολογισμού

4.1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο 3 έγινε η κατάστρωση της μεθοδολογίας που θα ακολουθηθεί, δηλαδή η θεωρητική παρουσίαση του προτύπου. Για να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα του μαθηματικού προτύπου χρειάζεται να εφαρμοστεί με πραγματικά στοιχεία κάποιου συγκεκριμένου οδικού άξονα.

Ο οδικός άξονας αυτός είναι η Αττική Οδός. Από τον δρόμο αυτό θα κατασκευαστεί η βάση δεδομένων η οποία θα χρησιμοποιηθεί για την εφαρμογή του προτύπου.

Το πρότυπο, όπως προαναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, θα επιλυθεί με το γενετικό αλγόριθμο Harmony Search με πρόγραμμα που θα γραφτεί σε περιβάλλον Matlab. Το πρόγραμμα αυτό θα εκτυπώνει τις βέλτιστες περιοχές ευθύνης-χιλιομετρικές θέσεις και τους βέλτιστους χρόνους για κάθε σενάριο επίλυσης. Το κάθε σενάριο επίλυσης θα έχει διαφορετικό αριθμό διαθέσιμων συνεργείων επιθεώρησης. Έτσι, θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πραγματικές συνθήκες ανάλογα με τον διαθέσιμο αριθμό συνεργείων το ανάλογο σενάριο.

Θα πραγματοποιηθεί ανάλυση ευαισθησίας με πολλές διαδοχικές επιλύσεις με διαφορετικές παραμέτρους του Harmony Search. Με αυτόν τον τρόπο θα πραγματοποιηθεί ο έλεγχος για το αν ο γενετικός αλγόριθμος λειτουργεί ορθά και για το αν το πρότυπο δίνει αντικειμενικά σωστά αποτελέσματα.

4.2. Το ψηφιακό υπόβαθρο του οδικού άξονα Αττικής Οδού

Έγινε χρήση ψηφιακού μοντέλου του συγκεκριμένου οδικού άξονα. Το μοντέλο αυτό σχεδιάστηκε σε περιβάλλον εργασίας AutoCAD. Απεικονίζει τον οδικό άξονα ακριβώς όπως είναι χωρισμένος σε 104 ίσα κομμάτια των 500 m μήκους. Το κάθε κομμάτι θα παίρνει το χρώμα του συνεργείου που είναι υπεύθυνο να το επιθεωρήσει.

4.3. Κατάστρωση της βάσης δεδομένων

Η ζήτηση, δηλαδή ο χρόνος επιθεώρησης κάθε ενός από τα 104 τμήματα που χωρίστηκε ο άξονας υπολογίστηκε ως εξής:

Κατ' αρχήν, το οδόστρωμα θεωρήθηκε ότι χρειάζεται σε όλο το μήκος του δρόμου σταθερό χρόνο επιθεώρησης, δηλαδή 1ώρα/κατεύθυνση/km, άρα 2 ώρες/km καθώς κινείται το συνεργείο στον οδικό άξονα.

Οι σήραγγες συνήθως απαιτούν 2-8 ώρες για να επιθεωρηθούν από έμπειρους μηχανικούς, ανάλογα με το μέγεθός τους. Θεωρήθηκε ότι σήραγγα μήκους 500 μέτρων χρειάζεται 8 ώρες και από εκεί και πέρα ο χρόνος επιθεώρησης των σηράγγων υπολογίστηκε αναλογικά από αυτή τη θεώρηση (π.χ. σήραγγα μήκους 250m χρειάζεται 4 ώρες επιθεώρησης).

Οι γέφυρες ανάλογα με το μέγεθος και τον τύπο τους απαιτούν 2-16 ώρες για να επιθεωρηθούν. Θεωρήθηκε ότι στην Αττική Οδό υπάρχουν 4 ειδών γέφυρες όσον αφορά το χρόνο επιθεώρησης: 1)αυτές που απαιτούν μικρό χρόνο επιθεώρησης (2 ώρες), 2)μεσαίο χρόνο επιθεώρησης (4 ώρες), 3)μεγάλο χρόνο επιθεώρησης (6 ώρες), 4)πολύ μεγάλο (12 ώρες).

Έτσι, μελετώντας προσεκτικά χάρτες και φωτογραφίες της Αττικής Οδού υπολογίστηκαν οι χρόνοι επιθεώρησης που αναγράφονται στον πίνακα 4.1..

Πίνακας 4.1.

A/A	Χ.Θ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΘΕΩ- ΡΗΣΗΣ	A/A	Χ.Θ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ	ΧΡΟΝΟΣ ΕΠΙΘΕΩ- ΡΗΣΗΣ
1	0-0.5	Γ3	8	53	26-26.5	Γ4	14
2	0.5-1	-	2	54	26.5-27	Γ1	4
3	1-1.5	Γ2	6	55	27-27.5	Γ1+Γ1	6
4	1.5-2	Γ2	6	56	27.5-28	Γ1	4
5	2-2.5	Γ3	6	57	28-28.5	Γ4	14
6	2.5-3	Γ2	6	58	28.5-29	Γ2	6
7	3-3.5	-	2	59	29-29.5	Γ1+Γ1	6
8	3.5-4	Γ1	4	60	29.5-30	Γ1+Γ1	6
9	4-4.5	-	2	61	30-30.5	Γ4	14
10	4.5-5	-	2	62	30.5-31	Σ 250	6
11	5-5.5	Γ1	4	63	31-31.5	Σ 200	5
12	5.5-6	-	2	64	31.5-32	Γ4	14
13	6-6.5	Γ1	4	65	32-32.5	Γ2	6
14	6.5-7	-	2	66	32.5-33	Γ1=Γ1	6
15	7-7.5	Γ3	8	67	33-33.5	Γ1	4
16	7.5-8	-	2	68	33.5-34	Γ1	4
17	8-8.5	-	2	69	34-34.5	Γ1+Γ1+Σ 50	7
18	8.5-9	Γ1	4	70	34.5-35	Γ1	4
19	9-9.5	-	2	71	35-35.5	Γ1	4
20	9.5-10	-	2	72	35.5-36	-	2
21	10-10.5	-	2	73	36-36.5	Γ2	4
22	10.5-11	Γ0	3	74	36.5-37	Σ 50	3
23	11-11.5	Γ2	6	75	37-37.5	Γ4	14
24	11.5-12	Γ1	4	76	37.5-38	Γ2	6
25	12-12.5	Γ3	8	77	38-38.5	-	2
26	12.5-13	-	2	78	38.5-39	Γ3	8

27	13-13.5	-	2	79	39-39.5	-	2
28	13.5-14	-	2	80	39.5-40	Γ3	8
29	14-14.5	-	2	81	40-40.5	Γ1	4
30	14.5-15	-	2	82	40.5-41	-	2
31	15-15.5	-	2	83	41-41.5	Γ3	8
32	15.5-16	Σ 400	8	84	41.5-42	-	2
33	16-16.5	Γ4 (2/3)	10	85	42-42.5	Γ1	4
34	16.5-17	Γ4 (1/3)	6	86	42.5-43	Γ2+Γ3	12
35	17-17.5	Γ1	4	87	43-43.5	Γ3	8
36	17.5-18	Γ1	4	88	43.5-44	-	2
37	18-18.5	Γ1 +Σ 100	6	89	44-44.5	-	2
38	18.5-19	-	2	90	44.5-45	Γ1	4
39	19-19.5	Γ1+Γ3	10	91	45-45.5	-	2
40	19.5-20	Σ 250	6	92	45.5-46	-	2
41	20-20.5	Σ 150	5	93	46-46.5	-	2
42	20.5-21	Γ1	4	94	46.5-47	Γ1	4
43	21-21.5	Γ1+Γ3	10	95	47-47.5	Γ3	8
44	21.5-22	-	2	96	47.5-48	Γ4 (1/2)	8
45	22-22.5	Σ 150	5	97	48-48.5	Γ4 (1/2)	8
46	22.5-23	Γ4 (1/2)	8	98	48.5-49	Γ3	8
47	23-23.5	Γ4 (1/2)	8	99	49-49.5	-	4
48	23.5-24	Γ1 +Σ 200	7	100	49.5-50	Γ3	8
49	24-24.5	Γ1	4	101	50-50.5	-	4
50	24.5-25	Γ1+Γ2 (1/2)	6	102	50.5-51	Γ1 (1/2)	3
51	25-25.5	Γ1+Γ2 (1/2)	6	103	51-51.5	Γ1 (1/2)	3
52	25.5-26	Γ1+Σ 200	7	104	51.5-52	Γ1	4

Επεξηγηματικά, στον πίνακα ο συμβολισμός Γ σημαίνει γέφυρα και Σ σήραγγα. Ο αριθμός που ακολουθεί το Σ είναι το μήκος της σήραγγας σε m. Ο αριθμός (1,2 ,3 ή 4) που ακολουθεί το Γ είναι ποιος από τους 4 τύπους γέφυρες, που επεξηγήθηκαν πιο πάνω, υπάρχει στο τμήμα του οδικού άξονα που εξετάζεται. Σε περίπτωση που υπάρχει ο συμβολισμός κλάσματος (π.χ.1/2) σημαίνει ότι αυτό το ποσοστό του έργου βρίσκεται στο τμήμα που εξετάζεται, και προφανώς το υπόλοιπο κλάσμα στο επόμενο τμήμα του άξονα.

4.4. Λειτουργία αλγόριθμου

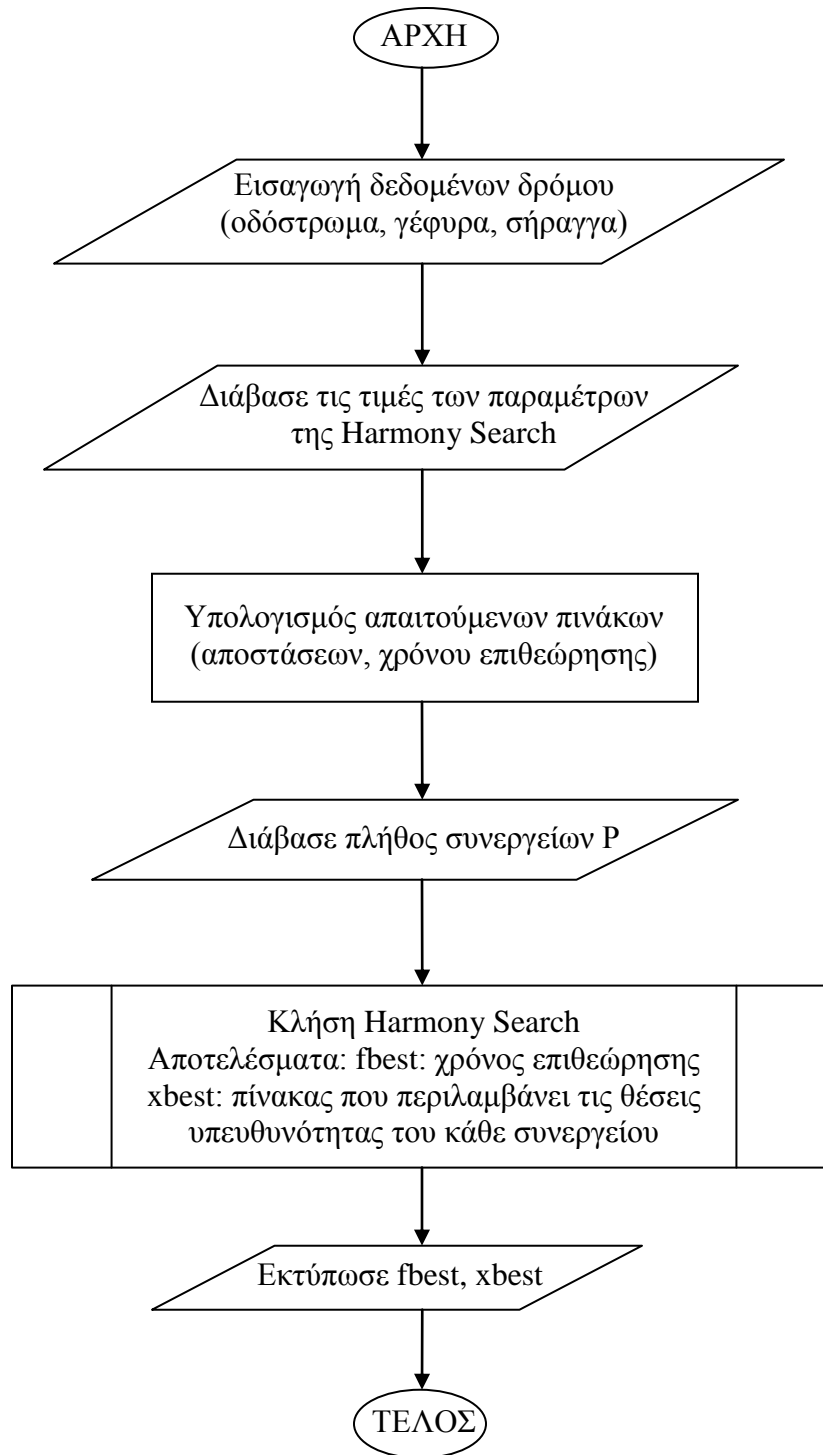
Αφού ολοκληρωθεί η κατάστρωση της βάσης δεδομένων σε περιβάλλον Excel, υπάρχει πλέον η δυνατότητα εισόδου στους υπολογισμούς με τη βοήθεια του προτύπου καθώς υπάρχουν τα απαραίτητα στοιχεία (χρόνοι επιθεώρησης, παράμετροι Harmony Search). Στη συνέχεια αναγράφεται η περιγραφή της λειτουργίας του προγράμματος που συντάχθηκε στο περιβάλλον Matlab.

4.4.1.1. Λειτουργία κυρίως προγράμματος

Η διαδικασία υπολογισμού που ακολουθείται στο κυρίως πρόγραμμα είναι η εξής:

- Εισάγονται στο πρόγραμμα τα δεδομένα του δρόμου (τύπος και μέγεθος σηράγγων κ γεφυρών).
- Εισάγονται οι παράμετροι του γενετικού αλγορίθμου Harmony Search .
- Υπολογίζονται οι απαιτούμενοι πίνακες (αποστάσεων, χρόνου επιθεώρησης)
- Εισάγεται το πλήθος των διαθέσιμων συνεργείων επιθεώρησης
- Καλείται η συνάρτηση Harmony Search όπου υπολογίζει:
 - fbest: μικρότερος χρόνος επιθεώρησης ολόκληρου του οδικού άξονα
 - xbest: οριοθέτηση των περιοχών ευθύνης του κάθε συνεργείου, δηλαδή είναι ένας πίνακας $N*1$ (όπου N τα τμήματα που χωρίστηκε ο δρόμος) όπου για κάθε κομμάτι του δρόμου αναφέρει ποιο συνεργείο είναι υπεύθυνο για την επιθεώρηση του
- Εκτυπώνονται fbest και xbest.

4.4.1.2. Διάγραμμα ροής κυρίως προγράμματος



4.4.2.1. Λειτουργία συνάρτησης Harmony Search

Η διαδικασία υπολογισμού που ακολουθείται στη συνάρτηση Harmony Search είναι η εξής:

- Με επαναληπτική διαδικασία, όσες φορές είναι η τιμή της παραμέτρου HMS, επιλέγονται τυχαίες αρχικές θέσεις συνεργείων επιθεώρησης. Αντιστοιχίζονται στα συνεργεία τα κοντινότερα κομμάτια του δρόμου. Έτσι γεμίζει ο πίνακας HMx που έχει διαστάσεις $N \cdot HMS$ (όπου N τα κομμάτια που χώρισα το δρόμο).

- Για όλες τις λύσεις (διανύσματα) που επιλεγήκαν τυχαία υπολογίζεται η αντικειμενική συνάρτηση και γεμίζει ο πίνακας F με τιμές της αντικειμενικής συνάρτησης που αντιστοιχούν στα διανύσματα λύσεων.

- Με επαναληπτική διαδικασία, όσες φορές είναι η τιμή της παραμέτρου MaxImp παράγεται ένας τυχαίος αριθμός r στο διάστημα (0,1). Ανάλογα με την τιμή του r και των παραμέτρων HMCR, PAR εκτελείται μία από τις ακόλουθες λειτουργίες. Πιο συγκεκριμένα, οι τρεις λειτουργίες του αλγορίθμου είναι:

- Τυχαία Επιλογή όταν $r < 1 - HMCR$:

Επιλέγονται τυχαία P αρχικές θέσεις συνεργείων από τις N πιθανές. Κάθε κομμάτι του δρόμου αντιστοιχίζεται στο συνεργείο επιθεώρησης που βρίσκεται κοντινότερα σε αυτό.

- Αξιοποίηση Μνήμης (1) όταν $r < 1 - HMCR \cdot PAR$:

Από την HMx μνήμη επιλέγονται P λύσεις. Από κάθε μία από αυτές επιλέγεται μία από τις θέσεις συνεργείου που ορίζεται σε αυτήν (με την προϋπόθεση να είναι διαφορετικές μεταξύ τους). Κάθε κομμάτι του δρόμου αντιστοιχίζεται στο συνεργείο επιθεώρησης που βρίσκεται κοντινότερα σε αυτό. Έτσι επιτυγχάνεται συνδυασμός των 'καλών' λύσεων και επιτάχυνση της βελτιστοποίησης.

- Αξιοποίηση Μνήμης (2) όταν δεν εκτελείται μία από τις παραπάνω λειτουργίες:

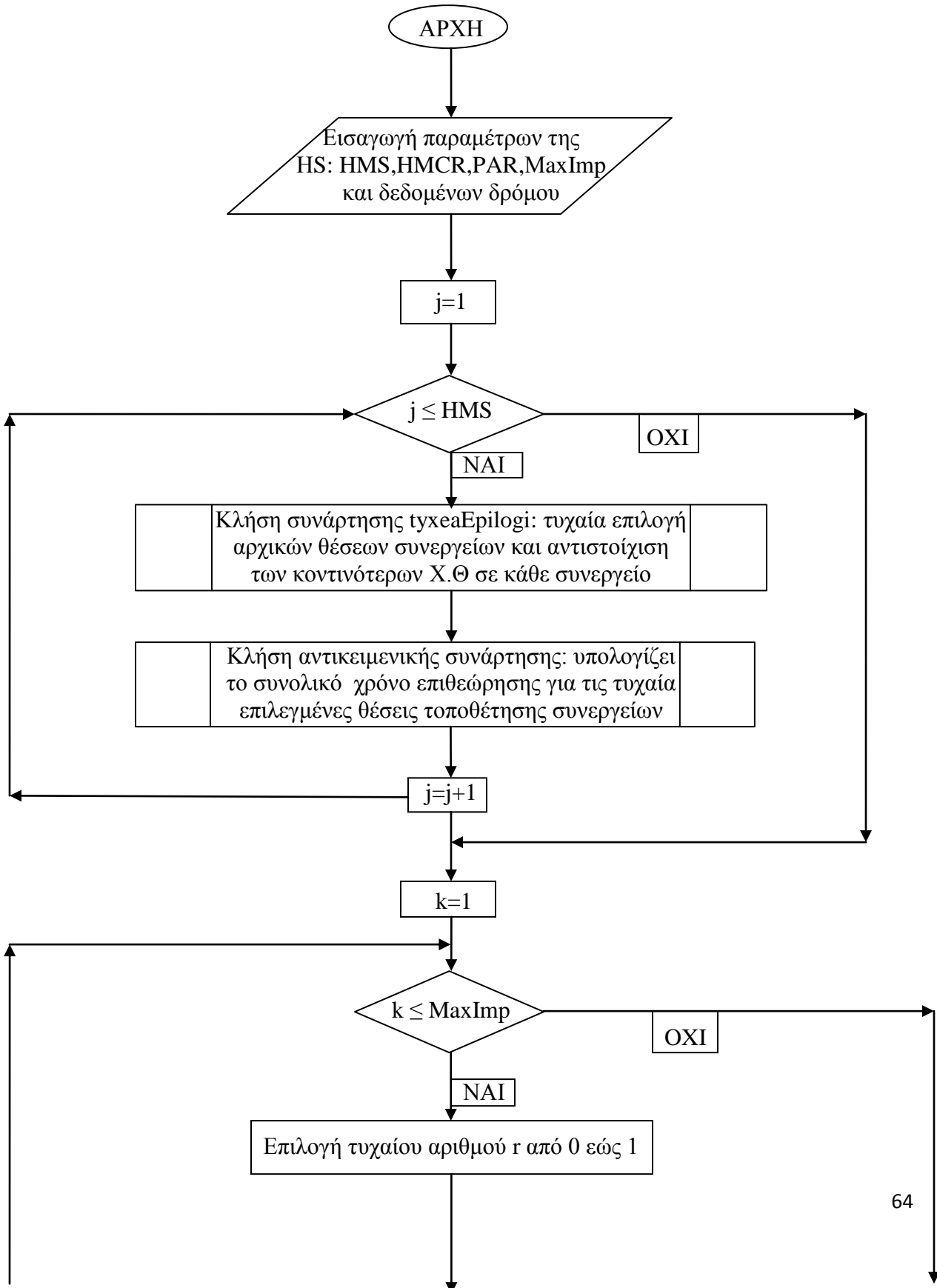
Από την HM μνήμη επιλέγεται μία λύση. Για κάθε περιοχή ευθύνης που ορίζεται σε αυτή, υπολογίζεται το Κέντρο Βάρους της και ως αρχική θέση του κάθε συνεργείου λαμβάνεται ο κόμβος που βρίσκεται κοντινότερα στο αντίστοιχο Κέντρο Βάρους. Αυτό είναι χρήσιμο για συνεργεία αντιμετώπισης έκτακτων περιστατικών καθώς τα συνεργεία είναι τοποθετημένα στο Κέντρο Βάρους της περιοχής ευθύνης τους. Έτσι η παρούσα διπλωματική εργασία παίρνει και μια άλλη διάσταση καθώς τα αποτελέσματα της μπορούν να χρησιμοποιηθούν όχι μόνο για χωροθέτηση συνεργείων επιθεώρησης αλλά και για χωροθέτηση συνεργείων άμεσης επέμβασης (για παράδειγμα σε περιπτώσεις ατυχήματος).

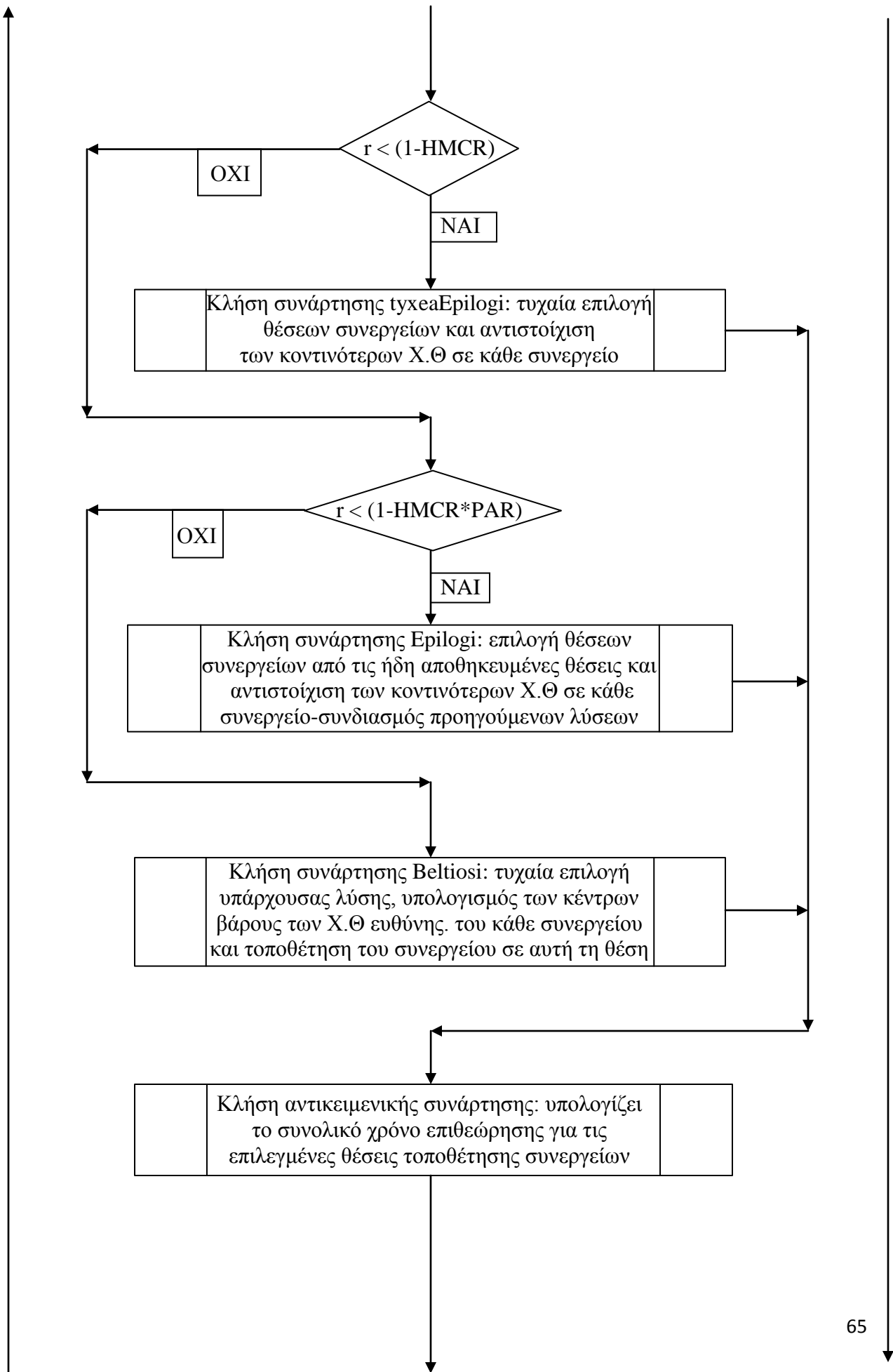
- Με τη λήξη κάθε μιας από τις τρεις περιπτώσεις, προκύπτει ένα νέο διάνυσμα – λύση xNew . Ο αλγόριθμος ελέγχει αν το διάνυσμα αυτό ικανοποιεί τους περιορισμούς του προβλήματος. Αν δεν τους ικανοποιεί τότε το εγκαταλείπει. Αν ικανοποιεί τους περιορισμούς τότε ο αλγόριθμος αρχίζει τη σύγκρισή της με τις λύσεις που είναι

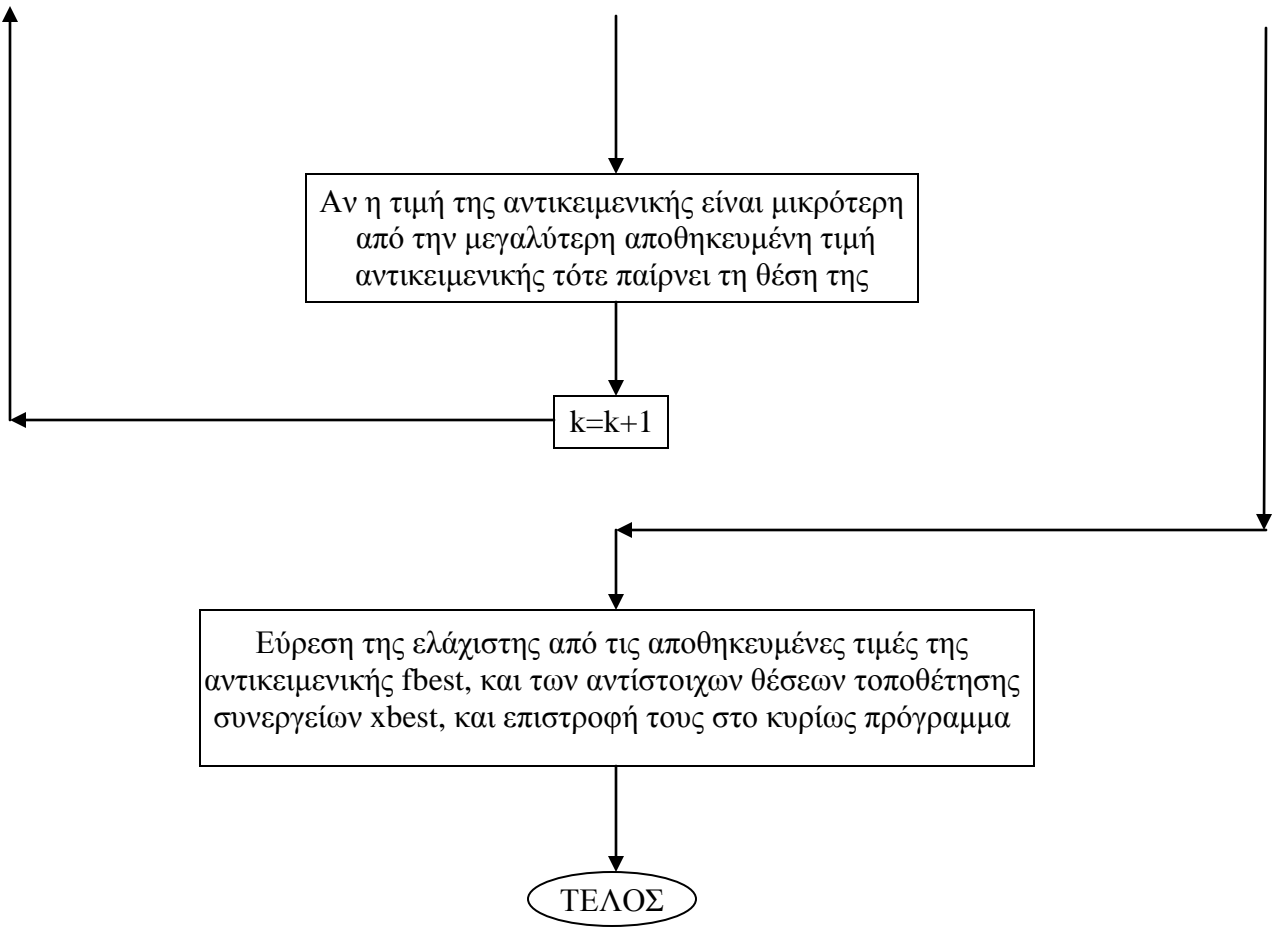
αποθηκευμένες στη μνήμη του με βάση την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης της κάθε λύσης. Αν η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης είναι καλύτερη (μικρότερη) από αυτήν της χειρότερης αποθηκευμένης λύσης, τότε η νέα λύση αντικαθιστά τη χειρότερη λύση. Διαφορετικά η νέα λύση εγκαταλείπεται.

- Η εκτέλεση του αλγορίθμου συνεχίζεται μέχρι να συμπληρωθεί ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων καθώς αυτό είναι το κριτήριο τερματισμού του. Επιστρέφονται στο κυρίως πρόγραμμα η καλύτερη (ελάχιστη) τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης f_{best} που προέκυψε και ο αντίστοιχος πίνακας x_{best} της λύσης αυτής. Ο πίνακας περιέχει τις περιοχές ευθύνης κάθε συνεργείου.

4.4.2.2. Διάγραμμα ροής συνάρτησης Harmony Search







5 Επίλυση - Αποτελέσματα

5.1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο 4 αναλύθηκε η διαδικασία λειτουργίας του αλγορίθμου. Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της εργασίας. Πραγματοποιείται και παρουσιάζεται ένα αρκετά μεγάλο εύρος επιλύσεων (32) ούτως ώστε να αποδειχθεί η αποτελεσματικότητα του προτύπου και εξαχθούν ασφαλή και χρήσιμα συμπεράσματα.

Αυτό που γίνεται ονομάζεται ανάλυση ευαισθησίας, δηλαδή αλλάζοντας τις παραμέτρους του γενετικού αλγόριθμου που χρησιμοποιείται γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων. Έτσι, παρατηρείται πως αυτές οι παράμετροι επηρεάζουν τη βελτιστοποίηση.

Ακολουθεί η επεξεργασία των εξαγόμενων αποτελεσμάτων και η παρουσίασή τους υπό μορφή πινάκων, σχημάτων και γραφικών παραστάσεων.

5.2. Οι παράμετροι του γενετικού αλγορίθμου

5.2.1. Γενικά στοιχεία

Κατά την εκκίνηση του προγράμματος, δίνονται τιμές σε όλες τις παραμέτρους. Κάθε φορά που τρέχει το πρόγραμμα αλλάζονται οι παράμετροι (32 επιλύσεις) Οι παράμετροι αυτές είναι:

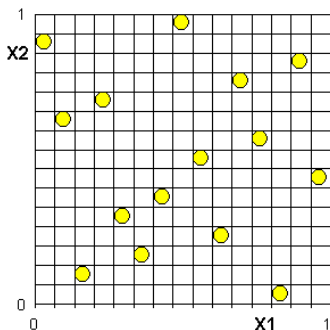
- 1) Μέγεθος Μνήμης Harmony (HMS)
- 2) Καθορισμός Πιθανότητας 1ης Λειτουργίας Harmony (HMCR)
- 3) Καθορισμός Πιθανότητας 2ης Λειτουργίας Harmony (PAR)
- 4) Αριθμός Επαναλήψεων Βρόχου Harmony (MaxImp)

Για το σύνολο των επιλύσεων οι παράμετροι HMS, HMCR και PAR έχουν μεταβλητές τιμές ενώ η παράμετρος MaxImp έχει σταθερή τιμή. Στο επόμενο υποκεφάλαιο επεξηγείται ο τρόπος που επιλέγηκαν οι τιμές των παραμέτρων.

5.2.2. Υπολογισμός παραμέτρων με τη μέθοδο Latin Hypercube Sampling

Ο McKay et al. (1979) είχαν την ιδέα για το πρότυπο αυτό καθώς προσπάθησαν να μειώσουν τον υπολογιστικό φόρτο της τυχαίας επιλογής παραμέτρων.

Στο δισδιάστατο χώρο ο υπερκύβος είναι ένα τετράγωνο πλέγμα (σχήμα 5.1.) που αποτελείται από θέσεις- δείγματα. Υπάρχει μόνο ένα δείγμα σε κάθε γραμμή και κάθε στήλη.



Σε ένα χώρο M-διαστάσεων το κάθε του δείγμα είναι μοναδικό σε κάθε άξονα-ευθυγραμμισμένο υπερεπίπεδο που το περιέχει. Τα δείγματα δημιουργούνται από την διαίρεση M μεταβλητών σε N επικαλυπτόμενα τμήματα. Άρα, ένας χώρος διαστάσεων M παραμέτρων χωρίζεται σε N^M δείγματα. Για κάθε τυχαία μεταβλητή επιλέγεται τυχαία μόνο μία τιμή από κάθε δείγμα παράγοντας ένα σύνολο N τιμών. Οι τιμές της κάθε τυχαίας μεταβλητής ομαδοποιούνται μεταξύ τους για τη δημιουργία N δειγμάτων. Ο αριθμός N πρέπει να είναι ίδιος για όλες τις μεταβλητές. Το κυριότερο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι πως το πλήθος των δειγμάτων είναι ανεξάρτητο του πλήθους των μεταβλητών.

Στο παρόν πρόβλημα οι το εύρος τιμών των παραμέτρων είναι:

- 1) Μέγεθος Μνήμης Harmony HMS E [5 , 20]
- 2) Καθορισμός Πιθανότητας 1ης Λειτουργίας Harmony HMCR E (0.00 , 0.30]
- 3) Καθορισμός Πιθανότητας 2ης Λειτουργίας Harmony PAR E (0.00 , 1.00)
- 4) Αριθμός Επαναλήψεων Βρόχου Harmony MI = 50000 Σταθερό

Θα γίνουν 30 επιλύσεις για το γενετικό αλγόριθμο. Έτσι θα πραγματοποιούνται επιλύσεις που λαμβάνουν υπόψη το συνδυασμό των πιο πάνω παραμέτρων. Χρησιμοποιώντας τον υπερκύβο LHS προέκυψαν οι παρακάτω παράμετροι της Harmony Search (Πίνακας 5.1) :

Πίνακας 5.1.

Επανάληψη	HMS	HMCR	Par	MaxImp
1	5	0.2835	0.8152	50000
2	14	0.2759	0.4118	50000

3	19	0.2537	0.0819	50000
4	17	0.0706	0.2426	50000
5	7	0.1779	0.1159	50000
6	8	0.0029	0.2669	50000
7	13	0.1376	0.4594	50000
8	19	0.0888	0.5631	50000
9	7	0.0539	0.4963	50000
10	18	0.0655	0.9312	50000
11	16	0.1254	0.5198	50000
12	11	0.0334	0.9517	50000
13	8	0.1823	0.6211	50000
14	12	0.1465	0.9745	50000
15	13	0.2234	0.1791	50000
16	6	0.2358	0.7409	50000
17	15	0.2016	0.3022	50000
18	8	0.0117	0.6676	50000
19	12	0.0275	0.7936	50000
20	14	0.0939	0.0620	50000
21	9	0.1542	0.2101	50000
22	11	0.2146	0.1635	50000
23	16	0.1113	0.6492	50000
24	9	0.2674	0.8823	50000
25	18	0.2468	0.3380	50000
26	20	0.2988	0.8505	50000
27	17	0.1606	0.7202	50000
28	10	0.1035	0.0110	50000
29	15	0.0452	0.5753	50000
30	6	0.1936	0.3827	50000

5.3. Αποτελέσματα

Ο αλγόριθμος χρησιμοποιείται για περιπτώσεις 2 έως 6 διαθέσιμων συνεργειών επιθεώρησης και για κάθε αριθμό συνεργειών επιθεωρήσεις γίνονται 30 διαφορετικές επιλύσεις με αλλαγή των παραμέτρων, όπως αυτοί αναγράφονται στον πίνακα 5.1.

Παρουσιάζονται πιο κάτω για ίδιο αριθμό συνεργειών οι 30 επιλύσεις, δηλαδή η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης – χρόνος ολοκλήρωσης της επιθεώρησης και για ποια από τα 104 τμήματα που έχει χωριστεί ο οδικός άξονας είναι υπεύθυνο κάθε συνεργείο. Επίσης με γράφημα συγκρίνονται οι τιμές των αντικειμενικών συναρτήσεων για κάθε επίλυση. Η καλύτερη λύση (χρώματος κίτρινου στον πίνακα), δηλαδή αυτή με τη μικρότερη τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης παρουσιάζεται. Ο διαμερισμός του δρόμου στη βέλτιστη λύση σχεδιάστηκε σε περιβάλλον εργασίας AutoCAD.

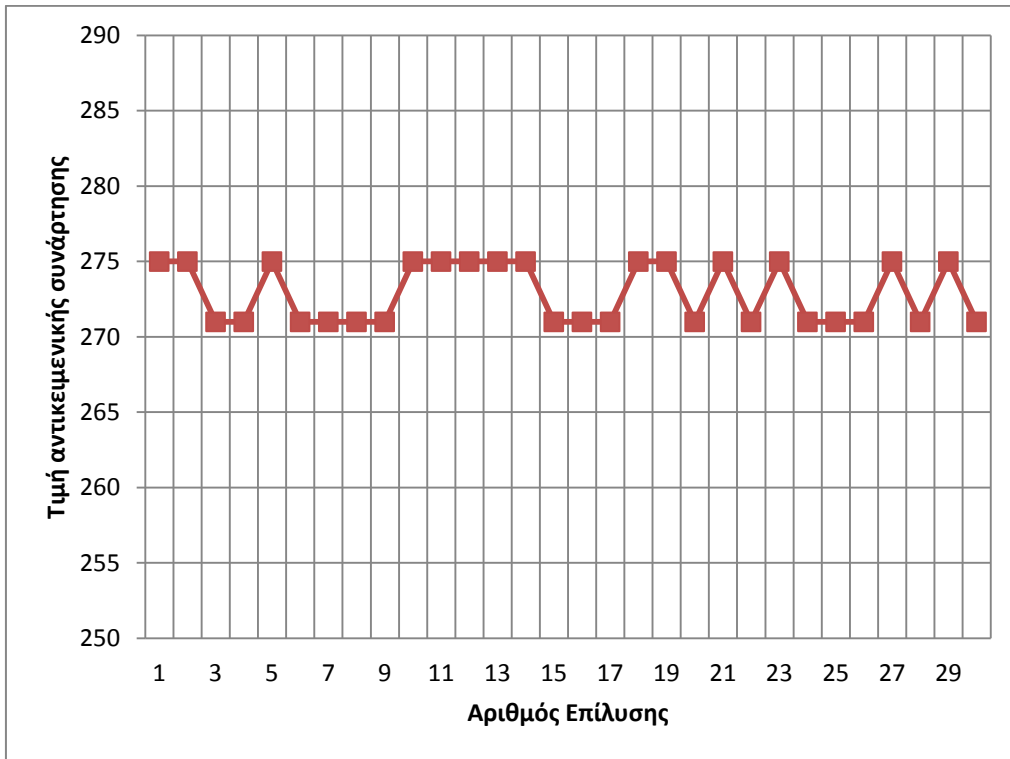
5.3.1. Δύο διαθέσιμα συνεργεία επιθεώρησης

Πίνακας 5.2. Παρουσίαση αποτελεσμάτων για 2 διαθέσιμα συνεργεία επιθεώρησης

A/A	Τμήματα Ευθύνης 1ου Συνεργείου	Τμήματα ευθύνης 2ου Συνεργείου	Τιμή Αντικειμενικής Συνάρτησης (ώρες)
1	1-55	56-104	275
2	1-55	56-104	275
3	1-56	57-104	271
4	1-56	57-104	271
5	1-55	56-104	275
6	1-56	57-104	271
7	1-56	57-104	271
8	1-56	57-104	271
9	1-56	57-104	271
10	1-55	56-104	275
11	1-55	56-104	275
12	1-55	56-104	275

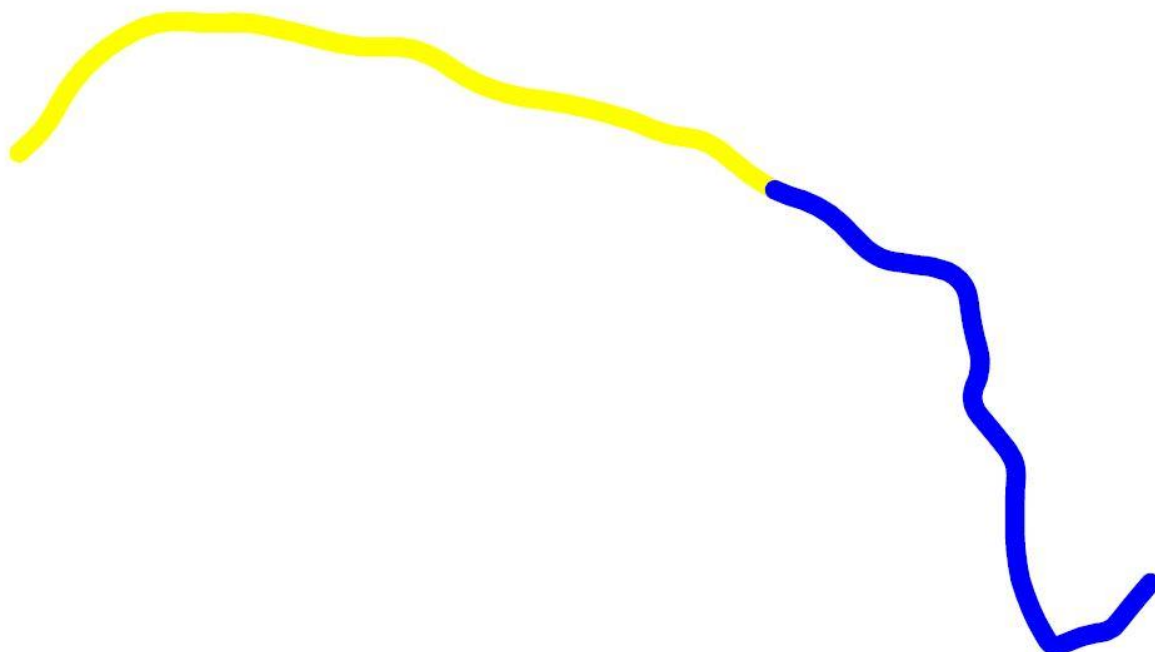
13	1-55	56-104	275
14	1-55	56-104	275
15	1-56	57-104	271
16	1-56	57-104	271
17	1-56	57-104	271
18	1-55	56-104	275
19	1-55	56-104	275
20	1-56	57-104	271
21	1-55	56-104	275
22	1-56	57-104	271
23	1-55	56-104	275
24	1-56	57-104	271
25	1-56	57-104	271
26	1-56	57-104	271
27	1-55	56-104	275
28	1-56	57-104	271
29	1-55	56-104	275
30	1-56	57-104	271

Γραφική παράσταση 5.1. Συσχέτιση τιμών αντικειμενικής συνάρτησης



Η αντικειμενική συνάρτηση κυμαίνεται από 271-275, δηλαδή με αλλαγή των παραμέτρων παρατηρείται απόκλιση μόλις 1,45%.

Σχήμα 5.1. Παρουσίαση καλύτερης επίλυσης



Περιοχές ευθύνης 1^{ου} συνεργείου: 1- 56 (Χιλιομετρική Θέση: 0 – 28)

Περιοχές ευθύνης 2^{ου} συνεργείου: 57-104 (Χιλιομετρική θέση: 28 – 52)

Χρόνος επιθεώρησης: 271 ώρες

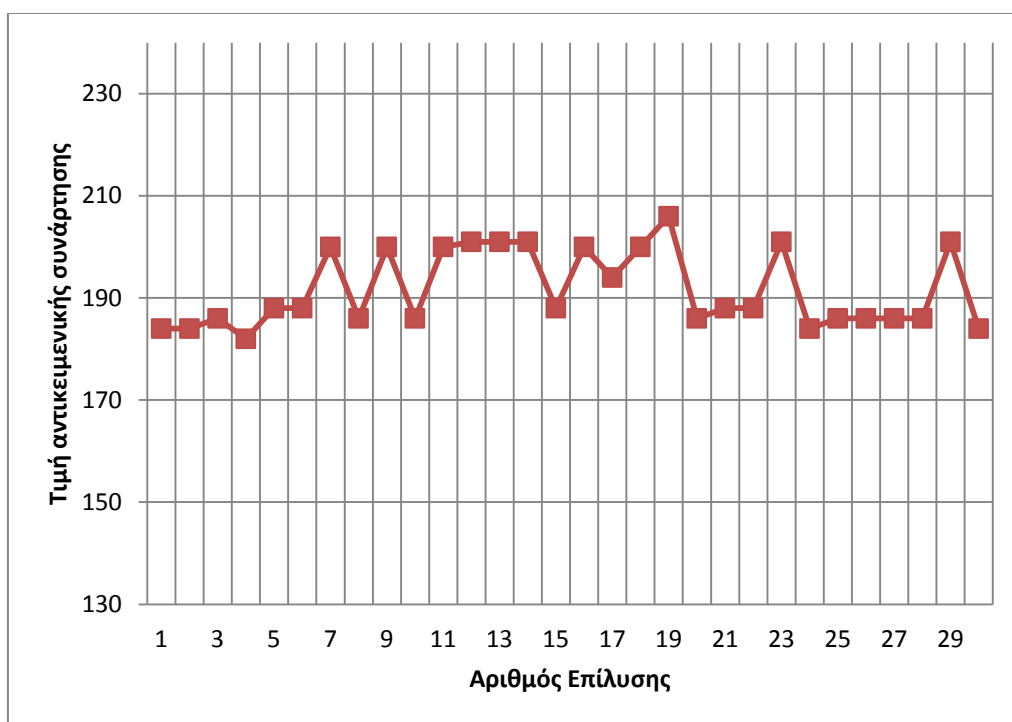
5.3.2. Τρία διαθέσιμα συνεργεία

Πίνακας 5.3. Παρουσίαση αποτελεσμάτων για 3 διαθέσιμα συνεργεία επιθεώρησης

A/A	Τμήματα Ευθύνης 1ου Συνεργείου	Τμήματα Ευθύνης 2ου Συνεργείου	Τμήματα Ευθύνης 3ου Συνεργείου	Τιμή Αντικειμενικής Συνάρτησης
1	1-42	43-67	68-104	184
2	1-41	42-67	68-104	184
3	1-43	44-67	68-104	186
4	1-42	43-68	69-104	182
5	1-40	41-66	67-104	188
6	1-43	44-66	67-104	188
7	1-39	40-64	65-104	200
8	1-43	44-69	70-104	186
9	1-44	45-64	65-104	200
10	1-43	44-69	70-104	186
11	1-39	40-64	65-104	200
12	1-46	47-71	72-104	201
13	1-46	47-71	72-104	201
14	1-46	47-71	72-104	201
15	1-42	43-66	67-104	188
16	1-45	46-64	65-104	200
17	1-44	45-65	66-104	194
18	1-43	44-64	65-104	200
19	1-42	43-74	75-104	206
20	1-43	44-68	69-104	186
21	1-40	41-66	67-104	188
22	1-43	44-66	67-104	188
23	1-46	47-65	66-104	201

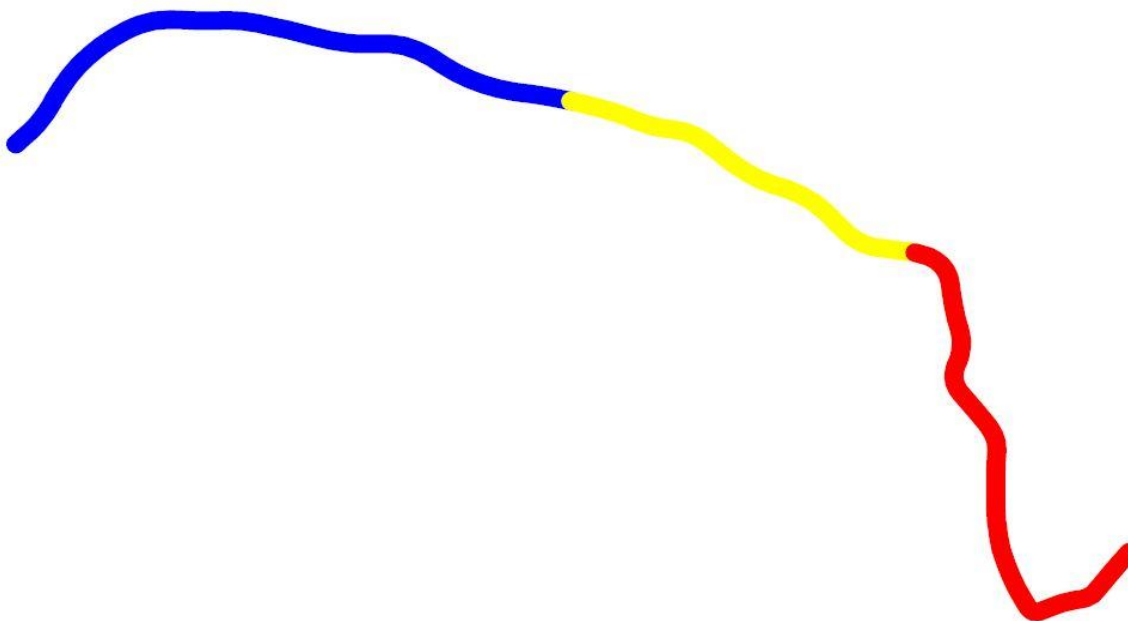
24	1-41	42-67	68-104	184
25	1-43	44-69	70-104	186
26	1-43	44-69	70-104	186
27	1-43	44-68	69-104	186
28	1-43	44-69	70-104	186
29	1-46	47-64	65-104	201
30	1-41	42-67	68-104	184

Γραφική παράσταση 5.2. Συσχέτιση τιμών αντικειμενικής συνάρτησης



Η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης κυμαίνεται από 182-206, δηλαδή παρατηρείται απόκλιση 9,7%.

Σχήμα 5.2. Παρουσίαση καλύτερης επίλυσης



Περιοχές ευθύνης 1^{ου} συνεργείου: 1- 42 (Χιλιομετρική Θέση: 0 – 21)

Περιοχές ευθύνης 2^{ου} συνεργείου: 43-68 (Χιλιομετρική θέση: 21 – 34)

Περιοχές ευθύνης 3^{ου} συνεργείου: 69-104 (Χιλιομετρική θέση: 35-52)

Χρόνος επιθεώρησης: 182 ώρες

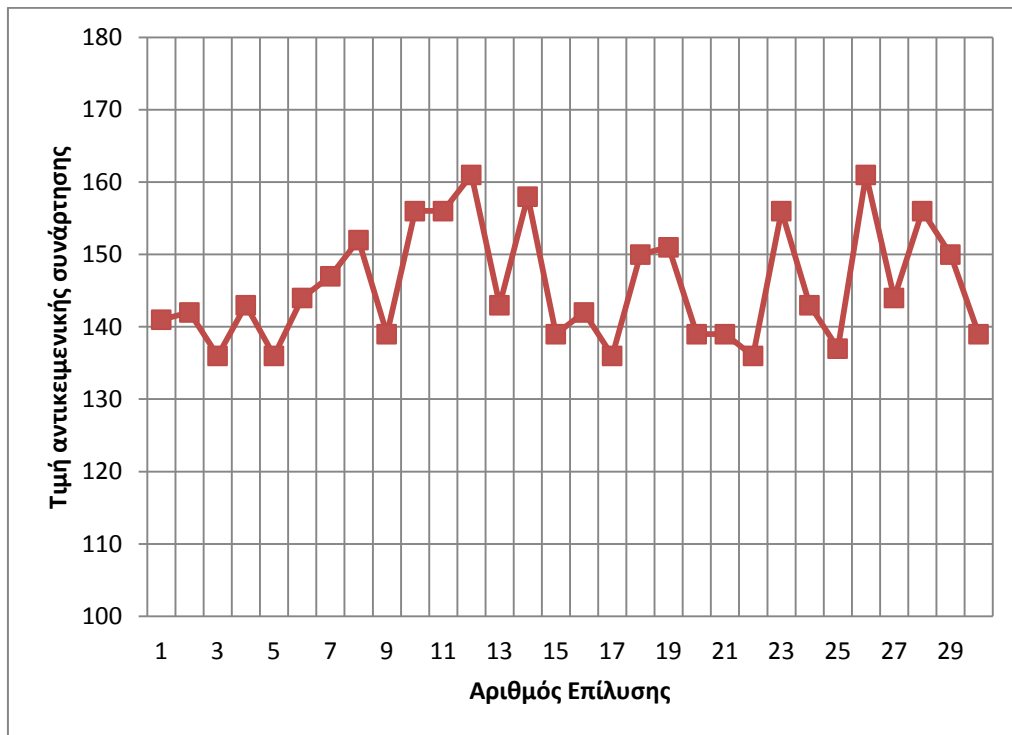
5.3.3. Τέσσερα διαθέσιμα συνεργεία

Πίνακας 5.4. Παρουσίαση αποτελεσμάτων για 4 διαθέσιμα συνεργεία επιθεώρησης

A/A	Τμήματα Ευθύνης 1ου Συνεργείου	Τμήματα Ευθύνης 2ου Συνεργείου	Τμήματα Ευθύνης 3ου Συνεργείου	Τμήματα Ευθύνης 4ου Συνεργείου	Τιμή Αντικειμενικής Συνάρτησης
1	1-34	35-55	56-77	78-104	141
2	1-35	36-57	58-79	80-104	142
3	1-34	35-56	57-76	77-104	136
4	1-36	37-57	58-80	81-104	143
5	1-34	35-56	57-76	77-104	136
6	1-36	37-58	59-77	78-104	144
7	1-36	37-54	55-77	78-104	147

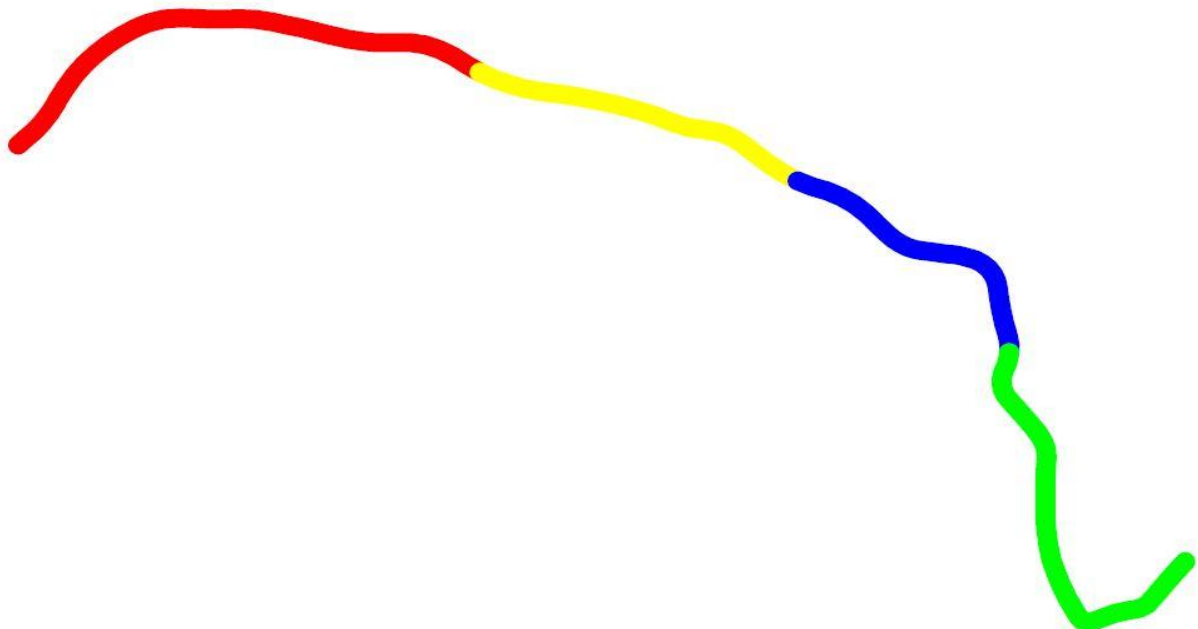
8	1-34	35-58	59-82	83-104	152
9	1-34	35-55	56-76	77-104	139
10	1-32	33-53	54-73	74-104	156
11	1-34	35-56	57-74	75-104	156
12	1-21	22-52	53-73	74-104	161
13	1-32	33-53	54-75	76-104	143
14	1-33	34-58	59-78	79-104	158
15	1-33	34-55	56-76	77-104	139
16	1-34	35-55	56-75	76-104	142
17	1-34	35-56	57-76	77-104	136
18	1-37	38-60	61-78	79-104	150
19	1-38	39-58	59-76	77-104	151
20	1-35	36-56	57-77	78-104	139
21	1-34	35-55	56-76	77-104	139
22	1-34	35-56	57-76	77-104	136
23	1-31	32-54	55-74	75-104	156
24	1-32	37-57	58-80	81-104	143
25	1-34	35-56	57-77	78-104	137
26	1-39	40-58	59-76	77-104	161
27	1-36	37-58	59-77	78-104	144
28	1-32	33-53	54-73	74-104	156
29	1-29	30-54	55-75	76-104	150
30	1-34	35-55	56-76	77-104	139

Γραφική παράσταση 5.3. Συσχέτιση τιμών αντικειμενικής συνάρτησης



Η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης κυμαίνεται από 136-161, δηλαδή παρατηρείται απόκλιση 15,5%.

Σχήμα 5.3. Παρουσίαση καλύτερης επίλυσης



Περιοχές ευθύνης 1^{ου} συνεργείου: 1- 34 (Χιλιομετρική Θέση: 0 – 17)
 Περιοχές ευθύνης 2^{ου} συνεργείου: 35-56 (Χιλιομετρική θέση: 17 – 28)
 Περιοχές ευθύνης 3^{ου} συνεργείου: 57-76 (Χιλιομετρική θέση: 28-38)
 Περιοχές ευθύνης 4^{ου} συνεργείου: 77-104 (Χιλιομετρική θέση: 38-52)
 Χρόνος επιθεώρησης: 136 ώρες

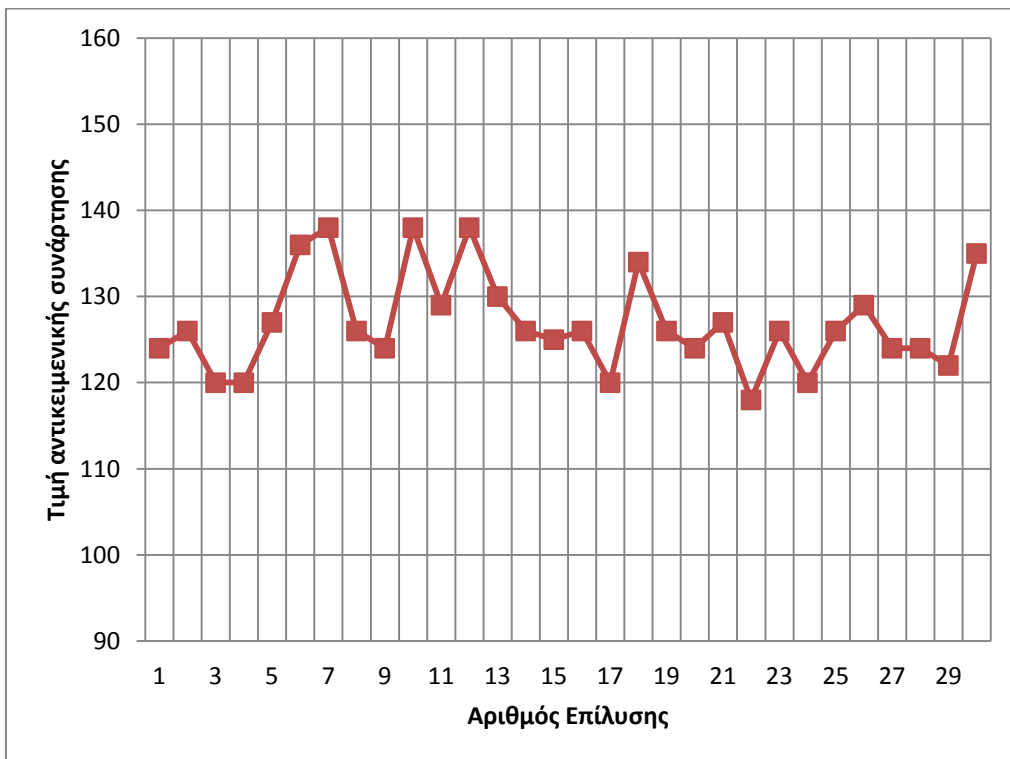
5.3.4. Πέντε διαθέσιμα συνεργεία επιθεώρησης

Πίνακας 5.5. Παρουσίαση αποτελεσμάτων για 5 διαθέσιμα συνεργεία επιθεώρησης

A/A	Τμήματα Ευθύνης 1ου Συνεργείου	Τμήματα Ευθύνης 2ου Συνεργείου	Τμήματα Ευθύνης 3ου Συνεργείου	Τμήματα Ευθύνης 4ου Συνεργείου	Τμήματα Ευθύνης 5ου Συνεργείου	Τιμή Αντικειμενικής Συνάρτησης
1	1-30	31-48	49-64	65-79	80-104	124
2	1-22	23-45	46-62	63-83	84-104	126
3	1-32	33-52	53-68	69-83	84-104	120
4	1-32	33-52	53-68	69-81	82-104	120
5	1-25	26-50	51-65	66-81	82-104	127
6	1-33	34-46	47-63	64-76	77-104	136
7	1-31	32-43	44-63	64-82	83-104	138
8	1-17	18-39	40-58	59-78	79-104	126
9	1-31	32-49	50-63	64-79	80-104	124
10	1-31	32-43	44-63	64-82	83-104	138
11	1-33	34-53	54-71	72-82	83-104	129
12	1-31	32-43	44-63	64-82	83-104	138
13	1-30	31-52	53-69	70-81	82-104	130
14	1-17	18-39	40-58	59-78	79-104	126
15	1-32	33-44	45-61	62-83	84-104	125
16	1-22	23-45	46-62	63-78	79-104	126
17	1-22	23-45	46-61	62-80	81-104	120
18	1-28	29-49	50-67	68-78	79-104	134
19	1-17	18-39	40-58	59-78	79-104	126
20	1-30	31-49	50-65	66-80	81-104	124
21	1-25	26-50	51-65	66-81	82-104	127
22	1-23	24-46	47-62	63-81	82-104	118
23	1-17	18-39	40-58	59-78	79-104	126

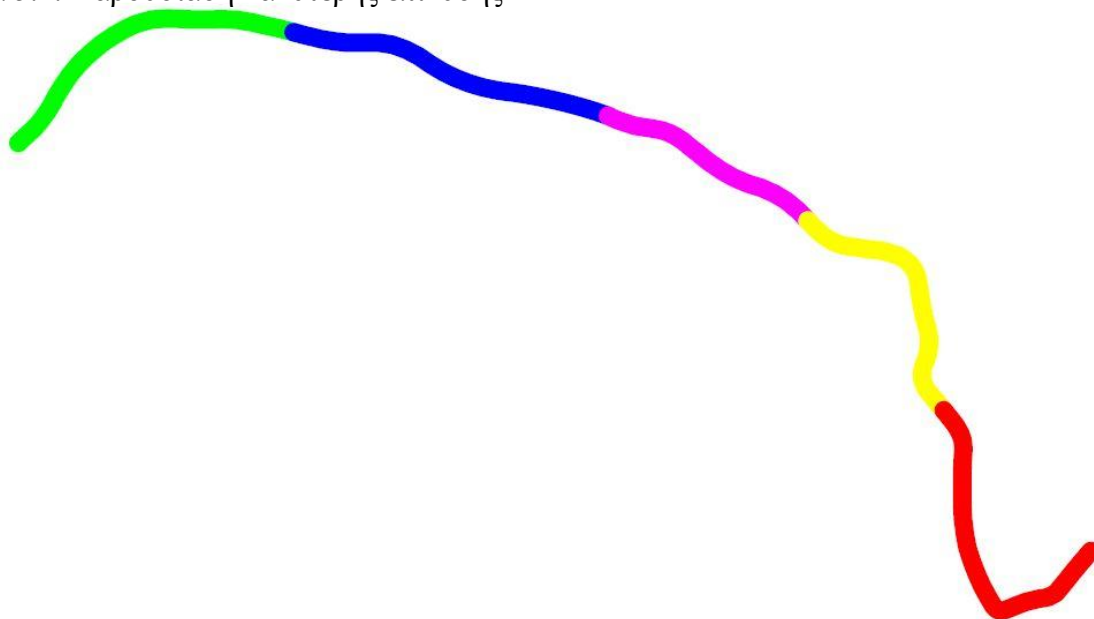
24	1-32	33-52	53-68	69-81	82-104	120
25	1-22	23-45	46-62	63-80	81-104	126
26	1-33	34-53	54-72	73-81	82-104	129
27	1-31	32-49	50-63	64-79	80-104	124
28	1-31	32-42	43-60	61-79	80-104	124
29	1-31	32-51	52-67	68-80	81-104	122
30	1-34	35-55	56-68	69-79	80-104	135

Γραφική παράσταση 5.4. Συσχέτιση τιμών αντικειμενικής συνάρτησης



Η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης κυμαίνεται από 118-138, δηλαδή παρατηρείται απόκλιση 14,5%.

Σχήμα 5.4. Παρουσίαση καλύτερης επίλυσης



Περιοχές ευθύνης 1^{ου} συνεργείου: 1-23 (Χιλιομετρική Θέση: 0-11.5)

Περιοχές ευθύνης 2^{ου} συνεργείου: 24-46 (Χιλιομετρική θέση: 11.5-23)

Περιοχές ευθύνης 3^{ου} συνεργείου: 47-62 (Χιλιομετρική θέση: 23-31)

Περιοχές ευθύνης 4^{ου} συνεργείου: 63-81 (Χιλιομετρική θέση: 31-40.5)

Περιοχές ευθύνης 5^{ου} συνεργείου: 82-104 (Χιλιομετρική θέση: 40.5-52)

Χρόνος επιθεώρησης: 118 ώρες

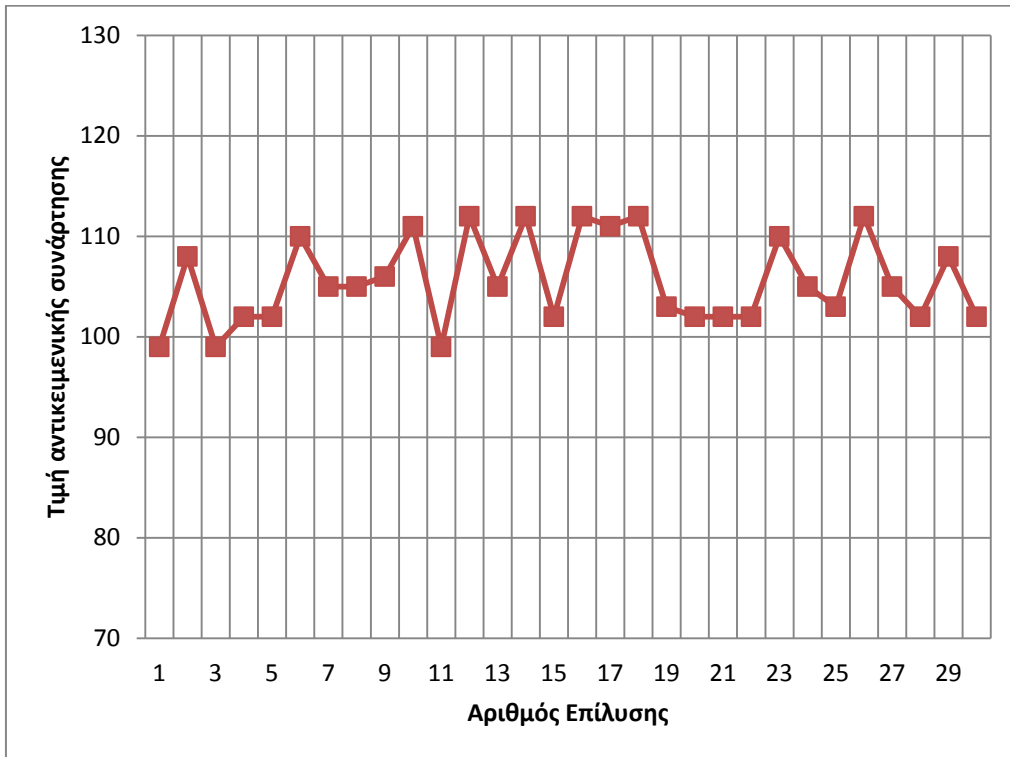
5.3.5. Έξι διαθέσιμα συνεργεία επιθεώρησης

Πίνακας 5.6. Παρουσίαση αποτελεσμάτων για 6 διαθέσιμα συνεργεία επιθεώρησης

A/A	Τμήματα Ευθύνης 1ου Συνεργείο υ	Τμήματα Ευθύνης 2ου Συνεργείο υ	Τμήματα Ευθύνης 3ου Συνεργείο υ	Τμήματα Ευθύνης 4ου Συνεργείο υ	Τμήματα Ευθύνης 5ου Συνεργείο υ	Τμήματα Ευθύνης 6ου Συνεργείο υ	Τιμή Αντικειμενική ς Συνάρτησης
1	1-24	25-44	45-58	59-69	70-85	86-104	99
2	1-26	27-47	48-60	61-76	77-85	86-104	108
3	1-25	26-43	44-57	58-71	72-88	89-104	99
4	1-19	20-42	43-55	56-67	68-83	84-104	102

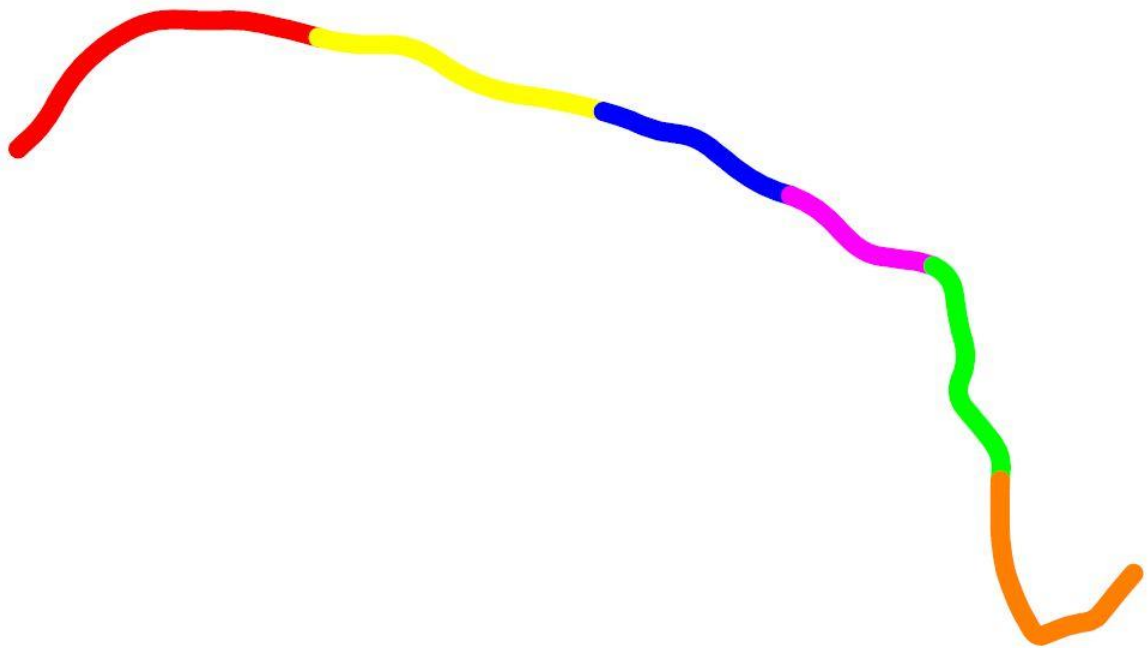
5	1-24	25-43	44-55	56-68	69-83	84-104	102
6	1-28	29-47	48-62	63-75	76-82	83-104	110
7	1-28	29-40	41-56	57-70	71-86	87-104	105
8	1-28	29-47	48-58	59-71	72-84	85-104	105
9	1-16	17-41	42-53	54-67	68-85	86-104	106
10	1-21	22-42	43-58	59-70	71-84	85-104	111
11	1-17	18-40	41-55	56-66	67-85	86-104	99
12	1-20	21-44	45-60	61-77	78-82	83-104	112
13	1-23	24-42	43-57	58-73	74-86	87-104	105
14	1-29	30-45	46-53	54-69	70-85	86-104	112
15	1-25	26-46	47-57	58-73	74-88	89-104	102
16	1-16	17-42	43-55	56-69	70-81	82-104	112
17	1-36	37-47	48-59	60-75	76-83	84-104	111
18	1-29	30-45	46-53	54-66	67-81	82-104	112
19	1-15	16-40	41-56	57-70	71-83	84-104	103
20	1-24	25-42	43-61	62-70	71-89	90-104	102
21	1-24	25-43	44-55	56-68	69-83	84-104	102
22	1-21	22-41	42-55	56-69	70-83	84-104	102
23	1-25	26-42	43-57	58-71	72-82	83-104	110
24	1-28	29-47	48-58	59-71	72-84	85-104	105
25	1-27	28-46	47-54	55-68	69-85	86-104	103
26	1-28	29-45	46-53	54-69	70-82	83-104	112
27	1-23	24-42	43-57	58-73	74-86	87-104	105
28	1-25	26-46	47-57	58-72	73-85	86-104	102
29	1-29	30-44	45-56	57-72	73-86	87-104	108
30	1-17	18-39	40-55	56-68	69-86	87-104	102

Γραφική παράσταση 5.5. Συσχέτιση τιμών αντικειμενικής συνάρτησης



Η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης κυμαίνεται από 99-112, δηλαδή παρατηρείται απόκλιση 13%. Επίσης, παρατηρείται ότι για 6 συνεργεία υπάρχουν 3 διαφορετικές βέλτιστες λύσεις που δίνουν την ίδια χαμηλότερη τιμή της αντικειμενικής. Παρουσιάζεται μία από αυτές.

Σχήμα 5.5. Παρουσίαση καλύτερης επίλυσης



Περιοχές ευθύνης 1^{ου} συνεργείου: 1-24 (Χιλιομετρική Θέση: 0-12)

Περιοχές ευθύνης 2^{ου} συνεργείου: 25-44 (Χιλιομετρική θέση: 12-22)

Περιοχές ευθύνης 3^{ου} συνεργείου: 45-58 (Χιλιομετρική θέση: 22-29)

Περιοχές ευθύνης 4^{ου} συνεργείου: 59-69 (Χιλιομετρική θέση: 29-34.5)

Περιοχές ευθύνης 5^{ου} συνεργείου: 70-85 (Χιλιομετρική θέση: 34.5-42.5)

Περιοχές ευθύνης 6^{ου} συνεργείου: 86-104 (Χιλιομετρική θέση: 42.5-52)

Χρόνος επιθεώρησης: 99 ώρες

6 Συμπεράσματα

Από την παρούσα διπλωματική εργασία προέκυψαν τα εξής γενικά συμπεράσματα:

- Τα κατάλληλα πρότυπα βελτιστοποίησης ανάλογα με το είδος του προβλήματος μειώνουν το χρόνο εργασίας και δίνουν καλύτερα αποτελέσματα από ότι μαθηματικοί υπολογισμοί σε θέματα χωροθέτησης.
- Τα κατάλληλα πρότυπα χωροθέτησης αγγίζουν ή έστω πλησιάζουν σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό την βέλτιστη λύση ανάλογα με τους περιορισμούς (χρόνος, κόστος, διαθέσιμος αριθμός συνεργείων).

Επίσης προέκυψαν τα εξής ειδικά συμπεράσματα όσον αφορά τη χρήση του πρότυπου λογισμικού:

- Οι παράμετροι του αλγόριθμου δεν επηρέασαν ουσιαστικά την επίλυση του προβλήματος καθώς παρόλο που αλλάχτηκαν 30 φορές για κάθε αριθμό συνεργείων η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης παρουσίασε απόκλιση γύρω στο 10-15%. Μάλιστα, δοκιμάστηκε ο αριθμός επαναλήψεων (MI) του αλγόριθμου να είναι μεγαλύτερος και τότε παρουσιάστηκε ακόμα μικρότερη απόκλιση (μέγιστη 8%). Για τεχνικούς λόγους δεν έγιναν όλες οι πιθανές περιπτώσεις με μεγαλύτερο αριθμό επαναλήψεων του προγράμματος καθώς το πρόγραμμα έπρεπε να τρέξει 150 φορές (5 περιπτώσεις διαφορετικού αριθμού συνεργείων * 30 περιπτώσεις διαφορετικών παραμέτρων) και όσο αυξάνεται ο αριθμός επαναλήψεων του προγράμματος αυξάνεται και ο υπολογιστικός χρόνος που χρειάζεται ο ηλεκτρονικός υπολογιστής.
- Το πηλίκο του συνολικού χρόνου επιθεώρησης με το διαθέσιμο αριθμό συνεργείων είναι σχεδόν ίσο με το αποτέλεσμα της αντικειμενικής μας συνάρτησης. Αυτό αποδεικνύει την ορθότητα του αλγορίθμου.
- Το πρότυπο που δημιουργήθηκε μπορεί να χρησιμοποιηθεί με την ίδια ευχέρεια και να παρέχει ορθά αποτελέσματα σε οποιοδήποτε οδικό άξονα.

Προτείνονται τα εξής όσον αφορά την περαιτέρω έρευνα:

- Να χρησιμοποιηθεί το ίδιο πρότυπο στον ίδιο οδικό άξονα με μεγαλύτερο αριθμό επαναλήψεων για να επιτευχθεί μικρότερη απόκλιση στις λύσεις.
- Να γίνει περισσότερη ανάλυση στο θέμα της ζήτησης, δηλαδή των χρόνων επιθεώρησης καθώς υπολογίστηκαν προσεγγιστικά. Οι γέφυρες, για παράδειγμα, χωρίστηκαν σε 4 κατηγορίες χρόνου επιθεώρησης. Μπορεί να γίνει ακόμα μεγαλύτερος διαχωρισμός, ανάλογα με το μέγεθος και τον τύπο τους, για μεγαλύτερη ακρίβεια.

- Να χρησιμοποιηθεί το παρών πρότυπο σε ακόμα μεγαλύτερο οδικό άξονα, με περισσότερα έργα υποδομής και περισσότερα διαθέσιμα συνεργεία.
- Να λυθεί το ίδιο πρόβλημα για τον ίδιο οδικό άξονα με άλλο αλγόριθμο αντί του Harmony Search Minimization και να συγκριθούν τα αποτελέσματα. Έτσι, θα αποδειχθεί ποιος αλγόριθμος είναι καταλληλότερος για θέματα χωροθέτησης σε άξονα.
- Το παρών πρότυπο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλα θέματα χωροθέτησης σε άξονα, όπως για παράδειγμα επιθεώρηση ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων σε οδικό άξονα.
- Το πρότυπο μπορεί να γίνει η βάση για την ανάπτυξη εξελιγμένων εργαλείων χωροθέτησης οδικών αξόνων.

7 Βιβλιογραφία

1. Ευαγγελίδης Δ. (2004) «Οδηγίες συντήρησης αυτοκινητόδρομων, κύρια συντήρηση οδοστρωμάτων, χαρακτηριστικά της λειτουργικής και δομικής κατάστασης των οδοστρωμάτων», Εγνατία Οδός ΑΕ.
2. Καρλάυτης Μ., Κεπαπτσόγλου Κ., Σφήκας Ι. (2005) «Συστήματα διαχείρισης γεφυρών»
3. Πανέτσος Π. (2009) «Συστήματα συντήρησης γεφυρών της Εγνατίας Οδού» 22-27
4. Υπουργείο ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. «Οδηγίες συντήρησης αυτοκινητόδρομων», Τεύχος 1: Στοιχειώδης συντήρηση
5. Πρόταση οδηγίας του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου σχετικά με τις ελάχιστες απαιτήσεις ασφαλείας για τις σήραγγες του Διευρωπαϊκού Οδικού Δικτύου /* COM/2002/0769 τελικό - COD 2002/0309 */
6. Beasley, J.E., Chu, P.C. A genetic algorithm for the set-covering problem. *European Journal of Operational Research*, Vol. 94, pp. 392-404.
7. Geem ZW “State-of-the-Art in the Structure of Harmony Search Algorithm” pp. 1-10
8. Geem ZW (2006) Improved harmony search from ensemble of music players. *Lecture Notes in Artificial Intelligence* 4251:86–93
9. Hamacher H. W., Springer, New York, U.S.A.
Winston, W. (1994). *Operations Research: Applications and Algorithms* 3rd Ed, International Thompson Publishing, U.S.A.
10. <http://www.modot.gov> εικόνα εξώφυλλου εργασίας
11. Lagaros N., Plevris V. and Papadrakakis M. (2010) “Neurocomputing strategies for solving reliability-robust design optimization problems.”
12. Manoj K. Jha, Kepaptsoglou K., Karlaftis M, Abdullah J. “A Genetic algorithms-based decision support system for transportation infrastructure management in urban areas 86”
13. Marianov, V., Serra, D. (2002). “Location Models in the Public Sector”. In: *Facility Location: Applications and Theory*, Eds. Z. Drezner and H.W. Hamacher, Springer, Berlin
14. Saka M.P., Erdal F. (2009) “Harmony Search Based Algorithm for the Optimum Design of Grillage Systems to LRFD – AISC” pp. 5-16
15. Schilling D.A., Jayaraman V., Barkhi R. (1993), A review of covering problems in facility location, *Location Science* Vol.1, No 1, pp. 25-55
16. Singiresu S. Rao (2009) “Engineering Optimization-Fourth Edition”
17. Wai Fah Chen Lian Duan “BRIDGE ENGINEERING (substructure design)”
18. Weise T. (2008) “Global Optimization Algorithms - Theory and Application”

19. U.S.Department of transportation (2005)“Highway and rail transit tunnel inspection Manual”
20. Winston, W. L. (1994). Operations research: Applications and algorithms (3rd ed.). Belmont, CA: Duxbury Press.