

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ**  
**«ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ ΚΑΙ LOGISTICS»**

## **Διπλωματική Εργασία**

**Τίτλος Εργασίας: «Χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης σε αυτοκινητόδρομο για βελτιστοποίηση χρόνου απόκρισης σε συμβάντα»**

**Φοιτητής:** Γκόρλας Δημήτριος

**Επιβλέπων:** Ζηλιασκόπουλος Αθανάσιος

Βόλος, Οκτώβριος 2020

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

**Αντικείμενο:** Το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της παγκόσμιας βιβλιογραφίας για τη χωροθέτηση οχημάτων άμεσης επέμβασης, η αναφορά επιτυχημένων πρακτικών ανά τον κόσμο, σε διάφορες περιπτώσεις που συμβάλουν στη διατύπωση και κατανόηση του υπό μελέτη προβλήματος.

**Σκοπός:** Σκοπός της εργασίας είναι η εύρεση των βέλτιστων τοποθεσιών για την εγκατάσταση 5 οχημάτων που θα είναι σε θέση να καλύψουν όλα τα συμβάντα με το χαμηλότερο δυνατό κόστος.

**Μεθοδολογία:** Στο κομμάτι της βιβλιογραφίας χρησιμοποιήθηκαν βιβλία και επιστημονικά άρθρα της παγκόσμιας βιβλιογραφίας, καθώς και λογισμικό προγραμματισμού για τη μοντελοποίηση και λύση του προβλήματος. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος χωροθέτησης  $p$ -median και η γλώσσα προγραμματισμού Python.

**Λέξεις Κλειδιά:** Χωροθέτηση,  $p$ -median, οχήματα άμεσης επέμβασης, βελτιστοποίηση

## ABSTRACT

**Subject:** The object of the dissertation is the study of the world literature on the location of emergency vehicles, the reporting of successful practices around the world, in various cases that contribute to the formulation and understanding of the problem under study.

**Purpose:** The purpose of this work is to find the optimal locations for the installation of 5 vehicles that will be able to cover all events at the lowest possible cost

**Methodology:** In the bibliography part, books and scientific articles of the world literature were used, as well as programming software for the modeling and solution of the problem. The p-median locating method and the Python programming language were used.

**Keywords:** Location, p-median, emergency vehicles, optimization

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	i
ABSTRACT .....	ii
Λίστα Πινάκων .....	iv
Λίστα Εικόνων.....	iv
1 Εισαγωγή .....	1
2 Χαρακτηριστικά Έκτακτης Ανάγκης .....	3
2.1 Χρόνος Απόκρισης Έκτακτης Ανάγκης.....	4
2.2 Ιδανικός Χρόνος Απόκρισης .....	4
3 Μοντέλα Χωροθέτησης για Υπηρεσίες Έκτακτης Ανάγκης .....	10
3.1 Μοντέλα Κάλυψης για Υπηρεσίες Έκτακτης Ανάγκης.....	10
3.2 Μοντέλα P-Median για Υπηρεσίες Έκτακτης Ανάγκης .....	14
3.3 Μοντέλα Κέντρου για Υπηρεσίες Έκτακτης Ανάγκης .....	22
3.4 Προβλήματα μοντελοποίησης - Αναλυτικότητα, απαιτήσεις δεδομένων και ισχύς 23	
<b>3.4.1 Λεπτομέρεια της δομής της ζώνης</b> .....	24
<b>3.4.2 Εγκυρότητα του μοντέλου</b> .....	27
4 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS).....	28
5 Περιγραφή - Ανάλυση της εταιρείας “Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου Α.Ε.” .....	30
5.1 Τοποθεσίες και έδρα .....	31
5.2 Στοιχεία λειτουργίας .....	32
5.3 Εποπτεία του αυτοκινητοδρόμου .....	33
5.4 Αριθμητικά στοιχεία περιπολίας-συμβάντων.....	36
5.5 Χωρική ανάλυση περιπολίας στον αυτοκινητόδρομο - Υπάρχουσα κατάσταση .....	36
5.6 Βάρδιες περιπόλων .....	41
5.7 Διαδικασία και χαρακτηριστικά περιπολίας.....	42
6 Σημερινή κατάσταση και μοντέλο .....	44
7 Προσέγγιση του προβλήματος και εύρεση νέου μοντέλου χωροθέτησης.....	49
7.1 Τα δεδομένα.....	49
7.2 Ανάλυση Δεδομένων .....	50
7.2.1 Ατυχήματα σε όλο το δρόμο .....	50
7.3 Κατασκευή μοντέλου.....	57
<b>7.3.1 Μαθηματικό μοντέλο</b> .....	57
<b>7.3.2 Υλοποίηση μοντέλου</b> .....	59
<b>7.3.3 Εύρεση βέλτιστης λύσης</b> .....	62

8 Συμπεράσματα - Προτάσεις .....	64
9 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α' .....	71

## Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1 Τοποθεσίες με το υψηλότερο ρίσκο .....	51
Πίνακας 2 Ώρες Συμβάντων .....	53
Πίνακας 3 Κατανομή εργατωρών ανα ημέρα .....	55
Πίνακας 4 Περιγραφική Στατιστική Συμβάντων.....	55
Πίνακας 5 Εργατώρες ανα ώρα της ημέρας.....	56
Πίνακας 6 Περιγραφική Στατιστική εργατωρών/ώρα.....	57
Πίνακας 7 Απόλυτη διαφορά των εργατωρών μεταξύ βαρδιών .....	61
Πίνακας 8 Πιθανές Λύσεις και Κόστος .....	62
Πίνακας 9 Αριθμός οχημάτων και Μ.Ο. κόστους.....	63
Πίνακας 10 Αριθμός Οχημάτων και σύγκριση κερδών με τις τωρινές θέσεις .....	63

## Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1 Συγκέντρωση συμβάντων και δημιουργία ζώνης .....	25
Εικόνα 2 Περιγραφή Νοτιου Τομεα .....	39
Εικόνα 3 Περιγραφή Βόρειου Τομεα .....	40
Εικόνα 4 Κατανομή Ατυχημάτων.....	50
Εικόνα 5 Κατανομή Ατυχημάτων (πιο συχνές θέσεις) .....	51
Εικόνα 6 Συμβάντα ανα ημέρα.....	52
Εικόνα 7 Αριθμός συμβάντων ανα ώρα .....	52
Εικόνα 8 Κατηγορίες Συμβάντων .....	54
Εικόνα 9 Εργατώρες ανά ημέρα για την κάλυψη όλων των συμβάντων .....	55
Εικόνα 10 Εργατώρες ανά ώρα για την κάλυψη όλων των συμβάντων .....	56
Εικόνα 11 Εργατώρες για την κάλυψη 2 διαδοχικών ημερών.....	61
Εικόνα 12 Θέσεις στο χάρτη .....	64

# 1 Εισαγωγή

Ένας πυροσβεστικό όχημα ή ασθενοφόρο που κατευθύνεται σε μια κατάσταση έκτακτης ανάγκης ή ένα αστυνομικό περιπολικό στους δρόμους της πόλης είναι κοινές εικόνες της καθημερινής ζωής. Στα μέσα της δεκαετίας του 1960 οι ερευνητές άρχισαν να μελετούν την ανάπτυξη αυτών των υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης. Η αστυνομία, τα ιατρικά και πυροσβεστικά συστήματα έκτακτης ανάγκης ασχολούνται με τη βελτίωση της δημόσιας ασφάλειας και μοιράζονται τον κοινό στόχο της ανταπόκρισης σε κλήσεις πολιτών όσο το δυνατόν γρηγορότερα για τη μείωση της απώλειας ζωής και τραυματισμών.

Η βελτιστοποίηση της θέσης των εγκαταστάσεων αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης (οχήματα) είναι ένας τομέας έρευνας στην έρευνα επιχειρήσεων που σχετίζεται με τη θέση μιας ή περισσότερων εγκαταστάσεων, ώστε να ικανοποιούνται αντικειμενικές απαιτήσεις λειτουργίας, όπως η παροχή γρήγορης και αξιόπιστης εξυπηρέτησης στους πολίτες ή και πολλές φορές πελάτες. Καθώς οι πληθυσμοί μετακινούνται, η ανάγκη μετεγκατάστασης, επέκτασης και προσαρμογής των εγκαταστάσεων διασφαλίζει την εξέλιξη νέων προκλήσεων σχεδιασμού.

Πριν από την κατασκευή ή την εγκατάσταση μιας μονάδας, πρέπει να εντοπιστούν οι καλύτερες τοποθεσίες, πρέπει να καθοριστούν οι κατάλληλες προδιαγραφές χωρητικότητας της εγκατάστασης και να διατεθούν μεγάλα ποσά κεφαλαίου. Ενώ οι στόχοι που οδηγούν μια απόφαση δημιουργίας εγκατάστασης εξαρτώνται από την εταιρεία ή τον κυβερνητικό οργανισμό, το υψηλό κόστος που σχετίζεται με αυτήν τη διαδικασία καθιστά σχεδόν κάθε έργο τοποθεσίας μακροπρόθεσμη επένδυση. Έτσι, οι εγκαταστάσεις που βρίσκονται σήμερα αναμένεται να παραμείνουν σε λειτουργία για μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι περιβαλλοντικές αλλαγές κατά τη διάρκεια της ζωής της εγκατάστασης μπορούν να αλλάξουν δραστικά την ελκυστικότητα μιας συγκεκριμένης τοποθεσίας, μετατρέποντας τη σημερινή βέλτιστη τοποθεσία σε εσφαλμένο επενδυτικό μέλλον.

Ο καθορισμός των καλύτερων τοποθεσιών για νέες εγκαταστάσεις είναι συνεπώς μια σημαντική στρατηγική πρόκληση.

Ίσως η πιο σημαντική απόφαση που αντιμετωπίζει οποιαδήποτε υπηρεσία αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης είναι πόσα πυροσβεστικά οχήματα ή ασθενοφόρα πρέπει να έχουν και σε ποια τοποθεσία θα τα τοποθετήσει. Εκτιμάται ότι η βέλτιστη λύση είναι αυτή που ελαχιστοποιεί το άθροισμα των απωλειών παρέχοντας γρήγορη και αξιόπιστη εξυπηρέτηση στους πελάτες.

## 2 Χαρακτηριστικά Έκτακτης Ανάγκης

Αυτή η έρευνα βασίζεται στην ανάλυση παραδοσιακών στοιχείων της μηχανικής κυκλοφορίας για την παροχή πληροφοριών σχετικά με τον σχεδιασμό των μεταφορών. Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας θα επιτρέψει στον αναγνώστη να δημιουργήσει ένα καλό θεμέλιο σχετικών γνώσεων και να κατανοήσει τα περισσότερα από τα ζητήματα, τις παγίδες και τις στρατηγικές που αφορούν το ταξίδι και τη λειτουργία οχημάτων έκτακτης ανάγκης. Αυτό το κεφάλαιο παρέχει καλύτερη κατανόηση και εκτίμηση των θεμάτων, των σκέψεων και των λεπτομερειών που σχετίζονται με τις επιχειρήσεις κυκλοφορίας οχημάτων έκτακτης ανάγκης, καθώς και την ασφάλεια των οχημάτων έκτακτης ανάγκης. Η επανεξέταση της διαθέσιμης βιβλιογραφίας μπορεί να παρέχει ισορροπημένες πληροφορίες τόσο στις μεταφορές όσο και στις κοινότητες οχημάτων έκτακτης ανάγκης, προκειμένου να βελτιώσει τις γνώσεις τους σχετικά με τα πιθανά οφέλη, τις εναλλακτικές προσεγγίσεις και τα ζητήματα που αφορούν τη βελτίωση της παροχής υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης, ενώ κατανοεί τη χρονική και χωρική φύση του ταξιδιού ενός οχήματος έκτακτης ανάγκης (Hausner, 1975).

Τα χαρακτηριστικά του οχήματος έκτακτης ανάγκης που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής περιλαμβάνουν τη χρονική και χωρική κατανομή του ταξιδιού ενός οχήματος έκτακτης ανάγκης, τη συχνότητα και διάρκεια των κλήσεων, τον χρόνο απόκρισης και τα ατυχήματα που αφορούν οχήματα έκτακτης ανάγκης. Η διαθέσιμη βιβλιογραφική ανασκόπηση οδήγησε στο συμπέρασμα ότι η συχνότητα των απαντήσεων σε οχήματα έκτακτης ανάγκης ανά ώρα της ημέρας, ο βαθμός στον οποίο τέτοιες απαντήσεις περιλαμβάνουν δύο ή περισσότερα οχήματα έκτακτης ανάγκης και οι επιπτώσεις των ταξιδιών οχημάτων έκτακτης ανάγκης στο σύστημα μεταφοράς δεν έχουν ακόμη γίνει μέρος της βάσης δεδομένων των γνώσεων της επαγγελματικής κοινότητας (Vrachou, 2003).

Στο υπόλοιπο αυτού του κεφαλαίου, θα παρουσιαστούν τα πιο σημαντικά ευρήματα σχετικά με τα χαρακτηριστικά των οχημάτων έκτακτης ανάγκης, τόσο για την κυκλοφορία όσο και για την ασφάλεια.



## 2.1 Χρόνος Απόκρισης Έκτακτης Ανάγκης

Ο χρόνος απόκρισης του προσωπικού των ιατρικών υπηρεσιών/πυρκαγιάς και έκτακτης ανάγκης (emergency medical services - EMS) είναι κρίσιμος. Κάθε ατύχημα απαιτεί απάντηση έκτακτης ανάγκης. Εάν το ατύχημα έχει ως αποτέλεσμα προσωπικό τραυματισμό, η επικαιρότητα και η ποιότητα της απόκρισης EMS είναι σημαντικά για την έκβαση του τραυματισμού των ατόμων που εμπλέκονται στο ατύχημα. Για παράδειγμα, εάν η θεραπεία σε επίπεδο παραϊατρικού επιπέδου ξεκινήσει εντός τριών λεπτών από την έναρξη της καρδιακής ανακοπής, το ποσοστό επιβίωσης χωρίς μόνιμο τραυματισμό είναι περίπου 80%. Εάν ξεκίνησε εντός οκτώ λεπτών από την έναρξη της καρδιάς ή τη διακοπή της αναπνοής, το ποσοστό επιβίωσης μειώνεται σε περίπου 30% έως 40% τοις εκατό. Το 1995, 2.211 θάνατοι περιελάμβαναν χρόνο μεταφοράς πάνω από μία ώρα σε νοσοκομείο (Gayle & Krycinski, 1998). Από τα παραπάνω, γίνεται προφανές ότι ο χρόνος απόκρισης σε μια σοβαρή ασθένεια ή τραυματισμό επηρεάζει άμεσα το αποτέλεσμα. Μια συγκριτική μελέτη του χρόνου απόκρισης και της επιβίωσης σε ένα αστικό σύστημα ιατρικών υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης έδειξε ότι οι κλήσεις έκτακτης ανάγκης όπου ο χρόνος απόκρισης ήταν μικρότερος από 5 λεπτά συσχετίστηκαν με βελτιωμένη επιβίωση σε σύγκριση με κλήσεις όπου ο χρόνος απόκρισης υπερέβαινε τα 5 λεπτά. Ο κίνδυνος θνησιμότητας βρέθηκε να είναι 1,58% για τους ασθενείς που παρείχαν υπηρεσία σε περισσότερα από 5 λεπτά και 0,51% για εκείνους που παρείχαν υπηρεσία σε λιγότερο από 5 λεπτά (Blackwell & Kaufman, 2002).

## 2.2 Ιδανικός Χρόνος Απόκρισης

Τα στατιστικά στοιχεία του χρόνου απόκρισης δείχνουν ότι και οι χρόνοι απόκρισης πυρκαγιών και EMS είναι κατά μέσο όρο 5 λεπτά ή λιγότερο. Μια απόκριση τριών λεπτών ή τεσσάρων λεπτών είναι επίσης εφικτή για ορισμένα Τμήματα Πυροσβεστικής και Διάσωσης. Ήταν ενδιαφέρον ότι ορισμένες περιοχές των ΗΠΑ έχουν υιοθετήσει το λεγόμενο "Master Plan Rescue Master" και έθεσαν έναν στόχο να βελτιώσουν το χρόνο απόκρισης της μονάδας πυρόσβεσης και

διάσωσης σε περιοχές που απαιτούν περισσότερα από ένα κρίσιμα όρια. Ένα τέτοιο κρίσιμο όριο επιλέγεται συνήθως μετά από μια μελέτη που καθορίζει ότι η αναζήτηση ταχύτερων αποκρίσεων από τις υπάρχουσες, ενώ είναι πιο επιθυμητές, θα ήταν μη ρεαλιστικές. Αυτός ο στόχος έχει οριστεί έτσι ώστε να φτάσει το 90% ή το 95% των περιστατικών σε λιγότερο από τον «χρόνο απόκρισης στόχου». Για παράδειγμα, για την Πόλη του Φορτ Λόντερντεϊλ της Φλόριντα, ο στόχος που τέθηκε από το Τμήμα Πυροσβεστικής και Διάσωσης είναι να φτάσει το 90% των ιατρικών και πυρκαγιών σε λιγότερο από 6 λεπτά και το 95% των ιατρικών συμβάντων σε λιγότερο από 8 λεπτά. Σε γενικές γραμμές, οι υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης ιατρικών υπηρεσιών (EMS) κρατούνται όλο και περισσότερο σε ένα κριτήριο χρόνου ανταπόκρισης σε ιατρική κατάσταση έκτακτης ανάγκης εντός 8 λεπτών για τουλάχιστον 90% των κλήσεων. Παρ' όλα αυτά, μια μελέτη που αξιολογεί την επίδραση της υπέρβασης της κατευθυντήριας γραμμής του χρόνου ανταπόκρισης των 8 λεπτών στην επιβίωση των ασθενών για τα θύματα που φέρουν τραυματισμό, έδειξε ότι η υπέρβαση του κριτηρίου του χρόνου απόκρισης των 8 λεπτών δεν επηρεάζει την επιβίωση στο μεγαλύτερο ποσοστό των συμβάντων.

Ο καθορισμός ενός «χρόνου απόκρισης στόχου» σε συνδυασμό με την κατάλληλη τοποθεσία του σταθμού στοχεύει στο να επιτρέψει στην Πυροσβεστική και Διάσωση, αλλά και στις λοιπές υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης, να παρεμβαίνουν με αρκετό χρόνο για να σωθούν ζωές και να προστατεύσει την παρουσία των πολιτών. Τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν από το Κέντρο Επικοινωνιών του Τμήματος Πυρόσβεσης & Διάσωσης Englewood επιβεβαιώνουν την παραπάνω παρατήρηση. Και οι χρόνοι απόκρισης πυρκαγιάς και EMS είναι κατά μέσο όρο 4,69 λεπτά ή λιγότερο, πράγμα που δείχνει ότι τηρείται η υπόσχεση απόκρισης των πέντε λεπτών, η οποία έχει οριστεί προηγουμένως. Ο βελτιωμένος χρόνος απόκρισης είναι επίσης αποτέλεσμα της στρατηγικής θέσης ενός νέου πυροσβεστικού σταθμού (Djahel, Smith, Wang, & Murphy, 2015).

Γίνεται εύκολα αντιληπτό από τα παραπάνω, πόσο σημαντική είναι η μεταβλητή του χρόνου απόκρισης σε ένα συμβάν. Η μεταβλητή αυτή έχει ιδιαίτερη

βαρύτητα σε πολλά μοντέλα χωροθέτησης που εφαρμόζονται σε μια πληθώρα περιπτώσεων.

Ο πρωταρχικός στόχος των υπηρεσιών αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης είναι η λήψη του κατάλληλου εξοπλισμού για κλήσεις με ασφαλή και έγκαιρο τρόπο. Η υπόθεση είναι ότι εάν οι κλήσεις απαντηθούν και εξυπηρετηθούν γρήγορα, τότε αυτό θα οδηγήσει στην ικανοποίηση των πελατών και τη συμμόρφωση με τα κανονιστικά πρότυπα για την απόδοση του χρόνου απόκρισης. Τα βήματα της τυπικής διαδικασίας κλήσης έκτακτης ανάγκης είναι:

1. Η κλήση (ζήτηση) έρχεται στο σύστημα μέσω τηλεφώνου ή άλλου μηχανισμού.
2. Η σοβαρότητα της κλήσης εκτιμάται.
3. Ο αποστολέας αξιολογεί την κατάσταση του συστήματος και καθορίζει το κατάλληλο όχημα ή οχήματα για αποστολή στη σκηνή.
4. Κατά την άφιξη στη σκηνή, παρέχεται η υπηρεσία.
5. Το όχημα (τα οχήματα) μπορεί ή όχι να παρέχει μεταφορά σε νοσοκομείο.
6. Μετά την ολοκλήρωση της υπηρεσίας (και τη μεταφορά) το όχημα βρίσκεται σε κατάσταση αδράνειας και επιστρέφει σε μια προκαθορισμένη τοποθεσία για να περιμένει άλλη κλήση

Οι αποφάσεις αποστολής και θέσης του οχήματος είναι κρίσιμοι παράγοντες στην επιτυχία του συστήματος. Εάν δεν μπορεί κανείς να κάνει και τα δύο καλά, θα υπάρξει αναποτελεσματικότητα στο σύστημα. Το ζήτημα της έγκαιρης απόκρισης είναι ο πρωταρχικός στόχος που χρησιμοποιείται σε μοντέλα έρευνας επιχειρήσεων. Μπορούμε να κάνουμε τις ακόλουθες υποθέσεις.

- Υπάρχει ένας τυπικός χρόνος,  $T$ , έτσι ώστε εάν το πρώτο όχημα φτάσει στη σκηνή μέσα σε  $T$  λεπτά, τότε η υπηρεσία κλήσης θεωρείται επιτυχής. Η συγκεκριμένη τιμή του  $T$  μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τον τύπο της κλήσης καθώς οι πιο σοβαρές κλήσεις έχουν χαμηλότερες τιμές  $T$ .
- Η περιοχή χωρίζεται σε ζώνες. Αυτές οι ζώνες μπορεί να έχουν οποιοδήποτε σχήμα, αλλά όλες οι κλήσεις από μια ζώνη προέρχονται από το κέντρο του

πληθυσμού. Όλα τα ταξίδια προς και από τη ζώνη μετρώνται από το κέντρο της ζώνης. Τα δεδομένα συλλέγονται και συγκεντρώνονται σε επίπεδο ζώνης

Υπάρχουν πολλοί τρόποι μέτρησης της έγκαιρης απόκρισης. Για παράδειγμα, μπορεί κανείς να μελετήσει την ελαχιστοποίηση του συνολικού ή μέσου χρόνου / απόστασης για την εξυπηρέτηση όλων των κλήσεων. Όταν φτάσει μια αίτηση για βοήθεια, οι πυροσβέστες ή το προσωπικό του ασθενοφόρου, αντιμετωπίζουν αυτόματα πολλές ερωτήσεις που πρέπει να απαντηθούν σε λίγα δευτερόλεπτα. Αυτές οι ερωτήσεις περιλαμβάνουν (Othman & Rand, 2003):

- Η τοποθεσία του συμβάντος, δηλαδή πυρκαγιά, αυτοκινητιστικό ατύχημα (στοιχεία, ζήτηση, απόσταση)
- Η ταχύτερη διαδρομή προς την τοποθεσία του συμβάντος
- Εάν μπορούσε να ληφθεί η μικρότερη απόσταση (στοιχεία απόστασης και χρόνου, όπου η μικρότερη απόσταση ή ο ελάχιστος χρόνος μπορεί να σημαίνει την διαδρομή με τη μεγαλύτερη συμφόρηση)
- Εάν η μικρότερη απόσταση δεν είναι ιδανική, ποια είναι η εναλλακτική διαδρομή (στοιχεία του χρόνου και της απόστασης, όπου η μέγιστη απόσταση ή ο χρόνος θα μπορούσε να είναι η διαδρομή με τη λιγότερη συμφόρηση σε σύγκριση με άλλες)
- Εάν η μέση απόσταση σημαίνει μεγαλύτερο χρόνο, ποια είναι η ελάχιστη μέγιστη απόσταση από το συμβάν (στοιχεία απόστασης και χρόνου, όπου ο ελάχιστος μέγιστος χρόνος ενδέχεται να μην αντικατοπτρίζει απαραίτητα τη μέση απόσταση)
- Η συντομότερη διαδρομή πρέπει να ακολουθείται αν και συνήθως αντικατοπτρίζει το μέγιστο χρόνο (στοιχεία απόστασης και χρόνου, όπου η κύρια υπόθεση είναι ότι το κοινό θα συνεργαστεί πλήρως για την ομαλή διέλευση οχημάτων).

Έτσι, ο υπεύθυνος λήψης αποφάσεων έρχεται αντιμέτωπος με τα στοιχεία του χρόνου και της απόστασης ταυτόχρονα. Ο χρόνος που απαιτείται για να

προσεγγιστεί ένα περιστατικό εξαρτάται απαραίτητως από την απόσταση που πρέπει να διανυθεί και τις συνθήκες που θα υπάρχουν κατά τη διάρκεια της μεταφοράς.

Ένας δεύτερος τρόπος μέτρησης της εγκαιρότητας είναι η ελαχιστοποίηση του μέγιστου χρόνου ταξιδιού / απόστασης σε οποιαδήποτε μεμονωμένη κλήση (διασφαλίζει ότι κανένα σημείο ζήτησης δεν είναι πολύ μακριά από την τοποθεσία του οχήματος). Χρησιμοποιείται για να απεικονίσει το χειρότερο σενάριο που σχετίζεται με κακές συνθήκες που αντιμετωπίστηκαν κατά τη διάρκεια της μεταφοράς

Ένας άλλος τρόπος μέτρησης της εγκαιρότητας είναι η μεγιστοποίηση της κάλυψης της περιοχής. Σε αυτήν την περίπτωση, καλύπτουμε όσο το δυνατόν περισσότερες ζώνες στην περιοχή εντός T λεπτών από τη μεταφορά.

Ένας τέταρτος τρόπος μέτρησης της εγκαιρότητας είναι η μεγιστοποίηση της κάλυψης κλήσεων, οπότε καλύπτουμε όσο το δυνατόν περισσότερες κλήσεις στην περιοχή εντός T λεπτών από τη μεταφορά

Ένα κριτήριο για την αξιολόγηση της απόδοσης της θέσης του οχήματος είναι η ταχύτητα με την οποία το σύστημα αντιδρά όταν καταγράφεται μια κλήση. Ως αποτέλεσμα, η αρχική χωρική κατανομή των οχημάτων, επηρεάζει ισχυρά την αποτελεσματικότητα της απόκρισης. Για να αποφασίσετε για μια χωρική κατανομή, απαιτείται να αντιμετωπιστούν ορισμένα ζητήματα.

Για παράδειγμα, πόσα οχήματα χρειάζονται. Συνήθως, υπάρχουν εκ των προτέρων περιορισμοί στον προϋπολογισμό, με αποτέλεσμα να αναζητείται ο ελάχιστος αριθμός οχημάτων που θα επιτυγχάνουν «κάλυψη» όλων των πιθανών πελατών. Αυτή η λύση μπορεί ή όχι να συμπίπτει με τη λύση που ελαχιστοποιεί το κόστος του συστήματος. Διαφορετικά, ο στόχος θα μπορούσε να είναι η «κάλυψη» του μέγιστου πληθυσμού με μια «καλή ποιότητα κάλυψης». Έτσι, οι χρόνοι απόκρισης καθορίζονται από έναν απλό συμβιβασμό μεταξύ του κόστους της υπηρεσίας και του κόστους της αποτυχίας (ζημιά που προκλήθηκε στους πελάτες εξ αιτίας καθυστερημένης άφιξης). Είναι σημαντικό οι μικρότεροι χρόνοι απόκρισης να επιβάλλουν μεγαλύτερες απαιτήσεις πόρων στο σύστημα, γεγονός που με τη σειρά του αυξάνει το κόστος του (Djahel, Smith, Wang, & Murphy, 2015).

Εκτός από την εγκαιρότητα, ένας άλλος στόχος των συστημάτων υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους. Το κόστος είναι κατά κύριο λόγο συνάρτηση του ποσού εργασίας (ανθρωπόωρες) που απαιτείται για το προσωπικό που χρησιμοποιούνται ανά έτος και του αριθμού των οχημάτων που πρέπει να αγοραστούν, να υποστηριχθούν και να συντηρηθούν.

Ένας άλλος στόχος των συστημάτων ανάπτυξης υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης είναι η μεγιστοποίηση της καλής κάλυψης. Οι περιοχές δεν είναι ίσες. Ανάλογα με διάφορους παράγοντες, ορισμένες περιοχές αντιμετωπίζουν υψηλότερα ποσοστά συμβάντων, όπως πυρκαγιά ή τροχαία ατυχήματα. Ο διαχειριστής συστήματος πρέπει να εξισορροπεί την απόδοση της περιοχής με την απόδοση σε μια μικρότερη ομάδα ζωνών. Για παράδειγμα, ενδέχεται να μην είναι αποδεκτό να υπάρχουν ζώνες που δεν εξυπηρετούνται επαρκώς, ενώ παράλληλα να υπάρχουν περιοχές που εξυπηρετούνται σε ικανοποιητικό επίπεδο, αλλά και ορισμένες ζώνες που εξυπηρετούνται πολύ καλά, ενδεχομένως περισσότερο από όσο χρειάζεται, χαραμίζοντας επιπλέον πόρους που θα μπορούσαν να κατανομηθεί αλλού. Με την αλλαγή αποφάσεων, μπορούν να σχεδιαστούν πιο δίκαια συστήματα που θα παράγουν σαφώς καλύτερα αποτελέσματα.

Ένας τέταρτος στόχος των συστημάτων ανάπτυξης υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης είναι η μεγιστοποίηση της εργατικής δικαιοσύνης. Είναι σημαντικό για τον διαχειριστή του συστήματος να εξισορροπήσει το φόρτο εργασίας για όλους τους υπαλλήλους του συστήματος. Αυτό μειώνει την εξουθένωση των εργαζομένων και τα σκληρά συναισθήματα τα οποία μπορούν να φέρουν τριβές μεταξύ των εργαζομένων (Marsh & Schilling, 1994).

### **3 Μοντέλα Χωροθέτησης για Υπηρεσίες Έκτακτης Ανάγκης**

Ο καθορισμός της βέλτιστης θέσης των οχημάτων έκτακτης ανάγκης, όπως ασθενοφόρα, πυροσβεστικά οχήματα κ.λπ., αποτελεί σημαντικό στρατηγικό και επιχειρησιακό ζήτημα. Οι εγκαταστάσεις αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης (οχήματα) πρέπει να τοποθετούνται κατά τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται επαρκής κάλυψη και γρήγορος χρόνος απόκρισης.

Μια τεράστια βιβλιογραφία έχει αναπτυχθεί από το σημαντικό ερευνητικό ενδιαφέρον για την αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης. Επίσης, η άνευ προηγουμένου αύξηση της ισχύος των υπολογιστών και της αλγοριθμικής πολυπλοκότητας συνέβαλε σε μια σημαντική εξέλιξη στα μοντέλα κάλυψης στη χωροθέτηση. Αυτή η ενότητα χωρίζεται σε τρεις υπο-ενότητες ανάλογα με την αντικειμενική λειτουργία των μοντέλων τοποθεσίας: Μοντέλα κάλυψης, μοντέλα P-median και μοντέλα Center.

#### **3.1 Μοντέλα Κάλυψης για Υπηρεσίες Έκτακτης Ανάγκης**

Τα μοντέλα κάλυψης είναι τα πιο διαδεδομένα μοντέλα χωροθέτησης για τη διαμόρφωση των προβλημάτων θέσης εγκαταστάσεων έκτακτης ανάγκης. Ο στόχος των μοντέλων κάλυψης είναι η παροχή «κάλυψης» σε σημεία όπου η ζήτηση της παρεχόμενης υπηρεσίας προβλέπεται να είναι υψηλή και σημαντικής φύσης. Ένα σημείο ζήτησης θεωρείται ότι καλύπτεται μόνο εάν υπάρχει διαθέσιμη δυνατότητα εξυπηρέτησης του σημείου ζήτησης εντός ορίου απόστασης. Τα προβλήματα κάλυψης χωρίζονται σε δύο κύρια μέρη: το πρόβλημα κάλυψης συνόλου θέσης (location set covering problem - LSCP) και το πρόβλημα μέγιστης κάλυψης θέσης (maximal covering location problem - MCLP).

Το LSCP είναι μια πρώιμη δήλωση του προβλήματος της τοποθέτησης εγκαταστάσεων έκτακτης ανάγκης από τους Toregas et al. το 1971 και στοχεύει στον εντοπισμό του λιγότερου αριθμού εγκαταστάσεων που απαιτούνται για την κάλυψη όλων των σημείων ζήτησης (Toregas, Swain, Revelle, & Berman, 1971). Δεδομένου ότι όλα τα σημεία ζήτησης πρέπει να καλύπτονται στο LSCP, ανεξάρτητα από τον πληθυσμό τους, την απόσταση και την ποσότητα ζήτησης, οι πόροι που απαιτούνται για τις εγκαταστάσεις θα μπορούσαν να είναι υπερβολικοί. Αναγνωρίζοντας αυτό το πρόβλημα, οι Church και ReVelle το 1974 ανέπτυξαν το μοντέλο MCLP που δεν απαιτεί πλήρη κάλυψη σε όλα τα σημεία ζήτησης. Αντ' αυτού, το μοντέλο επιδιώκει τη μέγιστη κάλυψη με δεδομένο αριθμό εγκαταστάσεων (Revelle & Hogan, The maximum reliability location problem and a-reliable p-center problem : Derivatives of the probabilistic location set covering problem, 1989). Το MCLP, και διάφορες παραλλαγές του, έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς για την επίλυση διαφόρων προβλημάτων χωροθέτησης υπηρεσίας έκτακτης ανάγκης. Ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα είναι το έργο των Eaton et al. το 1985 που χρησιμοποίησε το MCLP για να σχεδιάσει την ιατρική υπηρεσία έκτακτης ανάγκης στο Ώστιν του Τέξας (Eaton, Daskin, Simmons, Bulloch, & Jansma, 1985). Η λύση δίνει μειωμένο μέσο χρόνο αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης ακόμη και με αυξημένες κλήσεις για παροχή υπηρεσιών κατά τη διάρκεια ενός χρονικού περιθωρίου. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί πως ούτε η LSCM ούτε η MCLP αναγνωρίζουν το γεγονός ότι κατά καιρούς, οχήματα διαφόρων τύπων μπορούν να αποστέλλονται στην τοποθεσία ενός συμβάντος. Επίσης, ακόμη και αν χρησιμοποιείται μόνο ένας τύπος οχήματος, η επίλυση του MCLP από μόνη της ενδέχεται να μην παρέχει ένα αρκετά ισχυρό σχέδιο τοποθεσίας (Revelle & Hogan, The maximum reliability location problem and a-reliable p-center problem : Derivatives of the probabilistic location set covering problem, 1989).

Ένα από τα πρώτα μοντέλα που αναπτύχθηκαν για να χειριστούν διάφορους τύπους οχημάτων είναι το μοντέλο TEAM (tandem equipment allocation model) (Schilling, Elinga, Cohon, Church, & Revelle, 1979). Οι Schilling et al. το 1979 γενίκευσαν το μοντέλο MCLP για τον εντοπισμό διακομιστών και αποθηκών πυρόσβεσης έκτακτης ανάγκης στην πόλη της Βαλτιμόρης. Στο μοντέλο τους,



γνωστό ως FLEET (Facility Location and Equipment Emplacement Technique), πρέπει να εντοπιστούν ταυτόχρονα δύο διαφορετικοί τύποι διακομιστών. Ένα σημείο ζήτησης θεωρείται «καλυμμένο» μόνο εάν και οι δύο διακομιστές βρίσκονται σε καθορισμένη απόσταση και μπορούν να εξυπηρετήσουν το σημείο αυτό (Schilling, Elinga, Cohon, Church, & Reville, 1979).

Τα προηγούμενα μοντέλα δεν λαμβάνουν υπόψη τη συμφόρηση του συστήματος και τη μη διαθεσιμότητα των εγκαταστάσεων. Πολλά μοντέλα κάλυψης έχουν επίσης αναπτυχθεί για την αντιμετώπιση της πιθανής κατάστασης συμφόρησης παρέχοντας πλεονάζουσα ή εφεδρική κάλυψη. Οι Daskin και Stern το 1981 διαμόρφωσαν έναν ιεραρχικό στόχο LSCP για επείγουσα ιατρική υπηρεσία, προκειμένου να βρουν τον ελάχιστο αριθμό οχημάτων που απαιτούνται για την κάλυψη όλων των περιοχών ζήτησης, ενώ ταυτόχρονα μεγιστοποιούν την πολλαπλή κάλυψη (Daskin & Dean, Location of Health Care Facilities, 2004). Οι Hogan και ReVelle το 1986 [19] ανέπτυξαν μοντέλα MCLP για υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης που έχουν στόχο την «κάλυψη ασφαλείας». Τα μοντέλα διασφαλίζουν ότι μια δεύτερη (εφεδρική) εγκατάσταση θα μπορούσε να είναι διαθέσιμη για την εξυπηρέτηση μιας περιοχής ζήτησης σε περίπτωση που η πρώτη εγκατάσταση δεν είναι διαθέσιμη για την παροχή υπηρεσιών. Τα εφεδρικά μοντέλα κάλυψης έχουν γίνει γνωστά ως BACOP1 (Πρόβλημα εφεδρικής κάλυψης 1 - Backup Coverage Problem 1). Δεδομένου ότι τα μοντέλα του BACOP1 απαιτούν κάθε σημείο ζήτησης να έχει πρώτη κάλυψη που δεν είναι απαραίτητο για πολλά προβλήματα χωροθέτησης, οι Hogan και ReVelle το 1986 διαμόρφωσαν περαιτέρω το μοντέλο BACOP2 (Πρόβλημα εφεδρικής κάλυψης 2 - Backup Coverage Problem 2) το οποίο είναι σε θέση να μεγιστοποιήσει αντίστοιχα τον πληθυσμό που επιτυγχάνει την πρώτη και τη δεύτερη κάλυψη (Hogan & Reville, 1986).

Οι Gendreau et al. το 2001, ανέπτυξαν ένα μοντέλο που εξετάζει το στόχο της μεγιστοποίησης της διπλής κάλυψης της ζήτησης. Οι περιορισμοί περιλαμβάνουν: τον αριθμό των οχημάτων σε κάθε τοποθεσία, την επανειλημμένη κίνηση του ίδιου οχήματος, ταξίδια μεγάλων διαδρομών και συχνότητα διπλών διαδρομών μεταξύ δύο τοποθεσιών (Gendreau, Laport, & Semet, 2001).

Η έρευνα για μοντέλα κάλυψης υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης επεκτάθηκε επίσης για να ενσωματώσει τα στοχαστικά και πιθανολογικά χαρακτηριστικά των καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, ώστε να συλλάβει την πολυπλοκότητα και την αβεβαιότητα που έχουν ως κύρια χαρακτηριστικά αυτά τα προβλήματα (Li, Zhao, Zhu, & Wyatt, 2011). Υπάρχουν αρκετές προσεγγίσεις στο μοντέλο στοχαστικής υπηρεσίας έκτακτης ανάγκης που καλύπτει διάφορα προβλήματα. Ο Daskin το 1983 χρησιμοποίησε μια εκτιμώμενη παράμετρο ( $q$ ) για να αντιπροσωπεύσει την πιθανότητα τουλάχιστον ένας διακομιστής να είναι ελεύθερος να εξυπηρετεί τα αιτήματα από οποιοδήποτε σημείο ζήτησης. Διατύπωσε το Πρόβλημα Μέγιστης Αναμενόμενης Κάλυψης Τοποθεσιών (Maximum Expected Covering Location Problem - MEXCLP) για να τοποθετήσει τις εγκαταστάσεις  $P$  σε ένα δίκτυο με στόχο τη μεγιστοποίηση της αναμενόμενης αξίας της κάλυψης του πληθυσμού (Galvaο, Chiyoshi, & Morabito, 2005). Οι ReVelle και Hogan το 1986 ενίσχυσαν αργότερα το MEXCLP και πρότειναν το Πρόβλημα Μέγιστης Πιθανολογικής Κάλυψης Θέσης (Maximum Expected Covering Location Problem - PLSCP). Στο PLSCP, ένα μέσο κλάσμα απασχολημένου διακομιστή ( $q_i$ ) και ένας συντελεστής αξιοπιστίας υπηρεσίας ( $a$ ) καθορίζονται για τα σημεία ζήτησης. Στη συνέχεια, οι τοποθεσίες των εγκαταστάσεων καθορίζονται έτσι ώστε η πιθανότητα να είναι διαθέσιμη η υπηρεσία σε μια καθορισμένη απόσταση να μεγιστοποιείται. Το MEXCLP και το PLSCP αργότερα τροποποιήθηκαν περαιτέρω για την αντιμετώπιση άλλων προβλημάτων χωροθέτησης υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης από τους ReVelle και Hogan το 1989 και Repede και Bernardo το 1994. Οι Repede και Bernardo επέκτειναν το μοντέλο μέγιστης αναμενόμενης κάλυψης του Daskin για να επιτρέψουν διαφορετικά σύνολα τοποθεσιών σε διαφορετικές ώρες της εβδομάδας (Repede & Bernardo, 1994).

Ένας ακρογωνιαίος λίθος στη θεωρία χωροθέτησης είναι η ανάπτυξη και εφαρμογή της προσέγγισης ουράς για την επίλυση προβλημάτων χωροθέτησης μιας υπηρεσίας έκτακτης ανάγκης. Τα πιο γνωστά μοντέλα ουράς είναι το hypercube και το κατά προσέγγιση hypercube από τον Larson, τα οποία λαμβάνουν υπόψη τη συμφόρηση του συστήματος υπολογίζοντας τα πολυάσχολα κλάσματα των διακομιστών σε σταθερή κατάσταση σε ένα δίκτυο (Larson, 1974· Larson, 1975). Το

μοντέλο hypercube μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση μιας μεγάλης ποικιλίας επιδόσεων, όπως η χρήση του οχήματος, ο μέσος χρόνος ταξιδιού, η απόδοση μεταξύ των διαμερισμάτων κ.λπ. Οι Marianon και ReVelle το 1996 δημιούργησαν ένα ρεαλιστικό μοντέλο χωροθέτησης για συστήματα έκτακτης ανάγκης με βάση τα αποτελέσματα από τη θεωρία ουράς. Στο μοντέλο τους, οι χρόνοι ταξιδιού ή οι αποστάσεις κατά μήκος των τόξων του δικτύου θεωρούνται τυχαίες μεταβλητές. Ο στόχος είναι να τοποθετηθεί περιορισμένος αριθμός οχημάτων έκτακτης ανάγκης, όπως ασθενοφόρα, με τρόπο που να μεγιστοποιεί τις κλήσεις για εξυπηρέτηση (Marianon & ReVelle, 1996).

### 3.2 Μοντέλα P-Median για Υπηρεσίες Έκτακτης Ανάγκης

Ένας άλλος σημαντικός τρόπος για να μετρηθεί η αποτελεσματικότητα της τοποθεσίας των εγκαταστάσεων είναι με την αξιολόγηση της μέσης συνολικής απόστασης μεταξύ των σημείων ζήτησης και των εγκαταστάσεων. Όταν μειώνεται η μέση συνολική απόσταση, αυξάνεται η προσβασιμότητα και η αποτελεσματικότητα των εγκαταστάσεων. Το P-median πρόβλημα, το οποίο διατυπώθηκε από τον Hakimi το 1964, λαμβάνει, μεταξύ άλλων, υπόψη και αυτό το μέτρο και ορίζεται ως (Hakimi, 1964):

*«Ο προσδιορισμός της θέσης των εγκαταστάσεων P έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η μέση (συνολική) απόσταση μεταξύ των απαιτήσεων και εγκαταστάσεων.»*

Οι Carson και Batta το 1990 πρότειναν ένα μοντέλο P-median για να βρουν τη δυναμική στρατηγική τοποθέτησης ασθενοφόρων για την υπηρεσία έκτακτης ανάγκης στην πανεπιστημιούπολη. Το μοντέλο χρησιμοποιεί σενάρια για να αντιπροσωπεύει τις συνθήκες ζήτησης σε διαφορετικούς χρόνους. Τα ασθενοφόρα

μετεγκαθίστανται σε διαφορετικά σενάρια προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί ο μέσος χρόνος απόκρισης στις κλήσεις υπηρεσίας (Carson & Batta, 1990).

Οι Berlin et al. το 1976, διερεύνησαν δύο προβλήματα P-median για τον εντοπισμό νοσοκομείων και ασθενοφόρων. Το πρώτο πρόβλημα έχει μεγάλη προσοχή στις ανάγκες των ασθενών και επιδιώκει να ελαχιστοποιήσει τη μέση απόσταση από τα νοσοκομεία στα σημεία ζήτησης και τον μέσο χρόνο απόκρισης ασθενοφόρων από τις βάσεις ασθενοφόρων έως τα σημεία κλήσης. Στο δεύτερο πρόβλημα, προστίθεται ένας νέος στόχος για τη βελτίωση της απόδοσης του συστήματος ελαχιστοποιώντας τη μέση απόσταση από τις βάσεις ασθενοφόρων έως τα νοσοκομεία (Berlin, Revelle, & Elzinga, 1976). Ο Mandell το 1998, ανέπτυξε ένα μοντέλο P-median και χρησιμοποίησε την αποστολή προτεραιότητας για τον βέλτιστο εντοπισμό μονάδων έκτακτης ανάγκης για ένα κλιμακωτό σύστημα EMS που αποτελείται από προηγμένες μονάδες υποστήριξης (advanced life-support - ALS) και βασικές μονάδες υποστήριξης ζωής (basic life-support - BLS). Το μοντέλο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την εξέταση άλλων παραμέτρων συστήματος, συμπεριλαμβανομένης της ισορροπίας μεταξύ μονάδων ALS και BLS, και διαφορετικών κανόνων αποστολής, ανάλογα με την ιδιαιτερότητα που παρουσιάζει η κάθε κλήση για ένα συμβάν .

Οι αβεβαιότητες έχουν επίσης ληφθεί υπόψη σε πολλά μοντέλα P-median. Ο Mirchandani το 1980, εξέτασε ένα P-median πρόβλημα για τον εντοπισμό πυροσβεστικών μονάδων έκτακτης ανάγκης λαμβάνοντας υπόψη τα στοχαστικά χαρακτηριστικά ταξιδιού και τα πρότυπα ζήτησης. Έλαβε υπόψη τις καταστάσεις που μια εγκατάσταση ενδέχεται να μην είναι διαθέσιμη για την εξυπηρέτηση μιας ζήτησης και χρησιμοποίησε μια διαδικασία Markov για να δημιουργήσει ένα σύστημα στο οποίο οι κανόνες καθορίστηκαν σύμφωνα με τη διανομή της ζήτησης, τον χρόνο υπηρεσίας και το χρόνο μεταφοράς και τη διαθεσιμότητα του διακομιστή (Mirchandani, 1980). Ο Serra και ο Marianon το 1996, εφάρμοσαν ένα μοντέλο P-median και εισήγαγαν την έννοια της μετάνοιας και των ελάχιστων στόχων κατά τον εντοπισμό πυροσβεστικού σταθμού για υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης στη Βαρκελώνη. Οι ερευνητές εξέτασαν στο μοντέλο τους το ζήτημα του εντοπισμού εγκαταστάσεων όταν υπάρχουν αβεβαιότητες στη ζήτηση, το χρόνο ταξιδιού ή την

απόσταση. Επιπλέον, το μοντέλο χρησιμοποιεί σενάρια για να ενσωματώσει την παραλλαγή των αβεβαιοτήτων και επιδιώκει να δώσει μια συμβιβαστική λύση ελαχιστοποιώντας τη μέγιστη μετάνοια για τα σενάρια (Serra & Marianon, *Location Problems in the Public Sector*, 2002).

Τα μοντέλα P-median έχουν επίσης επεκταθεί για την επίλυση προβλημάτων θέσης υπηρεσίας έκτακτης ανάγκης σε περιβάλλον θεωρίας ουρών. Ένα καλό παράδειγμα είναι το P-median μοντέλο στοχαστικής ουράς των Berman et al. το 1985. Αυτό το μοντέλο επιδιώκει να αποστείλει βέλτιστα διακομιστές, όπως μονάδες απόκρισης έκτακτης ανάγκης σε σημεία ζήτησης και να εντοπίσει τις εγκαταστάσεις έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί το μέσο κόστος της απόκρισης (Berman, Larson, & Chiu, 1985).

Υπάρχει ένα ακόμη μεγαλύτερο σύνολο μελετών που ενσωματώνουν το μοντέλο P-median problem για τον προσδιορισμό των καλύτερων τοποθεσιών εγκαταστάσεων και δεδομένου ότι αυτή θα είναι η προτιμώμενη μέθοδος για αυτήν τη διατριβή, είναι απαραίτητη μια πιο εκτεταμένη ματιά στο P-median problem. Για παράδειγμα, ο Antunes (1999) εξετάζει το πρόβλημα του προσδιορισμού αποτελεσματικών τοποθεσιών για εγκαταστάσεις χωρητικών στερεών αποβλήτων στην περιοχή της Κεντρικής Πορτογαλίας. Για αυτό το μεγάλης κλίμακας σύστημα απόκρισης έκτακτης ανάγκης, ο συγγραφέας διατυπώνει ένα μοντέλο βελτιστοποίησης που συνδυάζει το P-median problem και ένα μοντέλο χωρητικότητας εγκατάστασης που λαμβάνει υπόψη τις μεταφορτώσεις (Antunes, 1999). Οι Jia, Ordóñez και Dessouky (2007) παρέχουν μια έρευνα για προβλήματα θέσης και προσδιορίζουν μοντέλα που χρησιμοποιούνται συνήθως για συστήματα υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης. Συγκρίνουν επίσης την απόδοση του P-median problem με μοντέλα κάλυψης και κέντρου για ένα μεγάλο πρόβλημα έκτακτης ανάγκης ιατρικής υπηρεσίας στην περιοχή του Λος Άντζελες (Jia, Ordóñez, & Dessouky, 2007). Σε μια άλλη μελέτη, οι Berry, Hart, Phillips, Uber και Watson (2006) επικεντρώνονται σε ένα πρόβλημα που σχετίζεται με τη δημόσια υγεία και αναπτύσσουν μια διατύπωση του P-median problem με στόχο τον προσδιορισμό των βέλτιστων θέσεων αισθητήρων σε ένα δημοτικό δίκτυο νερού. Το προτεινόμενο μοντέλο τους ελαχιστοποιεί τον αντίκτυπο της μόλυνσης στα δημοτικά δίκτυα

ύδατος για περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης όπως τυχαία μόλυνση των αγωγών ή χημικές τρομοκρατικές επιθέσεις που μπορούν να λάβουν χώρα στο δίκτυο και πρέπει να αντιμετωπιστούν άμεσα (Berry, Hart, Phillips, Uber, & Watson, 2006). Οι Serra και Marianon (1998) διατυπώνουν ένα μοντέλο P-median problem για την κατανομή πυροσβεστικών σταθμών στην ευρύτερη περιοχή της Βαρκελώνης (Serra & Marianon, 1998).

Στη βιβλιογραφία, μπορεί κανείς να βρει μια σειρά από στρατιωτικές εφαρμογές που χρησιμοποιούν τη διατύπωση του P-median problem. Χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμένο P-median problem και τη διαμόρφωση p-center, οι Dawson, Bell και Weir (2007) καθορίζουν τις θέσεις των ομάδων ασφαλείας σε μια γεωγραφική περιοχή για να διατηρήσουν την ασφάλεια για τα διηπειρωτικά συστήματα βαλλιστικών πυραύλων της Πολεμικής Αεροπορίας των Ηνωμένων Πολιτειών (Dawson, Bell, & Weir, 2007). Το δι-αντικειμενικό μοντέλο στοχεύει στην ελαχιστοποίηση της συνολικής απόστασης που διανύθηκε και της μέγιστης απόστασης από οποιαδήποτε τοποθεσία στις δυνάμεις ασφαλείας. Το πρόβλημα αυτό επιλύεται μέσω ευρετικών μεθόδων και τεχνικών βελτιστοποίησης σε περιβάλλον υπολογιστικών φύλλων Excel (Dawson, Bell, & Weir, 2007). Οι Razi, Karatas και Gunal (2016) και Karatas, Razi και Gunal (2017) αναπτύσσουν ένα μοντέλο χωροθέτησης που βασίζεται στο «P-median problem» και είναι κατάλληλο για τον προσδιορισμό των θέσεων των ελικοπτέρων αναζήτησης και διάσωσης (SAR) στις ακτές του Αιγαίου της Τουρκίας με στόχο την ταχεία αντιμετώπιση ναυτικών καταστάσεων έκτακτης ανάγκης. Στη συνέχεια, οι συγγραφείς αναπτύσσουν ένα διακριτό μοντέλο προσομοίωσης συμβάντων για να αξιολογήσουν την απόδοση της αναλυτικής λύσης υπό στοχαστική ζήτηση (Razi, Karatas, & Gunal, 2016· Karatas, Razi, & Gunal, 2017). Σε μια παρόμοια μελέτη, οι Razi και Karatas (2016) αναπτύσσουν μια μεθοδολογία τριών σταδίων χρησιμοποιώντας ένα πρόγραμμα πολλαπλών στόχων μικτού ακέραιου για τον προσδιορισμό των θέσεων και των ζωνών ευθύνης των σκαφών αναζήτησης και διάσωσης SAR. Το προτεινόμενο μοντέλο τους βασίζεται εν μέρει σε μοντέλο "P-median problem" για την ελαχιστοποίηση των χρόνων απόκρισης σε ναυτικά συμβάντα (Razi & Karatas, A multi-objective model for locating search and rescue boats, 2016). Σε μια άλλη

μελέτη, οι Afshartous, Guan και Mehrotra (2009) αναπτύσσουν μια συνδυασμένη προσέγγιση βελτιστοποίησης και προσομοίωσης με σκοπό τον προσδιορισμό των θέσεων των αεροπορικών βάσεων των Ακτοφυλακών των Ηνωμένων Πολιτειών (USCG). Το μοντέλο βελτιστοποίησής τους συνδυάζει μια άλλη διατύπωση του κλασσικού προβλήματος χωροθέτησης απεριόριστης δυναμικότητας με το μοντέλο "P-median problem" (Afshartous, Guan, & Mehrotra, 2009).

Περιορίζοντας το εύρος της αναθεώρησής μας και από όσα γνωρίζουμε, υπάρχουν μόνο λίγες μελέτες που εξετάζουν άμεσα την ενσωμάτωση αντιγράφων ασφαλείας και έννοιας κάλυψης σε μοντέλα τοποθεσίας εγκαταστάσεων. Μεταξύ αυτών, οι Daskin και Stern (1981) αναπτύσσουν ένα ιεραρχικό πολυκριτηριακό πρόβλημα κάλυψης για τον εντοπισμό οχημάτων υπηρεσίας έκτακτης ανάγκης (Daskin & Stern, 1981). Οι στόχοι τους περιλαμβάνουν την ελαχιστοποίηση του αριθμού των ασθενοφόρων που απαιτούνται για την κάλυψη ολόκληρης της ζήτησης και τη μεγιστοποίηση του επιπέδου εφεδρικής κάλυψης για όλους τους κόμβους ζήτησης, δεδομένου του αριθμού των ασθενοφόρων. Σε μια άλλη μελέτη, οι Weaver and Church (1985) παρουσιάζουν μια γενικευμένη διατύπωση του «P-median problem» για τον εντοπισμό εγκαταστάσεων εξυπηρέτησης σε ένα δίκτυο μεταφορών στο οποίο ένας πελάτης μπορεί να εξυπηρετείται από την πλησιέστερη εγκατάσταση "K". Η μελέτη υπέθεσε ότι η σχετική συχνότητα με την οποία οι πελάτες από έναν κόμβο ζήτησης είναι ικανοποιημένοι με την εγκατάσταση "K" είναι γνωστή. Λαμβάνοντας υπόψη αυτές τις συχνότητες, οι συγγραφείς αναπτύσσουν μια διαμόρφωση του διανύσματος P-median problem που καθορίζει την εκχώρηση μιας ζήτησης με μια πρωτεύουσα και «K» πλησιέστερη εγκατάσταση από διανυσματικά σχήματα με στόχο την ελαχιστοποίηση της συνολικής σταθμισμένης απόστασης (Weaver & Church, 1985). Μια ανασκόπηση των Hogan και ReVelle (1986) αναλύει λεπτομέρειες της εφεδρικής υπηρεσίας για εύρεση θέσης και μοντέλα μέγιστης κάλυψης. Οι συγγραφείς αναπτύσσουν επίσης ένα πολυκριτηριακό μοντέλο που ενσωματώνει την ανταλλαγή μεταξύ πρωτογενών και εφεδρικών καλύψεων (Hogan & ReVelle, 1986).

Οι Pirkul και Schilling (1988) ερευνούν τον εντοπισμό συστημάτων παροχής υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης ενώ παρέχουν ένα ενιαίο επίπεδο εφεδρικής

υπηρεσίας για μερικούς ή όλους τους κόμβους ζήτησης. Οι συγγραφείς, ωστόσο, δεν χρησιμοποιούν την έννοια της κάλυψης (Pirkul & Schilling, The siting of emergency service facilities with workload capacities and backup service., 1988). Στην επόμενη μελέτη τους, οι Pirkul και Schilling (1989) αναπτύσσουν μια μαθηματική διατύπωση για ένα μοντέλο χωροθέτησης υπό την προϋπόθεση ότι μια ζήτηση μπορεί να καλυφθεί από πολλές εγκαταστάσεις ταυτόχρονα (Pirkul & Schilling, The capacitated maximal covering location problem with backup service., 1989). Οι Narasimhan, Pirkul και Schilling (1992) γενικεύουν το έργο των Pirkul και Schilling (1989) λαμβάνοντας υπόψη τον περιορισμό χωρητικότητας με πολλαπλά επίπεδα εφεδρικής έκτακτης κάλυψης (Narasimhan, Pirkul, & Schilling, 1992). Ένα άλλο παράδειγμα υπηρεσίας δημιουργίας έκτακτης κάλυψης βρίσκεται στη μελέτη του Amiri (1998). Σε αυτήν τη μελέτη, το συνολικό κόστος ενός συστήματος χωροθετημένων υπηρεσιών ελαχιστοποιείται παρέχοντας μια κύρια και δευτερεύουσα εφεδρική υπηρεσία στους κόμβους ζήτησης (Amiri, 1998).

Οι Chanta και συνεργάτες (2014) ανέπτυξαν ένα μοντέλο βελτιστοποίησης για τον εντοπισμό ιατρικών υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης με στόχο την εξισορρόπηση του επιπέδου της περιπατητικής υπηρεσίας πρώτης απόκρισης που παρέχεται σε ασθενείς σε αστικές και αγροτικές περιοχές (Chantra, Mayorga, & McLaw, 2014). Ομοίως, οι Araz και συνεργάτες (2007) ανέπτυξαν ένα άλλο πολυκριτηριακό μοντέλο κάλυψης για τον εντοπισμό των βέλτιστων θέσεων για την τοποθέτηση οχημάτων έκτακτης ανάγκης σε αυτοκινητόδρομους με τους στόχους του μοντέλου να είναι (Araz, Selim, & Ozkarahan, 2007):

1. η μεγιστοποίηση των πρωτευόντων καλύψεων αλλά και των εφεδρικών για κάθε τοποθεσία
2. ελαχιστοποίηση της συνολικής απόστασης από τοποθεσίες σε απόσταση μεγαλύτερη από την απόσταση που έχει τεθεί ως όριο.

Οι Gábrisová και Jezek (2015) αναπτύσσουν ένα χωροθετικό μοντέλο P-median problem που ενσωματώνει εφεδρική κάλυψη για τον εντοπισμό θέσεων υπηρεσιών ιατρικού συστήματος έκτακτης ανάγκης. Το μοντέλο επιδιώκει να βρει ένα δίκαιο σχήμα κατανομής φόρτου εργασίας μεταξύ των διαθέσιμων



ασθενοφόρων (Gabrisova & Jezek, 2015). Σε μια πιο πρόσφατη μελέτη, οι Kordjazi και Kazemi (2016) συνδυάζουν το μέγιστο μοντέλο κάλυψης εφεδρικών θέσεων και τη μέθοδο πλήρους κάλυψης διαστήματος για την αντιμετώπιση των χαρακτηριστικών διαθεσιμότητας, βεβαιότητας και αποτελεσματικότητας ενός μοντέλου χωροθέτησης μιας υπηρεσίας έκτακτης ανάγκης (Kordjazi & Yakici, 2018).

Η προσομοίωση είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση της απόδοσης ενός συστήματος πραγματικού κόσμου και επίσης για το σχεδιασμό συστημάτων για την αντιμετώπιση μελλοντικών προβληματισμών (Blackwell & Kaufman, 2002). Επομένως, εκτός από τις τεχνικές βελτιστοποίησης, η προσομοίωση χρησιμοποιείται αποτελεσματικά από πολλούς ερευνητές σε προβλήματα χωροθέτησης. Συγκεκριμένα, η διακριτή προσομοίωση συμβάντων εφαρμόζεται στα παραδοσιακά πεδία της επιχειρησιακής έρευνας που αφορούν στη θεωρία ουρών και αποθέματος όπως η κατασκευή, η ασφάλεια, τα δίκτυα και οι αεροπορικές υπηρεσίες (Fu, 1994). Στην έρευνά του, ο Smith (2003) εμφανίζει μελέτες διακριτικής εφαρμογής προσομοίωσης συμβάντων σχετικά με την παραγωγή, που δημοσιεύθηκαν μεταξύ 1969 και 2002.

Οι Günal και Pidd (2010) δηλώνουν ότι υπάρχει αξιοσημείωτη αύξηση του αριθμού των εφαρμογών προσομοίωσης στην υγειονομική περίθαλψη την πρώτη δεκαετία του 21<sup>ου</sup> αιώνα και επανεξετάζονται οι πρόσφατες εφαρμογές προσομοίωσης σε συστήματα υγειονομικής περίθαλψης. Αξιολογούν κάθε μελέτη στη βιβλιογραφία ως προς τον τομέα εφαρμογής τους και κατηγοριοποιούν τις μελέτες σε έξι ομάδες ως ατυχήματα και καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, εγκαταστάσεις εσωτερικών ασθενών, κλινικές εξωτερικών ασθενών, άλλες νοσοκομειακές μονάδες, προσομοίωση ολόκληρου νοσοκομείου και άλλα σχετικά θέματα (Gunal & Pidd, 2010). Στη μελέτη τους, οι Ingolfsson, Erkut και Budge (2003) ανέπτυξαν μια διακριτή προσομοίωση συμβάντων για να αναλύσουν τα αποτελέσματα της αλλαγής των βαρδιών που καλύπτουν τα ασθενοφόρα από το σύστημα πολλαπλών εκκινήσεων στο σύστημα μιας εκκίνησης. Χρησιμοποιώντας ιστορικά δεδομένα εφαρμόζουν το μοντέλο για το βορειοδυτικό και το κεντρικό Έντμοντον του Δυτικού Καναδά (Ingolfsson, Erkut, & Budge, 2003). Οι Zhen, Wang, Hu και Chang (2014) εφαρμόζουν ένα διακριτό μοντέλο προσομοίωσης συμβάντων

για να αναλύσουν την επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα του σχεδίου ανάπτυξης ασθενοφόρων και μετεγκατάστασης σε μια στοχαστικό συμβάν (βαριά κυκλοφορία, απροσδόκητες αστοχίες/βλάβες και έλλειψη εφεδρικών καλύψεων εξ αιτίας) στο οποίο η ανταπόκριση στις κλήσεις κινδύνου όσο το δυνατόν γρηγορότερα είναι ο κύριος στόχος για το σύστημα υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης (Zhen, Wang, Hu, & Chang, 2014). Οι Wu και Hwang (2009) μελετούν επίσης το πρόβλημα της εύρεσης βέλτιστων στρατηγικών ανάπτυξης για ασθενοφόρα. Προτείνουν ένα διακριτό μοντέλο προσομοίωσης συμβάντων για την αξιολόγηση του συστήματος υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης της Tainan City, διατηρώντας παράλληλα ένα προκαθορισμένο επίπεδο υπηρεσίας ως απόκριση του 90% των κλήσεων εντός 9 λεπτών (Wu & Hwang, 2009). Οι Aboueljiane, Jemai και Sahin (2012) προσπαθούν να βελτιώσουν τον χρόνο απόκρισης του γαλλικού συστήματος υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης στο τμήμα Val-de-Marne. Αναπτύσσοντας ένα παρόμοιο μοντέλο, προσπαθούν να μειώσουν τρεις παράγοντες όπως ο χρόνος αναμονής, ο χρόνος ταξιδιού και ο χρόνος επεξεργασίας που καθορίζουν το χρόνο απόκρισης σε μια κλήση κινδύνου. Στη μελέτη τους, πειραματίζονται με την προσέγγισή τους με επτά σενάρια που εξετάζουν την επέκταση του στόλου πόρων, τη μετεγκατάσταση υφιστάμενων ομάδων και τη μείωση του χρόνου διεργασίας (Aboueljiane, Jemai, & Sahin, Reducing ambulance response time using simulation: The case of Val-De\_marne Department emergency medical service, 2012). Σε μια παρόμοια μελέτη, οι Aboueljiane, Sahin, Jemai και Marty (2014) χρησιμοποιούν προσομοίωση διακριτών συμβάντων σε πέντε διαφορετικές στρατηγικές συστήματος υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης με στόχο την παρακολούθηση των κλήσεων των ασθενών εντός 20 λεπτών (Aboueljiane, Sahin, Jemai, & Marty, 2014). Οι Wei Lam και συνεργάτες (2014) χρησιμοποίησαν την ίδια τεχνική για να βελτιώσουν τους χρόνους απόκρισης ασθενοφόρων στο σύστημα υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης της Σιγκαπούρη (Wei Lam, et al., 2014).

Ακολουθούν τρεις κύριες στρατηγικές που περιλαμβάνουν τα ασθενοφόρα μετεγκατάστασης, την προσθήκη ιδιωτικών ασθενοφόρων και την τροποποιημένη πολιτική αποστολής. Στη μια μελέτη, οι Nogueira, Pinto και Silva (2014) επικεντρώνονται στην ελαχιστοποίηση των χρόνων απόκρισης των συστημάτων

υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης με μια προσέγγιση βελτιστοποίησης και προσομοίωσης. Διατυπώνουν ένα μοντέλο πολυκριτηριακής βελτιστοποίησης για τον προσδιορισμό του σχεδίου χωροθέτησης ασθενοφόρων. Στη συνέχεια, χρησιμοποιούν το πρόγραμμα χωροθέτησης που λαμβάνεται από το μοντέλο βελτιστοποίησης ως αρχικό σχέδιο για το μοντέλο προσομοίωσης. Εφαρμόζουν τη μεθοδολογία τους στο σύστημα υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης στο Belo Horizonte της Βραζιλίας με έξι διαφορετικά σενάρια που εξετάζουν δυναμικές αλλαγές στον αριθμό ασθενοφόρων, βάσεων και νοσοκομείων (Nogueira, Pinto, & Silva, 2014).

Σε στρατιωτικό πλαίσιο, οι Parsons και Krause (1999) χρησιμοποιούν προσομοίωση διακριτών συμβάντων για να αξιολογήσουν τα λογιστικά ζητήματα των ΗΠΑ Marine Corps ενώ οι Burke, Love, Macal, Howard και Jackson (2000) αναπτύσσουν το μοντέλο προσομοίωσης Transportation System Capability (TRANSCAP) για την αντιμετώπιση του προβλήματος της ανάπτυξης στρατιωτικών βάσεων.

### **3.3 Μοντέλα Κέντρου για Υπηρεσίες Έκτακτης Ανάγκης**

Σε αντίθεση με τα μοντέλα P-median που επικεντρώνονται στη βελτιστοποίηση της συνολικής (ή μέσης) απόδοσης του συστήματος, το μοντέλο P-center προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει τη χειρότερη απόδοση του συστήματος και έτσι αντιμετωπίζει καταστάσεις στις οποίες η ανισότητα υπηρεσίας είναι πιο σημαντική από τον μέσο όρο απόδοση του συστήματος. Στη βιβλιογραφία, το μοντέλο P-center αναφέρεται επίσης ως το μοντέλο ελάχιστου, καθώς ελαχιστοποιεί τη μέγιστη απόσταση μεταξύ οποιουδήποτε σημείου ζήτησης και της πλησιέστερης εγκατάστασής του.

Το μοντέλο P-centre θεωρεί ότι ένα σημείο ζήτησης εξυπηρετείται από την πλησιέστερη εγκατάσταση και ως εκ τούτου επιτυγχάνεται πάντα η πλήρης κάλυψη σε όλα τα σημεία ζήτησης. Ωστόσο, σε αντίθεση με τα μοντέλα πλήρους κάλυψης, τα οποία μπορεί να οδηγήσουν σε υπερβολικό αριθμό εγκαταστάσεων, η πλήρης

κάλυψη στο μοντέλο P-center απαιτεί μόνο περιορισμένο αριθμό εγκαταστάσεων (P) (Revelle, Eiselt, & Daskin, 2008).

Το πρόβλημα μελετά το κέντρο ενός κύκλου που έχει τη μικρότερη ακτίνα και μπορεί να καλύπτει όλους τους επιθυμητούς προορισμούς. Προκειμένου να εντοπιστεί ένας συγκεκριμένος αριθμός εγκαταστάσεων έκτακτης ανάγκης κατά μήκος ενός οδικού δικτύου, οι Garfinkel et al. το 1977, εξέτασαν τις θεμελιώδεις ιδιότητες του προβλήματος P-center. Μοντελοποίησαν το πρόβλημα P-center χρησιμοποιώντας ακέραιο προγραμματισμό και το πρόβλημα επιλύθηκε επιτυχώς χρησιμοποιώντας μια τεχνική δυαδικής αναζήτησης και έναν συνδυασμό ακριβών δοκιμών και ευρετικών μεθόδων (Garfinkel, Neebe, & Rao, 1977). Οι Revelle και Hogan το 1989, διαμόρφωσαν ένα πρόβλημα P-center για τον εντοπισμό εγκαταστάσεων, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η μέγιστη απόσταση εντός της οποίας η υπηρεσία έκτακτης ανάγκης είναι διαθέσιμη με αξιοπιστία. Λαμβάνεται υπόψη η συμφόρηση του συστήματος και μια πιθανότητα ύπαρξης απασχολημένου διακομιστή που χρησιμοποιείται για τον περιορισμό του επιπέδου αξιοπιστίας της υπηρεσίας που πρέπει να ικανοποιείται για όλες τις απαιτήσεις (Revelle & Hogan, 1989).

Στοχαστικά μοντέλα P-center έχουν επίσης διαμορφωθεί για προβλήματα θέσης απόκρισης έκτακτης ανάγκης. Για παράδειγμα, οι Hochbaum και Pathria το 1998 θεώρησαν το πρόβλημα θέσης της εγκατάστασης έκτακτης ανάγκης που πρέπει να ελαχιστοποιήσει τη μέγιστη απόσταση στο δίκτυο σε όλες τις χρονικές περιόδους. Στο μοντέλο αυτό ο κόστος και η απόσταση μεταξύ των τοποθεσιών ποικίλλουν σε κάθε ξεχωριστή χρονική περίοδο (Hochbaum & Pathria, 1998).

### **3.4 Προβλήματα μοντελοποίησης - Αναλυτικότητα, απαιτήσεις δεδομένων και ισχύς**

Συχνά είναι δύσκολο και ακριβό να πειραματιστούμε με ένα πραγματικό σύστημα. Τα λάθη είναι δαπανηρά τόσο σε χρήμα όσο και σε πιθανή θνησιμότητα.

Η συλλογή δεδομένων για την επαλήθευση ενός καλού συστήματος μπορεί να χρειαστεί μήνες συλλογής δεδομένων. Αντί να πειραματίζονται στο πραγματικό σύστημα, οι επαγγελματίες της έρευνας στον τομέα των επιχειρήσεων κατασκευάζουν γενικά μοντέλα συστημάτων που μπορούν να εφαρμοστούν και να πειραματιστούν με έναν υπολογιστή. Με αυτόν τον τρόπο τα πιθανά σφάλματα του συστήματος εντοπίζονται στο μοντέλο πριν εφαρμοστούν στο πραγματικό σύστημα. Αξίζει γενικά το κόστος κατασκευής του μοντέλου, συλλογής δεδομένων και εκτέλεσης του μοντέλου σε αντίθεση με την προσπάθεια πειραματισμού στο πραγματικό σύστημα για τους λόγους που έχουν ήδη αναφερθεί. Επίσης αυτή είναι και η πρακτική που ακολουθείται, όταν το σύστημα ξεφεύγει σε μέγεθος και η διαχείρισή του είναι αδύνατη αλλιώς (Li, Zhao, Zhu, & Wyatt, 2011).

Όταν χρησιμοποιείτε ένα μοντέλο για να λάβετε αποφάσεις, υπάρχει σημαντική δουλειά που πρέπει να γίνει προτού ξεκινήσει οποιαδήποτε ανάλυση. Πρώτα πρέπει να δομήσουμε τη λεπτομέρεια του μοντέλου και να ορίσουμε ζώνες. Στη συνέχεια, συγκεντρώνει δεδομένα ζήτησης, υπηρεσίας και χρόνου μεταφοράς βάσει αυτής της δομής. Τρίτον, το μοντέλο εφαρμόζεται συνήθως σε κάποιο εξειδικευμένο λογισμικό. Τέλος, κάποιος επικυρώνει το μοντέλο για να πείσει τον υπεύθυνο λήψης αποφάσεων ότι το μοντέλο εξόδου έχει κάποια συσχέτιση με την έξοδο του πραγματικού συστήματος (Li, Zhao, Zhu, & Wyatt, 2011).

### **3.4.1 Λεπτομέρεια της δομής της ζώνης**

Η δομή ζώνης διαμορφώνεται συχνά με βάση την ευκολία του δημιουργού μοντέλων ή του συστήματος συλλογής δεδομένων. Δεδομένου ότι τα περισσότερα αστικά και προαστιακά πυροσβεστικά συστήματα ή ιατρικά συστήματα έκτακτης ανάγκης έχουν δεκάδες χιλιάδες κλήσεις ετησίως, είναι αδύνατο να μοντελοποιηθούν σε επίπεδο κλήσης. Αντ' αυτού, όλες οι κλήσεις σε μια "μικρή περιοχή" συγκεντρώνονται σε μία ζώνη. Ας εξετάσουμε τη συγκέντρωση στην παρακάτω Εικόνα 1. Εδώ, έχουμε 9 κλήσεις, μία σε κάθε ένα από τα εννέα μπλοκ

διευθύνσεων. Αντί να χρησιμοποιούμε αυτές τις μεμονωμένες τοποθεσίες, συγκεντρώνουμε όλες τις κλήσεις στο κέντρο των μπλοκ και αυτή είναι η ζώνη μας.

1	1	1
1	1	1
1	1	1

μεμονωμένα

	9	

ομαδοποιημένα

*Εικόνα 1 Συγκέντρωση συμβάντων και δημιουργία ζώνης*

Το πρόβλημα εδώ είναι ότι η εγκαιρότητα που μετριέται στο συγκεντρωτικό σύστημα μπορεί να υπερεκτιμά σε μεγάλο βαθμό την εγκαιρότητα του πραγματικού συστήματος. Εξετάζονται τα κριτήρια κάλυψης κλήσεων 8 λεπτών που χρησιμοποιούνται συνήθως σε συστήματα έκτακτης ανάγκης και γίνεται η υπόθεση ότι ένα μόνο όχημα βρίσκεται ακριβώς 7,5 λεπτά από το κέντρο των μπλοκ απευθείας προς τα δεξιά. Στο συνολικό πρόβλημα, όλες οι κλήσεις θα θεωρούνται καλυμμένες, καθώς το όχημα απέχει 7,5 λεπτά. Στο πραγματικό πρόβλημα, οι κλήσεις στην αριστερή στήλη και οι κλήσεις σε μπλοκ ακριβώς πάνω και κάτω από το κεντρικό μπλοκ ενδέχεται να μην καλύπτονται καθώς αυτές οι τιμές μεταφοράς μπορεί να είναι μεγαλύτερες από 7,5 λεπτά. Παρόμοια παραδείγματα που χρησιμοποιούν χρόνο μεταφοράς ή χρήση οχήματος, μπορούν εύκολα να κατασκευαστούν. Καθώς οι ζώνες γίνονται μικρότερες, οι ανακρίβειες λόγω της συσσώρευσης γίνονται επίσης μικρότερες (Hillsman & Rhoda, 1978).

Μπορούν να οριστούν τρεις συγκεκριμένοι τύποι σφαλμάτων:

- Σφάλματα κατά τη μέτρηση της απόστασης για την κάθε κλήση, καθώς η αρχική τοποθεσία της κλήσης σχεδόν ποτέ δεν είναι η θέση των συγκεντρωτικών κλήσεων
- Σφάλματα στη μέτρηση απόστασης λόγω της μη γνώσης της πραγματικής τοποθεσίας όταν ένα όχημα ή εγκατάσταση βρίσκεται σε συγκεντρωτική ζώνη.
- Σφάλματα κατά την αποστολή λόγω μη γνώσης της σωστής απόστασης από οχήματα ή βάσεις έως κλήσεις σε συγκεντρωτικές ζώνες.

Καθώς η υπολογιστική ισχύς αυξάνεται και τα μεγαλύτερα μοντέλα μπορούν να διαμορφωθούν και να επιλυθούν, απαιτείται λιγότερη συγκέντρωση και αυτό το πρόβλημα καθίσταται λιγότερο κρίσιμο. Προς το παρόν, η συγκέντρωση μπορεί να προκαλέσει προβλήματα σε μοντέλα που χρησιμοποιούν στόχους κάλυψης ή χρόνου μεταφοράς (Hogan & Revelle, 1986).

Ένα κρίσιμο ζήτημα στον εντοπισμό οχημάτων αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης είναι η διαθεσιμότητα δεδομένων. Η συλλογή και ανάλυση των διαθέσιμων δεδομένων επισημαίνει ένα από τα κύρια προβλήματα του συστήματος. Τα μοντέλα πρέπει να διατυπώνονται με τέτοιο τρόπο ώστε να χρησιμοποιούν μόνο δεδομένα που μπορούν να συλλεχθούν και πρέπει να είναι ισχυρά, με την έννοια ότι το σύστημα που σχεδιάστηκε από το μοντέλο δεν πρέπει να είναι πολύ ευαίσθητο σε μικρά σφάλματα δεδομένων. Από την άλλη πλευρά, τα μαθηματικά μοντέλα προγραμματισμού σχεδόν πάντα απαιτούν λιγότερο ολοκληρωμένα δεδομένα για τον προσδιορισμό των απαραίτητων παραμέτρων. Επιπλέον, τα μοντέλα βελτιστοποίησης που βασίζονται σε μεμονωμένους ή λίγους στόχους χρησιμοποιούν μια πιο απλοποιημένη άποψη της πραγματικότητας.

Η ικανότητα πρόβλεψης της ζήτησης είναι υψίστης σημασίας. Η τυπική προσέγγιση είναι να μετρηθεί η ζήτηση για κάθε ζώνη για κάποια χρονική περίοδο (ένα έτος ή έξι μήνες) και στη συνέχεια να υποθέσουμε ότι η μελλοντική ζήτηση θα συμπεριφέρεται παρόμοια με την προηγούμενη ζήτηση. Ομοίως περιλαμβάνει τόσο την ποσότητα όσο και τη χωρική ομοιότητα. Ακόμα και όταν η ποσότητα της

ζήτησης αλλάξει στο μέλλον, αυτό γίνεται συνήθως με αναλογικό τρόπο, με αποτέλεσμα το μοντέλο να προσαρμόζεται (Revelle C. , 1993).

### **3.4.2 Εγκυρότητα του μοντέλου**

Η εγκυρότητα του μοντέλου αναφέρεται στην ικανότητα του μοντέλου να προβλέπει την έξοδο και να λαμβάνει αποφάσεις που θα λειτουργούν όπως και οι προβλεπόμενες στο πραγματικό σύστημα. Αυτό είναι ένα βασικό βήμα στη διαδικασία μοντελοποίησης. Εάν το μοντέλο δεν κάνει έγκυρες προβλέψεις, τότε το μοντέλο θα έχει ελάχιστη ή καθόλου αξία στο σύνολο του έργου. Σε αυτήν την περίπτωση θα πρέπει να γίνουν αλλαγές και να τρέξει εκ νέου ένας γύρος δοκιμών του μοντέλου.

Σχεδόν όλα τα μοντέλα έχουν "φαινομενική εγκυρότητα" όπου το μοντέλο φαίνεται λογικό για τον περιστασιακό παρατηρητή. Το επόμενο επίπεδο είναι "εγκυρότητα αναπαραγωγής". Εδώ, ο αναλυτής εισάγει δεδομένα για την προηγούμενη λειτουργία του πραγματικού συστήματος και το μοντέλο επαναλαμβάνει τη λειτουργία του συστήματος, συμπεριλαμβανομένων:

- Προβλέποντας κάλυψη και χρόνο μεταφοράς κοντά σε εκείνους που πραγματοποιούνται στο πραγματικό σύστημα
- Λήψη των ίδιων αποφάσεων αποστολής με το πραγματικό σύστημα.
- Προβλέποντας τη χρήση του οχήματος κοντά σε αυτήν που πραγματοποιήθηκε στο πραγματικό σύστημα.

Το τελικό επίπεδο είναι "εγκυρότητα πρόβλεψης" όπου ο αναλυτής εισάγει δεδομένα για ένα μελλοντικό σύστημα και το μοντέλο προβλέπει πώς θα συμπεριφέρεται το μελλοντικό σύστημα. Συχνά η μελλοντική ισχύς δεν μπορεί να προσδιοριστεί πλήρως έως ότου εφαρμοστεί το σύστημα. Ως εκ τούτου, εάν το μοντέλο έχει ισχύ προσώπου και αναπαραγωγής, τότε ο υπεύθυνος λήψης



αποφάσεων είναι γενικά πεπεισμένος για την ποιότητα της παραγωγής του μοντέλου (Cerqueira, 2018).

## 4 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS)

Κατά τα τελευταία τριάντα χρόνια, τα GIS έχουν γίνει δημοφιλής και χρησιμοποιούνται από πολλούς διαφορετικούς τομείς όπως επιχειρήσεις, πανεπιστήμια και κυβερνήσεις. Ο λόγος χρήσης ενός τέτοιου συστήματος είναι ότι το GIS είναι σε θέση να αναλύει τόσο χωρικά όσο και μη χωρικά δεδομένα. Είναι επίσης ένα ισχυρό και αποτελεσματικό μέσο για (Harvey, 2008):

- i) λήψη αποφάσεων χωροθέτησης ειδικά για δυναμικές και περίπλοκες συνθήκες,
- ii) εύρεση της καλύτερης τοποθεσίας,
- iii) εύρεση του καλύτερου τρόπου μετάβασης από τη μια τοποθεσία στην άλλη,
- iv) βελτιστοποίηση της χρήσης όλων των διαθέσιμων πόρων που υπάρχουν στο εκάστοτε σύστημα

Το GIS μπορεί να οριστεί ως μια οργανωμένη συλλογή υλισμικού, λογισμικού, γεωγραφικών δεδομένων και προσωπικού που έχει σχεδιαστεί για να συλλαμβάνει αποτελεσματικά, να αποθηκεύει, να ενημερώνει, να χειρίζεται, να αναλύει και να εμφανίζει όλες τις μορφές πληροφοριών με γεωγραφική αναφορά για την υποστήριξη της λήψης γεωγραφικών αποφάσεων. Αυτό το ισχυρό εργαλείο χρησιμοποιείται ιδιαίτερα σε πολλές ερευνητικές εγκαταστάσεις και γραφεία για την ανάλυση και διαχείριση πόρων (Harvey, 2008). Αξίζει να σημειωθεί ότι η επιστήμη της χωροθέτησης έχει προχωρήσει με τη χρήση εξελιγμένων μαθηματικών μοντέλων που συνδυάζουν το χωρικό πρόβλημα και με τη χρήση καινοτόμων τεχνικών βελτιστοποίησης (Murray, 2010). Επίσης, έχει χρησιμοποιηθεί λογισμικό βελτιστοποίησης γενικού σκοπού για την υποστήριξη της προόδου στην ανάπτυξη και εφαρμογή μοντέλων. Επιπλέον, έχουν προκύψει τεχνικές ευρετικών λύσεων που οδηγούν στην επίλυση πιο πολύπλοκων συστημάτων σε εύλογο χρόνο

επεξεργασίας. Ωστόσο, όλες οι παραπάνω μέθοδοι δεν είναι σε θέση να χειριστούν χωρικά δεδομένα και επιπλέον, σήμερα πιο πραγματικές αλληλεπιδράσεις στον κόσμο ενσωματώνονται στα μαθηματικά προβλήματα βελτιστοποίησης που αυξάνουν την πολυπλοκότητά του (Murray, 2010). Επομένως, υπάρχει ανάγκη χρήσης πιο προηγμένων εργαλείων όπως το GIS για την ακριβή επίλυση τέτοιων πολύπλοκων προβλημάτων.

Όπως δήλωσε ο Murray (2010) «μεγάλο μέρος της προόδου του μοντέλου στην επιστήμη της τοποθεσίας μπορεί να συνδεθεί άμεσα ή έμμεσα με την ωρίμανση των GIS». Στην μελέτη του, ο Murray (2010) συζήτησε πώς το GIS αναπτύσσει την ανάλυση και τη μοντελοποίηση της επιστήμης της τοποθεσίας. Αναφέρει λεπτομερώς ότι το GIS χρησιμοποιείται στις επιστήμες χωροθέτησης κυρίως σε τρεις λειτουργίες:

- i) είσοδος μοντέλου: όπου το GIS έχει υποστηρίξει τις επιστήμες τοποθεσίας εξάγοντας συντεταγμένες τοποθεσίας και τα χαρακτηριστικά του να βρίσκονται σε μοντέλα τοποθεσίας,
- ii) οπτικοποίηση: όπου επιτυγχάνεται καλύτερη κατανόηση του μοντέλου, των αντικειμενικών του, των γεωγραφικών χώρων, ακόμη και του αποτελέσματος του μοντέλου και, συνεπώς, προσδιορίζεται εάν η λύση έχει νόημα ή όχι
- iii) Το GIS βοηθά στην επίλυση προβλημάτων όπου ένα πρόβλημα τοποθεσίας θα μπορούσε να επιλυθεί μόνο με τη χρήση του GIS ή μέσω του συνδυασμού άλλων προσεγγίσεων μοντελοποίησης.

Το GIS έχει επίσης χρησιμοποιηθεί από τους Rodrigues, et al. (2012) ως πηγή δεδομένων εισαγωγής και παρουσίασης των αποτελεσμάτων του μοντέλου (Rodrigues, Tralhao, & Almeida, 2012). Επίσης οι Vega και συνεργάτες (2011) χρησιμοποίησαν GIS για να βελτιώσουν τις παραδοσιακές μεθόδους λύσης απορρίπτοντας οποιαδήποτε τοποθεσία που είναι μικρότερη από τα καθορισμένα όρια ή που δεν πληροί συγκεκριμένα κριτήρια (Vega, Penate, & Gonzalez, 2012).

## 5 Περιγραφή - Ανάλυση της εταιρείας “Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου Α.Ε.”

Η Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου Α.Ε. συστάθηκε με αποκλειστικό αντικείμενο τη σύναψη σύμβασης με το ελληνικό κράτος ως εταιρία παραχώρησης. Η σύμβαση παραχώρησης υπογράφηκε τον Ιούνιο του 2007 με το ελληνικό δημόσιο για τη μελέτη, κατασκευή ,χρηματοδότηση ,λειτουργία ,συντήρηση και εκμετάλλευση του συγκεκριμένου τμήματος αυτοκινητοδρόμου και αποτελεί μία από τις συμβάσεις παραχώρησης που σύναψε το ελληνικό δημόσιο με ιδιωτικά πολυμετοχικά σχήματα για τους οδικούς άξονες της χώρας .Η διάρκεια παραχώρησης του έργου είναι 30 χρόνια από την ημερομηνία έναρξης παραχώρησης. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι ο οδικός άξονας διαπερνά μεγάλο μέρος της ραχοκοκαλιάς της ηπειρωτικής Ελλάδας, έχει στρατηγική τοποθεσία γιατί είναι κομμάτι του άξονα που ενώνει τις δύο σημαντικότερες πόλεις της Ελλάδας Αθήνα και Θεσσαλονίκη και κατά συνέπεια δέχεται ένα τεράστιο κομμάτι επιβατικού και εμπορευματικού φορτίου καθημερινά. Το τμήμα «Μαλιακός-Κλειδί διέρχεται από 3 περιφέρειες ,Στερεάς Ελλάδας, Θεσσαλίας και Κεντρικής Μακεδονίας ,διαπερνά 5 νομούς ,Φθιώτιδας ,Μαγνησίας ,Λάρισας ,Πιερίας, Ημαθίας και 10 δήμους ,Στυλίδας, Αλμυρού, Ρήγα Φεραίου, Βόλου, Κιλελέρ, Τεμπών, Δίου-Ολύμπου, Κατερίνης, Πύδνας-Κολινδρού, Αλεξάνδρειας.

Η εταιρία με την έναρξη της λειτουργίας της ανέλαβε ,την ανακατασκευή και αναβάθμιση ου υφιστάμενου αυτοκινητοδρόμου και τμήματος της παλαιάς εθνικής οδού από Ράχες νομού Φθιώτιδας έως και Κλειδί νομού Ημαθίας, την κατασκευή του νέου τμήματος αυτοκινητοδρόμου μήκους 24,5 χιλιομέτρων από τον Ευαγγελισμό του νομού Λάρισας έως τη Σκοτίνα του νομού Πιερίας το οποίο περιλαμβάνει μεταξύ άλλων 3 δίδυμες σήραγγες και 19 δίδυμες γέφυρες. Η κατασκευή των νέων τμημάτων ολοκληρώθηκε το Μάρτιο του 2017 και δόθηκε σε κυκλοφορία στις 7/4/2017,την κατασκευή και λειτουργία 5 νέων σταθμών εξυπηρέτησης αυτοκινητιστών, κατασκευή 3 νέων κόμβων, τον βόρειο κόμβο Κατερίνης, το κόμβο Κορινού, και το κόμβο Αιγινίου, την εγκατάσταση πλήρως εξοπλισμένου κέντρου διαχείρισης αυτοκινητοδρόμου για τη λειτουργία των 3

δίδωμων σηράγγων και της υπόγειας διάβασης Κατερίνης συνολικού μήκους 11,8 χιλιομέτρων, του ανοιχτού αυτοκινητοδρόμου μήκους 217,6 χιλιομέτρων, της παλαιάς εθνικής οδού(Π.Ε.Ο) μήκους 34,5 χιλιομέτρων, την εγκατάσταση 2 πλήρως εξοπλισμένων και στελεχωμένων κέντρων λειτουργίας και συντήρησης και 2 τεχνικών βάσεων για τη συντήρηση της συνολικής οδού σύμφωνα με τις διεθνείς προδιαγραφές ασφαλείας και την εγκατάσταση και λειτουργία σύγχρονων σταθμών διοδίων για η συμβατική εκμετάλλευση της οδού.

Η Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου Α.Ε. διαχειρίζεται το τμήμα αυτοκινητοδρόμου της Π.Α.Θ.Ε.( Πάτρα- Αθήνα-Θεσσαλονίκη-Εύζωνοι) από τις Ράχες του νομού Φθιώτιδας(Χ.Θ. 242+079) έως το Κλειδί του νομού Ημαθίας(Χ.Θ. 471+470) οπότε ένα σύνολο 229,40 χιλιομέτρων και επιπλέον το τμήμα της Π.Ε.Ο(Παλαιά Εθνική Οδός) από τον Ι/Κ Ευαγγελισμού (Ισόπεδο κόμβο Ευαγγελισμού) έως τον Ι/Κ Λεπτοκαρυάς συνόλου 34,30 χιλιομέτρων, που είναι το παλιό κομμάτι της εθνικής οδού που διερχόταν από τη κοιλάδα των Τεμπών.

### 5.1 Τοποθεσίες και έδρα

Η έδρα της Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου βρίσκεται στη Λάρισα και συγκεκριμένα στο Μοσχοχώρι Λάρισας. Οι τοποθεσίες κατά μήκος του αυτοκινητοδρόμου από την αρχή του έργου έως και το πέρας του όπου διατηρούνται εγκαταστάσεις είναι:

- Σταθμός διοδίων Πελασγίας (Χ.Θ. 252+030)
- Τεχνική βάση Δρυμώννα(Χ.Θ. 273+540)
- Κεντρικά γραφεία Μοσχοχωρίου (Χ.Θ. 338+450)
- Κέντρο λειτουργίας και συντήρησης Μοσχοχωρίου (Χ.Θ. 338+450)
- Κέντρο διαχείρισης αυτοκινητοδρόμου Μοσχοχωρίου (Χ.Θ. 338+450)
- Τεχνική διεύθυνση Μοσχοχωρίου (Χ.Θ. 338+450)
- Σταθμός διοδίων Μοσχοχωρίου (Χ.Θ. 338+450)
- Σταθμός διοδίων Μακρυχωρίου (Χ.Θ. 374+320)

- Σταθμός διοδίων Πυργετού (Χ.Θ. 393+100 ΠΕΟ)
- Κέντρο λειτουργίας και συντήρησης Λεπτοκαρυάς(Χ.Θ. 409+110)
- Σταθμός διοδίων Λεπτοκαρυάς (Χ.Θ. 409+110)
- Τεχνική βάση Κορινού(Χ.Θ. 444+400)
- Σταθμός διοδίων Κλειδιού(Χ.Θ. 466+840)

Στις εγκαταστάσεις αυτές προστίθενται και οι εγκαταστάσεις πλευρικών σταθμών διοδίων κατά μήκος του αυτοκινητοδρόμου όπως επίσης άξιοι αναφοράς είναι οι Σταθμοί εξυπηρέτησης αυτοκινητιστών (Σ.Ε.Α) και ειδικότερα οι θέσεις τους είναι οι εξής :

- Σ.Ε.Α Αλμυρού (Α,Θ): Χ.Θ. 271+300
- Σ.Ε.Α Νίκαιας (Α,Θ): Χ.Θ. 344+400
- Σ.Ε.Α Ευαγγελισμού (Α,Θ): Χ.Θ. 375+500
- Σ.Ε.Α Σκοτίνας (Α,Θ): Χ.Θ. 408+000
- Σ.Ε.Α Κορινού (Α,Θ): Χ.Θ. 444+800

Είναι σημαντικό να αποτυπώνονται οι χιλιομετρικές θέσεις κάθε εγκατάστασης, γιατί έτσι είναι εφικτό να δημιουργηθεί μία στοιχειώδης αποτύπωση του πώς είναι απλωμένες πάνω στο έργο.

## 5.2 Στοιχεία λειτουργίας

Η Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου Α.Ε. λειτουργεί σε 24ωρη βάση ,365 ημέρες το χρόνο παρέχοντας στους χρήστες της οδού υψηλό επίπεδο υπηρεσιών κατά τη μετακίνησή τους. Οι παρεχόμενες υπηρεσίες απευθύνονται σε όλους εκείνους που διέρχονται από τον αυτοκινητόδρομο εν συντομία «Μαλιακός-Κλειδί».

Ας δούμε κάποια μεγέθη σε αριθμούς σχετικά με τον αυτοκινητόδρομο Αιγαίου και την κυκλοφορία πάνω στον δρόμο. Κατά το έτος 2018 πραγματοποιήθηκαν συνολικά 22.770.862 διελεύσεις από τους σταθμούς διοδίων της εταιρίας εκ των

οποίων οι 17.403.984 ήταν διελεύσεις κατηγοριών 01 και 02 δηλαδή δίτροχα(μοτοσυκλές) και Ι.Χ. αντίστοιχα ,ενώ οι 5.366.878 αφορούσαν διελεύσεις κατηγοριών 03 και 04 δηλαδή φορτηγά και νταλίκες αντίστοιχα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η ημερήσια κυκλοφορία κατά το έτος 2018 ανήλθε σε 11.250 διελεύσεις. Η εταιρία για να διατηρεί το υψηλό επίπεδο λειτουργίας και να παρέχει ασφάλεια στους χρήστες της οδού παρέχει τις εξής υπηρεσίες :

- Διαχείριση κυκλοφορίας
- Ανίχνευση και διαχείριση συμβάντων
- Τακτική συντήρηση του αυτοκινητοδρόμου, ελαφριά συντήρηση για τη διασφάλιση της ομαλής λειτουργίας του αυτοκινητοδρόμου
- Χειμερινή συντήρηση και αποχιονισμός
- Βαριά συντήρηση με αντικατάσταση και αναβάθμιση στοιχείων του αυτοκινητοδρόμου
- Διαχείριση διελεύσεων υπερμεγεθών οχημάτων
- Λειτουργία πλήρως εξοπλισμένων Σ.Ε.Α.
- Διαχείριση παραπόνων
- Διευκόλυνση διελεύσεων ΑΜΕΑ
- Υπηρεσίες συλλογής διοδίων τελών

Οι κύριες υπηρεσίες με τις οποίες θα ασχοληθούμε και θα αναλύσουμε στη παρούσα εργασία είναι η διαχείριση της κυκλοφορίας και κυρίως η ανίχνευση και διαχείριση συμβάντων.

### 5.3 Εποπτεία του αυτοκινητοδρόμου

Για την αποτελεσματικότερη διαχείριση του αυτοκινητοδρόμου και εξασφάλιση καλύτερης εποπτείας το έργο έχει χωριστεί γεωγραφικά και διοικητικά σε δύο τομείς ,ο ένας με έδρα το Μοσχοχώρι και ο άλλος με έδρα τη Λεπτοκαρυά .Ο τομέας με έδρα το Μοσχοχώρι εκτείνεται από το νότιο όριο του έργου στις Ράχες Φθιώτιδας (Χ.Θ. 242+079) έως το κόμβο Ευαγγελισμού (Χ.Θ. 377+180 ). Ο τομέας με

έδρα τη λεπτοκαρυά εκτείνεται από τον κόμβο Ευαγγελισμού έως και το βόρειο όριο του έργου στο Κλειδί Ημαθίας(Χ.Θ. 471+470).

Στο τομέα με έδρα τη Λεπτοκαρυά ανήκει η σήραγγα Κατερίνης, το τμήμα της Π.Ε.Ο ενώ εκεί εντάσσεται και το νέο τμήμα του αυτοκινητοδρόμου με τις τρεις μεγάλες σήραγγες ,δύο στα Τέμπη και μία στο Πλαταμώνα.

Πρωτεύοντα ρόλο στην εποπτεία του αυτοκινητοδρόμου ασκεί το κέντρο διαχείρισης αυτοκινητοδρόμου(Κ.Δ.Α),το οποίο λειτουργεί 24 ώρες το 24ωρο ,365 ημέρες το χρόνο με σκοπό την εξυπηρέτηση αναγκών λειτουργίας του αυτοκινητοδρόμου. Το ΚΔΑ βρίσκεται στο κέντρο λειτουργίας και συντήρησης στο Μοσχοχώρι Λάρισας ,μπορεί να διαχειριστεί καθένα από τα 15000 περίπου συμβάντα που λαμβάνουν χώρα στον αυτοκινητόδρομο κάθε χρόνο μείζονος ή ελάσσονος σημασίας. Αντικειμενικοί στόχοι του ΚΔΑ είναι η ασφαλής και σε υψηλό επίπεδο εξυπηρέτηση των χρηστών του αυτοκινητοδρόμου ,η ομαλή και ανεμπόδιστη διεξαγωγή της κυκλοφορίας και η άμεση και αποτελεσματική ανταπόκριση σε έκτακτες και επείγουσες καταστάσεις .

Η Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου διαθέτει και ένα εφεδρικό πλήρως εξοπλισμένο ΚΔΑ στις εγκαταστάσεις της εταιρίας στο ΚΛΣ Λεπτοκαρυάς το οποίο βρίσκεται σε ετοιμότητα να αναλάβει τη διαχείριση του αυτοκινητοδρόμου σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Το ΚΔΑ συντονίζει όλα τα εμπλεκόμενα μέρη για την αντιμετώπιση των συμβάντων με τη λειτουργία ενός ενοποιημένου συστήματος διαχείρισης αυτοκινητοδρόμου που επιτρέπει τον έλεγχο λειτουργίας και την παρακολούθηση της κυκλοφορίας του αυτοκινητοδρόμου σε πραγματικό χρόνο. Το σύστημα αυτό αποτελείται από τον εξοπλισμό διαχείρισης του ανοιχτού αυτοκινητοδρόμου και τον εξοπλισμό διαχείρισης των σιηράγγων του έργου. Ειδικότερα ο εξοπλισμός του είναι:

- Κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης
- Τηλέφωνα εκτάκτου ανάγκης
- Σύστημα συλλογής κυκλοφοριακών δεδομένων
- Πινακίδες μεταβλητών μηνυμάτων
- Πινακίδες κυκλοφοριακής συμφόρησης

- Πινακίδες ελέγχου λωρίδας κυκλοφορίας
- Πινακίδες μεταβλητού ορίου ταχύτητας
- Σύστημα ανίχνευσης υπέρυψου οχήματος
- Μπάρες ελέγχου κυκλοφορίας
- Μετεωρολογικούς σταθμούς
- Παρακολούθηση εταιρικού στόλου οχημάτων
- Σύστημα εποπτικού ελέγχου και καταγραφής δεδομένων (SCADA)
- Σύστημα αυτόματου εντοπισμού συμβάντος
- Φωτεινή σηματοδότηση
- Σύστημα εξαερισμού
- Σύστημα φωτισμού
- Σύστημα πυρανίχνευσης

Φυσικά εκτός από τα τεχνολογικά συστήματα με τα οποία η εταιρία εποπτεύει το δρόμο για να είναι έτοιμη να ανταποκριθεί σε οποιοδήποτε συμβάν εποπτικό ρόλο έχουν και οι περιπολίες που γίνονται σε όλο το μήκος του δρόμου 24 ώρες το 24ωρο ,365 ημέρες το χρόνο με ειδικά εξοπλισμένες ομάδες και οχήματα που αναλαμβάνουν ενέργειες στο πεδίο μόλις το κέντρο διαχείρισης κυκλοφορίας αντιληφθεί πως ένα συμβάν είναι σε εξέλιξη.

Συντονιστικό ρόλο στις περιπολίες έχει το ΚΔΑ, οπότε σε ένα συμβάν που θα γίνει πάνω στον αυτοκινητόδρομο το περίπολο είναι αυτό που θα φτάσει στο πεδίο και άρα για να υπάρχει άμεση ανταπόκριση και γρήγορη κάλυψη του σημείου του συμβάντος ,περιορισμός των δυσμενών επιπτώσεων με στόχο τη βέλτιστη εξυπηρέτηση του χρήστη θα πρέπει το περίπολο να φτάσει έγκαιρα και για να καλύψει το συμβάν. Η χωροθέτηση των οχημάτων περιπολίας ως σήμερα γίνεται με χιλιομετρική κατανομή των περιπόλων όπως θα δούμε και παρακάτω. Είναι όμως αυτός ο σωστός τρόπος κατανομής των περιπόλων ανα τομέα ώστε το κάθε περίπολο να φτάνει έγκαιρα στο κάθε συμβάν που λαμβάνει χώρα;



#### 5.4 Αριθμητικά στοιχεία περιπολίας-συμβάντων

Εντός του 2018 πραγματοποιήθηκε συντονισμένα από το ΚΔΑ μέσω των περιπόλων επέμβαση σε 14906 συμβάντα όπου το 44% (6.477) περίπου αυτών αφορούσε παροχή βοήθειας σε ακινητοποιημένο όχημα. Τα τροχαία ατυχήματα αποτέλεσαν το 2,5% (317) των συμβάντων ,ποσοστό μικρό αλλά μείζονος σημασίας για την κρισιμότητα της κατάστασης και την ανάγκη άμεσης ανταπόκρισης.

Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι το 43,6% (6.493) των συμβάντων ανιχνεύτηκαν μέσω των περιπόλων και του προσωπικού της εταιρίας ενώ το 31,6 % αυτών ανιχνεύτηκε μέσω του αριθμού έκτακτης ανάγκης 1075.Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό που αξίζει να τονιστεί είναι ότι κατά το έτος 2018 ο μέσος χρόνος ανταπόκρισης της εταιρίας συμβάντα δηλαδή το να φτάσει το όχημα περιπολίας στο συμβάν ανήλθε στα 24 λεπτά ενώ ο μέσος χρόνος αποκατάστασης συμβάντος(από τη στιγμή ανίχνευσης έως αποκατάσταση κυκλοφορίας) ανήλθε στα 68 λεπτά .

#### 5.5 Χωρική ανάλυση περιπολίας στον αυτοκινητόδρομο - Υπάρχουσα κατάσταση

Για την υπηρεσία της ανίχνευσης και διαχείρισης συμβάντων από το κέντρο διαχείρισης κυκλοφορίας και την εν συνεχεία καλύτερη αντιμετώπισή τους σημαντικό ρόλο παίζουν οι περιπολίες που γίνονται στον αυτοκινητόδρομο καθ' όλο το 24ωρο.Για την αποτελεσματικότερη διαχείριση του αυτοκινητοδρόμου και τη καλύτερη διαχείριση των συμβάντων το έργο έχει χωριστεί γεωγραφικά και διοικητικά σε δύο τομείς ,ο ένας με κέντρο το Μοσχοχώρι και κέντρο λειτουργιών το κέντρο λειτουργίας και συντήρησης Μοσχοχωρίου (χλμ 338+450) και ο άλλος με έδρα τη Λεπτοκαρυά και κέντρο λειτουργίας το κέντρο λειτουργίας και συντήρησης Λεπτοκαρυάς (χλμ 409+110).Η διαθεσιμότητα των περιπόλων είναι 3 περίπολα ανά τομέα κατά την πρωινή(06:00-14:00) και απογευματινή βάρδια(14:00-22:00) και 2 περίπολα ανα τομέα κατά την νυχτερινή βάρδια (22:00-06:00).Σε κάθε τομέα τα μέρη που αποτελούν βάσεις για τα περίπολα είναι σταθερά και έχουν καθοριστεί με

τέτοιο τρόπο ώστε τα όρια ευθύνης των περιπολιών να είναι περίπου τα ίδια χιλιομετρικά δηλαδή το κάθε περίπολο να καλύπτει μία συγκεκριμένη χιλιομετρικά γεωγραφική περιοχή.

Για το λόγο αυτό σε κάθε τομέα (Νότιος τομέας με το ΚΛΣ Μοσχοχωρίου και βόρειος τομέας με το ΚΛΣ Λεπτοκαρυάς επειδή είναι αδύνατο το περίπολο που βγαίνει από εκεί να καλύψει όλη την γεωγραφική περιοχή χιλιομετρικά του τομέα ευθύνης του ) υπάρχει ένα δεύτερο μικρότερο κέντρο λειτουργίας και συντήρησης ώστε να μπορεί να καλύπτεται βέλτιστα η περιοχή ευθύνης του κάθε περιπόλου και να υπάρχει άμεση ανταπόκριση στα συμβάντα που γίνονται στη περιοχή ευθύνης. Έτσι στο νότιο τομέα υπάρχει η τεχνική βάση Δρυμώνα(χλμ 273+540) και στο βόρειο τομέα υπάρχει η τεχνική βάση Κορινού (χλμ 444+400).Επίσης με τη παράδοση των τριών δίδυμων σηράγγων στη περιοχή των Τεμπών και του Πλαταμώνα ήταν επιτακτική η ανάγκη συνεχούς παρουσίας περιπόλων σε αυτές καθ όλη την διάρκεια του 24ώρου ,γιατί είναι ένα κομμάτι αυτοκινητοδρόμου ιδιαίτερα απαιτητικό όπου το κάθε συμβάν πρέπει να αντιμετωπιστεί γρήγορα και αποτελεσματικά οπότε κάθε τομέας έχει εγκαταστήσει από ένα περίπολο στην αρχή των σηράγγων( ο τομέας με έδρα το ΚΛΣ Μοσχοχωρίου στα ΣΕΑ Ευαγγελισμού με κατεύθυνση τη Θεσσαλονίκη και ο τομέας με έδρα το ΚΛΣ Λεπτοκαρυάς στα ΣΕΑ Σκοτίνας με κατεύθυνση την Αθήνα όπου υπάρχει περίπολο όλο το 24ωρο με μοναδική ευθύνη να εποπτεύουν τις σήραγγες).

Να ξεκαθαρίσουμε πως τα περίπολα δεν είναι στατικά αλλά έχουν τα συγκεκριμένα μέρη ως βάση τους. Ας δούμε τα περίπολα κάθε τομέα αναλυτικά με τα όρια ευθύνης του κάθε ένα ξεχωριστά. Ας ξεκινήσουμε με τον νότιο τομέα με έδρα το ΚΛΣ Μοσχοχωρίου. Το περίπολο που έχει έδρα το ΚΛΣ Μοσχοχωρίου έχει περιοχή ευθύνης το κομμάτι του αυτοκινητοδρόμου από τον κόμβο Ευαγγελισμού (Χ.Θ 377+180) έως το κόμβο Αερινού(Χ.Θ. 304+708).Το περίπολο που έχει έδρα τη τεχνική βάση Δρυμώνα έχει περιοχή ευθύνης το κομμάτι του αυτοκινητοδρόμου από το κόμβο Αερινού (Χ.Θ. 304+708 ) έως την αρχή του έργου νότια δηλαδή το κόμβο Ραχών(Χ.Θ. 242+079).Επίσης το περίπολο που εποπτεύει τις σήραγγες έχει

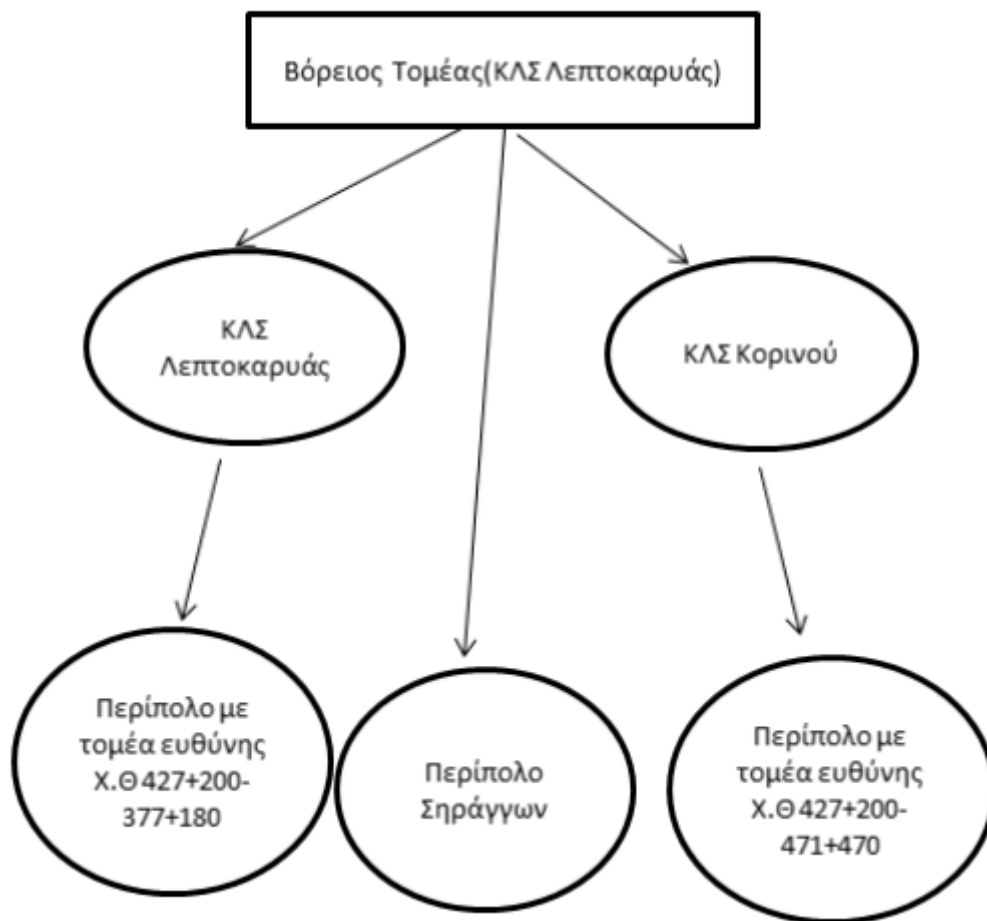
περιοχή ευθύνης το κομμάτι του αυτοκινητοδρόμου που εκτείνεται από τα διόδια Μακρυχωρίου (Χ.Θ. 374+315) έως τα διόδια της Λεπτοκαρυάς (Χ.Θ. 409+110).

Στο βόρειο τομέα αντίστοιχα με έδρα το ΚΛΣ Λεπτοκαρυάς ,το περίπλο που έχει έδρα το ΚΛΣ Λεπτοκαρυάς έχει περιοχή ευθύνης το κομμάτι του αυτοκινητοδρόμου από τον κόμβο Ευαγγελισμού(Χ.Θ. 377+180) έως το κόμβο της Ν. Εφέσου (Χ.Θ. 427+203) καθώς και το κομμάτι της παλαιάς εθνικής οδού (Π.Ε.Ο) που διερχόταν από τη κοιλάδα των Τεμπών συνόλου 34,4 χιλιομέτρων. Το περίπλο που έχει έδρα τη τεχνική βάση Κορινού έχει περιοχή ευθύνης το κομμάτι του αυτοκινητοδρόμου από τον κόμβο της Ν. Εφέσου(Χ.Θ. 427+203) έως το πέρας του έργου βόρεια στη περιοχή του Κλειδιού του νομού Ημαθίας (Χ.Θ. 471+470).Επίσης το περίπλο που εποπτεύει τις σήραγγες έχει περιοχή ευθύνης ίδια με το αντίστοιχο περίπλο που ανήκει στο νότιο τομέα δηλαδή το κομμάτι του αυτοκινητοδρόμου που εκτείνεται από τα διόδια Λεπτοκαρυάς (Χ.Θ. 409+110) έως τα διόδια Μακρυχωρίου (Χ.Θ. 374+315).

Σχηματικά τα παραπάνω μπορούν να περιγραφούν ως εξής:



Εικόνα 2 Περιγραφή Νοτιου Τομεα



Εικόνα 3 Περιγραφή Βόρειου Τομέα

Άρα και σχηματικά βλέπουμε πως τα τμήματα αυτοκινητοδρόμου που καλύπτονται είναι περίπου τα ίδια ,ενδεικτικά για το νότιο τομέα το περίπολο που βγαίνει από το ΚΛΣ Δρυμόνα καλύπτει περίπου 63 χιλιόμετρα σε κάθε κατεύθυνση ,το περίπολο που βγαίνει από το ΚΛΣ Μοσχοχωρίου καλύπτει περίπου 72 χιλιόμετρα ανά κατεύθυνση. Αντίστοιχα το περίπολο που βγαίνει από το ΚΛΣ Λεπτοκαρυάς καλύπτει περίπου 50 χιλιόμετρα ανά κατεύθυνση πάνω στον αυτοκινητόδρομο συν επιπλέον τα 34 περίπου χιλιόμετρα της Π.Ε.Ο από τον Ι/Κ Ευαγγελισμού έως το Ι/Κ Λεπτοκαρυάς ,ενώ το περίπολο που βγαίνει από το ΚΛΣ Κορινού καλύπτει περίπου 45 χιλιόμετρα ανά κατεύθυνση πάνω στον αυτοκινητόδρομο. Όπως είδαμε και πιο πάνω τα περίπολα που είναι επιφορτισμένα με την εποπτεία των σηράγγων έχουν

αυτό ως αποκλειστικό τομέα ευθύνης και τα χιλιόμετρα που καλύπτονται είναι 36 ανά κατεύθυνση πάνω στον αυτοκινητόδρομο.

## 5.6 Βάρδιες περιπόλων

Οι βάρδιες περιπόλων χωρίζονται σε τρία οχτάωρα ,το πρωινό περίπολο (06:00-14:00), το απογευματινό περίπολο (14:00-22:00) και το νυχτερινό περίπολο (22:00-06:00). Σε κάθε τομέα ευθύνης έχουμε 3 πρωινά περίπολα ,3 απογευματινά περίπολα και 2 νυχτερινά περίπολα. Πιο συγκεκριμένα στο νότιο τομέα με έδρα το ΚΛΣ Μοσχοχωρίου έχουμε τρία πρωινά περίπολα ,ένα με τομέα ευθύνης από αρχή έργου στο κόμβο Ραχών έως τον Α/Κ Αερινού, ένα με τομέα ευθύνης από Α/Κ Αερινού έως Α/Κ Ευαγγελισμού και ένα με τομέα ευθύνης τη χιλιομετρική κάλυψη των σηράγγων, τρία απογευματινά περίπολα , ένα με τομέα ευθύνης από αρχή έργου στο κόμβο Ραχών έως τον Α/Κ Αερινού, ένα με τομέα ευθύνης από Α/Κ Αερινού έως Α/Κ Ευαγγελισμού και ένα με τομέα ευθύνης τη χιλιομετρική κάλυψη των σηράγγων και δύο βραδινά περίπολα ένα με τομέα ευθύνης από αρχή έργου στο κόμβο Ραχών έως τον Α/Κ Ευαγγελισμού και ένα με τομέα ευθύνης τη χιλιομετρική κάλυψη των σηράγγων.

Αντίστοιχα στο βόρειο τομέα με έδρα το ΚΛΣ Λεπτοκαρυάς έχουμε τρία πρωινά περίπολα ,ένα με τομέα ευθύνης από Α/Κ Ευαγγελισμού έως τον Α/Κ Ν. Εφέσου, ένα με τομέα ευθύνης από Α/Κ Ν. Εφέσου έως το πέρας του έργου στο Κλειδί και ένα με τομέα ευθύνης τη χιλιομετρική κάλυψη των σηράγγων, τρία απογευματινά περίπολα, ένα με τομέα ευθύνης από Α/Κ Ευαγγελισμού έως τον Α/Κ Ν. Εφέσου, ένα με τομέα ευθύνης από Α/Κ Ν. Εφέσου έως το πέρας του έργου στο Κλειδί και ένα με τομέα ευθύνης τη χιλιομετρική κάλυψη των σηράγγων και δύο βραδινά περίπολα ένα με τομέα ευθύνης από τον Α/Κ Ευαγγελισμού έως το πέρας του έργου στο Κλειδί και ένα με τομέα ευθύνης τη χιλιομετρική κάλυψη των σηράγγων.

Επίσης είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στις περιόδους αυξημένου κυκλοφοριακού φόρτου έχουμε ένα επιπλέον περίπολο ανά τομέα το οποίο συνήθως βοηθά επικουρικά στο τομέα ευθύνης του την διαχείριση των συμβάντων.

### **5.7 Διαδικασία και χαρακτηριστικά περιπολίας**

Για κάθε περίπολο που εποπτεύει τον αυτοκινητόδρομο υπεύθυνο για τις κινήσεις του και τις ενέργειες του είναι το κέντρο διαχείρισης κυκλοφορίας το οποίο δίνει τις κατευθυντήριες γραμμές για το πώς θα ενεργήσει το περίπολο σε κάθε συμβάν και επομένως το περίπολο πρέπει να ενημερώνει το ΚΔΑ για κάθε κίνηση του. Κατά τη διάρκεια μίας βάρδιας και με την προϋπόθεση ότι έχει ολοκληρωθεί ένας πλήρης κύκλος στη περιοχή ευθύνης του συγκεκριμένου περιπόλου και ότι δεν υπάρχει συμβάν σε εξέλιξη το ΚΔΑ εφαρμόζει τη διαδικασία στατικού περιπόλου και δίνει εντολή στο περίπολο να κατευθυνθεί στο προκαθορισμένο σημείο στάσης μέχρι να κληθεί ξανά από το ΚΔΑ. Τα σημεία στάσης είναι συγκεκριμένα για κάθε περίπολο και είναι:

- ΚΛΣ Δρυμώννα (Χ.Θ. 273+540) για το περίπολο με περιοχή ευθύνης από το κόμβο Ραχών μέχρι το κόμβο Αερινού
- ΚΛΣ Μοσχοχωρίου(Χ.Θ. 338+450) για το περίπολο με περιοχή ευθύνης από το κόμβο Αερινού έως το κόμβο Ευαγγελισμού
- ΚΛΣ Λεπτοκαρυάς(Χ.Θ. 409+110) για το περίπολο με περιοχή ευθύνης από το κόμβο της Ν. Εφέσου έως το κόμβο Ευαγγελισμού και της Π.Ε.Ο.
- ΣΕΑ Κορινού(Α)(Χ.Θ.444+800) για το περίπολο με περιοχή ευθύνης από το Κλειδί έως το κόμβο της Ν. Εφέσου

Για τα περίπολα των σηράγγων τα σημεία στάσης είναι συγκεκριμένα και βρίσκονται στο ΣΕΑ Μακρυχωρίου με κατεύθυνση Θεσσαλονίκη (Χ.Θ. 375+500) για το ένα και στο ΣΕΑ Σκοτίνας με κατεύθυνση Αθήνα (Χ.Θ. 408+000) για το άλλο.

Κατά τη διάρκεια της στάσης ο υπάλληλος περιπολίας ενημερώνει το ΚΔΑ για την άφιξή του στο προκαθορισμένο σημείο στάσης, ελέγχει όλο τον εξοπλισμό ασφαλείας που είναι εγκατεστημένος στο όχημα περιπολίας και επιβεβαιώνει ότι είναι σε καλή κατάσταση, βρίσκεται σε ετοιμότητα ώστε να αναχωρήσει μόλις δεχτεί κλήση από το ΚΔΑ, μπορεί να εκτελεί και άλλες εργασίες στο σημείο στάσης με την προϋπόθεση ότι είναι πάντοτε σε ετοιμότητα.

Κατά τη διάρκεια του περιπόλου ο υπάλληλος περιπολίας εκτός από τη συνδρομή του σε συμβάντα κάτω από τις οδηγίες του ΚΔΑ έχει τις παρακάτω ευθύνες:

- αναφέρει στο ΚΔΑ τυχόν ανωμαλίες ή συμβάντα που εντοπίζει στον αυτοκινητόδρομο και τα οποία μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο την ομαλή κυκλοφορία και ασφάλεια των χρηστών
- απομακρύνει ελαφρά εμπόδια που έχει εντοπίσει αφού ενεργοποιήσει σήμανση εκτάκτου ανάγκης
- παρέχει βοήθεια στους χρήστες των οποίων το όχημα έχει βλάβη ή έχει γίνει ατύχημα πάνω στον αυτοκινητόδρομο προστατεύοντας το σημείο για να αποφευχθεί περαιτέρω χειροτέρευση της κατάστασης
- παρέχει βοήθεια στις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης(Αστυνομία, πυροσβεστική, ΕΚΑΒ)
- ενεργοποιεί τον εξοπλισμό ασφαλείας του οχήματος για να προειδοποιεί τους χρήστες για πιθανό κίνδυνο
- αναφέρει μετεωρολογικά γεγονότα ή οποιαδήποτε γεγονότα παρατηρεί στον αυτοκινητόδρομο ή στα όρια ΚΕΠ αυτού
- ενημερώνει το ΚΔΑ για εκτελούμενες εργασίες στον αυτοκινητόδρομο.



Επίσης τα περίπολα είναι υπεύθυνα να αναφέρουν οποιαδήποτε ανωμαλία ή βλάβη παρατηρούν πάνω στον αυτοκινητόδρομο που μπορεί να μειώσει την ασφάλεια των χρηστών της οδού είτε αυτό αφορά το οδόστρωμα ,τον φωτισμό ,τα στηθαία ασφαλείας ,τη σήμανση της οδού, τους χώρους στάθμευσης και ανάπαυσης.

Τέλος αξίζει να αναφέρουμε ότι όλα τα συμβάντα που καλούνται να αντιμετωπίσουν τα περίπολα καταγράφονται από το ΚΔΑ σε μία βάση από την οποία μπορούμε να αντλήσουμε στοιχεία για την επάρκεια και αποδοτικότητα των περιπόλων όπως και για το που μπορούμε να επέμβουμε πάνω στον αυτοκινητόδρομο προκειμένου να πετύχουμε βελτίωση στη παροχή της υπηρεσίας στους χρήστες της οδού.

Παρακάτω φαίνεται ένα διάγραμμα ενεργειών για την ανίχνευση και αντιμετώπιση ενός συμβάντος .

## **6 Σημερινή κατάσταση και μοντέλο**

Στο προηγούμενο κεφάλαιο καταγράφηκε πως είναι χωρισμένα τα τμήματα του αυτοκινητοδρόμου χιλιομετρικά και διοικητικά με σκοπό αφενός την καλύτερη εξυπηρέτηση των χρηστών του δρόμου και αφετέρου τη καλύτερη περιπολία του αυτοκινητοδρόμου. Εποπτικό ρόλο στο κομμάτι αυτό έχει το κέντρο διαχείρισης και λειτουργίας του αυτοκινητοδρόμου στο οποίο καταγράφονται όλα τα συμβάντα που γίνονται καθημερινά στον αυτοκινητόδρομο από τα πιο ασήμαντα μέχρι τα εξαιρετικά σημαντικά όπως π.χ. τροχαία ατυχήματα και είναι σαφής ο ρόλος του μόλις γίνει ένα συμβάν αυτό να τελειώσει με το λιγότερο δυνατό κόστος για όλους τους εμπλεκόμενους και κυρίως για τον παθόντα.

Κάθε συμβάν που γίνεται στον αυτοκινητόδρομο είναι ένα γεγονός που καταγράφεται σε μία βάση με όλες τις λεπτομέρειες που το διέπουν όπως η χρονική έναρξη και λήξη του συμβάντος ,από πού ήρθε η πληροφορία του

συμβάντος, το είδος του συμβάντος δηλαδή πόσο σοβαρό είναι ,η θέση του δηλαδή αρχικά που ανήκει διοικητικά στο νότιο ή το βόρειο κομμάτι και η ακριβής χιλιομετρική του θέση, η κατεύθυνση καθώς και σε ποια λωρίδα του δρόμου έχει λάβει χώρα, τα εμπλεκόμενα οχήματα καθώς επίσης καταγράφονται και παρατηρήσεις που είναι σημαντικές για το συμβάν.

Αυτή η καταγραφή γίνεται καθημερινά 24 ώρες το 24ωρο, 365 ημέρες το χρόνο. Στη παρούσα εργασία για τη περιγραφή της τωρινής κατάστασης των περιπολιών εκτός από την περιγραφή της χωρικής ανάλυσης αυτών σημαντικό είναι να περιγραφεί και η ποιοτική ανάλυση αυτής της κατάστασης. Δηλαδή να βγάλουμε κάποια συμπεράσματα για το πώς ανταποκρίνεται η σημερινή χωροθέτηση των οχημάτων περιπολίας στα διάφορα συμβάντα που γίνονται στον αυτοκινητόδρομο. Γίνεται αυτό με βέλτιστο τρόπο, υπάρχουν δυνατότητες βελτίωσης . Για να βγάλουμε κάποια συμπεράσματα και να απαντήσουμε σε αυτά τα ερωτήματα έχουμε εξάγει δεδομένα συμβάντων για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα λειτουργίας του αυτοκινητοδρόμου και συγκεκριμένα από όταν δόθηκαν σε λειτουργία οι σήραγγες των Τεμπών και Πλαταμώνα (άρα όταν λειτούργησε το σύνολο του αυτοκινητοδρόμου σε κανονικά δεδομένα ) δηλαδή τη 1<sup>η</sup> Μαΐου του 2017 έως και 31<sup>η</sup> Αυγούστου του 2019 χρονικό διάστημα 27 μηνών .Φυσικά έγινε ξεκαθάρισμα των συμβάντων και κρατήθηκαν εκείνα μόνο στα οποία είχαμε άφιξη περιπόλου είτε ήταν χαμηλής σημασίας περιστατικά είτε υψηλής.

Σε κάθε περίπτωση θα εξάγουμε στατιστικά δεδομένα από την ανάλυση αυτών των συμβάντων που θα μας δείξουν την ποιοτική ανάλυση του καταμερισμού των περιπόλων που γίνεται σήμερα, θα μας απαντήσουν σε μια σειρά από ερωτήματα που θα θέσουμε ,θα δείξουν τις παθογένειες της σημερινής κατάστασης και θα θέσουν τη βάση για τη δημιουργία ίσως ενός μοντέλου βέλτιστου που θα αλλάζει τα δεδομένα της έως τώρα αντιμετώπισης των συμβάντων. Η στατιστική ανάλυση θα γίνει με τη βοήθεια ερωτημάτων(queries) που θα δημιουργήσουμε στη βάση δεδομένων των συμβάντων με δημιουργία κριτηρίων κάθε φορά Με τα κριτήρια ή το συνδυασμό κριτηρίων κάθε φορά θα καλυπτόμαστε από έναν αριθμό συμβάντων που θα μας δείχνουν πόσο σοβαρά είναι τα κριτήρια αυτά και πόσο κρίσιμα είναι για την απόκριση των οχημάτων

άμεσης επέμβασης στα συμβάντα. Στόχος μας είναι να βρούμε κάποια μοτίβα συμβάντων ή αν τα συμβάντα που γίνονται πάνω στον αυτοκινητόδρομο ή σε ένα κομμάτι του αυτοκινητοδρόμου μπορούν να προσδιοριστούν από μία κατανομή ώστε να μπορέσουμε τελικά να προτείνουμε αν γίνεται μία άλλη λύση χωροθέτησης οχημάτων άμεσης επέμβασης από αυτή που ακολουθείται σήμερα ή αλλιώς να βελτιώσουμε την ήδη υπάρχουσα.

### **6.1 Δημιουργία κριτηρίων για στατιστική ανάλυση**

Για να δημιουργήσουμε στατιστικά δεδομένα που θα μας βοηθήσουν έπειτα στην εξεύρεση του βέλτιστου μοντέλου χωροθέτησης οχημάτων άμεσης επέμβασης στον αυτοκινητόδρομο αρχικά θα ελέγξουμε όλα τα χιλιόμετρα του αυτοκινητοδρόμου σαν ένα ενιαίο σύνολο. Όπως έχουμε πει ο αυτοκινητόδρομος εκτείνεται από τη Χ.Θ. 242+ 080 έως τη Χ.Θ. 471+470. Όλα τα συμβάντα που έχουν καταγραφεί το χρονικό διάστημα από 1/5/2017 έως 31/8/2019 έχουν γίνει σε μία χιλιομετρική θέση ανάμεσα στο προαναφερόμενο χωρικό διάστημα. Για τα πρώτα στατιστικά ερωτήματα στη βάση δεδομένων των συμβάντων θα θεωρήσουμε όλο το κομμάτι του αυτοκινητοδρόμου ενιαίο και απλά χωρισμένο ανα μισό χιλιόμετρο οπότε 1) θα δούμε πόσα συμβάντα γίνονται κάθε ημέρα της εβδομάδας (σε σύνολο 7 ημερών) και με αυτό θα εξακριβώσουμε αν κάποια ημέρα ο αυτοκινητόδρομος σε κάποια θέση φορτίζεται διαφορετικά από συμβάντα σε σχέση με τις υπόλοιπες.

Επίσης θα δούμε πόσα συμβάντα γίνονται κάθε ώρα της ημέρας (βάσει 24ώρου) αν υπάρχει κάποια ώρα δηλαδή της ημέρας που γίνονται περισσότερα συμβάντα συγκριτικά με τις υπόλοιπες. Επίσης θα χωρίσουμε την ημέρα σε τρεις βάρδιες όπως είναι χωρισμένες στην υπάρχουσα κατάσταση δηλαδή (06:00-14:00,14:00-22:00 και 22:00-06:00) και θα δούμε μήπως κάποια βάρδια είναι φορτισμένη διαφορετικά σε σχέση με τις υπόλοιπες δύο. Έπειτα θα δούμε στο σύνολο των συμβάντων πόσα (τι ποσοστό) ανήκει και ποια κατηγορία (από τις 6 όπως έχουν χωριστεί στην καταγραφή αυτών δηλαδή Γ2-τροχαίο ατύχημα,Γ3-ακίνητο όχημα,Γ4-εμπόδιο στον αυτοκινητόδρομο,Γ5-πρόβλημα με χρήστες ,Γ6-αντίξοες καιρικές συνθήκες και Γ7-λοιπα συμβάντα έκτακτης ανάγκης) και θα

εξακριβώσουμε μήπως κάποια χιλιομετρική θέση ή ένα τμήμα του αυτοκινητοδρόμου είναι επιβαρυνμένο με ένα είδος συμβάντων δηλαδή για κάποιους λόγους κάτι συμβαίνει εκεί συχνά . Είναι σημαντική η εύρεση πιθανής επαναληψιμότητας γιατί με αυτό τον τρόπο θα εντοπίσουμε πιθανό πρόβλημα που θα πρέπει να επιλυθεί σε ένα κομμάτι του αυτοκινητοδρόμου. Επίσης είναι σημαντικό να συνδυάσουμε τα παραπάνω μεταξύ τους π.χ. κάθε ημέρα της εβδομάδας στη πρωινή βάρδια τι κατηγορία συμβάντων έχει γίνει ή πχ το σαββατοκύριακο που είναι η 6<sup>η</sup> και 7<sup>η</sup> ημέρα της εβδομάδας στις τρεις βάρδιες ποιες κατηγορίες συμβάντων γίνονται κυρίως και ποιες μπορεί να είναι οι διαφορές με τις υπόλοιπες ημέρες της εβδομάδας.

Επίσης μπορούμε να δούμε τους χρόνους διάρκειας των συμβάντων ανά κατηγορία αυτών. Δηλαδή μέσοι χρόνοι διάρκειας συμβάντων ανά βάρδια, πόσο διαρκούν τα συμβάντα ανά βάρδια ή π.χ. ανά ημέρα ώστε μήπως μπορεί να αλιευτεί κάτι αξιοποιήσιμο από εκεί και να χρησιμοποιηθεί σε βελτιστοποίηση της κατάστασης.

Ένα γενικό ερώτημα που μπορεί να απαντηθεί είναι τι κατηγορίες συμβάντων μπορεί να έχουμε ανά ημέρα και ανά βάρδια και ποιος ήταν ο χρόνος διάρκειας αυτών ή ακόμη υπάρχουν κάποια κομμάτια του δρόμου στα οποία πχ επικρατεί μία κατηγορία συμβάντων έναντι των υπολοίπων;

Έπειτα θα χωρίσουμε τον αυτοκινητόδρομο σε δύο κομμάτια όπως είναι διοικητικά χωρισμένος σε δύο τομείς δηλαδή ο ένας τομέας που καλύπτει τα χιλιόμετρα από το 242 έως το 377 και ο άλλος από το 377 έως το 471 και θα κάνουμε τα ίδια ερωτήματα με προηγουμένως για να εξακριβώσουμε κάποια συμπεράσματα ή και να συγκρίνουμε τους δύο τομείς δηλαδή λ.χ. πόσα περιστατικά γίνονται ανά τομέα σε κάθε βάρδια και τι κατηγορίας είναι τα περιστατικά αυτά. Η ένα άλλο ερώτημα που είναι σημαντικό είναι αν μπορεί να συγκριθεί ο χρόνος διάρκειας ανα κατηγορία συμβάντων στους δύο τομείς. Μπορεί να γίνει μία σύγκριση για το ποιος τομέας αντιμετωπίζει περισσότερα συμβάντα σε κάθε βάρδια άρα πιο κομμάτι του δρόμου φορτίζεται περισσότερο με συμβάντα έναντι του άλλου.

Έπειτα θα χωρίσουμε τον αυτοκινητόδρομο σε χιλιομετρικό χώρο ευθύνης του κάθε περιπόλου, σε 4 κομμάτια δηλαδή και θα επαναλάβουμε τα ερωτήματα ,τα κομμάτια αυτά θα είναι από τη Χ.Θ. 242 που είναι η αρχή του έργου έως τη Χ.Θ. 304 ,από τη Χ.Θ. 304 έως τη Χ.Θ. 377 , από τη Χ.Θ. 377 έως τη Χ.Θ. 427 και τέλος από τη Χ.Θ. 427 έως τη Χ.Θ. 471 που είναι και το πέρας του οδικού άξονα ευθύνης. Εκεί θα προσπαθήσουμε να εξακριβώσουμε μήπως κάποιο περίπολο από αυτά που υπάρχουν πάνω στον αυτοκινητόδρομο χιλιομετρικά κατανεμημένα δέχεται περισσότερα συμβάντα συγκριτικά με τα υπόλοιπα ανά βάρδια ή ανα ημέρα της εβδομάδας και τι κατηγορίας είναι αυτά τα συμβάντα .

Τέλος θα χωρίσουμε τον αυτοκινητόδρομο σε κομμάτια των 20 χλμ χονδρικά δηλαδή από τη Χ.Θ. 242 έως τη Χ.Θ. 260 ,από τη 260 έως τη 280 κ.ο.κ. και θα προσπαθήσουμε να απαντήσουμε στα ίδια ερωτήματα και κυρίως να εξακριβώσουμε αν κάποιο κομμάτι του δρόμου δέχεται περισσότερα συμβάντα σε σχέση με τα υπόλοιπα και τι κατηγορίας είναι αυτά τα συμβάντα .Σημαντικό είναι ότι σε αυτό το χώρισμα του αυτοκινητοδρόμου σε κομμάτια των 20 χλμ. αξίζει να δώσουμε ιδιαίτερη προσοχή στο κομμάτι του αυτοκινητοδρόμου από τη Χ.Θ. 380 έως 410 και θα το πάρουμε ως ενιαίο γιατί αφορά τις σήραγγες των Τεμπών και Πλαταμώνα και ότι συμβάν λαμβάνει χώρα εκεί χρήζει ειδικών χειρισμών και προσοχής και δεν αντιμετωπίζεται το ίδιο με όποιο άλλο συμβάν γίνεται σε πεδίο ανοιχτού αυτοκινητοδρόμου.

## 7 Προσέγγιση του προβλήματος και εύρεση νέου μοντέλου χωροθέτησης

Το πρόβλημα αποτελεί η εύρεση των βέλτιστων τοποθεσιών και αριθμό των οχημάτων εκτάκτου ανάγκης στο συγκεκριμένο κομμάτι της Εθνικής Οδού 1. Επίσης λαμβάνονται υπόψη οι βάρδιες που υπάρχουν στην κάλυψη της υπηρεσίας

### 7.1 Τα δεδομένα

Η αρχική ανάλυση του προβλήματος πάντα είναι το σημαντικότερο βήμα για την επίλυσή του. Ανάλυση χωρίς επαρκή και ποιοτικά δεδομένα δεν μπορεί να γίνει ωστόσο. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι από την βάση δεδομένων της αρμόδιας υπηρεσίας και αφορούν συμβάντα που αναφέρθηκαν σε ένα κομμάτι της Εθνικής Οδού 1. Έγιναν διαθέσιμα σε μορφή Excel αρχείου το οποίο αποτελούνταν από τις παρακάτω στήλες:

- A\_A: Αύξοντα αριθμός συμβάντος
- INCIDENT\_START\_TIME: Ώρα αναφοράς του συμβάντος
- INCIDENT\_END\_TIME: Ώρα κλεισίματος του συμβάντος
- SOURCE: Πηγή αναφοράς συμβάντος (χρήστης, τροχαία, call center κ.α.)
- INCIDENT\_TYPE: Τύπος συμβάντος (
- POSITION: Τομέας αναφοράς του συμβάντος
- KM\_POS / Position\_KM: Χιλιομετρικό στίγμα του συμβάντος
- DIRECTION: Κατεύθυνση δρόμου όπου αναφέρθηκε το συμβάν (Α/Θ)

- LANE: λωρίδα αναφοράς του συμβάντος
- NOTIFICATION: Στοιχεία για τις ειδοποιήσεις
- PATROLLER\_ARRIVAL: Αν χρειάστηκε η φυσική παρουσία της ασφάλειας
- INCIDENT\_VEHICLES: Τύπος οχήματος που αναφέρθηκε στο συμβάν
- COMMENTS: Σχόλια του χειριστή

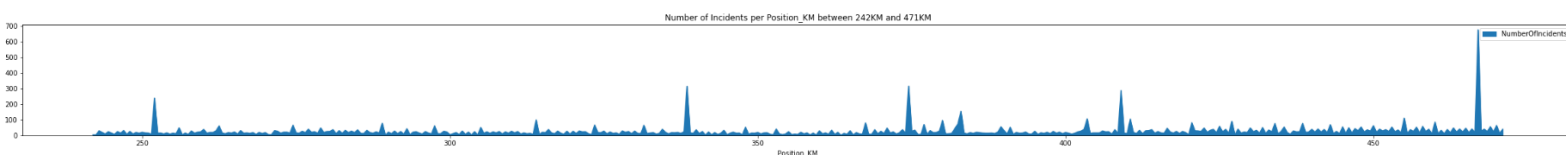
Στο αρχείο των δεδομένων διενεργήθηκε καθαρισμός για τη διαγραφή διπλότυπων τιμών, αλλά και συμβάντων με ελλιπείς πληροφορίες που δεν μπορούσαν να αξιοποιηθούν.

## 7.2 Ανάλυση Δεδομένων

Παρακάτω ακολουθεί η ανάλυση και οπτικοποίηση των δεδομένων για την καλύτερη κατανόηση αλλά και ερμηνεία του προβλήματος και των μεταβλητών αυτού.

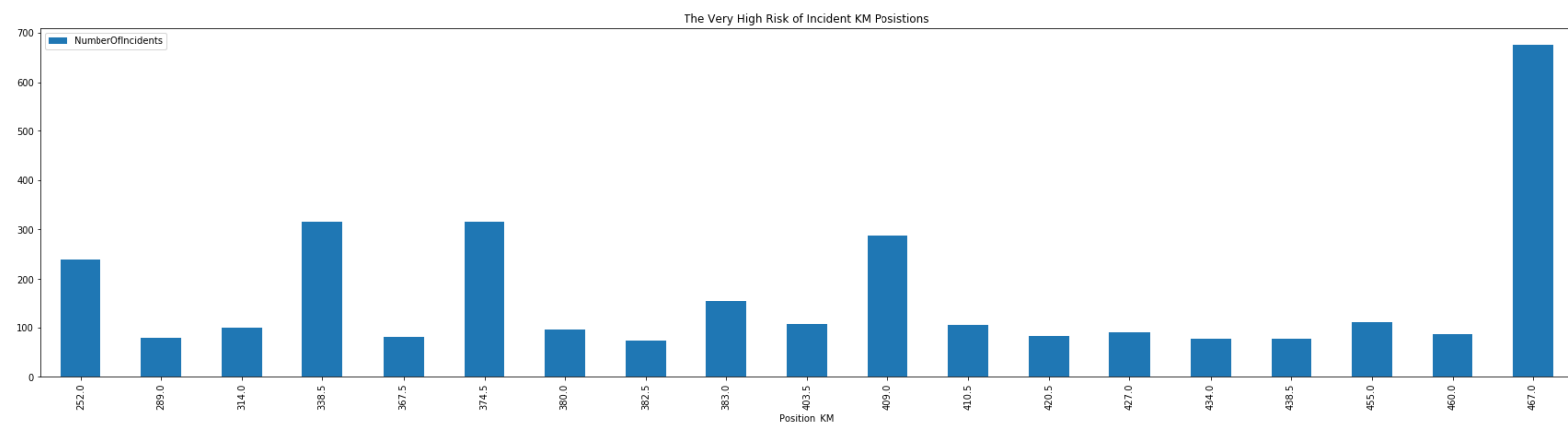
Εικόνα 4 Κατανομή Ατυχημάτων

### 7.2.1 Ατυχήματα σε όλο το δρόμο



Ύστερα από την ανάλυση των ατυχημάτων για το υπό μελέτη κομμάτι του δρόμου, μπορούμε πλέον να απεικονίσουμε την κατανομή αυτών στο δρόμο.

Επίσης μπορούμε να δούμε πιο συγκεκριμένα τις τοποθεσίες όπου εμφανίζονται τα περισσότερα ατυχήματα, δηλαδή άνω του αθροίσματος του μέσω όρου και της τυπικής απόκλισης.



Εικόνα 5 Κατανομή Ατυχημάτων (πιο συχνές θέσεις)

Όπως γίνεται εμφανές, στο 467<sup>ο</sup> χιλιόμετρο εμφανίζονται – με διαφορά – τα περισσότερα συμβάντα, ενώ αμέσως επόμενες τοποθεσίες είναι το 252<sup>ο</sup>, 338.5<sup>ο</sup>, 367.5<sup>ο</sup>, 409<sup>ο</sup> χιλιόμετρο του δρόμου.

Πίνακας 1 Τοποθεσίες με το υψηλότερο ρίσκο

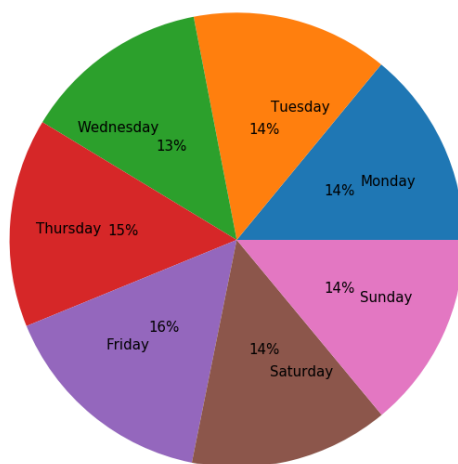
Τοποθεσία	Αριθμός Συμβάντων
252.0	239
289.0	78
314.0	99
338.5	315
367.5	80
374.5	316
380.0	96
382.5	73
383.0	155
403.5	106
409.0	288
410.5	105
420.5	82
427.0	90



434.0	77
438.5	77
455.0	111
460.0	86
467.0	676

Ακόμη, παρατηρείται πως υπάρχει ισοκατανομή μεταξύ των ημερών όσον αφορά τα συμβάντα που σημειώνονται.

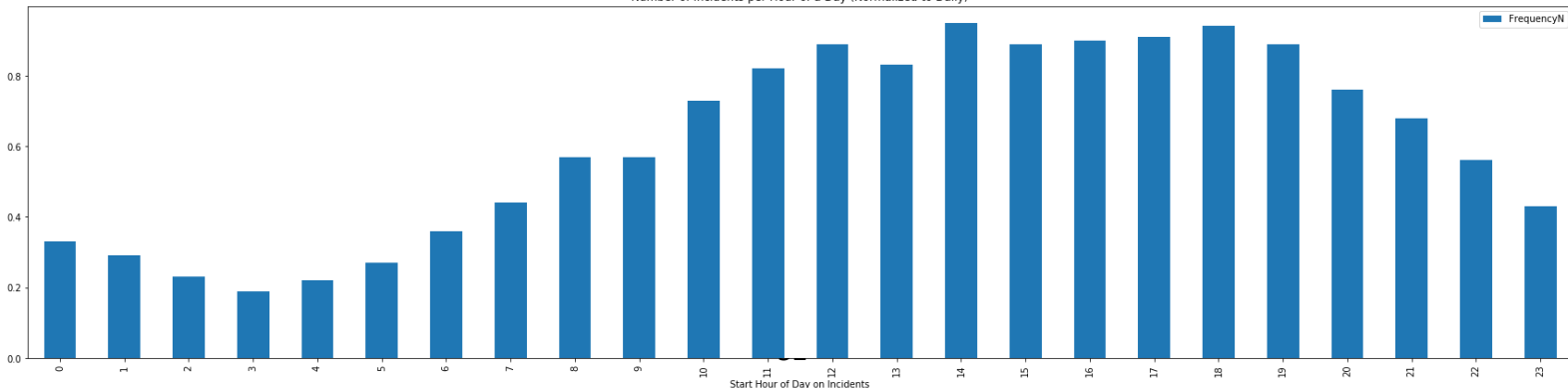
Percentage of Incidents per WeekDay



Εικόνα 6 Συμβάντα ανα ημέρα.

Ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζει η ανάλυση των συμβάντων σε ωριαία βάση όπως παρουσιάζεται παρακάτω (για μία ημέρα):

Number of Incidents per Hour of a Day (Normalized to Daily)



Εικόνα 7 Αριθμός συμβάντων ανα ώρα

Όπως φαίνεται από το παραπάνω γράφημα, οι ώρες μεταξύ 10 και 21 είναι οι πιο φορτωμένες.

Πίνακας 2 Ώρες Συμβάντων

Ώρα	Συμβάντα
0	0.33
1	0.29
2	0.23
3	0.19
4	0.22
5	0.27
6	0.36
7	0.44
8	0.57
9	0.57
10	0.73
11	0.82
12	0.89
13	0.83
14	0.95
15	0.89
16	0.9
17	0.91
18	0.94
19	0.89
20	0.76
21	0.68
22	0.56
23	0.43

Ωστόσο, όλα τα συμβάντα δεν είναι το ίδιο και όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες. Παρακάτω θα δούμε το ποσοστό που αναλογεί σε κάθε κατηγορία συμβάντος:

Γ3. ΑΚΙΝΗΤΟ ΟΧΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΒΛΑΒΗ	0.376906	0.376906
Γ3. ΑΚΙΝΗΤΟ ΟΧΗΜΑ ΛΑΣΤΙΧΟ	0.191382	0.568288
Γ4. ΕΜΠΟΔΙΟ ΕΜΠΟΔΙΟ	0.146766	0.715054
Γ3. ΑΚΙΝΗΤΟ ΟΧΗΜΑ ΚΑΥΣΙΜΟ	0.066442	0.781496
Γ2. ΤΡΟΧΑΙΟ ΑΤΥΧΗΜΑ	0.057695	0.839191
Γ4. ΕΜΠΟΔΙΟ ΝΕΚΡΟ ΖΩΟ	0.049511	0.888702
Γ5. ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΜΕ ΧΡΗΣΤΗ ΠΕΖΟΙ	0.028166	0.916867
Γ3. ΑΚΙΝΗΤΟ ΟΧΗΜΑ	0.027122	0.943990
Γ3. ΑΚΙΝΗΤΟ ΟΧΗΜΑ ΠΑΡΑΝΟΜΗ ΣΤΑΣΗ/ΣΤΑΘΜΕΥΣΗ	0.017092	0.961082
Γ7. ΛΟΙΠΑ ΣΥΜΒΑΝΤΑ ΕΚΤΑΚΤΗΣ ΑΝΑΓΚΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑ	0.007944	0.969026
Γ5. ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΜΕ ΧΡΗΣΤΗ ΠΟΔΗΛΑΤΕΣ	0.006259	0.975285
Γ7. ΛΟΙΠΑ ΣΥΜΒΑΝΤΑ ΕΚΤΑΚΤΗΣ ΑΝΑΓΚΗΣ ΑΛΛΟ	0.005778	0.981062
Γ3. ΑΚΙΝΗΤΟ ΟΧΗΜΑ ΚΑΥΣΙΜΟ, ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΒΛΑΒΗ	0.005697	0.986760
Γ3. ΑΚΙΝΗΤΟ ΟΧΗΜΑ ΕΓΚΑΤΑΛΕΛΕΙΜΕΝΟ, ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΒΛΑΒΗ	0.003210	0.989970
Γ3. ΑΚΙΝΗΤΟ ΟΧΗΜΑ ΛΑΣΤΙΧΟ, ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΒΛΑΒΗ	0.002407	0.992377
Γ3. ΑΚΙΝΗΤΟ ΟΧΗΜΑ ΠΥΡΚΑΓΙΑ	0.001605	0.993982
Γ3. ΑΚΙΝΗΤΟ ΟΧΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΒΛΑΒΗ, ΠΥΡΚΑΓΙΑ	0.000883	0.994864
Γ4. ΕΜΠΟΔΙΟ	0.000883	0.995747
Γ3. ΑΚΙΝΗΤΟ ΟΧΗΜΑ ΕΓΚΑΤΑΛΕΛΕΙΜΕΝΟ, ΛΑΣΤΙΧΟ	0.000802	0.996550
Γ3. ΑΚΙΝΗΤΟ ΟΧΗΜΑ ΕΓΚΑΤΑΛΕΛΕΙΜΕΝΟ, ΚΑΥΣΙΜΟ	0.000722	0.997272
Γ7. ΛΟΙΠΑ ΣΥΜΒΑΝΤΑ ΕΚΤΑΚΤΗΣ ΑΝΑΓΚΗΣ ΠΡΑΞΗ, ΑΠΟΠΕΙΡΑ ΛΗΣΤΕΙΑΣ	0.000642	0.997914
Γ3. ΑΚΙΝΗΤΟ ΟΧΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΒΛΑΒΗ, ΠΑΡΑΝΟΜΗ ΣΤΑΣΗ/ΣΤΑΘΜΕΥΣΗ	0.000321	0.998235
Γ7. ΛΟΙΠΑ ΣΥΜΒΑΝΤΑ ΕΚΤΑΚΤΗΣ ΑΝΑΓΚΗΣ ΒΑΝΔΑΛΙΣΜΟΣ	0.000241	0.998475
Γ3. ΑΚΙΝΗΤΟ ΟΧΗΜΑ ΕΓΚΑΤΑΛΕΛΕΙΜΕΝΟ, ΠΥΡΚΑΓΙΑ	0.000241	0.998716
Γ6. ΑΝΤΙΞΟΕΣ ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΧΙΟΝΙ	0.000241	0.998957
Γ3. ΑΚΙΝΗΤΟ ΟΧΗΜΑ ΕΓΚΑΤΑΛΕΛΕΙΜΕΝΟ, ΚΑΥΣΙΜΟ, ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΒΛΑΒΗ	0.000241	0.999198
Γ6. ΑΝΤΙΞΟΕΣ ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΑΓΕΤΟΣ	0.000160	0.999358
Γ4. ΕΜΠΟΔΙΟ ΕΜΠΟΔΙΟ, ΝΕΚΡΟ ΖΩΟ	0.000160	0.999519
Γ5. ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΜΕ ΧΡΗΣΤΗ ΠΕΖΟΙ, ΠΟΔΗΛΑΤΕΣ	0.000080	0.999599
Γ6. ΑΝΤΙΞΟΕΣ ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	0.000080	0.999679
Γ3. ΑΚΙΝΗΤΟ ΟΧΗΜΑ ΕΓΚΑΤΑΛΕΛΕΙΜΕΝΟ, ΠΑΡΑΝΟΜΗ ΣΤΑΣΗ/ΣΤΑΘΜΕΥΣΗ	0.000080	0.999759
Γ3. ΑΚΙΝΗΤΟ ΟΧΗΜΑ ΚΑΥΣΙΜΟ, ΠΑΡΑΝΟΜΗ ΣΤΑΣΗ/ΣΤΑΘΜΕΥΣΗ	0.000080	0.999840
Γ4. ΕΜΠΟΔΙΟ ΝΕΚΡΟ ΖΩΟ	0.000080	0.999920
Γ3. ΑΚΙΝΗΤΟ ΟΧΗΜΑ ΛΑΣΤΙΧΟ, ΠΥΡΚΑΓΙΑ	0.000080	1.000000

Εικόνα 8 Κατηγορίες Συμβάντων

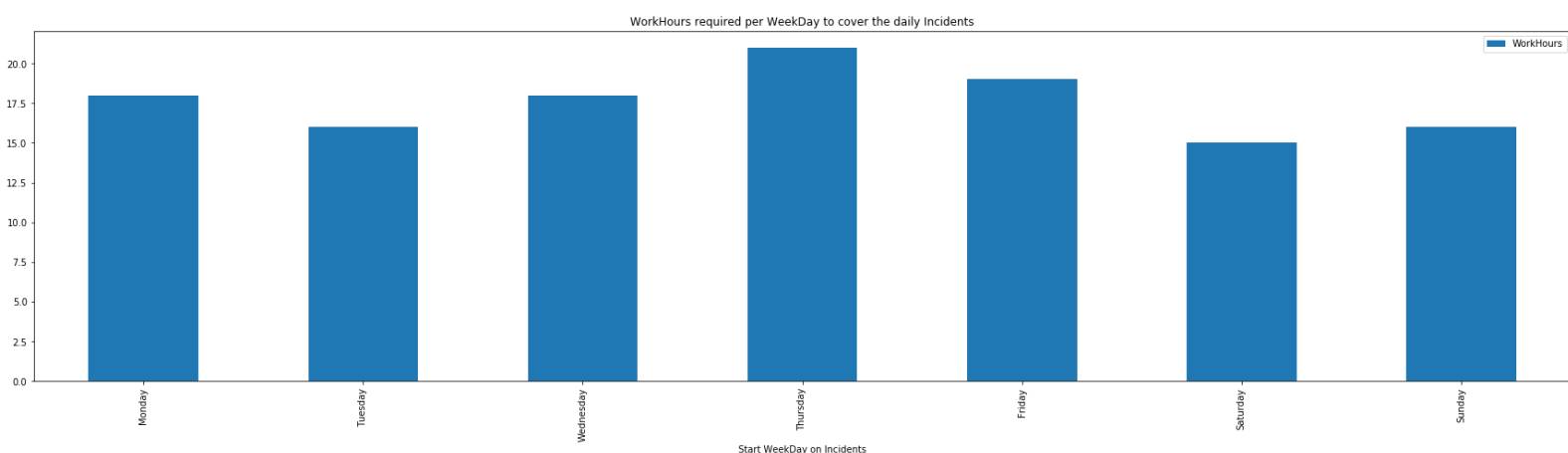
Όπως φαίνεται από τα παραπάνω δεδομένα, η αιτία για ακίνητο όχημα με μηχανική βλάβη είναι η επικρατέστερη.

Για περαιτέρω ανάλυση, παρουσιάζουν ενδιαφέρον οι εργατοώρες. Παρακάτω απεικονίζονται οι εργατοώρες που απαιτούνται για την κάλυψη όλων των

συμβάντων για κάθε ημέρα της εβδομάδας (μ.ο. για την κάλυψη ενός συμβάντος είναι τα 72 λεπτά)

Πίνακας 3 Κατανομή εργατωρών ανα ημέρα

Ημέρα	Εργατώρες
Δευτέρα	18
Τρίτη	16
Τετάρτη	18
Πέμπτη	21
Παρασκευή	19
Σάββατο	15
Κυριακή	16



Εικόνα 9 Εργατώρες ανά ημέρα για την κάλυψη όλων των συμβάντων

Πίνακας 4 Περιγραφική Στατιστική Συμβάντων

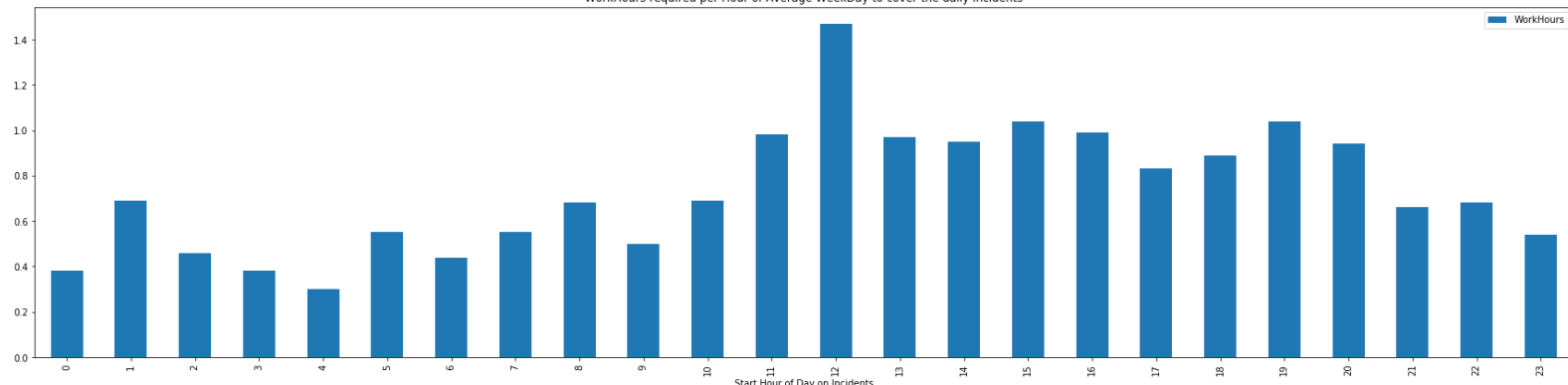
Μέσος όρος	17.57
Τυπική Απόκλιση	2.07
Ελάχιστη τιμή	15
25%	16
50%	18
75%	18.5
Μέγιστη τιμή	21

Και τώρα σε ημερήσια βάση:

Πίνακας 5 Εργατοώρες ανα ώρα της ημέρας

Ώρα	Εργατοώρες
0	0.33
1	0.69
2	0.46
3	0.38
4	0.3
5	0.55
6	0.44
7	0.55
8	0.68
9	0.5
10	0.69
11	0.98
12	1.47
13	0.97
14	0.95
15	1.04
16	0.99
17	0.83
18	0.89
19	1.04
20	0.94
21	0.66
22	0.68
23	0.54

WorkHours required per Hour of Average WeekDay to cover the daily Incidents



Εικόνα 10 Εργατοώρες ανά ώρα για την κάλυψη όλων των συμβάντων

Πίνακας 6 Περιγραφική Στατιστική εργατωρών/ώρα

Μέσος όρος	0.73
Τυπική Απίκλιση	0.28
Ελάχιστη τιμή	0.3
25%	0.53
50%	0.68
75%	0.95
Μέγιστη τιμή	1.47

Όπως φαίνεται παραπάνω, για τη 12<sup>η</sup> 15<sup>η</sup> και 19 ώρα ένα όχημα σίγουρα δεν μπορεί να καλύψει τις ανάγκες.

### 7.3 Κατασκευή μοντέλου

#### 7.3.1 Μαθηματικό μοντέλο

$$\min \left( \sum_j X_j * c + \sum_j \sum_i (0.1p_{ji} + 2 * d_{ji}) * k * Y_{ij} * f_i \right)$$

#### Επεξήγηση Μεταβλητών:

- $i$  : Θέση Συμβάντος. Τιμές από και 242 έως και 471 με δεκαδικό βήμα.
- $j$  : Θέση Υπηρεσίας. Τιμές από και 242 έως και 471 με βήμα 0.5
- $X_j$  : Η μεταβλητή όπου ίση με 1 αν χρησιμοποιείται η θέση για όχημα υπηρεσία, ή 0 αν δεν χρησιμοποιείται.
- $p_{ji}$ : χιλιόμετρα μετά το 10<sup>ο</sup> λεπτό που διανύει ένα όχημα. Χρησιμοποιείται ως κόστος καθυστέρησης άφιξης στο συμβάν για κάθε λεπτό μετά το 10<sup>ο</sup>. (υπολογίζεται μέση ταχύτητα 1χλμ/λεπτό).
- $c$  : το πάγιο κόστος ανά όχημα που αντιστοιχεί σε μία μέρα (υπολογίστηκε με: η αμοιβή οδηγού και η συντήρηση).
- $k$  : το κόστος μετακίνησης του οχήματος για κάθε χιλιόμετρο (υπολογίστηκε με: τα καύσιμα).

- $d_{ji}$  : η απόσταση από την θέση υπηρεσίας  $j$  στην θέση συμβάντος  $i$   
πολλαπλασιάζεται επί 2 καθώς υπολογίζεται κι η επιστροφή του οχήματος στην  
θέση υπηρεσία
- $f_i$  : το πλήθος των ημερήσιων συμβάντων στην θέση συμβάντων  $i$  (θεωρείται  
πως για κάθε συμβάν απαιτείται πλήρη μετακίνηση από την θέση υπηρεσίας)
- $Y_{ij}$ : Η μεταβλητή απόφασης. Λαμβάνει τιμές 0 ή 1. Για  $i$  η θέση συμβάντος και  $j$  η  
θέση υπηρεσίας.
- $M$  : Το μέγιστο πλήθος διαθέσιμων οχημάτων

### Περιορισμοί:

- $\sum_j X_j \leq M$  Δηλαδή Το σύνολο θέσεων υπηρεσίας είναι το πολύ ίσο με τα  
διαθέσιμα οχήματα
- $\sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i$  Δηλαδή κάθε συμβάν εξυπηρετείται μόνο από 1 θέση  
υπηρεσίας
- $Y_{ij} \leq X_j \quad \forall i, j$  Δηλαδή η μεταβλητή απόφασης μπορεί να υπάρχει μόνο  
όπου υπάρχει θέση υπηρεσίας
- $p_{ji} - d_{ji} + 10 \geq 0$  Ενεργοποιεί την ποινή για την καθυστέρηση μετά το 10<sup>ο</sup>  
λεπτό

Η συνάρτηση για βέλτιστο ελαχιστοποιείται και δίνει κόστος εξυπηρέτησης για  
όλα τα συμβάντα σε μία μέση ημέρα, με μελέτη σε δείγμα 853 ημερών με πάνω  
από 12000 συμβάντα.

Στη συνάρτηση καταρχάς όπου  $i$  είναι θέση συμβάντος και όπου  $j$  είναι θέση  
υπηρεσίας. Το πρώτο σκέλος  $\sum_j X_j * C$  μας δίνει το κόστος οχήματος όπου  $c$  είναι  
υπολογισμένα η εργατοώρα του οδηγού του βαν μαζί με το ημερήσιο κόστος  
συντήρησης του βαν (από τα δεδομένα που έχω πάρει και περιλαμβάνει όλα τα  
πάγια κόστη για τη αγορά και συντήρηση των βαν όπως πχ ασφάλιστα, κόστος

αγοράς κλπ). Το δεύτερο σκέλος αφορά το κόστος ανά χιλιόμετρο

$$\sum_j \sum_i (0.1p_{ji} + 2 * d_{ji}) * k * Y_{ij} * f_i \text{ όπου}$$

$0,1 * r_{ij}$  είναι το κόστος η ποινή που επιβάλλεται σε ένα βαν όταν καθυστερεί να φτάσει σε ένα συμβάν, αυθαίρετα πήραμε ως αρχή του χρόνου ποινής τα 10 λεπτά από την έναρξη του συμβάντος (αυθαίρετη επίσης ταχύτητα 1 χλμ /λεπτό)

$2 * d_{ij}$  είναι τα χιλιόμετρα που κάνει για να πάει σε ένα συμβάν και να επιστρέψει στη θέση του  $K$  είναι το κόστος μετακίνησης αναλόγως τα χιλιόμετρα που κάνει κάθε βαν σε μία μέση μέρα, έχει υπολογιστεί με τα δεδομένα κατανάλωσης που έχω πάρει από την εταιρία. Οπότε με βάση τα κόστη αυτά κοιτάμε να δούμε πιο είναι το ελάχιστο κόστος ώστε να χωροθετήσουμε τα βανάκια πάνω στον αυτοκινητόδρομο. Να γίνει βέλτιστη κατανομή τους ώστε να μπορούν να ανταποκρίνονται στα συμβάντα. Συμπληρωματικά πρέπει να καταστεί σαφές ότι το κόστος επιβάρυνσης αντί για τιμή 0,1 μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή επιθυμούμε και φυσικά να αλλάξουν τα αποτελέσματα της χωροθέτησης των οχημάτων καθώς και του συνολικού κόστους.

Με την συνάρτηση αυτή υπολογίζεται το κόστος για μια μέση ημέρα.

### 7.3.2 Υλοποίηση μοντέλου

Για την υλοποίηση του μαθηματικού μοντέλου χρησιμοποιείται η γλώσσα προγραμματισμού **Python** στην οποία προγραμματίζεται η μέθοδος **P-median** (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α) κι έχει λυθεί για 1, 2, 3, 4, 5, 6 και 10 σταθμούς με τη χρήση του λύτη **Gurobi**. Η μόνη μεταβλητή που έχουμε, ωστόσο για τον προσδιορισμό συνιστωσών βάρους είναι η συχνότητα των συμβάντων, καθώς η σοβαρότητα ή κάποιος άλλος δείκτης δεν έχει μετρηθεί ή δεν είναι διαθέσιμος.



### Παράμετροι :

- Το μέγιστο πλήθος οχημάτων
- Το κόστος συντήρησης κάθε οχήματος.
- Το κόστος του κάθε οχήματος για κάθε χιλιόμετρο.
- Η αρχική και τελική τοποθεσία του τμήματος που μελετάμε (242 έως 471)
- Το βήμα που χρησιμοποιούμε για τη μελέτη του άνωθεν τμήματος (0.5 χιλιόμετρα)
- Οι υπάρχουσες τοποθεσίες οχημάτων

Με τη χρήση του παραπάνω μοντέλου έγινε μελέτη συμβάντων και υπολογίστηκαν οι βέλτιστες θέσεις βάσει στατιστικής για το ωράριο και βάσει p-median για τις χιλιομετρικές θέσεις. Σκοπός είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους, όπως αναφέρεται και στο μαθηματικό μοντέλο.

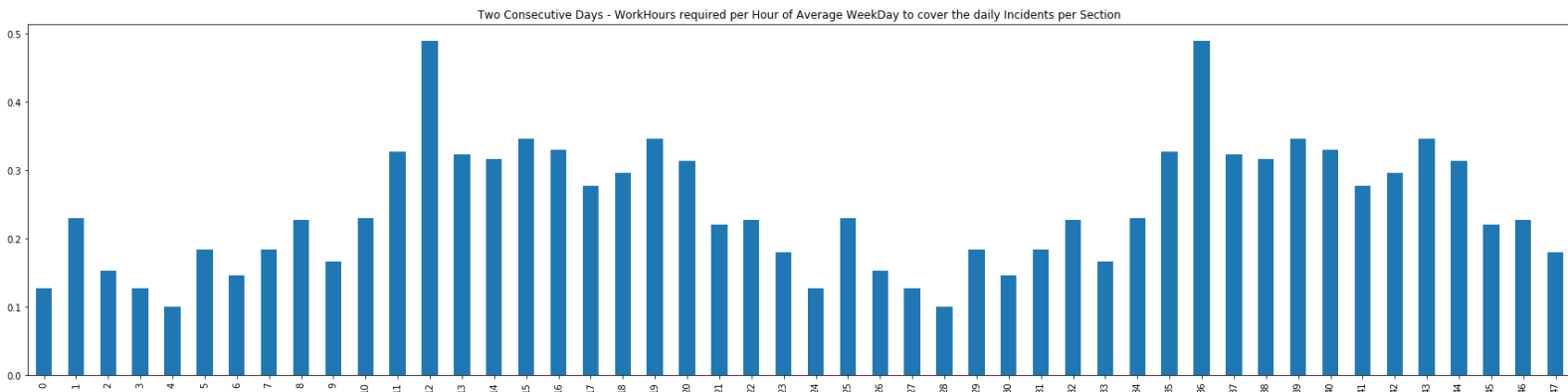
Τα δεδομένα εισόδου είναι τα ανανεωμένα αρχικά δεδομένα. Ύστερα από στατιστική ανάλυση των δεδομένων, προτείνονται διαφοροποιημένες βάρδιες:

Shift1 Starting Hour: 15  
Shift1 Ending Hour: 23  
Shift1 Average Estimated WorkHours: 2.36  
Shift2 Starting Hour: 23  
Shift2 Ending Hour: NextDay7  
Shift2 Average Estimated WorkHours: 1.25  
Shift3 Starting Hour: NextDay7  
Shift3 Ending Hour: NextDay15  
Shift3 Average Estimated WorkHours: 2.26  
Absolute Differences of WorkHours: 2.2199999999999998

Όπως φαίνεται παραπάνω, οι εν λόγω βάρδιες, απαιτούν τις ελάχιστες εργατοώρες για την κάλυψη όλων των συμβάντων.

Για των υπολογισμό των βέλτιστων βαρδιών αξιολογήθηκε το μέγεθος των συμβάντων ανά ώρα σε συνάρτηση με τον εκτιμώμενο αριθμό εργατωρών που χρειάζονται για την κάλυψη των συμβάντων αυτών. Οι βάρδιες της υπάρχουσας

κατάστασης είναι 6-14, 14-22, 22-6, ενώ προτείνονται οι 7-15, 15-23, 23-7. Αυτές προτείνονται και βάσει του παρακάτω γραφήματος, το οποίο δείχνει 2 διαδοχικές ημέρες και πόσες εργατώρες χρειάζονται για την κάλυψη των συμβάντων.



Εικόνα 11 Εργατώρες για την κάλυψη 2 διαδοχικών ημερών

Πίνακας 7 Απόλυτη διαφορά των εργατωρών μεταξύ βαρδιών

absoluteDifferences is the Differences in WorkHours between Shifts.  
The table below is sorted by absoluteDifferences

Shift1_EndHour	Shift1_WorkHours	Shift2_StartHour	Shift2_EndHour	Shift2_WorkHours	Shift3_StartHour	Shift3_EndHour	Shift3_WorkHours	absoluteDifferences
23	2.356667	23	NextDay7	1.246667	NextDay7	NextDay15	2.263333	2.220000
NextDay7	1.246667	NextDay7	NextDay15	2.263333	NextDay15	NextDay23	2.356667	2.220000
15	2.263333	15	23	2.356667	23	NextDay7	1.246667	2.220000
22	2.446667	22	NextDay6	1.326667	NextDay6	NextDay14	2.093333	2.240000
NextDay6	1.326667	NextDay6	NextDay14	2.093333	NextDay14	NextDay22	2.446667	2.240000
14	2.093333	14	22	2.446667	22	NextDay6	1.326667	2.240000
NextDay4	1.576667	NextDay4	NextDay12	1.563333	NextDay12	NextDay20	2.726667	2.326667
12	1.563333	12	20	2.726667	20	NextDay4	1.576667	2.326667
20	2.726667	20	NextDay4	1.576667	NextDay4	NextDay12	1.563333	2.326667
8	1.250000	8	16	2.426667	16	NextDay0	2.190000	2.353333
NextDay0	2.190000	NextDay0	NextDay8	1.250000	NextDay8	NextDay16	2.426667	2.353333
16	2.426667	16	NextDay0	2.190000	NextDay0	NextDay8	1.250000	2.353333
9	1.350000	9	17	2.530000	17	NextDay1	1.986667	2.360000
NextDay1	1.986667	NextDay1	NextDay9	1.350000	NextDay9	NextDay17	2.530000	2.360000
17	2.530000	17	NextDay1	1.986667	NextDay1	NextDay9	1.350000	2.360000
21	2.550000	21	NextDay5	1.363333	NextDay5	NextDay13	1.953333	2.373333
NextDay5	1.363333	NextDay5	NextDay13	1.953333	NextDay13	NextDay21	2.550000	2.373333
13	1.953333	13	21	2.550000	21	NextDay5	1.363333	2.373333
19	2.706667	19	NextDay3	1.796667	NextDay3	NextDay11	1.363333	2.686667
NextDay3	1.796667	NextDay3	NextDay11	1.363333	NextDay11	NextDay19	2.706667	2.686667
11	1.363333	11	19	2.706667	19	NextDay3	1.796667	2.686667
18	2.640000	18	NextDay2	1.940000	NextDay2	NextDay10	1.286667	2.706667
NextDay2	1.940000	NextDay2	NextDay10	1.286667	NextDay10	NextDay18	2.640000	2.706667
10	1.286667	10	18	2.640000	18	NextDay2	1.940000	2.706667

### 7.3.3 Εύρεση βέλτιστης λύσης

Το μοντέλο, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, λύθηκε για 1, 2, 3, 4, 5, 6 και 10 οχήματα.

Φαίνεται πως η βέλτιστη λύση εμφανίζεται για 5 οχήματα.

Πίνακας 8 Πιθανές Λύσεις και Κόστος

Τοποθεσίες (Χιλιομετρική Θέση)										Κόστος
Όχημα #1	Όχημα #2	Όχημα #3	Όχημα #4	Όχημα #5	Όχημα #6	Όχημα #7	Όχημα #8	Όχημα #9	Όχημα #10	
253.5	284	312	337.5	371	382	408	426.5	449	467.5	€ 21,585.66
257	291	337	376.5	417	457.5	n/a	n/a	n/a	n/a	€ 20,263.04
274	330	372.5	416.5	458.5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	€ 19,490.99
282.5	332	390.5	453	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	€ 19,813.24
284	375.5	448.5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	€ 19,635.29
297.5	425.5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	€ 19,660.38
380.5	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	€ 19,769.62

Τα παραπάνω είναι τα κόστη που υπολογίστηκαν για τις βέλτιστες θέσεις που προτείνονται για την τοποθέτηση των οχημάτων.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα δεδομένα για τις υπάρχουσες θέσεις όταν τροφοδοτούνταν στον αλγόριθμο που δημιουργήθηκε. Πρέπει να σημειωθεί ότι δίνονται μόνο οι υπάρχουσες θέσεις, έτσι ο αλγόριθμος έχει να επιλέξει μονάχα από τις 4 που του δίνονται. Έτσι εξηγείται και το φαινόμενο των επαναλαμβανόμενων τιμών, καθώς στην ουσία δεν μπορεί να επιλέξει πάνω από 4 τοποθεσίες.

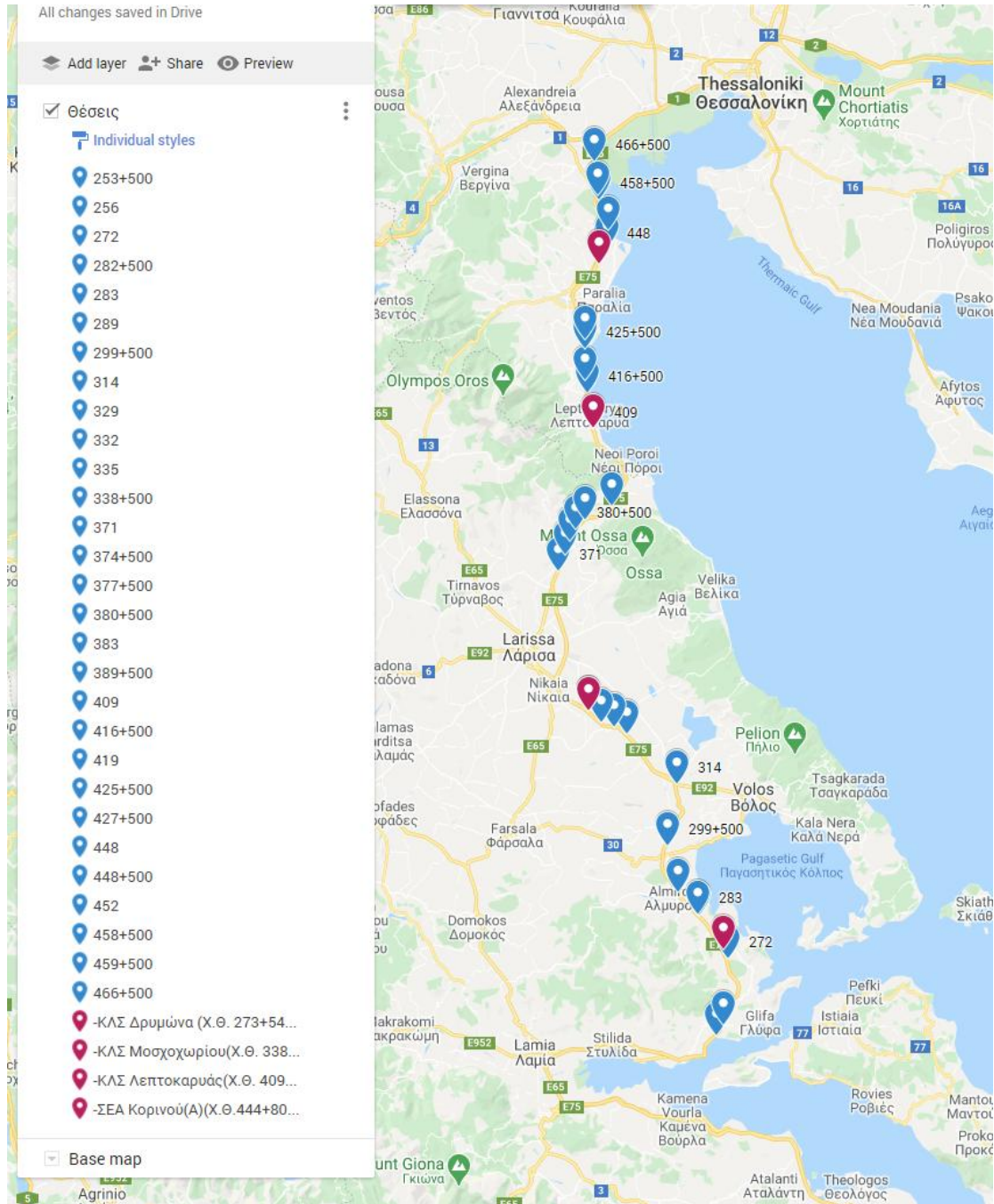
Πίνακας 9 Αριθμός οχημάτων και Μ.Ο. κόστους

# οχημάτων	Average of solution-value
10	€ 21,086.89
6	€ 21,086.89
5	€ 21,086.89
4	€ 21,086.89
3	€ 21,259.87
2	€ 22,631.68
1	€ 32,577.62

Πίνακας 10 Αριθμός Οχημάτων και σύγκριση κερδών με τις τωρινές θέσεις

# οχημάτων	Προτεινόμενες Θέσεις	Τωρινές Θέσεις	Διαφορά - Κέρδος/Ζημία
10	€ 21,585.66	€ 21,086.89	€ (498.76)
6	€ 20,263.04	€ 21,086.89	€ 823.86
5	€ 19,490.99	€ 21,086.89	€ 1,595.91
4	€ 19,813.24	€ 21,086.89	€ 1,273.66
3	€ 19,635.29	€ 21,259.87	€ 1,624.58
2	€ 19,660.38	€ 22,631.68	€ 2,971.30
1	€ 19,769.62	€ 32,577.62	€ 12,807.99

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζονται όλες οι υπάρχουσες τωρινές θέσεις (με κόκκινο) και όλες οι προτεινόμενες θέσεις (με μπλε).



Εικόνα 12 Θέσεις στο χάρτη

## 8 Συμπεράσματα - Προτάσεις

Η χωροθέτηση οχημάτων είναι μια άκρως απαιτητική διαδικασία που πρωτίστως απαιτεί την άρτια αξιολόγηση των συνθηκών και τη διατύπωση του προβλήματος. Ωστόσο, ένα πρόβλημα χωροθέτησης που εκτελείται σωστά μπορεί να προσφέρει πολλά θετικά και πολλά συγκριτικά πλεονεκτήματα. Στη βιβλιογραφία υπάρχουν διάφορες πρακτικές και έχουν διατυπωθεί πολλές

επιτυχημένες εφαρμογές. Για την παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκε η πιο διαδεδομένη ίσως μέθοδος, αυτή του P-median που αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Τα αποτελέσματα της μεθόδου έδειξαν ότι οι βάρδιες που έχουν οριστεί και εφαρμόζονται τη δεδομένη χρονική στιγμή, βάσει στατιστικών, δεν είναι οι καλύτερες δυνατές. Οι βάρδιες που προτάθηκαν δεν έχουν ουσιαστική μείωση στο κόστος, ωστόσο είναι καλύτερες ως προς την βέλτιστη κατανομή των συμβάντων ανά βάρδια.

Επομένως, με την παραπάνω ανάλυση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων ο ιδανικός αριθμός οχημάτων φαίνεται πως είναι 5 καθώς έχει το μικρότερο κόστος μεταξύ των λύσεων.

Τέλος, σε μελλοντική μελέτη και εφόσον είναι διαθέσιμες όλες οι πληροφορίες που χρειάζονται (σοβαρότητα συμβάντος, προτεραιότητα κ.α.) το μοντέλο θα μπορέσει να τροποποιηθεί και να προσφέρει ακριβέστερα αποτελέσματα.

## Βιβλιογραφία

- Aboueljinane, L., Jemai, Z., & Sahin, E. (2012). Reducing ambulance response time using simulation: The case of Val-De\_marne Department emergency medical service. *Proceedings of the iwnter simulation conference*, 84.
- Aboueljinane, L., Sahin, E., Jemai, Z., & Marty, J. (2014). A simulation study to improve the performance of an emergency medical service: Application to the French Val-De-Marne Department. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 46-59.
- Afshartous, D., Guan, Y., & Mehrotra, A. (2009). US coast guard air station location with respect to distress calls: A spatial statistics and optimization based methodology. *European Journal of Operational Research*, 1086-1096.
- Amiri, A. (1998). The design of service systems with queueing time cost, workload capacities and backup service. *European Journal of Operational Research*, 201-217.
- Antunes, A. P. (1999). Location analysis helps manage solid waste in central Portugal. *Interfaces*, 32-43.
- Araz, C., Selim, H., & Ozkarahan, I. (2007). A fuzzy multi-objective covering-based behicle location model for emergency services. *Computers & Operations Research*, 705-726.
- Berlin, G., Reville, C., & Elzinga, J. (1976). Determining ambulance hospital locations for on-scene and hospital services. *Environment and Planning* , 553-561.
- Berman, O., Larson, R. C., & Chiu, S. S. (1985). Optimal server location on a network operating as an M/G/I queue. *Operations Research*, 746-771.
- Berry, J., Hart, W. E., Phillips, C. A., Uber, J. G., & Watson, J. P. (2006). Senson placement in municipal water networks with temporal integer programming model. *Journal of water resources planning and management*, 218-224.
- Blackwell, T., & Kaufman, J. (2002). Response Time Effectiveness: Comparison of Response Time and Survival in an Urban Emergency Medical Services System. *Academic Emergency Medicine*.
- Carson, Y., & Batta, R. (1990). "Locating an ambulance on the Amherst campus of the State University of New York at Buffalo. *Interfaces* 20, 43-49.
- Cerqueira, I. M. (2018). *Emergency Vehicle Facility Location*.
- Chantra, S., Mayorga, M. E., & McLaw, L. A. (2014). Improving emergency service in rural areas: A bi-objective covering location model for EMS systems. *Annals of Operations Research*, 133-159.
- Daskin, M. S., & Dean, L. K. (2004). Location of Health Care Facilities. Στο F. Sainfort, M. Brandeau, & W. Pierskalla, *A Handbook of Methodi and Applications* (σσ. 43-76). Baltimore.

- Daskin, M. S., & Stern, E. E. (1981). A hierarchical objective set covering model for emergency medical service vehicle deployment. *Transportation Science*, 137-152.
- Dawson, M. C., Bell, J., & Weir, J. D. (2007). A hybrid location method for missile security team positioning. *Journal of Business and Management*, 5-17.
- Djahel, S., Smith, N., Wang, S., & Murphy, J. (2015). Reducing emergency services response time in smart cities: An advanced adaptive and fuzzy approach. *IEEE First International Smart Cities Conference*, (σσ. 1-8).
- Eaton, D., Daskin, M. S., Simmons, D., Bulloch, B., & Jansma, G. (1985). Determining emergency medical deployment in Austin, Texas. *Interfaces*, 96-108.
- Fu, M. C. (1994). Optimization via simulation: A review. *Annals of Operations Research*, 199-247.
- Gabrisova, L., & Jezek, B. (2015). Load balancing location of emergency medical service stations. *E+M Ekonomie a Management*, 30-41.
- Galvao, R. D., Chiyoshi, F. Y., & Morabito, R. (2005). Towards unified formulations and extensions of two classical probabilistic location models. *Computers & Operations Research*, 15-33.
- Garfinkel, R. S., Neebe, A. W., & Rao, M. R. (1977). The m-center problem: Minimax facility location. *Management science*, 1133-1142.
- Gayle, S., & Krycinski, T. (1998). Partnerships for Traffic Safety: Thinking Outside the Box. *ITE Journal*.
- Gendreau, M., Laport, G., & Semet, F. (2001). A dynamic model and parallel tabu search heuristic for real-time ambulance relocation. *Parallel Computing*, 1641-1653.
- Gunal, M. M., & Pidd, M. (2010). Discrete event simulation for performance modelling in health care: A review of the literature. *Journal of Simulation*, 42-51.
- Hakimi, L. S. (1964). "Optimum Locations of Switching Centers and the Absolute Centers and Medians of a Graph. *Operations Research*, 450-459.
- Harvey, F. (2008). *A Primer of GIS: Fundamental Geographic and Cartographic Concepts*. New York: The Gulford Publications.
- Hausner, J. (1975). Determining the travel characteristics of emergency service vehicles.
- Hillsman, E., & Rhoda, R. (1978). Errors in measuring distances from population to service centers. *Annals of Regional Science*, 74-88.
- Hochbaum, D., & Pathria, A. (1998). Locating centers in a dynamically changing network and related problems. *Location Science*, 243-256.
- Hogan, K., & Reville, C. (1986). Concepts and applications of backup coverage. *Management Science*, 1434-1444.
- Ingolfsson, A., Erkut, E., & Budge, S. (2003). Simulation of single start station for Edmonton EMS. *Journal of the Operational Research Society*, 736-746.



- Jia, H., Ordonez, F., & Dessouky, M. (2007). A modeling framework for facility location of medical services for large-scale emergencies. *IIE transactions*, 41-55.
- Karatas, M., Razi, N., & Gunal, M. M. (2017). An ILP and simulation model to optimize search and rescue helicopter operations. *Journal of the Operational Research Society*, 1335-1351.
- Kordjazi, M., & Yakici, E. (2018). An iterative solution approach to a multi-objective facility location problem. *Applied Soft Computing*, 272-287.
- Larson, R. (1974). A hypercube queuing model for facility location and redistricting in urban emergency services. *Computers and Operations Research*, 67-95.
- Larson, R. (1975). Approximating the performance of urban emergency service systems. *Operations Research*, 845-868.
- Li, X., Zhao, Z., Zhu, X., & Wyatt, T. (2011). Covering models and optimization techniques for emergency response facility location and planning: a review. *Mathematical Methods of Operations Research*, 281-310.
- Marianov, V., & Reville, C. (1996). The queueing maximal availability location problem : A model for the siting of emergency vehicles. *European Journal of Operational Research*, 110-120.
- Marsh, M., & Schilling, D. (1994). Equity Measurement in facility location Analysis : A review and Framework. *European Journal of Operational Research*, 74-81.
- Mirchandani, P. B. (1980). "Locating decisions on stochastic networks. *Geographical Analysis*, 172-183.
- Murray, A. T. (2010). Advances in location modeling: GIS linkages and contributions. *Journal of Geographical systems*, 335-334.
- Narasimhan, S., Pirkul, H., & Schilling, D. A. (1992). Capacitated emergency facility siting with multiple levels of backup. *Annals of Operations Research*, 323-337.
- Nogueira, L. C., Pinto, R., & Silva, P. M. (2014). Reducing emergency medical service response time via the reallocation of ambulance bases. *Health Care Management Science*, 1-12.
- Othman, I. A., & Rand, K. G. (2003). *A goal programming model applied to the EMS system at Riyadh City, Saudi Arabia*. Lancaster University Management School.
- Pirkul, H., & Schilling, D. (1989). The capacitated maximal covering location problem with backup service. *Annals of Operations Research*, 141-154.
- Pirkul, H., & Schilling, D. A. (1988). The siting of emergency service facilities with workload capacities and backup service. *Management Science*, 896-908.
- Razi, N., & Karatas, M. (2016). A multi-objective model for locating search and rescue boats. *European Journal of Operational Research*, 279-293.
- Razi, N., Karatas, M., & Gunal, M. M. (2016). A multi-objective model for locating search and rescue boats. *European Journal of Operational Research*, 279-293.

- Repede, F. J., & Bernardo, J. J. (1994). Developing and validating a decision support system for locating emergency medical vehicles in Louisville, Kentucky. ". *European Journal of Operational Research*, 567-581.
- Revelle, C. (1993). Facility siting and integer-friendly programming. *European Journal of Operational Research*, 147-158.
- Revelle, C. S., Eiselt, H. A., & Daskin, M. S. (2008). A bibliography for some fundamental problem categories in discrete location science. *European journal of operational research*, 817-848.
- Revelle, C., & Hogan, K. (1989). The maximum reliability location problem and a-reliable p-center problem : Derivatives of the probabilistic location set covering problem. *Annals of Operations Research*, 18(3), 155-174.
- Rodrigues, J. C., Tralhao, L. T., & Almeida, L. A. (2012). Solving a location routing problem with a multiobjective approach: the design of urban evacuation plan. *Journal of Transport Geography*, 206-218.
- Schilling, D. A., Elinga, D. J., Cohon, J., Church, R. L., & Revelle, C. S. (1979). The TEAM/FLEET models for simultaneous facility and equipment sitting. . *Transportation Science*, 163-175.
- Serra, D., & Marianov, V. (1998). The p-median problem in a changing network: The case of Barcelona. *Location Science*, 383-394.
- Serra, D., & Marianov, V. (2002). Location Problems in the Public Sector. *Facility location : Applications and Theory*, 42-55.
- Toregas, C., Swain, R., Revelle, C., & Berman, L. (1971). The location of emergency service facilities. *Operation Research*, 19(2), 1363-1373.
- Vega, R. S., Penate, D. R., & Gonzalez, P. D. (2012). Location models and GIS tools for retail site location. *Applied Geography*, 12-22.
- Vrachou, A. (2003). An analysis of emergency vehicle crash characteristics .
- Weaver, J. R., & Church, R. L. (1985). A median location model with nonclosest facility service. *Transportation Science*, 58-74.
- Wei Lam, S. S., Zhang, Z. C., Oh, H. C., Ng, Y. Y., Wah, W., & Hock Ong, M. E. (2014). Reducing ambulance response times using discrete event simulation. *Prehospital Emergency Care*, 207-216.
- Wu, C. H., & Hwang, K. P. (2009). Using a discrete-event simulation to balance ambulance availability and demand in static deployment systems. *Academic Emergency Medicine*, 1359-1366.
- Zhen, L., Wang, K., Hu, H., & Chang, D. (2014). A simulation optimization framework for ambulance deployment and relocation problems. *Computers & Industrial Engineering*, 12-23.



## 9 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α'

```
1. from importlib import import_module
2.
3. import time
4.
5. import pandas as pd
6. import numpy as np
7. from pulp import *
8.
9. import re
10.
11. from itertools import chain, combinations
12.
13. from multiprocessing import Process, cpu_count, Manager
14. import threading, queue
15.
16. #####
17. #####
18. ##### IMPORTANT
19. ## If set to True then the solver will solve for all possible subsets of CUR
    RENT_VEHICLE_POSITIONS only (no finding of new possitions)
20. ## If set to False then the solver will try to find the best set of new posi
    tions within the whole road and then will Solve for all possible subsets of
    CURRENT_VEHICLE_POSITIONS
21. SOLVE_FOR_CURRENT_POSITIONS_ONLY = False
22.
23. ## If set to True then the commercial faster Gurobi Solver will be used with
    in PuLP
24. ## If set to False then the default free slower CBC Solver will be used in P
    uLP
25. USE_GUROBI_SOLVER = False
26. GUROBI_MODULE_NAME = 'gurobipy'
27. #####
28. #####
29. ##### SETUP OF VARIABLES
30. # Variables
31. MAX_SERVICE_VEHICLES = (1,2,3,4,5,6,10) #max numbers of service vehicles ava
    ilable. Multiple numbers may be given to solve the problem with different (m
    ax) constrains. Will be divided for the two road lanes
32.
33. NUMBER_OF_VEHICLES_TO_COVER_EACH_INCIDENT = 1 # in case of Q-
    Coverage problem. How many vehicles should cover each incident position. Val
    ue =1 is optimal because of the lengthy road.
34.
35. VEHICLE_SPEED = 60 #average vehicle speed in Km per Hour
36.
37. PENALTY_OVERTIME_LOWER_BOUND = 10 #in minutes. The crucial Time point that a
    fter it there is penalty (for evertime).
38. PENALTY_OVERTIME_STEP = 1 #in minutes. Every how many minutes there is more
    penalty.
39. PENALTY_OVERTIME_COST_PER_STEP = 10 #in minutes. The cost for each step in o
    vertime period.
40.
41. ## per day
42. COST_PER_VEHICLE = 100 #per day. Cost of the Driver and Maintenance costs.
43. COST_PER_KM_DRIVING = 1.1752 * 13.8 #AVG Cost of Diesel. Average Diesel Cons
    umption per KM
44.
45. KM_POSITION_START = 242.0 #inclusive
```

```

46. KM_POSITION_END = 471.0 #inclusive
47. KM_POSITION_STEP = 0.5
48. EXCLUDE_KM_POSITIONS = [
49.     #Must be float
50.     #e.g
51.     #231.0, 237.5, 241.0
52.     KM_POSITION_START, #Exclude starting Location
53.     375.0,
54.     375.5, #ΣΕΑ Μακρυχωρίου. Σήραγγα όπου βρίσκεται υποχρεωτικά ένα όχημα
55.     376.0,
56.     407.5,
57.     408.0, #ΣΕΑ Σκότινας. Σήραγγα όπου βρίσκεται υποχρεωτικά ένα όχημα
58.     408.5,
59.     KM_POSITION_END #Exclude ending Location
60. ]
61.
62. CURRENT_VEHICLE_POSITIONS = [273.540, #ΚΛΣ Δρυμόνα
63.                               338.450, #ΚΛΣ Μοσχοχωρίου
64.                               409.110, #ΚΛΣ Λεπτοκαρυάς
65.                               444.800] #ΣΕΑ Κορίνου(A)
66.
67.
68. INCIDENTS_FILE = 'INCIDENTS-Table_from_MSAccess.xlsx'
69. GENERAL_LOG_FILE = 'All_Results_As_CSV.txt'
70. CSV_HEADERS = ['processname', #DO NOT mess with the order or add/remove!!! J
71.                'Direction',
72.                'Timeframe',
73.                'max-vehicles',
74.                'ParkLocID',
75.                'locations-list',
76.                'solution-status',
77.                'solution-value',
78.                'process-time-seconds']
79. CSV_DELIMITER = ';'
80. OUTPUT_RESULTS_FOLDER = 'results' #Should already exist
81. OUTPUT_FILE_PREFIX = 'results_'
82.
83. MAX_NUMBER_OF_SOLVING_PROCESSES = 11 #Change it to your CPU's number of Logical Cores, but keep in mind that each Process needs about 1.4GB of RAM.
84. MAX_NUMBER_OF_THREADS_IN_PROCESS = 1 #Each of the above Process will have this many Threads
85.
86. #####
87. # Importing Gurobi if USE_GUROBI_SOLVER is True
88. if USE_GUROBI_SOLVER:
89.     globals()[GUROBI_MODULE_NAME] = import_module(GUROBI_MODULE_NAME)
90. #####
91. ##### Helper Functions
92. def encloseinQuotes(string:str)->str:
93.     quote = '"'
94.     return quote + string + quote
95.
96. def powerset(iterable=CURRENT_VEHICLE_POSITIONS):
97.     """
98.     Creating subsets from a given set
99.     :param iterable: List of items
100.    :return: List of subsets
101.    """
102.    "powerset([1,2,3]) --
103.    > [(1,) (2,) (3,) (1,2) (1,3) (2,3) (1,2,3)]"

```

```

104.         return list(chain.from_iterable(combinations(s, r) for r in range
(1, len(s)+1)))
105.
106.     def printAndFileWrite(txt:str, filename:str, processName=''):
107.         print(processName,txt)
108.         _filename = OUTPUT_RESULTS_FOLDER + '\\\'
109.         _filename += str(OUTPUT_FILE_PREFIX + filename)
110.         with open(_filename, 'a') as out_file:
111.             out_file.write(txt + os.linesep)
112.         ##### Main Fun
ctions
113.     def loadIncidentsFile() -> pd.DataFrame:
114.         # Loading the Incidents File
115.         print("Loading File")
116.         incidents_source_file = INCIDENTS_FILE
117.         incidentsDF = pd.read_excel(incidents_source_file, index_col=None
).sort_values(by=['A_A']).reset_index(drop=True)
118.         incidentsDF = incidentsDF[ (incidentsDF["Position_KM"] >= 242.0)
& (incidentsDF["Position_KM"] <= 471.0)]
119.         incidentsDF['Duration'] = incidentsDF['INCIDENT_END_TIME']-
incidentsDF['INCIDENT_START_TIME']
120.         incidentsDF['Duration'] = incidentsDF['Duration'].fillna(incident
sDF['Duration'].mean())
121.         incidentsDF['INCIDENT_END_TIME'] = incidentsDF['INCIDENT_END_TIME
'].fillna(incidentsDF['INCIDENT_START_TIME'] + incidentsDF['Duration'])
122.         return incidentsDF
123.
124.
125.     def prepareCollectionOfData(incidentsDF:pd.DataFrame) -> {}:
126.         print("Preparing Collection of Data")
127.         incidentsCollectionsDict = {}
128.         incidentsCollectionsDict['DirectionToAthens'] = {
129.             'AllIncidents' : {'DF' : incidentsDF[(incidentsDF['DIRECTION'
] == 'A') | (incidentsDF['DIRECTION'] == "A/0") | (incidentsDF['DIRECTION'
] == "Π/A") | (incidentsDF['DIRECTION'] == "T/Δ") | (incidentsDF['DIRECTION'
] == "E/K") | (incidentsDF['DIRECTION'] == "Π/A0")]
130.         }}
131.         incidentsCollectionsDict['DirectionToThess'] = {
132.             'AllIncidents' : {'DF' : incidentsDF[(incidentsDF['DIRECTION'
] == '0') | (incidentsDF['DIRECTION'] == "A/0") | (incidentsDF['DIRECTION'
] == "Π/0") | (incidentsDF['DIRECTION'] == "T/Δ") | (incidentsDF['DIRECTION'
] == "E/K") | (incidentsDF['DIRECTION'] == "Π/A0")]
133.         }}
134.         incidentsCollectionsDict['ALL'] = {
135.             'AllIncidents' : {'DF' : incidentsDF.copy()}
136.         }}
137.
138.         for key in incidentsCollectionsDict.keys():
139.             _df = incidentsCollectionsDict[key]['AllIncidents']['DF']
140.             incidentsCollectionsDict[key]['Hours07-15'] = {
141.                 'DF' :_df[
142.                     (_df['INCIDENT_START_TIME'].dt.hour >= 7) &
143.                     (_df['INCIDENT_START_TIME'].dt.hour < 15)]
144.             }
145.             incidentsCollectionsDict[key]['Hours15-23'] = {
146.                 'DF' :_df[
147.                     (_df['INCIDENT_START_TIME'].dt.hour >= 15) &
148.                     (_df['INCIDENT_START_TIME'].dt.hour < 23)]
149.             }
150.             incidentsCollectionsDict[key]['Hours23-07'] = {
151.                 'DF' :_df[
152.                     (_df['INCIDENT_START_TIME'].dt.hour >= 23) |
153.                     (_df['INCIDENT_START_TIME'].dt.hour < 7)]
154.             }
155.             incidentsCollectionsDict[key]['Hours06-14'] = {

```

```

156.         'DF': _df[
157.             (_df['INCIDENT_START_TIME'].dt.hour >= 6) &
158.             (_df['INCIDENT_START_TIME'].dt.hour < 14)]
159.         }
160.         incidentsCollectionsDict[key]['Hours14-22'] = {
161.             'DF': _df[
162.                 (_df['INCIDENT_START_TIME'].dt.hour >= 14) &
163.                 (_df['INCIDENT_START_TIME'].dt.hour < 22)]
164.             }
165.         incidentsCollectionsDict[key]['Hours22-06'] = {
166.             'DF': _df[
167.                 (_df['INCIDENT_START_TIME'].dt.hour >= 22) |
168.                 (_df['INCIDENT_START_TIME'].dt.hour < 6)]
169.             }
170.
171.         for key1 in incidentsCollectionsDict.keys():
172.             for key2 in incidentsCollectionsDict[key1].keys():
173.                 _df = incidentsCollectionsDict[key1][key2]['DF']
174.                 incidentsCollectionsDict[key1][key2]['IncidentsAVGDuratio
n_minutes'] = round(_df['Duration'].mean() / np.timedelta64(1, 'm'))
175.
176.         for key1 in incidentsCollectionsDict.keys():
177.             for key2 in incidentsCollectionsDict[key1].keys():
178.                 _df = incidentsCollectionsDict[key1][key2]['DF']
179.                 incidentsCollectionsDict[key1][key2]['IncidentsStartTime
'] = {
180.                     "MIN": _df['INCIDENT_START_TIME'].min(),
181.                     "MAX": _df['INCIDENT_START_TIME'].max()
182.                 }
183.         for key1 in incidentsCollectionsDict.keys():
184.             for key2 in incidentsCollectionsDict[key1].keys():
185.                 _df = incidentsCollectionsDict[key1][key2]['DF']
186.                 incidentsCollectionsDict[key1][key2]['IncidentsEndTime']
= {
187.                     "MIN": _df['INCIDENT_END_TIME'].min(),
188.                     "MAX": _df['INCIDENT_END_TIME'].max()
189.                 }
190.
191.         for key1 in incidentsCollectionsDict.keys():
192.             for key2 in incidentsCollectionsDict[key1].keys():
193.                 _df = incidentsCollectionsDict[key1][key2]['DF']
194.                 incidentsCollectionsDict[key1][key2]['FrequencyPerKM'] =
_df[['A_A', 'KM_POS']].groupby(['KM_POS']).count().rename(columns={"A_A": "N
umberOfIncidents"})
195.
196.         for key1 in incidentsCollectionsDict.keys():
197.             for key2 in incidentsCollectionsDict[key1].keys():
198.                 _df = incidentsCollectionsDict[key1][key2]
199.                 incidentsCollectionsDict[key1][key2]['NormDailyFrequencyP
erKM'] = _df['FrequencyPerKM'] / ((_df['IncidentsEndTime']['MAX'] -
_df['IncidentsStartTime']['MIN']) / np.timedelta64(1, 'D'))
200.
201.         return incidentsCollectionsDict
202.
203.
204.     def solveForSet(dfset:[],
205.                    _SERVICE_VEHICLE_PARKING_LOCATIONS:[],
206.                    _MAX_SERVICE_VEHICLES:int,
207.                    filename = 'outfile.txt',
208.                    processName = '',
209.                    passedArgsDict = {},
210.                    waitingQueueInThread = 'EmptyThreadQueue-
OnlyForMultiVariableInput'
211.                    ):
212.         .....

```





```

258.         overtimePenalties = {key: overtimePenaltyCalc(value) for key, val
ue in transp.items()}
259.
260.         #Set Problem Variable
261.         printAndFileWrite("Setting Solver",filename=filename,processName=
processName)
262.         prob = LpProblem("ServiceVehiclesLocations", LpMinimize)
263.
264.         #
265.         facilities = SERVICE_VEHICLE_PARKING_LOCATIONS
266.
267.         #
268.         #Set Decision Variables
269.         printAndFileWrite("Setting Variables",filename=filename,processNa
me=processName)
270.         printAndFileWrite("Possible Service Vehicles Locations:\n\t" + str
(SERVICE_VEHICLE_PARKING_LOCATIONS), filename=filename, processName=process
Name)
271.         use_vars = LpVariable.dicts("UseLocation", SERVICE_VEHICLE_PARKIN
G_LOCATIONS, 0, 1, LpInteger)
272.         X = use_vars
273.         printAndFileWrite("Incidents Positions:\n\t"+str(INCIDENTS_POSITI
ONS), filename=filename, processName=processName)
274.         serv_vars = LpVariable.dicts("IncidentsService",
275.                                     (INCIDENTS_POSITIONS,SERVICE_VEHICLE
_PARKING_LOCATIONS),
276.                                     0,1,
277.                                     LpInteger)
278.         Y = serv_vars
279.
280.         #Objective Function
281.         printAndFileWrite("Preparing Objective Function",filename=filenam
e,processName=processName)
282.         # #1 First Try
283.         # prob += lpSum(lpSum(COST_PER_KM_DRIVING * transp[j][i] * Y[i][j
] for j in SERVICE_VEHICLE_PARKING_LOCATIONS)/(numOfDailyIncidents[i] + 1**(-12)) for i in INCIDENTS_POSITIONS)
284.         # #2nd Try
285.         # Divided by squared numOfDailyIncidents to increase importance b
y number of incidents
286.         # prob += lpSum(
287.         #     lpSum(
288.         #         (COST_PER_KM_DRIVING * transp[j][i] * Y[i][j]) / (numOf
DailyIncidents[i]**2) + (Y[i][j]*COST_PER_VEHICLE) for i in INCIDENTS_POSITI
ONS
289.         #     ) for j in SERVICE_VEHICLE_PARKING_LOCATIONS
290.         # )
291.         # #3rd Try
292.         #  $\sum_j (X[j]*VehicleCost[j] + \sum_i (KmCost * 2*Distance[j][i] * NumOfV
isits[i] * Y[i][j]))$ 
293.         printAndFileWrite(''''lpSum(
294.             lpSum(
295.                 (COST_PER_KM_DRIVING * 2*transp[j][i] * numOfDailyInc
idents[i] * Y[i][j]) for i in
296.                 INCIDENTS_POSITIONS
297.             ) + (X[j] * COST_PER_VEHICLE) for j in SERVICE_VEHICLE_PA
RKING_LOCATIONS
298.             )\n''', filename=filename, processName=processName)
299.         prob += lpSum(
300.             lpSum(
301.                 (COST_PER_KM_DRIVING * 2*transp[j][i] * numOfDailyInciden
ts[i] * Y[i][j] + overtimePenalties[j][i] * numOfDailyIncidents[i] * Y[i][j]
) for i in
302.                 INCIDENTS_POSITIONS

```

```

303.         ) + (X[j] * COST_PER_VEHICLE) for j in SERVICE_VEHICLE_PARKIN
G_LOCATIONS
304.     )
305.
306.     #Constrains
307.     printAndFileWrite("Setting Constrains",filename=filename,processN
ame=processName)
308.     #1
309.     printAndFileWrite("\t#1\tMAX Vehicles: "+str(_MAX_SERVICE_VEHICLE
S),filename=filename,processName=processName)
310.     printAndFileWrite('''lpSum([X[j] for j in SERVICE_VEHICLE_PARKI
NG_LOCATIONS]) <= _MAX_SERVICE_VEHICLES\n''', filename=filename, processName
=processName)
311.     prob += lpSum([X[j] for j in SERVICE_VEHICLE_PARKING_LOCATIONS])
<= _MAX_SERVICE_VEHICLES
312.     #2
313.     # For Q-
coverage problems, modify the constraint below and instead of '== 1'
314.     # make it equal to the number of facilities that need to service
each demand
315.     # The value NUMBER_OF_VEHICLES_TO_COVER_EACH_INCIDENT is defined
at the start of this script and its default value is 1.
316.     printAndFileWrite("\t#2\tVehicles serving each incident: " + str(
NUMBER_OF_VEHICLES_TO_COVER_EACH_INCIDENT), filename=filename, processName=p
rocessName)
317.     printAndFileWrite('''lpSum(Y[i][j] for j in SERVICE_VEHICLE_PAR
KING_LOCATIONS) == NUMBER_OF_VEHICLES_TO_COVER_EACH_INCIDENT\n''', filename=
filename, processName=processName)
318.     for i in INCIDENTS_POSITIONS: prob += lpSum(Y[i][j] for j in SERV
ICE_VEHICLE_PARKING_LOCATIONS) == NUMBER_OF_VEHICLES_TO_COVER_EACH_INCIDENT
319.     #3
320.     printAndFileWrite("\t#3\tY[i][j] <= X[j]",filename=filename,proce
ssName=processName)
321.     printAndFileWrite('''Y[i][j] <= X[j]\n''', filename=filename, p
rocessName=processName)
322.     for i in INCIDENTS_POSITIONS:
323.         for j in SERVICE_VEHICLE_PARKING_LOCATIONS:
324.             prob += Y[i][j] <= X[j]
325.
326.     #Solution
327.     if USE_GUROBI_SOLVER:
328.         # Using CBC (Coin-or branch and cut) Solver within PuLP
329.         printAndFileWrite("Solving with Solver: Gurobi ... ", filenam
e=filename, processName=processName)
330.         prob.solve(GUROBI(TimeLimit=22688))
331.     else:
332.         # Using CBC (Coin-or branch and cut) Solver within PuLP
333.         printAndFileWrite("Solving with Solver: CBC ... ",filename=fi
lename,processName=processName)
334.         prob.solve(PULP_CBC_CMD(maxSeconds=22688))
335.
336.     # Show Solution
337.     printAndFileWrite("Status: " + str(LpStatus[prob.status]),filenam
e=filename,processName=processName)
338.     printAndFileWrite("Objective: "+ str(value(prob.objective)),filen
ame=filename,processName=processName)
339.
340.     tolerance = 1 # Values are 0 or 1 for each X[i], possible vehicle
position.
341.     for i in SERVICE_VEHICLE_PARKING_LOCATIONS:
342.         if X[i].varValue >= tolerance:
343.             printAndFileWrite("Should Establish a Vehicle in Location
: " + str(i),filename=filename,processName=processName)
344.

```

```

345.         # for v in prob.variables():
346.         #     printAndFileWrite(str(v.name) + " = " + str(v.varValue))
347.
348.         runningProcessTime = str(time.process_time() - start_time)
349.         runningProcessTimeWithUnits = runningProcessTime + " (in fraction
al seconds)"
350.         printAndFileWrite("\nProcess Time Required for this Solution: " +
runningProcessTimeWithUnits,filename=filename,processName=processName)
351.
352.         # Create a csv (delimiter: ";") file with all the results
353.         # processname,Direction,Timeframe,max-
vehicles,ParkLocID,locations-list,solution-status,solution-value,process-
time-seconds
354.         row_to_write = CSV_DELIMITER.join([processName, # processname
355.                                             passedArgsDict.get('Direction'
, 'NotGiven-Direction'), # Direction
356.                                             passedArgsDict.get('Timeframe'
, 'NotGiven-Timeframe'), # Timeframe
357.                                             str(_MAX_SERVICE_VEHICLES), #
max-vehicles
358.                                             passedArgsDict.get('ParkLocID'
, 'NotGiven-ParkLocID'), # ParkLocID
359.                                             encloseinQuotes(",").join([str(
i) for i in SERVICE_VEHICLE_PARKING_LOCATIONS if
360.                                             X[i]
.varValue >= tolerance])), # locations-list
361.                                             str(LpStatus[prob.status]), #
solution-status
362.                                             str(value(prob.objective)), #
solution-value
363.                                             runningProcessTime # process-
time-seconds
364.                                             ])
365.         printAndFileWrite(row_to_write, filename=GENERAL_LOG_FILE, proces
sName=processName)
366.
367.         if waitingQueueInThread != 'EmptyThreadQueue-
OnlyForMultiVariableInput':
368.             if type(waitingQueueInThread) == type(queue.Queue()):
369.                 waitingQueueInThread.put((processName, 'done'))
370.
371.
372.
373.         def solveWithVariableInputForSet(dfset:[],
374.                                         _SETS_OF_SERVICE_VEHICLE_PARKING_LOC
ATIONS:[],
375.                                         _direction:str,
376.                                         filename:str,
377.                                         processName:str,
378.                                         passedArgsDict:dict):
379.             waitingQueueInThread = queue.Queue()
380.
381.
382.             for enum_parkingLoc, SUBSET_SERVICE_VEHICLE_PARKING_LOCATIONS in
enumerate(_SETS_OF_SERVICE_VEHICLE_PARKING_LOCATIONS):
383.                 _parkingLocID = str(enum_parkingLoc)
384.                 for max_vehicles in MAX_SERVICE_VEHICLES:
385.                     print('>Calling Solver for:')
386.                     print('>>MAX Vehicles:',max_vehicles)
387.                     print('>>Parking Locs Set:', _parkingLocID)
388.
389.                     #_max_service_vehicles = np.ceil(max_vehicles / 2) if _di
rection != 'ALL' else max_vehicles #ToDo: To be used when splitting the data
set
390.                     _max_service_vehicles = max_vehicles

```

```

391.
392.         logfile = filename.replace(".txt", "")
393.         logfile += "-
MaxVehicles" + str(_max_service_vehicles) + "-
ParkLocIter" + _parkingLocID + ".txt"
394.         logfile = re.sub('[^a-zA-Z0-
9_(). ]+', '', logfile) # Escape invalid characters, if any
395.
396.         printAndFileWrite(txt="Created file from Process: %s" % (
processName),filename=logfile,processName=processName)
397.
398.         _passedArgsDict = passedArgsDict
399.         # Already has 'Direction' and 'Timeframe'
400.         # so add 'ParkLocID'
401.         _passedArgsDict['ParkLocID'] = _parkingLocID
402.         # Multithread code below
403.         threads = [threading.Thread(target=solveForSet,
404.                                     # dfset:[], _SERVICE_VEHICLE_
PARKING_LOCATIONS:[], _MAX_SERVICE_VEHICLES:int, filename:str, processName:s
tr, passedArgsDict, waitingQueueInThread
405.                                     args=(dfset, SUBSET_SERVICE_V
EHICLE_PARKING_LOCATIONS, _max_service_vehicles, logfile, processName+'threa
d'+str(i), _passedArgsDict, waitingQueueInThread)
406.                                     ) for i in range(MAX_NUMBER_O
F_THREADS_IN_PROCESS)]
407.         for th in threads:
408.             th.daemon = True
409.             th.start()
410.
411.         # Joining Threads in main Process in order to keep them Q
ueued
412.         for th in threads:
413.             th.join()
414.
415.         # Normal function
416.         # solveForSet(dfset = dfset,
417.         #             _SERVICE_VEHICLE_PARKING_LOCATIONS = SUBSET
_SERVICE_VEHICLE_PARKING_LOCATIONS,
418.         #             _MAX_SERVICE_VEHICLES = _max_service_vehicl
es,
419.         #             filename = logfile,
420.         #             processName = processName)
421.
422.
423.     def multiProcessSolveForSets(_procName, dataSets_and_filenames):
424.         print("\t>Starting Process:\t %s " % (_procName))
425.         while (dataSets_and_filenames.qsize() > 0):
426.             print('\t>Process:\t', _procName, '\t\tRemaining Items in Queu
e:', dataSets_and_filenames.qsize() )
427.             _dataSets_and_filenames = dataSets_and_filenames.get()
428.             _dfset = _dataSets_and_filenames['DataSet']
429.             _logFile = _dataSets_and_filenames['LogFile']
430.             _direction = _dataSets_and_filenames['Direction']
431.             _timeframe = _dataSets_and_filenames['Timeframe']
432.             _sets_of_service_vehicle_parking_locations = _dataSets_and_fi
lenames['SETS_OF_SERVICE_VEHICLE_PARKING_LOCATIONS']
433.             print('\t>Process:\t', _procName, "\t\tSolution's filename:",
_logFile)
434.             #ToDo: Direction,Timeframe, ParkLocID
435.             _passedArgsDict = {
436.                 'Direction' : _direction,
437.                 'Timeframe' : _timeframe
438.             }
439.             solveWithVariableInputForSet(dfset=_dfset,

```

```

440.         _SETS_OF_SERVICE_VEHICLE_PARKING
    _LOCATIONS=_sets_of_service_vehicle_parking_locations,
441.         _direction=_direction,
442.         filename=_logFile,
443.         processName = _procName,
444.         passedArgsDict = _passedArgsDict
    )
445.     print('\t>Process:\t %s \tFinished Solving' % (_procName))
446.     return None
447.
448.
449.     if __name__ == '__main__':
450.         ##### Initialize Variables
451.         incidentsDF = loadIncidentsFile()
452.         incidentsCollectionsDict = prepareCollectionOfData(incidentsDF)
453.
454.         print('\t\t Available Logical CPU Cores:', cpu_count())
455.         numberOfProcesses = MAX_NUMBER_OF_SOLVING_PROCESSES if MAX_NUMBER
    _OF_SOLVING_PROCESSES else max(int(cpu_count()),1)
456.         print('\t\t Max Number of Simultaneous Processes:', numberOfProce
    sses)
457.
458.         print('>Creating Queue with Datasets and Filenames')
459.         dataSets_and_filenames = Manager().Queue() # store unique codes
460.
    allPossibleVehicleLocations = [tuple(i for i in np.arange(KM_POSI
    TION_START, KM_POSITION_END + KM_POSITION_STEP, KM_POSITION_STEP) if i not i
    n EXCLUDE_KM_POSITIONS)] #Has to be a List of Tuples: [[]]
461.         allSubSetsOfCurrentLocations = powerset(CURRENT_VEHICLE_POSITIONS
    )
462.         allPossibleVehicleLocationsAndSubSetsOfCurrentLocations = allPoss
    ibleVehicleLocations + allSubSetsOfCurrentLocations
463.         SETS_OF_SERVICE_VEHICLE_PARKING_LOCATIONS = allSubSetsOfCurrentLo
    cations if SOLVE_FOR_CURRENT_POSITIONS_ONLY else allPossibleVehicleLocations
    AndSubSetsOfCurrentLocations
464.
465.         print('>Writing Headers to CSV')
466.         # processname,Direction,Timeframe,max-
    vehicles,ParkLocID,locations-list,solution-status,solution-value,process-
    time-seconds
467.         printAndFileWrite(CSV_DELIMITER.join(CSV_HEADERS), filename=GENER
    AL_LOG_FILE, processName='MainProcess')
468.         for key1 in incidentsCollectionsDict.keys():
469.             print('>>>for:', key1)
470.             for key2 in incidentsCollectionsDict[key1].keys():
471.                 print('>>>>for:', key2)
472.                 setdf = incidentsCollectionsDict[key1][key2]
473.                 logfile = str(key1)+"-"+str(key2)+".txt"
474.                 logfile = re.sub('[^a-zA-Z0-
    9_(). ]+', '', logfile) #Escape invalid characters, if any
475.                 direction = str(key1)
476.                 timeframe = str(key2)
477.                 dictToPut = {'DataSet': setdf,
478.                             'LogFile': logfile,
479.                             'Direction': direction,
480.                             'Timeframe': timeframe,
481.                             'SETS_OF_SERVICE_VEHICLE_PARKING_LOCATIONS':
    SETS_OF_SERVICE_VEHICLE_PARKING_LOCATIONS}
482.                 dataSets_and_filenames.put(dictToPut)
483.
484.         print('>Initializing Processes, Number:', numberOfProcesses)
485.         processesList = []
486.         for processID in range(numberOfProcesses):
487.             processName = 'solverProcess-' + str(processID)

```

```
488.         processesList.append(Process(target=multiProcessSolveForSets,  
    args=(  
489.             processName, dataSets_and_filenames)))  
490.  
491.         print('>Starting Processes')  
492.         for process in processesList:  
493.             process.start()  
494.  
495.         print('>Joining Processes to main calling Thread')  
496.         for process in processesList:  
497.             process.join()
```