



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Τομέας Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων
Αποφάσεων

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΕΠΙΜΕΤΡΗΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΠΕΔΙΟΥ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΡΤΕΜΙΟΣ-ΑΝΑΡΓΥΡΟΣ ΣΕΜΕΝΟΓΛΟΥ

Επιβλέπων: Βασίλειος Ασημακόπουλος

Καθηγητής, ΕΜΠ

Υπεύθυνος: Ευάγγελος Ν. Σπηλιώτης

Αθήνα, Οκτώβριος 2017



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Τομέας Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων
Αποφάσεων

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΕΠΙΜΕΤΡΗΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΠΕΔΙΟΥ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΡΤΕΜΙΟΣ-ΑΝΑΡΓΥΡΟΣ ΣΕΜΕΝΟΓΛΟΥ

Επιβλέπων: Βασίλειος Ασημακόπουλος

Καθηγητής, ΕΜΠ

Υπεύθυνος: Ευάγγελος Ν. Σπηλιώτης

Εγκρίθηκε από την 3^η μελή επιτροπή την 13^η Οκτωβρίου 2017

.....
Βασίλειος Ασημακόπουλος
Καθηγητής, ΕΜΠ

.....
Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής, ΕΜΠ

.....
Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής, ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2017

ΑΡΤΕΜΙΟΣ-ΑΝΑΡΓΥΡΟΣ Α. ΣΕΜΕΝΟΓΛΟΥ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Αρτέμιος-Ανάργυρος Α. Σεμένογλου, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τους συγγραφείς και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Πρόλογος

Η διπλωματική αυτή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια των ερευνητικών δραστηριοτήτων της Μονάδας Προβλέψεων και Στρατηγικής κατά το ακαδημαϊκό έτος 2016-2017. Η μονάδα υπάγεται στον Τομέα Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ, του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Βασίλειο Ασημακόπουλο για την ευκαιρία που μου έδωσε να συμμετάσχω στην ομάδα της Μονάδας όλα αυτά τα χρόνια και να ασχοληθώ με το πρόβλημα της βελτιστοποίησης των διαδρομών καταμέτρησης. Η στήριξη και η καθοδήγηση του όλα αυτά τα χρόνια που εργάζομαι στην Μονάδα ήταν πολύτιμη. Θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Ιωάννη Ψαρρά και τον Καθηγητή κ. Δημήτριο Ασκούνη για τη συμμετοχή τους στην επιτροπή εξέτασης της εργασίας.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Δρ. Βαγγέλη Σπηλιώτη, τόσο για την βοήθεια του στην εκπόνηση αυτής της εργασίας όσο και για την βοήθεια, καθοδήγηση και στήριξη που μου έχει προσφέρει όλα αυτά τα χρόνια στα πλαίσια της συνεργασίας μας στη Μονάδα Προβλέψεων και Στρατηγικής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τα υπόλοιπα μέλη της Μονάδας Προβλέψεων και Στρατηγικής, Ζαμπέτα, Ηλέκτρα, Κατερίνα, Χρίστο, Ανδρέα, Νίκη, Αχιλλέα, Φώτη και Φωτεινή για την υποστήριξη τους σε κάθε επίπεδο, καθώς και την οικογένεια και τους φίλους μου.

Αρτέμιος-Ανάργυρος Σεμένογλου

Αθήνα, Οκτώβριος 2017

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σαν στόχο την επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης των διαδρομών επιμετρητικών εργασιών πεδίου μεγάλης εταιρείας ύδρευσης. Προβλήματα δρομολόγησης και βελτιστοποίησης τυγχάνουν μεγάλης προσοχής από την επιστημονική κοινότητα στον τομέα της επιστήμης των υπολογιστών. Το παρόν πρόβλημα έχει μεγάλη συνάφεια με το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή (traveling salesman problem) το οποίο χρησιμοποιείται σαν βάση για την ανάπτυξη κατάλληλης μεθοδολογίας.

Αρχικά, αξιολογείται το πρόβλημα βελτιστοποίησης των διαδρομών αναλύοντας τον τρόπο με τον οποίο είναι οργανωμένες αυτές από την εταιρεία ύδρευσης. Με αυτό τον τρόπο γίνονται εμφανείς οι αδυναμίες στην διαδικασία του σχεδιασμού των διαδρομών, οι οποίες αποτυπώνονται και στα αποτελέσματα του σχεδιασμού με βιβλία καταμέτρησης τα οποία δεν είναι τα βέλτιστα και έχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ τους στον φόρτο εργασίας. Με αυτό τον τρόπο τίθενται στόχοι τους οποίους θα πρέπει να πληρεί η μεθοδολογία ώστε να χαρακτηριστεί επιτυχής.

Για την ανάπτυξη της μεθοδολογίας επιλέχθηκαν αλγόριθμοι με στόχο την ισορροπία μεταξύ ποιότητας αποτελέσματος και απόδοσης. Αρχικά σχεδιάστηκε συνάρτηση κόστους η οποία να λαμβάνει υπόψιν τόσο την απόσταση μιας διαδρομής όσο και τον αριθμό των αλλαγών δρόμου που πραγματοποιούνται σε αυτή. Ο βασικός κορμός της μεθοδολογίας αποτελείται από 3 βήματα. Στο πρώτο, με χρήση του αλγορίθμου κοντινότερων γειτόνων παράγεται μια πρώτη προσέγγιση της διαδρομής. Στο δεύτερο βήμα, χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος 2-opt ο οποίος βελτιστοποιεί την πρώτη προσέγγιση και παράγει την τελική προτεινόμενη διαδρομή. Τέλος, στο τρίτο στάδιο, για την χάραξη των νέων βιβλίων από την βέλτιστη διαδρομή χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος της δυαδικής αναζήτησης.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ο σχεδιασμός του συστήματος λογισμικού που αναπτύχθηκε. Για την ανάπτυξη συνολικά επιλέχθηκε το ελικοειδές μοντέλο. Σε αυτό το στάδιο έγινε χρήση πλήθους τεχνικών με στόχο την καταγραφή των απαιτήσεων της επιχείρησης, την ανάλυση και αναπαράσταση διαφορετικών σεναρίων χρήσης καθώς και την απεικόνιση της δομής της εφαρμογής και της βάσης δεδομένων που χρησιμοποιείται. Τον σχεδιασμό αυτό ακολουθεί η διαδικασία της υλοποίησης του με την ανάπτυξη εφαρμογής Windows στην οποία εφαρμόζεται η παραπάνω μεθοδολογία λαμβάνοντας υπόψιν και τις ανάγκες που αναλύθηκαν κατά τον σχεδιασμό.

Η εφαρμογή δοκιμάστηκε σε πραγματικές συνθήκες σε παροχές οι οποίες βρίσκονται στον δήμο Ζωγράφου όπου και εκτελέστηκαν δύο πειράματα. Το πρώτο με παράμετρο την διατήρηση του φόρτου εργασίας κάθε διαδρομής και το δεύτερο με στόχο την βελτίωση της ημερήσιας αποδοτικότητας. Και στις δύο περιπτώσεις τα νέα βιβλία έχουν συντομότερες διαδρομές και είναι ισοδύναμα μεταξύ τους. Ειδικά στο δεύτερο πείραμα παρατηρείται και σημαντική μείωση των απαραίτητων διαδρομών καταμέτρησης.

Τέλος, προτείνονται και ιδέες για την μελλοντική αναβάθμιση των υπηρεσιών του συστήματος οι οποίες βρίσκονταν έξω από το πλαίσιο αυτής της εργασίας.

Λέξεις κλειδιά: Δρομολόγηση σημείων, Βελτιστοποίηση διαδρομών, Πρόβλημα πλανόδιου πωλητή

Abstract

The aim of this thesis is to propose and implement a methodology for creating optimal meter reading routes for a big water company. In general, computer scientists have put a great effort in trying to solve routing and optimization problems because of the applications these problems have in our lives. The study of such problems was useful and through this process it was decided that the problem at hand has many similarities with the traveling salesman problem (TSP) which was later used as the basis for developing the proposed methodology.

The first part of solving the problem of creating optimal meter reading routes, was the analysis of the way the water company plans, organizes and executes the task up until now. The goal of the analysis was to highlight the weaknesses in the currently applied methodology. It is important to note that the results of the aforementioned analysis were also confirmed by evaluating the used meter reading routes. The results showed that they are neither optimal nor equal in terms of the amount of work needed to complete each route. In this way, the goals for the proposed methodology are set to address these issues.

The process of developing the methodology was mainly about choosing the algorithms that balance time efficiency and solid results. Firstly, a cost function was designed in order to take into account both the length of a given route and the number of turns (changes of streets). The main core of the proposed methodology consists of three steps. At first, the use of nearest neighbor (NN) algorithm to produce an approximation of the final solution. Then, the 2-opt algorithm is used to optimize the previous solution and produce the final route. The last step in the methodology is to divide the route in smaller parts (measuring books) by using binary search.

The next step in this thesis is to present the design process of the software system that was developed. The spiral model was chosen for the development. In this phase many designing techniques were used in order to list the requirements, to analyze and depict different use cases and the structure of the whole system and to create the corresponding database schema. Furthermore, the designing phase was followed by the actual development of the software. For this project, a Windows application was created to implement the proposed methodology by taking into account all the design parameters which were analyzed previously.

The proposed methodology was tested with data about the water supplies located in the municipality of Zografou. Two different experiments were executed based on this dataset. The first one run with the constraint of keeping the workload for each measuring route the same, while the goal of the second experiment was to increase the daily productivity. Both resulted in producing measuring routes which were shorter and had almost the same amount of workload. Especially for the latter, significant reduction in the total amount of measuring routes needed was achieved.

Finally, ideas, which were out of the scope of this thesis, are proposed for future implementation in order to upgrade the services offered by this system.

Keywords: Routing, Path optimization, traveling salesman problem

Πίνακας περιεχομένων

Πρόλογος	5
Περίληψη	7
Abstract	8
Πίνακας περιεχομένων.....	9
Πίνακας εικόνων	12
1. Ευρεία περίληψη.....	13
1.1 Το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή	13
1.2 Πρόβλημα βελτιστοποίησης δρομολόγησης επιμετρητικών εργασιών πεδίου εταιρείας ύδρευσης	13
1.3 Μεθοδολογία βελτιστοποίησης δρομολόγησης επιμετρητικών εργασιών πεδίου.....	14
1.4 Σχεδιασμός αρχιτεκτονικής του συστήματος	15
1.5 Υλοποίηση του συστήματος.....	17
1.6 Εφαρμογή της μεθοδολογίας σε δείγμα παροχών της εταιρείας ύδρευσης	17
1.7 Μελλοντικές προεκτάσεις.....	18
2. Πρόβλημα πλανόδιου πωλητή.....	19
2.1 Εισαγωγή στο πρόβλημα βελτιστοποίησης δρομολόγησης	19
2.2 Παρουσίαση προβλήματος πλανόδιου πωλητή	20
2.3 Υπάρχοντες αλγόριθμοι για την επίλυση του προβλήματος πλανόδιου πωλητή	21
3. Πρόβλημα βελτιστοποίησης δρομολόγησης επιμετρητικών εργασιών πεδίου εταιρείας ύδρευσης.....	25
3.1 Εισαγωγή	25
3.2 Υφιστάμενη διαδικασία διεξαγωγής μετρήσεων.....	25
3.3 Υπάρχοντα πληροφοριακά συστήματα.....	28
3.4 Προβλήματα εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας	30
3.5 Στόχοι προτεινόμενης προσέγγισης.....	31
3.6 Αναμενόμενα οφέλη για την εταιρεία ύδρευσης	32
4. Προτεινόμενη μεθοδολογία βελτιστοποίησης	35
4.1 Βασική ιδέα	35
4.2 Αλγόριθμος αρχικοποίησης βέλτιστης διαδρομής	36
4.2.1 Βασική ιδέα αλγορίθμου αρχικοποίησης	36
4.2.2 Αλγόριθμος κοντινότερων γειτόνων	36
4.2.3 Ανάλυση αλγορίθμου κοντινότερων γειτόνων	37
4.3 Αλγόριθμος βελτιστοποίησης διαδρομής.....	38
4.3.1 Βασική ιδέα αλγορίθμου βελτιστοποίησης	38

4.3.2	Αλγόριθμος 2-opt	39
4.3.3	Ανάλυση αλγορίθμου 2-opt	40
4.4	Συνάρτηση υπολογισμού κόστους	42
4.4.1	Βασική ιδέα συνάρτησης υπολογισμού κόστους	42
4.4.2	Υλοποίηση συνάρτησης υπολογισμού κόστους	42
4.5	Αλγόριθμος χάραξης νέων βιβλίων.....	44
4.5.1	Βασική ιδέα αλγορίθμου χάραξης νέων βιβλίων	44
4.5.2	Διαδική αναζήτηση	45
4.5.3	Υλοποίηση αλγορίθμου χάραξης νέων βιβλίων	45
5.	Σχεδιασμός συστήματος	49
5.1	Μοντέλο σχεδιασμού	49
5.2	Ανάπτυξη αναγκών και απαιτήσεων.....	50
5.2.1	Ανάλυση λειτουργικών απαιτήσεων.....	50
5.2.2	Ανάλυση αναγκών με χρήση μοντέλου GOMS	53
5.2.3	Αναπαράσταση στοιχείων με UML	58
5.3	Σχεδίαση δομών δεδομένων.....	67
6.	Υλοποίηση συστήματος.....	69
6.1	Εργαλεία ανάπτυξης.....	69
6.2	Βοηθητικά πακέτα.....	70
6.3	Αρχεία εικόνων.....	71
6.4	Εγχειρίδιο χρήσης εφαρμογής	73
6.4.1	Οθόνη εισαγωγής αρχείων.....	73
6.4.2	Βασικό Μενού Επιλογών	74
6.4.3	Οθόνη Σχεδιασμού Διαδρομής	75
6.4.4	Οθόνη Στατιστικών Βιβλίων	76
6.4.5	Οθόνη Αναθεώρησης Βιβλίων	78
6.4.6	Οθόνη Ρυθμίσεων	80
6.5	Αρχεία Εισόδου	82
6.5.1	Αρχείο BCC.....	82
6.5.2	Αρχείο GIS.....	83
6.6	Αρχεία Εξόδου	84
6.6.1	Αρχείο Βιβλίου καταμέτρησης	85
6.6.2	Αρχείο BCC.....	86
7.	Εφαρμογή της μεθοδολογίας σε περιφερειακό κέντρο της εταιρείας ύδρευσης.....	87
7.1	Δεδομένα εισόδου	87
7.2	Κριτήρια αξιολόγησης	88

7.3 Αξιολόγηση υπάρχοντων βιβλίων.....	89
7.4 Εφαρμοζόμενη μεθοδολογία.....	89
7.5 Αποτελέσματα μεθοδολογίας.....	90
7.6 Συμπεράσματα.....	92
8. Δυνατότητες επέκτασης του συστήματος.....	95
9. Βιβλιογραφία.....	97

Πίνακας εικόνων

Εικόνα 1 - Λύση προβλήματος TSP.....	20
Εικόνα 2 - Λίστα περιφερειακών κέντρων καταμέτρησης	26
Εικόνα 3 - Οργάνωση διαδικασίας καταμέτρησης (1/2).....	27
Εικόνα 4 - Οργάνωση διαδικασίας καταμέτρησης (2/2).....	28
Εικόνα 5 - Βελτιστοποίηση με χρήση αλγορίθμου 2-opt.....	39
Εικόνα 6 - Εφαρμογή αλγορίθμου 2-opt	41
Εικόνα 7 - Διάγραμμα κλάσεων εφαρμογής	61
Εικόνα 8 - Διάγραμμα χρήσης - Επιλογή αρχείων	62
Εικόνα 9 - Διάγραμμα χρήσης - Επιλογή οθόνης.....	63
Εικόνα 10 - Διάγραμμα χρήσης - Αλλαγή ρυθμίσεων	64
Εικόνα 11 - Διάγραμμα χρήσης – Χάραξη νέων βιβλίων.....	65
Εικόνα 12 - Διάγραμμα χρήσης - Αναθεώρηση βιβλίων	66
Εικόνα 13 - Διάγραμμα χρήσης - Κλείσιμο εφαρμογής.....	66
Εικόνα 14 - Εικόνα νέας διαδρομής	72
Εικόνα 15 - Εικόνα στατιστικών βιβλίων	72
Εικόνα 16 - Εικόνα αναθεώρησης βιβλίων.....	72
Εικόνα 17 - Εικόνα ρυθμίσεων	72
Εικόνα 18 - Εικόνα εξόδου.....	73
Εικόνα 19 - Οθόνη εισαγωγής αρχείων εισόδου.....	73
Εικόνα 20 - Βασικό μενού εφαρμογής.....	74
Εικόνα 21 - Οθόνη σχεδιασμού διαδρομής.....	75
Εικόνα 22 - Οθόνη στατιστικών βιβλίων	77
Εικόνα 23 - Οθόνη αναθεώρησης βιβλίων.....	79
Εικόνα 24 - Οθόνη ρυθμίσεων εφαρμογής.....	81
Εικόνα 25 - Στιγμιότυπο αρχείου BCC	83
Εικόνα 26 - Στιγμιότυπο αρχείου GIS	84
Εικόνα 27 - Στιγμιότυπο αρχείου βιβλίου καταμέτρησης	85
Εικόνα 28 - Στοιχεία δεδομένων εισόδου	87
Εικόνα 29 - Αποτέλεσμα χάραξης νέας βέλτιστης διαδρομής	90
Εικόνα 30 - Σενάριο 1: Αποτελέσματα χάραξης βιβλίων.....	91
Εικόνα 31 - Σενάριο 2: Αποτελέσματα χάραξης βιβλίων.....	92

1. Ευρεία περίληψη

1.1 Το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή

Το πρόβλημα που μελετάται σε αυτή την εργασία είναι αυτό της βελτιστοποίησης της δρομολόγησης των επιμετρικών εργασιών πεδίου. Τα χαρακτηριστικά του προβλήματος το κατατάσσουν στην οικογένεια των προβλημάτων συνδυαστικής βελτιστοποίησης (combinatorial optimization problems). Ένα από τα βασικά τους στοιχεία, το οποίο έχει μεγάλη σημασία και σε αυτή την εργασία είναι η δυσκολία επίλυσής τους καθώς οι προφανείς αλγόριθμοι αναζήτησης λύσεων αποτυγχάνουν. Πιο συγκεκριμένα το εν λόγω πρόβλημα είναι συναφές με το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή (traveling salesman problem).

Το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή δέχεται σαν είσοδο ένα σύνολο κορυφών και ακμών και σαν στόχο έχει την εύρεση διαδρομής η οποία περνάει από όλα τα σημεία μια φορά και είναι η ελάχιστη δυνατή από πλευράς κόστους. Το συγκεκριμένο πρόβλημα εντάσσεται στην κατηγορία των NP-δύσκολων (NP-hard) προβλημάτων το οποίο σημαίνει πως δεν υπάρχει αλγόριθμος πολυωνυμικού χρόνου που να δίνει την βέλτιστη λύση. Για αυτόν τον λόγο, πέρα από την ανάπτυξη ακριβών αλγορίθμων (exact algorithms) οι οποίοι αν και βρίσκουν την βέλτιστη λύση δεν είναι αποδοτικοί, μεγάλο μέρος της έρευνας έχει εστιάσει στην ανάπτυξη ευριστικών αλγορίθμων (heuristic algorithms) που προσεγγίζουν την βέλτιστη λύση με ικανοποιητική ακρίβεια.

Από τους διαθέσιμους αλγορίθμους, για την ανάπτυξη της μεθοδολογίας στα πλαίσια αυτής της εργασίας και λόγω της ανάγκης για αποδοτικότητα με μεγάλο πλήθος δεδομένων, επιλέχθηκε ο αλγόριθμος 2-opt ο οποίος δουλεύει με την λογική της συνεχούς βελτίωσης μιας υπάρχουσας διαδρομής. Επιπλέον, χρησιμοποιείται και ο αλγόριθμος των κοντινότερων γειτόνων για την παραγωγή μιας πρώτης προσέγγισης της διαδρομής.

1.2 Πρόβλημα βελτιστοποίησης δρομολόγησης επιμετρικών εργασιών πεδίου εταιρείας ύδρευσης

Όπως αναφέρθηκε, το πρόβλημα αυτό αφορά την βελτιστοποίηση των διαδρομών καταμέτρησης για μεγάλη εταιρεία ύδρευσης. Η εργασία της λήψης μετρήσεων είναι ύψιστης σημασίας για την επιχείρηση καθώς αποτελεί το πρώτο βήμα στην ακολουθία μέτρηση – τιμολόγηση – είσπραξη.

Λόγω του μεγάλου αριθμού πελατών και παροχών που έχει υπό την ευθύνη της η εταιρεία, η καταμέτρηση έχει οργανωθεί με τρόπο που να είναι διαχειρίσιμη. Αρχικά στην περιοχή της Αττικής υπάρχουν 11 περιοχές οι οποίες έχουν χωριστεί με γεωγραφικά κριτήρια και σε κάθε μια από αυτές λειτουργεί ανεξάρτητα ένα περιφερειακό κέντρο καταμέτρησης. Κάθε κέντρο οργανώνει την διαδικασία της καταμέτρησης σε 3 κύκλους εργασιών, κάθε ένας από τους οποίους διαρκεί ένα τρίμηνο, και οι οποίοι εκτελούνται διαδοχικά. Οι παροχές μοιράζονται σε αυτούς τους 3 κύκλους. Κάθε κύκλος χωρίζεται περαιτέρω σε διαδρομές με γεωγραφικά κριτήρια και την κατανομή των παροχών σε μια περιοχή. Τέλος, κάθε διαδρομή αποτελείται

από βιβλία τα οποία αντιπροσωπεύουν τον ημερήσιο φόρτο εργασίας κάθε υπαλλήλου καταμέτρησης.

Για την υποστήριξη της διαδικασίας λήψης των μετρήσεων η εταιρεία χρησιμοποιεί ένα πλήθος πληροφοριακών συστημάτων. Από αυτά, τα συστήματα που αφορούν την ανάπτυξη της μεθοδολογίας αυτής της εργασίας είναι τα:

- Πληροφοριακό σύστημα BCC (Billing & Customer Care) το οποίο διαχειρίζεται τις πληροφορίες των παροχών και την οργάνωση των διαδρομών.
- Πληροφοριακό σύστημα GIS (Geographic Information System) το οποίο διαχειρίζεται τα γεωγραφικά δεδομένα των παροχών.
- Πληροφοριακό σύστημα φορητών τερματικών το οποίο αποτελεί το λογισμικό που είναι εγκατεστημένο στα μηχανήματα καταμέτρησης που φέρουν οι καταμετρητές.

Από την μελέτη των υπάρχοντων στοιχείων προέκυψε η αναγκαιότητα για την ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας η οποία αντιμετωπίζει το πρόβλημα της οργάνωσης των βιβλίων καταμέτρησης. Μέχρι τώρα η διαδικασία που ακολουθείται είναι προβληματική καθώς γίνεται χειροκίνητα και με εμπειρικό τρόπο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία βιβλίων και διαδρομών καταμέτρησης με μη βέλτιστο τρόπο και την δυσκολία προσαρμογής σε περιπτώσεις που απαιτείται μερικός ή ολικός επανασχεδιασμός.

Αυτά τα προβλήματα καλείται να λύσει η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε και το σύστημα που την υλοποιεί. Στόχος του είναι η δημιουργία νέων, βέλτιστων και ισοδύναμων διαδρομών και βιβλίων καταμέτρησης με αποδοτικό και επιστημονικά τεκμηριωμένο τρόπο. Παράλληλα, στόχος του συστήματος είναι να προσφέρει στατιστικά στοιχεία για τα βιβλία ώστε αυτά να αξιολογούνται καθώς και την δυνατότητα χειροκίνητων παρεμβάσεων όπου αυτό κρίνεται αναγκαίο.

Τα αναμενόμενα οφέλη από την υιοθέτηση της μεθοδολογίας είναι πολλά και πολύπλευρα για την εταιρεία ύδρευσης. Συνοπτικά θα μπορούσαμε να αναφέρουμε πως το μεγαλύτερο όφελος είναι η αύξηση της αποδοτικότητας στην διαδικασία των μετρήσεων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση του κόστους για την επιχείρηση, καλύτερη κατανομή των πόρων ενώ προσφέρει υψηλότερα επίπεδα ικανοποίησης τόσο στους υπαλλήλους της όσο και στο κοινό γενικότερα. Επίσης σε διοικητικό επίπεδο κάνει τον σχεδιασμό πολύ πιο εύκολο και γρήγορο, αυξάνοντας την ευελιξία της εταιρείας.

1.3 Μεθοδολογία βελτιστοποίησης δρομολόγησης επιμετρητικών εργασιών πεδίου

Για την ανάπτυξη της μεθοδολογίας η οποία θα δίνει λύση στο πρόβλημα της εταιρείας ύδρευσης απαραίτητη ήταν η αξιολόγηση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του προβλήματος. Αυτά είναι το μεγάλο πλήθος σημείων που θα πρέπει να προσπελάσει η διαδρομή και το γεγονός πως τα σημεία αυτά αποτελούν σημεία σε αστική περιοχή, πάνω σε ένα πλέγμα δρόμων και κτηρίων. Επιπλέον σημαντικό είναι εκτός από την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής να αναπτυχθεί και αλγόριθμος για την χάραξη των βιβλίων.

Ο πρώτος αλγόριθμος που χρησιμοποιείται στην μεθοδολογία είναι αυτό των κοντινότερων γειτόνων (nearest neighbors algorithm). Στόχος του πρώτου αυτού αλγορίθμου είναι η

παραγωγή μιας διαδρομής η οποία να είναι σχετικά καλή ώστε να αποτελέσει σημείο εκκίνησης για την βελτιστοποίηση που θα ακολουθήσει. Συνοπτικά η λογική αυτού του αλγορίθμου είναι πως σε κάθε βήμα επιλέγει να μετακινηθεί στο σημείο που βρίσκεται πιο κοντά στο τρέχων μέχρι να μην υπάρχουν άλλα σημεία που δεν έχει επισκεφτεί. Ο αλγόριθμος δέχεται σαν είσοδο ένα σύνολο σημείων και παράγει μια λίστα η οποία αντιστοιχεί στην αρχική διαδρομή.

Ο δεύτερος αλγόριθμος που χρησιμοποιείται είναι ο αλγόριθμος 2-opt. Στόχος του αλγορίθμου αυτού είναι η παραγωγή της τελικής διαδρομής που προσεγγίζει την βέλτιστη. Η λογική του αλγορίθμου είναι η βελτιστοποίηση της τρέχουσας διαδρομής σε κάθε βήμα. Για να το πετύχει αυτό, ο αλγόριθμος επιλέγει δύο σημεία της διαδρομής και τα εναλλάσσει. Με αυτό τον τρόπο παράγεται μια νέα διαδρομή, η οποία αν βρεθεί πως είναι καλύτερη από την τρέχουσα, υιοθετείται. Με την χρήση αυτής της λογικής εξαλείφονται πρακτικά οι περιπτώσεις όπου μονοπάτια της διαδρομής διασταυρώνονται μεταξύ τους. Ο αλγόριθμος αυτός παράγει ικανοποιητικές λύσεις ενώ ταυτόχρονα είναι αποδοτικός στην εκτέλεση του. Η είσοδος που δέχεται κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας είναι η αρχική διαδρομή που έχει προκύψει στο προηγούμενο στάδιο ενώ το αποτέλεσμα του είναι η τελική, βέλτιστη διαδρομή.

Για την αξιολόγηση των διαφορετικών διαδρομών που παράγουν οι παραπάνω αλγόριθμοι είναι απαραίτητη η ανάπτυξη μιας συνάρτησης κόστους η οποία να ποσοτικοποιεί το πόσο καλή είναι η κάθε μια. Η πιο συνηθισμένη μετρική που χρησιμοποιείται είναι αυτή της απόστασης, όμως σε αυτή την περίπτωση δεν είναι αρκετή. Έτσι το κόστος μια διαδρομής στην μεθοδολογία προκύπτει ως συνισταμένη της συνολικής απόστασης και των αλλαγών δρόμου που πραγματοποιούνται σε μια διαδρομή. Η συνολική απόσταση είναι το γενικό μέτρο με το οποίο αξιολογείται μια διαδρομή. Στην περίπτωση αυτού του προβλήματος λόγω του ότι οι αποστάσεις είναι σχετικά μικρές και του γεγονότος πως η απόσταση είναι μόνο ένας παράγοντας του κόστους κρίθηκε αναγκαία η χρήση του τετραγώνου της απόστασης ώστε οι μεγαλύτερες αποστάσεις να έχουν μεγαλύτερο βάρος. Ο αριθμός αλλαγών του δρόμου χρησιμοποιήθηκε γιατί η πραγματική απόσταση μεταξύ δύο σημείων δεν είναι η ευκλείδεια λόγω της παρουσίας κτηρίων. Έτσι σε περιπτώσεις που η διαδρομή αλλάζει δρόμο, εφαρμόζεται μια ποινή η οποία ποσοτικοποιεί αυτό το γεγονός.

Τέλος για την χάραξη των βιβλίων χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος δυαδική αναζήτησης. Στόχος του αλγορίθμου αυτού είναι η χάραξη βιβλίων από μια δοθείσα διαδρομή με τρόπο ώστε αυτά να είναι ισοδύναμα μεταξύ τους από πλευράς φόρτου εργασίας. Το πρόβλημα αυτό ανάχθηκε στο πρόβλημα εύρεσης του μέγιστου φόρτου εργασίας που θα πρέπει να έχει κάθε βιβλίο για δεδομένο αριθμό βιβλίων καταμέτρησης. Ο αλγόριθμος αυτός δέχεται σαν είσοδο την βέλτιστη διαδρομή που έχει προκύψει από το προηγούμενο βήμα και παράγει μια λίστα από νέα βιβλία καταμέτρησης το οποίο είναι και το τελικό ζητούμενο.

1.4 Σχεδιασμός αρχιτεκτονικής του συστήματος

Ο σχεδιασμός αποτελεί το πρώτο στάδιο στην ανάπτυξη ενός συστήματος λογισμικού. Έτσι και στα πλαίσια αυτής της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν διάφορες τεχνικές σχεδίασης οι οποίες βοήθησαν στην καλύτερη κατανόηση των απαιτήσεων και της δομής της εφαρμογής που εφαρμόζει την μεθοδολογία που περιεγράφηκε παραπάνω. Το μοντέλο που επιλέχθηκε

για την ανάπτυξη του συστήματος είναι το ελικοειδές μοντέλο (spiral model) λόγω της ευελιξίας που προσφέρει στην ανάπτυξη καθώς βασίζεται στη συνεχή βελτίωση ενός αρχικού πρωτοτύπου. Τα βήματα ανάπτυξης του συστήματος σε κάθε στάδιο του μοντέλου είναι:

- Ανάλυση των απαιτήσεων της εφαρμογής
- Σχεδιασμός ανάπτυξης, έρευνα διαθέσιμων εργαλείων και αξιολόγησή τους
- Υλοποίηση εφαρμογής και δοκιμή λειτουργίας
- Αξιολόγηση της εφαρμογής σε πραγματικές συνθήκες

Με βάση την περιγραφή του προβλήματος παραπάνω αναπτύχθηκε η βασική ιδέα του συστήματος η οποία περιγράφει τους στόχους τους οποίους έχει η λειτουργία του. Αυτοί συνοπτικά είναι η χάραξη νέων βελτιωμένων βιβλίων για το σύνολο των παροχών, η στατιστική ανάλυση των βιβλίων με στόχο την αξιολόγηση τους και η δυνατότητα χειροκίνητης παρέμβασης στα βιβλία. Τέλος σημαντική κρίθηκε και η δυνατότητα οπτικοποίησης των διαδρομών και των βιβλίων καταμέτρησης σε χάρτη.

Η σχεδίαση στην συνέχεια συνεχίζεται με την καταγραφή των λειτουργικών αναγκών και λειτουργικών προδιαγραφών του συστήματος. Σημειώνεται πως για την καλύτερη οργάνωση τόσο της σχεδίασης όσο και της ανάπτυξης έγινε η επιλογή του διαχωρισμού του συστήματος σε ανεξάρτητες λειτουργικές μονάδες. Οι λειτουργικές απαιτήσεις είναι οι στόχοι, το τι πρέπει να κάνει κάθε κομμάτι της εφαρμογής. Οι λειτουργικές προδιαγραφές περιγράφουν το πώς θα υλοποιείται ο στόχος με μεγαλύτερη λεπτομέρεια. Τέλος αναλύονται και οι δείκτες ευχρηστίας οι οποίοι θέτουν στόχους για την λειτουργικότητα της εφαρμογής. Τέτοιοι στόχοι είναι η ευκολία εκμάθησης από νέους χρήστες, η υψηλή απόδοση κατά την λειτουργία από έμπειρους χρήστες και ο μικρός αριθμός εσφαλμένων χειρισμών.

Το επόμενο στάδιο της σχεδίασης είναι η καταγραφή διαφορετικών σεναρίων χρήσης τα οποία περιγράφουν διαφορετικές λειτουργίες και το πώς ο χρήστης μπορεί να φτάσει στο επιθυμητό αποτέλεσμα. Σε αυτό το σύστημα τα σενάρια χρήσης που αναπτύχθηκαν με χρήση της μεθόδου GOMS είναι:

- Σενάριο 1: Επιλογή αρχείων εισόδου
- Σενάριο 2: Επιλογή οθόνης από το κεντρικό μενού
- Σενάριο 3: Αλλαγή ρυθμίσεων της εφαρμογής
- Σενάριο 4: Χάραξη νέων βιβλίων
- Σενάριο 5: Μεταφορά παροχών από ένα βιβλίο σε άλλο
- Σενάριο 6: Κλείσιμο εφαρμογής

Με βάση αυτά τα σενάρια αλλά και των μέχρι τώρα παρατηρήσεων της σχεδίασης έγινε χρήση της γλώσσας UML με την οποία η σχεδίαση οπτικοποιήθηκε. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν διαγράμματα κλάσεων για την αναπαράσταση της δομής αλλά και διαγράμματα περιπτώσεων χρήσης με τα οποία αναπαρίστανται οι διαφορετικές λειτουργίες του συστήματος.

Τέλος, για την ολοκλήρωση του σχεδιασμού, αν και σχετικά απλό, σχεδιάστηκε και το μοντέλο της βάσης δεδομένων της εφαρμογής.

1.5 Υλοποίηση του συστήματος

Σύμφωνα με όσα αναλύθηκαν στον προηγούμενο κεφάλαιο, υλοποιήθηκε σύστημα λογισμικού. Πρόκειται για εφαρμογή που εκτελείται σε περιβάλλον Windows και για αυτό τον λόγο ο προγραμματισμός της έγινε στην πλατφόρμα ανάπτυξης Microsoft Visual Studio 2013 με χρήση του μοντέλου Windows Application. Οι βασικές τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

- **.NET Framework** για το υπόβαθρο της εφαρμογής
- **Visual Basic** για τον προγραμματισμό της εφαρμογής
- **MySQL** για την υλοποίηση της βάσης δεδομένων

Επιπλέον έγινε χρήση και πλήθους άλλων βιβλιοθηκών και πακέτων ανάπτυξης τα οποία λειτούργησαν υποστηρικτικά στις παραπάνω τεχνολογίες, με στόχο τον ευκολότερο προγραμματισμό, την δυνατότητα διασύνδεσης με εξωτερικές πηγές δεδομένων και βελτιωμένο αισθητικό αποτέλεσμα.

Συνοπτικά στο στάδιο του προγραμματισμού αναπτύχθηκαν οι παρακάτω οθόνες του συστήματος:

- **Οθόνη εισαγωγής αρχείων:** Είναι η πρώτη οθόνη με στόχο την εισαγωγή των απαραίτητων αρχείων δεδομένων στην εφαρμογή.
- **Βασικό μενού επιλογών:** Αποτελεί το βασικό μενού της εφαρμογής μέσω του οποίου ο χρήστης πλοηγείται σε αυτή.
- **Οθόνη σχεδιασμού διαδρομής:** Είναι η οθόνη στην οποία ο χρήστης σχεδιάζει νέα βιβλία καταμέτρησης, τα οποία αποθηκεύει και εξάγει.
- **Οθόνη στατιστικών βιβλίων:** Είναι η οθόνη στην οποία ο χρήστης μπορεί να αξιολογήσει τα βιβλία με χρήση στατιστικών δεικτών.
- **Οθόνη αναθεώρησης βιβλίων:** Είναι η οθόνη στη οποία ο χρήστης μπορεί να παρέμβει χειροκίνητα και να πραγματοποιήσει αλλαγές στα βιβλία.
- **Οθόνη ρυθμίσεων:** Είναι η οθόνη στην οποία ο χρήστης μπορεί να αλλάξει τις ρυθμίσεις της εφαρμογής.

Τέλος υλοποιήθηκε η απαραίτητη διασύνδεση για την εισαγωγή των απαραίτητων αρχείων εισόδου καθώς και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

1.6 Εφαρμογή της μεθοδολογίας σε δείγμα παροχών της εταιρείας ύδρευσης

Το σύστημα το οποίο αναπτύχθηκε για να εφαρμόζει την προτεινόμενη μεθοδολογία δοκιμάστηκε σε πραγματικές συνθήκες. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι μετρητές της περιοχής του Ζωγράφου. Συνολικά στην εφαρμογή εισήχθησαν 51.626 παροχές οι οποίες αντιστοιχούν σε 4.635 κτήρια, σε 197 βιβλία και 25 διαδρομές. Στόχος του πειράματος να αξιολογηθούν δύο σενάρια λειτουργίας.

- Το πρώτο σενάριο αφορά την χάραξη με σκοπό την διατήρηση του μέσου φόρτου εργασίας και την βελτιστοποίηση των αποστάσεων και τον ισοκαταμερισμό των βιβλίων. Συνοπτικά, τα αποτελέσματα που προέκυψαν δείχνουν βελτίωση της μέσης

απόστασης κατά 33% ενώ παράλληλα η διακύμανση του απαιτούμενου χρόνου ανά βιβλίο μειώθηκε από το 28% στο 3% το οποίο σημαίνει πως τα νέα βιβλία είναι πιο ισοκατανεμημένα.

- Το δεύτερο σενάριο αφορά την χάραξη με σκοπό την μεγιστοποίηση της απόδοσης ενώ παράλληλα ικανοποιείται και η συνθήκη για τον μέγιστο φόρτο εργασίας. Συνοπτικά, τα αποτελέσματα που προέκυψαν δείχνουν βελτίωση της μέσης απόστασης κατά 17% παρά την αύξηση του φόρτου εργασίας, μείωση των απαιτούμενων βιβλίων κατά 8.6% ενώ παράλληλα η διακύμανση του απαιτούμενου χρόνου ανά βιβλίο μειώθηκε από το 28% στο 6% το οποίο σημαίνει πως τα νέα βιβλία είναι και πάλι πιο ισοκατανεμημένα.

Αξίζει να σημειωθεί πως τα αποτελέσματα αυτά δοκιμάστηκαν και σε πραγματικές συνθήκες εργασίας από υπαλλήλους καταμέτρησης ώστε να αξιολογηθεί και η ποιότητα της προτεινόμενης διαδρομής για κάθε βιβλίο. Τα αποτελέσματα των δοκιμών κρίθηκαν και αυτά ικανοποιητικά αφού τα σχόλια για τις νέες διαδρομές ήταν θετικά.

1.7 Μελλοντικές προεκτάσεις

Το σύστημα που υλοποιήθηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας αποτελεί μια πολύ σημαντική βελτίωση στις μεθόδους που χρησιμοποιεί η εταιρεία ύδρευσης για τον προγραμματισμό της, καθώς υλοποιεί μεγάλο πλήθος λειτουργιών. Παράλληλα όμως υπάρχει χώρος για περαιτέρω επέκταση των λειτουργιών ώστε η εφαρμογή βελτιωθεί ακόμα περισσότερο. Ένα στοιχείο το οποίο θα μπορούσε να εξεταστεί είναι η δυνατότητα επιλογής χρήσης μηχανοκίνητου οχήματος από τον καταμετρητή το οποίο σημαίνει πως η προτεινόμενη διαδρομή θα πρέπει να υπακούει στον Κ.Ο.Κ.. Επιπλέον περαιτέρω μελέτη στους αλγορίθμους της μεθοδολογίας θα μπορούσε να καταλήξει στην εύρεση παραμέτρων που βελτιστοποιούν τον χρόνο εκτέλεσής τους. Τέλος η αλλαγή του μοντέλου της εφαρμογής από Windows application σε Web application θα αύξανε την προσβασιμότητα σε αυτή.

2. Πρόβλημα πλανόδιου πωλητή

2.1 Εισαγωγή στο πρόβλημα βελτιστοποίησης δρομολόγησης

Στην επιστήμη των υπολογιστών τα προβλήματα δρομολόγησης είναι από τα πιο διαδεδομένα που μπορεί κανείς να αντιμετωπίσει. Οι λύσεις των προβλημάτων τέτοιας φύσης ξεπερνάνε τα όρια της επιστήμης των υπολογιστών και βρίσκουν εφαρμογές σε κάθε κλάδο που είναι απαραίτητη η βελτιστοποίηση επιλεγόμενων διαδρομών. Το ζητούμενο σε αυτές τις εφαρμογές είναι εύρεση κάποιας διαδρομής που συνδέει δύο ή περισσότερα σημεία ελαχιστοποιώντας παράλληλα το κόστος της μεταξύ τους διαδρομής σύμφωνα με μια δοθείσα συνάρτηση κόστους.

Το σύνολο αυτών των προβλημάτων σε γενικές γραμμές είναι δύσκολο ως προς την επίλυση τους. Αυτό συμβαίνει γιατί οι πιθανές διαδρομές μεταξύ σημείων ενός γράφου είναι πολλές σε πλήθος. Έτσι οι παραδοσιακές τεχνικές που εξαντλούν τον χώρο των λύσεων δοκιμάζοντας διαφορετικές πιθανές λύσεις δεν είναι αποδοτικές και πρακτικά αποτυγχάνουν. Φυσικά ανάλογα και με την φύση του προβλήματος, δύναται να υπάρχουν τεχνικές οι οποίες αν και πιο σύνθετες στην υλοποίησή τους δίνουν αποτελέσματα σε αποδεκτό χρονικό διάστημα.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως υπάρχουν αρκετές διαφορετικές εκδοχές προβλημάτων δρομολόγησης. Η παρουσίαση και ανάλυση κάποιων από αυτών είναι αναγκαία προκειμένου να γίνουν κατανοητά τα χαρακτηριστικά τους και να είναι δυνατή η αναγνώριση αυτού που ταιριάζει καλύτερα με το πρόβλημα που πραγματεύεται αυτή η εργασία. Ο κλάδος στον οποίο εντάσσονται τέτοιου είδους προβλήματα είναι αυτός της συνδυαστικής βελτιστοποίησης (combinatorial optimization). Χαρακτηριστικά προβλήματα που εντάσσονται στα πλαίσια μελέτης αυτού του κλάδου είναι:

- **Πρόβλημα ανάθεσης εργασιών (Assignment problem)**
Το πρόβλημα ανάθεσης εργασιών αφορά τον βέλτιστο χρονοπρογραμματισμό εργασιών με στόχο, ανάλογα με το πρόβλημα, την ελαχιστοποίηση του κόστους επικοινωνίας, του χρόνου αναμονής ή του συνολικού χρόνου για την περάτωση των εργασιών. Εφαρμογές αυτού του τύπου προβλημάτων συναντάμε στον προγραμματισμό των επεξεργασιών.
- **Πρόβλημα ακέραιου προγραμματισμού (Integer programming problem)**
Το πρόβλημα του ακέραιου προγραμματισμού είναι πρόβλημα μαθηματικής βελτιστοποίησης και προκύπτει από τα προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού με τον περιορισμό πως οι μεταβλητές πρέπει να είναι ακέραιοι αριθμοί. Στην φύση του το πρόβλημα αναζητά ένα σύνολο αριθμών που ικανοποιούν κάποιους δοθέντες περιορισμούς και ταυτόχρονα, ανάλογα με το πρόβλημα, μεγιστοποιούν ή ελαχιστοποιούν μια αντικειμενική συνάρτηση.
- **Πρόβλημα σακιδίου (Knapsack problem)**
Το πρόβλημα του σακιδίου αφορά την μεγιστοποίηση του κέρδους με δεδομένο ότι έχουμε περιορισμένο χώρο στην διάθεση μας. Στην γενική μορφή του το πρόβλημα ορίζει ένα σακίδιο με δεδομένη χωρητικότητα. Επίσης δίνεται και ένα σύνολο από αντικείμενα τα οποία έχουν μια τιμή για τον χώρο που καταλαμβάνουν και μια αξία.

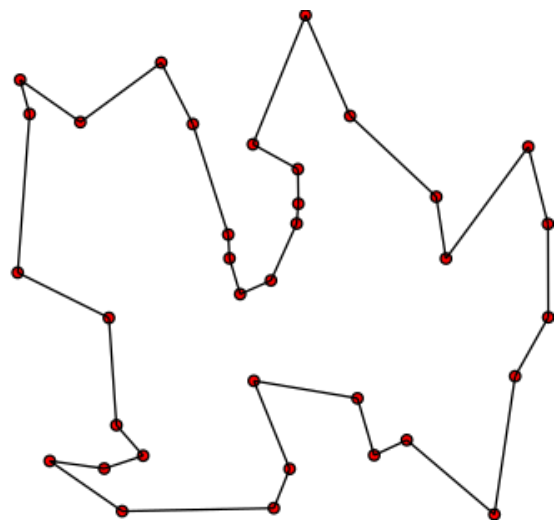
Το πρόβλημα αναζητά τον συνδυασμό αντικειμένων που θα τοποθετηθούν στο σακίδιο και μεγιστοποιούν την αξία του.

- **Πρόβλημα ελάχιστου συνδετικού δέντρου (Minimum spanning tree)**
Το πρόβλημα του ελάχιστου συνδετικού δέντρου είναι ένα από τα κλασσικά προβλήματα στη θεωρία των γράφων. Το συγκεκριμένο πρόβλημα αναζητά ένα δέντρο του οποίου οι κορυφές είναι οι κορυφές του γράφου και τα κλαδιά του είναι ένα υποσύνολο των ακμών του γράφου. Ο στόχος είναι το άθροισμα των βαρών που έχουν επιλεγεί στο ελάχιστο συνδετικό δέντρο να είναι το ελάχιστο δυνατό.
- **Πρόβλημα πλανόδιου πωλητή (Traveling salesman problem)**
Το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή αποτελεί ένα από τα κλασσικά προβλήματα δρομολόγησης. Το πρόβλημα αυτό δέχεται έναν γράφο σαν είσοδο και αναζητά την διαδρομή εκείνη που ξεκινάει και καταλήγει σε μια κορυφή αφού έχει περάσει από κάθε κορυφή του γράφου και είναι η ελάχιστη δυνατή από πλευράς κόστους.

Σε αυτή την εργασία το πρόβλημα της δρομολόγησης που καλείται να λυθεί αφορά την δρομολόγηση σε σημεία πάνω στον χάρτη με τον περιορισμό πως θα πρέπει η διαδρομή να περνάει από κάθε σημείο μόνο μια φορά. Για αυτό τον λόγο κρίθηκε πως το συναφές πρόβλημα το οποίο απαιτείται να μελετηθεί περαιτέρω είναι αυτό του πλανόδιου πωλητή. Στο υπόλοιπο του κεφαλαίου, παρουσιάζεται το πρόβλημα πιο αναλυτικά καθώς και εφαρμογές και υπάρχοντες προσεγγίσεις στην λύση του.

2.2 Παρουσίαση προβλήματος πλανόδιου πωλητή

Μια από τις πιο διάσημες μορφές του προβλήματος δρομολόγησης είναι το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή (Travelling Salesman Problem – TSP). Το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή έχει σαν στόχο την εύρεση του συντομότερου μονοπατιού το οποίο περνάει από κάθε σημείο του γράφου (ή του συνόλου σημείων) ακριβώς μια φορά επιστρέφοντας στην αρχή. Το πρόβλημα αυτό κατατάσσεται στην κατηγορία των NP-δύσκολων (NP-hard) προβλημάτων το οποίο σημαίνει πως δεν μπορεί να λυθεί σε πολυονυμικό χρόνο, σε αντίθεση με το απλό πρόβλημα εύρεσης της συντομότερης διαδρομής μεταξύ δύο σημείων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, την αδυναμία εύρεσης ενός αποδοτικού αλγορίθμου ο οποίος ταυτόχρονα να δίνει την βέλτιστη λύση για μεγάλο πλήθος σημείων.



Εικόνα 1 - Λύση προβλήματος TSP

Η πρώτη αναφορά στο πρόβλημα αυτό βρίσκεται σε ένα εγχειρίδιο για πλανόδιους πωλητές από το 1830, όπου αναφέρεται το πρόβλημα και περιλαμβάνονται παραδείγματα διαδρομών

μεταξύ πόλεων στην Γερμανία. Το πρόβλημα διατυπώθηκε μαθηματικά τον 19^ο αιώνα ενώ η γενική μορφή του προβλήματος φαίνεται να μελετήθηκε το 1930. Τα πρώτα αποτελέσματα της μελέτης προσφέρουν τον προφανή αλγόριθμο brute force και την παρατήρηση πως η λύση του ευριστικού αλγορίθμου των κοντινότερων γειτόνων δεν είναι η βέλτιστη. Από τότε, το πρόβλημα έχει μελετηθεί εκτενώς από την σκοπιά της βελτιστοποίησης των λύσεων του και έχει χρησιμοποιηθεί σαν πρότυπο αξιολόγησης για πολλούς αλγορίθμους από τότε. Παρά την δυσκολία για εύρεση ακριβούς λύσης της φύσης του, έχει προταθεί ένας μεγάλος αριθμός ευρηστικών αλλά και ακριβών αλγορίθμων. Οι ακριβείς αλγόριθμοι (exact algorithms) δίνουν αποτελέσματα σε περιπτώσεις όπου το πλήθος των προς επίσκεψη σημείων είναι σχετικά περιορισμένο. Από την άλλη πλευρά η χρήση ευριστικών αλγορίθμων (heuristic algorithms) δεν εγκυάται την εύρεση της βέλτιστης λύσης αλλά μια καλή προσέγγιση αυτής ακόμα και με πολύ μεγαλύτερο πλήθος δεδομένων.

Το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή μοντελοποιείται με την χρήση της θεωρίας των γράφων. Οι πόλεις, οι οποίες αντιστοιχούν στα σημεία της διαδρομής, αποτελούν τις κορυφές του γράφου. Τα μονοπάτια, τα οποία απαρτίζουν την διαδρομή, αποτελούν τις ακμές του γράφου. Τέλος, το βάρος κάθε ακμής συμβολίζει το κόστος της διαδρομής μεταξύ των σημείων. Το πρόβλημα στην γενική του περίπτωση αποτελεί πρόβλημα ελαχιστοποίησης του κόστους της διαδρομής που ξεκινάει από μια δοσμένη κορυφή και τερματίζει επίσης σε αυτή έχοντας περάσει από κάθε άλλη κορυφή ακριβώς μια φορά. Τέλος στις περισσότερες περιπτώσεις ο γράφος είναι πλήρης, το οποίο σημαίνει πως κάθε κορυφή συνδέεται με κάθε άλλη.

2.3 Υπάρχοντες αλγόριθμοι για την επίλυση του προβλήματος πλανόδιου πωλητή

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω έχουμε δύο κατηγορίες αλγορίθμων οι οποίοι δίνουν λύσεις στο πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή, ακριβείς αλγόριθμοι (exact algorithms) και ευριστικοί (heuristics)

- **Ακριβείς αλγόριθμοι:** Οι ακριβείς αλγόριθμοι είναι σίγουρο πως θα βρουν την βέλτιστη λύση σε κάθε πρόβλημα που καλούνται να λύσουν. Το μεγάλο μειονέκτημα που έχουν όμως γενικότερα είναι ο χρόνος εκτέλεσης τους. Σε περιπτώσεις όπου το πρόβλημα δεν είναι NP-πλήρες (NP-complete) ο χρόνος χειρότερης περίπτωσης δεν είναι πολυωνυμικός, το οποίο σημαίνει πως αν ο χώρος των λύσεων είναι μεγάλος, η εφαρμογή τέτοιων αλγορίθμων είναι ασύμφορη ή ακόμα και πρακτικά αδύνατη.
- **Ευριστικοί αλγόριθμοι:** Οι ευριστικοί αλγόριθμοι προσεγγίζουν το πρόβλημα με στόχο όχι την παραγωγή της βέλτιστης, τέλειας λύσης αλλά μιας προσέγγισης αυτής από πλευράς κόστους. Πρέπει να σημειωθεί πως αυτού του τύπου οι αλγόριθμοι μπορούν να παράγουν αποτελέσματα ακόμα και με πολύ μεγάλο σύνολο δεδομένων με προσέγγιση που απέχει λιγότερο από 1% από την βέλτιστη λύση. Αυτή η ισορροπία ποιότητας αποτελέσματος και αποδοτικής λειτουργίας είναι το στοιχείο που κάνει την χρήση τους συμφέρουσα σε αυτό το πρόβλημα.

Αρχικά εξετάζουμε τους κυριότερους από τους ακριβείς αλγόριθμους που χρησιμοποιούνται για την επίλυση του προβλήματος του πλανόδιου πωλητή

- **Αλγόριθμος ωμής βίας (Brute force algorithm)**
Αυτή είναι η πρώτη και πιο προφανής προσέγγιση στο πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή. Η λογική πίσω από αυτόν τον αλγόριθμο είναι η δοκιμή όλων των δυνατών συνδυασμών που δημιουργούν μια διαδρομή και επιλογή αυτής με το μικρότερο κόστος. Ουσιαστικά πρόκειται για αναζήτηση σε ολόκληρο των χώρο των λύσεων. Η χρονική πολυπλοκότητα της εκτέλεσης του αλγορίθμου αυτού είναι $O(n!)$. Αυτό είναι το μεγάλο μειονέκτημα αυτής της μεθόδου αφού ακόμα και για 20 κορυφές το πρόβλημα γίνεται πρακτικά αδύνατο να επιλυθεί αφού περιλαμβάνει αναζήτηση σε περίπου $2,4 \times 10^{18}$ πιθανές λύσεις.
- **Αλγόριθμος Held-Karp**
Ο αλγόριθμος αυτός αποτελεί έναν αλγόριθμο δυναμικού προγραμματισμού για την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος και βασίζεται στην ιδέα πως το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή αποτελεί επέκταση του προβλήματος εύρεσης Χαμιλτονιανής διαδρομής (Hamiltonian circuit problem). Η λογική του αλγορίθμου βασίζεται στο γεγονός πως πρώτα λύνουμε το πρόβλημα για μικρότερα υποπροβλήματα με μέρος των κορυφών. Η συνολική λύση προκύπτει από την σύνθεση των λύσεων των μικρότερων προβλημάτων, τα οποία όμως έχουμε υπολογίσει σε προηγούμενα βήματα. Η χρονική πολυπλοκότητα για την εκτέλεση του αλγορίθμου είναι $O(2^n n^2)$. Παρατηρείται πως αυτός ο αλγόριθμος είναι πιο αποδοτικός σε σχέση με τον brute force αλλά το γεγονός πως ακόμα είναι εκθετικής πολυπλοκότητας τον καθιστά ακατάλληλο για μεγάλο πλήθος κορυφών.
- **Αλγόριθμος τετμημένου επιπέδου (cutting-plane algorithm)**
Ο αλγόριθμος τετμημένου επιπέδου βασίζεται στην θεωρία του γραμμικού προγραμματισμού. Η λογική με την οποία επιλύει το συγκεκριμένο πρόβλημα ξεκινάει με την κατάλληλη μοντελοποίηση του προβλήματος του πλανόδιου πωλητή ως πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού (linear programming) και πιο συγκεκριμένα ως πρόβλημα ακέραιου προγραμματισμού (integer programming). Η διαφορά ανάμεσα στα δύο εντοπίζεται στον περιορισμό για ακέραιες τιμές του διανύσματος των λύσεων. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα του αλγορίθμου αυτού είναι η δυσκολία στην υλοποίηση του καθώς είναι ιδιαίτερα σύνθετος ο μετασχηματισμός του προβλήματος.

Στην συνέχεια εξετάζουμε τους κυριότερους από τους ευριστικούς αλγόριθμους που χρησιμοποιούνται για την επίλυση του προβλήματος του πλανόδιου πωλητή

- **Αλγόριθμος κοντινότερων γειτόνων (Nearest neighbor algorithm)**
Ο αλγόριθμος των κοντινότερων γειτόνων ανήκει στην κατηγορία των άπληστων αλγορίθμων (greedy algorithms). Αυτό πρακτικά σημαίνει πως σε κάθε στάδιο επιλέγει το επόμενο βήμα του προσπαθώντας να βελτιστοποιήσει το κριτήριο απληστίας του. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος επιλέγει το επόμενο σημείο που θα επισκεφτεί με βάση την απόσταση από το τρέχον σημείο στο οποίο βρίσκεται. Με την εφαρμογή αυτού του αλγορίθμου στο πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή γενικά

το αποτέλεσμα που προκύπτει δίνει μια σχετικά σύντομη διαδρομή. Όμως πρέπει να σημειωθεί πως αυτή η διαδρομή απέχει από την βέλτιστη και έρευνες έχουν δείξει πως το μήκος της παραγόμενης διαδρομής είναι έως και 25% μεγαλύτερο από αυτό της ελάχιστης.

- **Αλγόριθμος Χριστοφίδη (Christofides' algorithm)**

Ο αλγόριθμος του Χριστοφίδη ήταν ένας από τους πρώτους προσεγγιστικούς αλγορίθμους και ένας από τους λόγους που αυτοί έγιναν δημοφιλείς. Ο αλγόριθμος αυτός βασίζεται στην επίλυση κάποιων επιμέρους προβλημάτων πρώτα. Πιο συγκεκριμένα συνδυάζει τις λύσεις του προβλήματος εύρεσης ελαχίστου συνδετικού δέντρου (minimum spanning tree problem) και του προβλήματος εύρεσης τέλειου ταιριάσματος ελαχίστου βάρους (minimum weight perfect matching). Στην συνέχεια συνδυάζει τους δύο γράφους και στον νέο που προκύπτει βρίσκει έναν κύκλο Euler (Eulerian circuit) και τέλος τον μετασχηματίζει σε κύκλο Hamilton (Hamiltonian circuit) ο οποίος απαιτεί την επίσκεψη σε κάθε κορυφή ακριβώς μια φορά. Το αποτέλεσμα που δίνει ο αλγόριθμος στο τέλος έχει αποδειχθεί πως είναι το πολύ 1.5 φορές το μήκος της βέλτιστης διαδρομής.

- **Αλγόριθμος k-βέλτιστου (k-opt algorithm)**

Ο αλγόριθμος k-opt είναι ένας ακόμα ευριστικός αλγόριθμος βελτιστοποίησης. Η πιο απλή εκδοχή αυτού του αλγορίθμου είναι ο αλγόριθμος 2-opt. Η λογική αυτού του αλγορίθμου είναι η βελτίωση μια υπάρχουσας διαδρομής. Πρέπει να σημειωθεί πως όσο καλύτερη είναι η αρχική διαδρομή που δίνεται σαν είσοδος τόσο πιο γρήγορα συγκλίνει ο αλγόριθμος σε μια αποδεκτή λύση. Ο αλγόριθμος 2-opt εναλλάσσει ζευγάρια συνδέσμων ανά δύο και έτσι δημιουργεί μια νέα διαδρομή. Στην συνέχεια αξιολογεί αυτή τη νέα διαδρομή και την συγκρίνει με την τρέχουσα, και σε περίπτωση που είναι καλύτερη, την κρατάει. Στόχος αυτής της διαδικασίας είναι η εξάλειψη των περιπτώσεων που δύο μονοπάτια της διαδρομής τέμνονται. Πρέπει να αναφερθεί πως στην περίπτωση που ο αλγόριθμος αφεθεί να τρέχει, θα φτάσει να έχει ελέγξει όλο τον χώρο των λύσεων. Όμως σε αυτή την περίπτωση έχει χάσει πλέον την αποδοτικότητα η οποία τον καθιστά χρήσιμο στην πράξη. Για αυτό τον λόγο χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τον αλγόριθμο και κριτήρια τερματισμού του.

Με βάση όλα τα παραπάνω προέκυψαν τα πρώτα βήματα της μεθοδολογίας. Αρχικά το πρώτο στάδιο αποτελείται από την επιλογή ενός συναφούς προβλήματος το οποίο θα περιορίσει την έρευνα για λύσεις του γενικού προβλήματος. Το πρόβλημα που πραγματεύεται αυτή η εργασία είναι ένα πρόβλημα δρομολόγησης σημείων με τον περιορισμό πως η διαδρομή πρέπει να περνάει από κάθε σημείο μόλις μια φορά. Με αυτά τα στοιχεία σαν δεδομένα, είναι φανερό πως το πρόβλημα που ταιριάζει περισσότερο είναι αυτό του πλανόδιου πωλητή.

Για το επιλεγμένο πρόβλημα παρουσιάστηκε πλήθος υπαρχόντων αλγορίθμων οι οποίοι με διαφορετικούς τρόπους παράγουν λύσεις. Πρέπει να σημειωθεί πως η φύση του προβλήματος που λύνουμε επιβάλλει την ύπαρξη μεγάλου αριθμού κορυφών στον γράφο που μοντελοποιεί το πρόβλημα καθώς η δρομολόγηση αφορά την καταμέτρηση παροχών

στο δίκτυο ύδρευσης. Επίσης ο χρονικός περιορισμός είναι σημαντικός καθώς δεν μπορεί να επιλεγεί ένας αλγόριθμος που θα απαιτεί μεγάλη χρονική διάρκεια για την εκτέλεσή του. Με αυτούς τους περιορισμούς κρίνεται πως θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί κάποιος προσεγγιστικός αλγόριθμος ο οποίος να χειρίζεται αποδοτικά μεγάλο όγκο σημείων. Από τους διαθέσιμους ευριστικούς αλγορίθμους εν τέλει επιλέχθηκε ο αλγόριθμος 2-opt ο οποίος συνδυάζει αρκετά θετικά χαρακτηριστικά:

- Είναι σχετικά απλός στην υλοποίηση.
- Προσφέρει αξιόλογες προσεγγίσεις της βέλτιστης λύσης.
- Έχει την δυνατότητα να παραμετροποιηθεί ώστε να τερματίζει όποτε κρίνεται σκόπιμο.

Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε, ο αλγόριθμος 2-opt δέχεται σαν είσοδο μια διαδρομή. Ένα σημαντικό στοιχείο λοιπόν, είναι η φύση αυτής της αρχικής διαδρομής ώστε ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης να μην ξοδεύει επαναλήψεις βελτιώνοντας έναν τυχαίο αλγόριθμο. Όσο πιο κοντά στην βέλτιστη διαδρομή είναι η αρχική, τόσο πιο αποδοτική γίνεται η χρήση του αλγορίθμου 2-opt. Για αυτό τον λόγο πριν την χρήση επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί ο αλγόριθμος κοντινότερων γειτόνων ο οποίος σαν στόχο έχει να δώσει μια σχετικά καλή διαδρομή για βελτίωση από τον 2-opt.

3. Πρόβλημα βελτιστοποίησης δρομολόγησης επιμετρητικών εργασιών πεδίου εταιρείας ύδρευσης

3.1 Εισαγωγή

Βασικό μέρος των δραστηριοτήτων μιας εταιρείας ύδρευσης είναι αυτό της τιμολόγησης των καταναλώσεων των πελατών. Για την επίτευξη του στόχου αυτού προηγείται η καταγραφή της ποσότητας νερού την οποία κατανάλωσε κάθε πελάτης η οποία φαίνεται στο ρολόι της παροχής που διαθέτει. Στην συνέχεια οι καταγεγραμμένες καταναλώσεις προωθούνται προς το αντίστοιχο τμήμα τιμολόγησης της εταιρείας στο οποίο θα γίνει και η έκδοση των λογαριασμών που φτάνουν στους πελάτες. Παράλληλα με αντίστοιχο τρόπο διαφορετικά τμήματα της επιχείρησης ενημερώνονται για άλλες ανάγκες όπως τεχνικά προβλήματα, κλπ. Συνεπώς είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός συστηματικού τρόπου με τον οποίο θα είναι εφικτή η λήψη μετρήσεων από κάθε καταναλωτή ανά τακτά χρονικά διαστήματα με τρόπο όσο το δυνατόν πιο αποδοτικό.

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση του τρόπου που είναι οργανωμένη η διαδικασία των επιμετρητικών εργασιών πεδίου από την εταιρεία, τα προβλήματα που αυτή έχει, τα πιθανά οφέλη από την επίλυσή τους και οι στόχοι της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της εργασίας αυτής.

3.2 Υφιστάμενη διαδικασία διεξαγωγής μετρήσεων

Η μεγάλη εταιρεία ύδρευσης, η οποία αποτελεί το αντικείμενο αυτής της μελέτης, λόγω του πολύ μεγάλου όγκου καταναλωτών τους οποίους εξυπηρετεί έχει διαιρέσει το εν λόγω πρόβλημα με τρόπο ώστε να είναι διαχειρίσιμο από πλευράς ανθρωπίνου δυναμικού και οργάνωσης.

Με βάση την υφιστάμενη διαδικασία καταμέτρησης, το σύνολο των μετρητών που αποτελούν πελάτες της εταιρείας ύδρευσης έχει διαιρεθεί σε 11 διακριτές γεωγραφικές περιοχές, σε κάθε μια εκ των οποίων υφίσταται ένα κέντρο καταμέτρησης. Τα περιφερειακά κέντρα καταμέτρησης έχουν σαν αναγνωριστικό ένα γράμμα της αλφαβήτου (πχ περιφερειακό κέντρο Α, περιφερειακό κέντρο Β, κλπ) Για τις ανάγκες του προβλήματος που παρουσιάζεται σε αυτή την εργασία, η βελτιστοποίηση της δρομολόγησης με την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας γίνεται σε κάθε ένα από τα κέντρα ξεχωριστά, λύνοντας με αυτόν τον τρόπο επιμέρους υποπροβλήματα. Για κάθε παροχή γίνεται λήψη των μετρήσεων μια φορά κάθε εννέα μήνες και με βάση αυτή τιμολογείται ο πελάτης. Για τον σκοπό αυτό, κάθε κέντρο καταμέτρησης σχεδιάζει τρεις κύκλους καταμέτρησης για την εξυπηρέτηση της παραπάνω ανάγκης. Ενδεικτικά και για την καλύτερη κατανόηση του μεγέθους του προβλήματος ακολουθεί ο πίνακας στον οποίο φαίνεται ο αριθμός των εξυπηρετούμενων παροχών ανά κέντρο καταμέτρησης.

Περιφερειακό κέντρο καταμέτρησης	Αριθμός παροχών
A	315.000
B	386.150
Γ	159.584
Δ	185.949
Ε	175.949
Z	182.851
H	165.507
Θ	140.952
I	186.873
Π	222.341
Σ	32.330
Σύνολο	2.153.486

Εικόνα 2 - Λίστα περιφερειακών κέντρων καταμέτρησης

Όπως φαίνεται και από τον παραπάνω πίνακα, σε κάθε περιφερειακό κέντρο καταμέτρησης εντάσσεται πολύ μεγάλο πλήθος παροχών. Αυτό δημιουργεί την ανάγκη για περαιτέρω διαίρεση του φόρτου εργασίας. Έτσι κάθε περιφερειακό κέντρο καταμέτρησης διαιρεί τον κάθε κύκλο καταμέτρησης ακόμα περισσότερο δημιουργώντας διαδρομές με εμπειρικά κριτήρια. Από αυτό το στάδιο, και κάνοντας χρήση εμπειρικών μεθόδων και σε αυτή την περίπτωση, η κάθε διαδρομή διαιρείται σε βιβλία καταμέτρησης. Στόχος των βιβλίων καταμέτρησης είναι να αποτελούν ημερήσια πακέτα εργασίας για τους καταμετρητές πεδίου. Επιπλέον, κατά την δημιουργία αυτών λαμβάνεται υπόψιν το γεγονός πως τα βιβλία θα πρέπει να είναι κατά το δυνατόν ισοδύναμα μεταξύ τους.

Συνολικά λοιπόν τα στοιχεία που αποτελούν την υπάρχουσα δομή με την οποία οργανώνονται οι επιμετρητικές εργασίες πεδίου είναι:

- **Περιφερειακά κέντρα καταμέτρησης:** Αποτελούν τις διοικητικές μονάδες οι οποίες έχουν την ευθύνη καταμέτρησης των παροχών που βρίσκονται σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Στο σύνολο της περιοχής της Αττικής υπάρχουν 11 περιφερειακά κέντρα καταμέτρησης.
- **Κύκλοι καταμέτρησης:** Κάθε ένα από τα περιφερειακά κέντρα καταμέτρησης διαιρεί την διαδικασία της λήψης μετρήσεων σε χρονικές περιόδους που ονομάζονται κύκλοι καταμέτρησης. Κάθε κύκλος καταμέτρησης αντιστοιχεί σε ένα τρίμηνο και συνολικά ορίζονται τρεις κύκλοι καταμέτρησης ανά περιφερειακό κέντρο, οι οποίοι διαδέχονται ο καθένας τον επόμενο. Οι παροχές που εντάσσονται σε κάθε περιφερειακό κέντρο μοιράζονται στους κύκλους καταμέτρησης.
- **Διαδρομές καταμέτρησης:** Σε κάθε κύκλο καταμέτρησης οι παροχές που εντάσσονται σε αυτόν μοιράζονται σε διαφορετικές διαδρομές καταμέτρησης. Ο χωρισμός αυτός γίνεται με βάση την εμπειρία και γεωγραφικά κριτήρια που αφορούν την θέση των εν λόγω παροχών.
- **Βιβλία καταμέτρησης:** Κάθε μια από τις διαδρομές έχει μεγάλο φόρτο εργασίας και για αυτό τον λόγο χωρίζεται σε πακέτα εργασίας που αντιστοιχούν στον ημερήσιο φόρτο εργασίας ενός καταμετρητή πεδίου και ονομάζονται βιβλία καταμέτρησης.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται παρουσιάζονται με αναλυτικό τρόπο τα στοιχεία και η οργάνωση που περιεγράφηκε.

Αριθμός καταμετρήσεων	24		30		13		15		14		13		12		9		14		18		3		165		
	Α		Β		Γ		Δ		Ε		Ζ		Η		Θ		Ι		Π		Ι		Σύνολο		
	Βαθμία	Ηλικίες	Βαθμία	Ηλικίες	Βαθμία	Ηλικίες	Βαθμία	Ηλικίες	Βαθμία	Ηλικίες	Βαθμία	Ηλικίες	Βαθμία	Ηλικίες	Βαθμία	Ηλικίες	Βαθμία	Ηλικίες	Βαθμία	Ηλικίες	Βαθμία	Ηλικίες	Βαθμία	Ηλικίες	Βαθμία
1	20	21	23	28	10	10	13	13	13	13	9	10	9	9	10	10	11	11	13	13	5	5	136	142	
3	25	26	23	27	10	10	13	13	13	13	12	12	10	10	10	10	12	12	13	13	5	5	146	151	
4	22	26	20	27	13	13	14	14	13	13	12	12	9	9	10	10	10	10	18	18	5	5	146	157	
6	22	24	28	28	10	11	14	14	12	12	12	12	10	10	10	10	10	10	18	18	5	5	151	154	
7	22	27	29	30	10	11	14	14	13	13	13	13	11	11	11	11	14	14	18	18	5	5	160	166	
9	22	23	29	30	10	11	15	15	13	13	13	13	10	10	10	10	14	14	17	17	5	5	158	161	
10	23	28	34	35	11	12	14	14	13	13	13	13	17	17	10	10	14	14	18	18	4	4	171	178	
12	26	29	28	28	11	12	14	14	14	14	13	13	12	12	10	10	13	13	18	18	4	4	163	168	
13	18	20	25	27	10	11	14	14	13	13	12	12	12	12	10	10	13	13	18	18	5	5	150	156	
15	23	27	27	28	9	10	14	14	12	12	12	12	12	12	10	10	13	13	17	17	5	5	154	160	
16	20	23	24	25	11	12	14	14	12	12	12	12	13	13	10	10	13	13	17	17	5	5	151	156	
18	21	21	28	31	12	13	14	14	13	13	12	12	13	13	10	10	13	13	18	18	6	6	160	164	
19	22	23	30	32	10	11	13	13	12	12	13	13	12	12	10	10	13	13	17	17	5	5	157	161	
21	22	23	27	31	10	12	14	14	12	12	13	13	12	12	11	11	13	13	18	18	5	5	157	163	
22	23	23	31	35	10	11	14	14	12	12	13	13	12	12	11	11	13	13	18	18	4	4	161	166	
24	22	22	24	28	11	12	14	14	12	12	13	13	12	10	11	11	13	13	18	18	4	4	154	156	
25	23	29	31	33	10	11	14	14	12	12	13	13	12	12	11	11	13	13	18	18	5	5	162	171	
27	25	29	27	29	10	11	16	16	12	12	13	13	12	12	10	10	13	13	18	18	5	5	161	168	
28	24	30	32	36	9	10	16	16	13	13	12	12	12	12	11	11	13	13	18	18	4	4	164	175	
Σύνολο	425	474	520	568	197	214	268	268	239	239	235	236	222	220	196	196	241	241	328	328	91	91	2962	3073	
31	25	29	31	36	10	10	16	16	12	12	12	12	12	12	10	10	11	11	16	16	5	5	160	169	
33	24	27	33	37	9	9	16	16	12	12	12	12	11	11	11	11	12	12	16	16	6	6	162	170	
34	27	28	32	39	10	11	16	16	13	13	12	12	12	12	11	11	12	12	16	16	6	6	167	176	
36	25	33	29	36	12	12	16	16	12	12	12	12	12	12	11	11	12	12	16	16	4	4	161	176	
37	23	31	30	35	10	10	16	16	13	13	14	14	8	8	10	10	12	12	16	16	5	5	157	170	
39	20	20	32	35	10	11	16	16	12	12	14	14	12	12	10	10	12	12	16	16	5	5	159	163	
40	21	22	35	40	11	12	16	17	12	12	15	15	12	12	12	12	12	12	16	16	4	4	166	174	
42	23	24	29	29	11	11	16	17	12	12	15	15	12	12	11	11	12	12	16	16	4	4	161	163	
43	24	26	28	29	10	10	14	14	13	13	13	13	11	12	12	12	12	12	16	16	5	5	158	163	
45	21	23	29	32	12	12	13	13	13	13	14	14	12	12	12	12	12	12	16	16	5	5	159	166	
46	22	24	27	34	10	10	15	16	12	12	14	14	10	10	12	12	12	12	16	16	5	5	155	163	
48	23	27	29	36	10	11	11	15	13	13	13	13	10	10	11	11	12	12	16	16	5	5	153	169	
49	23	25	30	37	11	12	16	17	13	13	14	14	10	10	11	11	12	12	15	15	5	5	160	170	
51	23	26	27	30	10	11	17	20	13	13	14	14	11	11	8	8	13	13	15	15	5	5	156	167	
52	23	24	28	33	9	9	13	14	13	13	14	14	11	11	8	8	13	13	19	19	5	5	156	163	
54	25	27	33	36	10	11	9	10	13	13	14	14	11	11	11	11	13	13	17	17	5	5	161	169	
55	23	29	32	45	9	11	9	10	13	13	13	13	11	11	7	7	13	13	17	18	5	5	152	175	
57	24	29	32	37	11	12	9	9	13	13	16	16	10	10	7	7	12	12	19	20	5	5	158	170	
58	24	28	25	27	12	13	12	12	13	13	16	16	10	10	9	9	12	12	16	17	5	5	154	161	
Σύνολο	443	502	571	663	197	208	266	282	240	240	261	261	208	209	194	194	231	231	310	313	94	94	3015	3139	
61	24	24	29	31	10	10	10	10	13	13	16	16	10	10	11	11	12	12	19	20	5	5	159	172	
63	26	28	31	34	11	12	11	11	13	13	14	14	10	10	11	11	12	12	16	16	5	5	160	166	
64	20	27	29	33	11	12	10	10	13	13	14	14	10	10	11	11	12	12	15	16	5	5	150	163	
66	0	0	27	28	11	12	9	10	13	13	14	14	10	10	11	11	12	12	15	17	4	4	126	131	
67	0	0	29	30	9	10	12	12	13	13	15	15	10	10	11	11	12	12	10	10	4	4	125	127	
69	0	0	26	26	10	11	10	12	13	13	15	15	10	10	11	11	12	12	9	9	4	4	120	123	

Εικόνα 3 - Οργάνωση διαδικασίας καταμέτρησης (1/2)

70	0	0	27	29	9	10	11	11	14	14	15	15	10	10	11	11	12	12	10	10	4	4	123	126
72	0	0	19	20	8	10	11	13	15	15	12	12	10	10	10	10	12	12	10	10	5	5	112	117
73	0	0	19	23	11	11	20	21	15	15	12	12	10	10	9	9	13	13	10	10	5	5	124	129
75	0	0	19	21	10	10	13	15	14	14	12	12	10	10	10	10	13	13	9	9	5	5	115	119
76	10	11	20	20	10	10	14	15	14	14	12	12	10	10	9	9	13	13	9	9	5	5	126	128
78	20	21	20	25	10	10	14	22	13	13	12	12	10	10	10	10	14	14	20	25	5	5	148	167
79	20	22	19	26	9	9	9	10	14	14	12	12	10	10	11	11	14	14	26	32	4	4	148	164
81	20	21	19	20	10	11	20	21	20	20	13	13	10	10	9	9	14	14	22	27	5	5	162	171
82	20	20	20	21	10	11	11	11	20	20	13	13	11	11	10	10	14	14	32	44	4	4	165	179
84	20	21	20	21	11	11	10	10	19	19	11	11	15	15	9	9	13	13	24	24	4	4	156	158
85	20	25	18	22	10	11	9	10	19	19	12	12	13	16	9	9	14	14	20	20	5	4	149	162
87	20	25	23	29	10	11	11	12	19	19	11	11	12	12	10	10	14	14	29	29	5	5	164	177
88	20	21	26	43	11	11	13	16	19	19	13	13	14	23	10	10	14	14	24	24	5	5	169	199
Σύνολο	240	276	440	502	191	203	228	252	293	293	248	248	205	217	193	193	246	246	329	361	88	87	2701	2878
Σύνολο	1108	1252	1531	1733	585	625	762	802	772	772	744	745	635	646	583	583	718	718	967	1002	273	272	8678	9150

Εικόνα 4 - Οργάνωση διαδικασίας καταμέτρησης (2/2)

Οι διαδρομές και τα αντίστοιχα βιβλία τους αποτελούν τα βασικά στοιχεία της οργάνωσης που απασχολούν και αυτή την εργασία. Ο διαχωρισμός τους καθώς και τα στοιχεία τους είναι αποθηκευμένα και διαχειρίζονται από το πληροφοριακό σύστημα BCC (Billing & Customer Care). Για την διεξαγωγή της καταμέτρησης κάθε καταμετρητής πεδίου χρησιμοποιεί μηχανήματα καταμέτρησης (hand-held terminals), τα οποία έχουν εγκατεστημένο ειδικό λογισμικό που υποστηρίζει την διαδικασία της καταμέτρησης. Σε ημερήσια βάση φορτώνεται από το σύστημα BCC στο λογισμικό των μηχανημάτων καταμέτρησης το βιβλίο που αποτελεί την εργασία της ημέρας. Ο καταμετρητής επισκέπτεται τις τοποθεσίες στις οποίες πρέπει να μετρήσει την κατανάλωση και λαμβάνει τις αντίστοιχες ενδείξεις από το ρολόι της παροχής. Οι καταμετρητές καταγράφουν στο hand-held terminal διάφορα στοιχεία τα οποία αφορούν κάθε παροχή όπως την πραγματική τιμή της κατανάλωσης, τυχόν αδυναμία καταγραφής της μέτρησης, πιθανή ανάγκη αναφοράς συμβάντων προς την κατάλληλη τεχνική υπηρεσία και άλλα σχόλια που κρίνονται αναγκαία. Στην συνέχεια, μετά την ολοκλήρωση της λήψης των μετρήσεων, το σύνολο των καταγεγραμμένων μετρήσεων μεταφορτώνεται από τα μηχανήματα καταμέτρησης στο σύστημα BCC και κάθε τύπος πληροφορίας που έχει καταγραφεί ακολουθεί την προδιαγεγραμμένη ροή εργασίας που ορίζεται από την εταιρεία.

3.3 Υπάρχοντα πληροφοριακά συστήματα

Για την υλοποίηση των παραπάνω εργασιών η εταιρεία ύδρευσης χρησιμοποιεί ένα σύνολο από πληροφοριακά συστήματα. Αυτά επιτελούν διαφορετικές υπηρεσίες όπως είναι η αποθήκευση πληροφοριών για τις παροχές και τους αντίστοιχους πελάτες, η παροχή πληροφοριών για την τοποθεσία τους και η υποστήριξη της λήψης μετρήσεων. Η ανάλυση των διαφορετικών αυτών συστημάτων είναι πολύ σημαντική για την ανάπτυξη της μεθοδολογίας βελτιστοποίησης της δρομολόγησης καθώς κάνει ξεκάθαρο το τι δεδομένα

είναι πιθανόν διαθέσιμα προς επεξεργασία, με ποιον τρόπο αυτά είναι διαθέσιμα και με ποιον τρόπο πρέπει να εξάγονται και αντίστοιχα αποτελέσματα από την εφαρμογή της.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαφορετικά συστήματα τα οποία λαμβάνονται υπόψιν κατά την ανάπτυξη της μεθοδολογίας καθώς πρέπει να εκτιμηθεί ο τρόπος που θα διασυνδεθούν με το σύστημα που υλοποιεί την λύση.

Πληροφοριακό σύστημα BCC (Billing & Customer Care)

Αυτά τα πληροφοριακά συστήματα λειτουργούν υποστηρικτικά στις εργασίες μιας επιχείρησης. Στην περίπτωση που εξετάζεται σε αυτή την εργασία το BCC σύστημα της εταιρείας περιέχει τις πληροφορίες που αφορούν τις παροχές που βρίσκονται υπό την ευθύνη της εταιρείας. Αυτές οι πληροφορίες αναφέρονται σε επίπεδο παροχών και περιλαμβάνουν στοιχεία που φαίνονται παρακάτω:

- Περιφερειακό κέντρο καταμέτρησης
- Διαδρομή καταμέτρησης
- Βιβλίο καταμέτρησης
- Αναγνωριστικό κτηρίου στο οποίο ανήκει η παροχή
- Στοιχεία διεύθυνσης της παροχής

Πληροφοριακό σύστημα GIS (Geographic Information System)

Τα πληροφοριακά συστήματα GIS είναι συστήματα διαχείρισης χωρικών δεδομένων. Στην γενική τους μορφή αυτά τα συστήματα προσφέρουν υπηρεσίες ενσωμάτωσης, αποθήκευσης, επεξεργασίας, ανάλυσης και απεικόνισης γεωγραφικών πληροφοριών. Η χρήση τέτοιων συστημάτων κρίνεται απαραίτητη για οργανισμούς όταν η γεωγραφική κατανομή των δεδομένων τους είναι κριτικής σημασίας για την πραγματοποίηση των εργασιών τους. Στην περίπτωση της εταιρείας ύδρευσης, και για την εκτέλεση των καταμετρητικών εργασιών είναι απαραίτητη η αποθήκευση, επεξεργασία και εξαγωγή δεδομένων που αφορούν την τοποθεσία των παροχών. Για αυτό τον λόγο η εταιρεία ύδρευσης διαθέτει συστήματα GIS, και πιο συγκεκριμένα τα SmallWorld και ArcGIS. Για την ανάγκη αυτής της εργασίας τα στοιχεία που είναι απαραίτητα από το σύστημα GIS είναι οι συντεταγμένες του κάθε κτηρίου που διαθέτει παροχές ώστε σε συνδυασμό με τα δεδομένα του συστήματος BCC να μπορούμε να προσδιορίσουμε την τοποθεσία κάθε παροχής.

Πληροφοριακό σύστημα φορητών τερματικών

Η διαδικασία λήψης των μετρήσεων γίνεται από του καταμετρητές πεδίου με την βοήθεια των μηχανημάτων καταμέτρησης. Τα συγκεκριμένα συστήματα έχουν εγκατεστημένο λογισμικό το οποίο υποστηρίζει την συγκεκριμένη λειτουργία. Τα δεδομένα που δέχεται σαν είσοδο το λογισμικό αυτό προκύπτουν από το σύστημα BCC. Από το σύστημα φορτώνεται στο μηχάνημα καταμέτρησης ένα ή περισσότερα βιβλία. Πιο συγκεκριμένα τα δεδομένα αυτά είναι ομαδοποιημένα σε διαστήματα διευθύνσεων τα οποία περιλαμβάνουν ένα σύνολο παροχών προς καταμέτρηση. Στην συνέχεια ο υπάλληλος της εταιρείας έχει την δυνατότητα να επιλέξει τον τρόπο με τον οποίο θα επισκεφτεί τις παροχές. Ενδεικτικά έχει

την δυνατότητα να ταξινομήσει τις παροχές με διάφορους τρόπους ανάλογα με την διεύθυνση στην οποία αντιστοιχούν ή να ακολουθήσει κάποια προκαθορισμένη σειρά η οποία προκύπτει από τα δεδομένα εισόδου. Σε κάθε παροχή ο καταμετρητής καταγράφει στοιχεία τα οποία την αφορούν. Οι πληροφορίες αυτές περιλαμβάνουν την τιμή που φαίνεται στο ρολόι καθώς και σχόλια τα οποία μπορεί να αφορούν την διαδικασία λήψης της μέτρησης (πχ το ότι δεν ήταν δυνατή η λήψη της μέτρησης) ή την ίδια την παροχή (πχ σε περίπτωση προβλήματος καταγράφεται αίτημα το οποίο τελικά προωθείται στο τεχνικό τμήμα). Τα στοιχεία που καταγράφηκαν κατά την διαδικασία της καταμέτρησης εισάγονται ξανά στο σύστημα και αναλύονται από τα αντίστοιχα τμήματα της επιχείρησης.

3.4 Προβλήματα εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας

Ο πυρήνας της οργάνωσης των επιμετρητικών εργασιών πεδίου βρίσκεται στην διαδικασία με την οποία χαράσσονται τα βιβλία καταμέτρησης. Η συγκεκριμένη εργασία μέχρι τώρα γίνεται με εμπειρικό τρόπο και χωρίς την χρήση κάποιου συστήματος με αποτέλεσμα να είναι δύσκολη στην πραγματοποίηση της και ανακριβής καθώς δεν τεκμηριώνεται το αποτέλεσμα που παράγει.

Πιο συγκεκριμένα τα προβλήματα που αντιμετωπίζονται αυτή την στιγμή είναι:

- Τα βιβλία και οι διαδρομές έχουν προκύψει με εμπειρικό τρόπο ο οποίος δεν είναι κατάλληλος για αυτό το πρόβλημα. Αυτό το γεγονός συμβαίνει και αποκτά πολύ μεγαλύτερη βαρύτητα λόγω του μεγέθους του προβλήματος που πρέπει να λυθεί. Αναφέρεται χαρακτηριστικά πως το δίκτυο της εταιρείας είναι 9.500 km καλύπτοντας περίπου 2.200.000 ακίνητα και για την καταμέτρηση γίνεται χρήση 170 καταμετρητών συνολικά. Έτσι είναι αδύνατο να πραγματοποιηθεί βελτιστοποίηση η οποία συνεπάγεται σημαντική μείωση του κόστους και εξοικονόμηση πόρων για την εταιρεία ύδρευσης.
- Τα βιβλία και οι παροχές που προκύπτουν με εμπειρικές μεθόδους είναι πρακτικά ανέφικτο να ισοκατανεμηθούν. Η δυσκολία αυτή οφείλεται σε μεγάλο βαθμό και πάλι στο μέγεθος του συνολικού προβλήματος που πρέπει να λυθεί. Ακόμα και σε περιπτώσεις που η ισοκατανομή είναι εφικτή με εμπειρικό τρόπο, η αδυναμία τεκμηρίωσης της αποτελεί ένα ακόμα πρόβλημα.
- Είναι δύσκολη η ενσωμάτωση διαφόρων αλλαγών στα υπάρχοντα βιβλία. Η χάραξη των βιβλίων τα οποία χρησιμοποιούνται έγινε πριν από 7 χρόνια. Από τότε έχουν προστεθεί πολλές νέες παροχές στο δίκτυο της εταιρείας το οποίο δημιουργεί προβλήματα καθώς αυτές πρέπει να ενταχθούν σε βιβλία καταμέτρησης. Επιπλέον υπάρχουν περιπτώσεις αλλαγών που αφορούν την οργάνωση ή τον τρόπο που γίνεται η καταμέτρηση. Όλα τα παραπάνω δημιουργούν την ανάγκη για επαναπρογραμματισμό ο οποίος όμως γίνεται χειροκίνητα και είναι επίπονος, μειώνοντας έτσι την ευελιξία της εταιρείας ύδρευσης.

Τα παραπάνω αποτελούν τον πυρήνα των προβλημάτων που αντιμετωπίζει η εταιρεία ύδρευσης κατά την διαδικασία δρομολόγησης των επιμετρητικών εργασιών και η μεθοδολογία που θα αναπτυχθεί στην συνέχεια στοχεύει στην επίλυσή τους.

3.5 Στόχοι προτεινόμενης προσέγγισης

Έπειτα από την επισκόπηση του τρόπου λειτουργίας της εταιρείας ύδρευσης στην λήψη μετρήσεων έγινε φανερό η ανάγκη για την ανάπτυξη μεθοδολογίας η οποία θα αυτοματοποιεί και θα τεκμηριώνει την χάραξη βιβλίων καταμέτρησης αντιμετωπίζοντας τα προβλήματα που υπάρχουν μέχρι τώρα και παρουσιάστηκαν προηγουμένως. Συνοπτικά ο στόχος της μεθοδολογίας που προτείνεται είναι η δημιουργία λειτουργικότητας βελτιστοποίησης των διαδρομών καταμέτρησης στο σύστημα BCC, με την αξιοποίηση των δεδομένων που τηρούνται σε αυτό από ειδικό αλγόριθμο ο οποίος θα λαμβάνει υπόψιν του χωρικά, γεωγραφικά και άλλα δεδομένα.

Αντικειμενικός στόχος της εφαρμογής είναι η εύρεση της ελάχιστης διαδρομής, η οποία ταυτίζεται με το ελάχιστο κόστος, ώστε να πραγματοποιηθούν μετρήσεις σε κάθε μετρητή κάθε περιφερειακού κέντρου καταμέτρησης επιδιώκοντας την ισοκατανομή της εργασίας στους υπαλλήλους καταμέτρησης. Πιο αναλυτικά, τα επιθυμητά αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθοδολογίας είναι:

- Δημιουργία νέων βιβλίων και διαδρομών με τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται ο απαιτούμενος χρόνος και η απόσταση για την καταμέτρηση, ελαχιστοποιώντας με αυτόν τον τρόπο και το απαιτούμενο κόστος της διαδικασίας.
- Δημιουργία νέων βιβλίων καταμέτρησης για κάθε υπάλληλο καταμέτρησης κατά τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται η ισοκατανομή του φόρτου εργασίας μεταξύ του συνόλου των υπαλλήλων καταμέτρησης
- Υπολογισμός αναλυτικών δεδομένων που αφορούν τα βιβλία καταμέτρησης. Αυτά τα στοιχεία περιλαμβάνουν στοιχεία για τον χρόνο, την απόσταση και τον αριθμό των παροχών που καλύπτονται σε κάθε βιβλίο καταμέτρησης, είτε παλιό ή νέο.
- Παραγωγή αναλυτικών οδηγιών μετακίνησης μεταξύ των σημείων μέτρησης για την υλοποίηση των μετρήσεων. Οι οδηγίες αυτές αφορούν τους καταμετρητές πεδίου και θα πρέπει να μπορούν να εισαχθούν στα μηχανήματα καταμέτρησης τα οποία χρησιμοποιούν.

Με δεδομένους τους παραπάνω στόχους για τα αποτελέσματα έπειτα από εφαρμογή της μεθοδολογίας προκύπτουν και οι στόχοι λειτουργικότητας του συστήματος το οποίο θα την υλοποιεί. Αυτοί είναι:

- Δυνατότητα ανάπτυξης εναλλακτικών σεναρίων για την χάραξη νέων βιβλίων καταμέτρησης σε μικρό χρονικό διάστημα με δυνατότητα προσδιορισμού και σύγκρισης των αποτελεσμάτων τους με την τρέχουσα έκδοση βελτιστοποίησης.
- Δυνατότητα παραμετροποίησης του χρησιμοποιούμενου μοντέλου ώστε να καλύπτει την υιοθέτηση νέων τεχνολογιών που αλλάζουν μερικώς τον τρόπο λήψης των μετρήσεων.

- Λειτουργικότητα που θα αξιολογεί τις νέες διαδρομές ποσοτικά και ποιοτικά και θα τις αντιπαραβάλλει με την σημερινή κατάσταση σε στατιστικό επίπεδο έτσι ώστε να είναι εφικτή η εξαγωγή συμπερασμάτων που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε περαιτέρω βελτιστοποιήσεις.
- Δυνατότητα οπτικοποίησης και απεικόνισης των διαδρομών και των σημείων τους σε χάρτη για ποιοτική ανάλυση και επισκόπηση τους.
- Δυνατότητα επικοινωνίας με τα υπάρχοντα πληροφοριακά συστήματα της εταιρείας ύδρευσης.
- Δυνατότητα αντιμετώπισης ειδικών περιπτώσεων, στις οποίες θα μπορεί ο χρήστης χειροκίνητα να πραγματοποιεί αλλαγές στα βιβλία καταμέτρησης.

Με βάση τα παραπάνω αναπτύχθηκε και υλοποιήθηκε ένα σύνολο αλγορίθμων που συνθέτουν την προτεινόμενη μεθοδολογία. Στα επόμενα κεφάλαια περιγράφονται αναλυτικά οι αλγόριθμοι καθώς και ο σχεδιασμός και η υλοποίηση που ικανοποιούν τους δεδομένους στόχους.

3.6 Αναμενόμενα οφέλη για την εταιρεία ύδρευσης

Συνδυάζοντας τα συμπεράσματα και τους στόχους που έχουν αναλυθεί στις προηγούμενες παραγράφους προκύπτει πως τα αναμενόμενα οφέλη για την εταιρεία ύδρευσης από την υιοθέτηση ενός συστήματος που υλοποιεί την προτεινόμενη μεθοδολογία για την βελτιστοποίηση των διαδρομών και των βιβλίων καταμέτρησης είναι σημαντικά και πολύπλευρα. Παρακάτω αναλύονται αυτά:

- Η δυνατότητα αποδοτικής και αποτελεσματικής διεξαγωγής μετρήσεων συνδέεται άμεσα με το επίπεδο εξυπηρέτησης των πελατών και κατ' επέκταση με τον βαθμό ικανοποίησής τους. Άρα είναι προφανή τα οφέλη από την αύξηση της αποδοτικότητας στην εκτέλεση των συγκεκριμένων εργασιών.
- Η διαδικασία καταμέτρησης αποτελεί το πρώτο στάδιο στην ακολουθία: μέτρηση – τιμολόγηση – είσπραξη. Η δυνατότητα εντοπισμού προβλημάτων σε αυτό το στο πρώτο στάδιο επιτρέπει στην εταιρεία ύδρευσης την έγκαιρη αντιμετώπισή τους. Μια αποδοτική διαδικασία μέτρησης μεταφράζεται ταυτόχρονα σε βελτίωση της ικανότητας της επιχείρησης να εισπράξει έγκαιρα τις οφειλές από τους πελάτες, βελτιώνοντας τα οικονομικά της.
- Η ισοστάθμιση του φόρτου εργασίας των υπάλληλων καταμέτρησης θα εξαλείψει οποιαδήποτε ανομοιομορφία στην ανάθεση έργου και θα αυξήσει τον συνολικό βαθμό ικανοποίησης των εργαζομένων, αφού θα προκύπτει με διαφανή τεχνοκρατικά κριτήρια και θα στηρίζεται σε έναν αντικειμενικό αλγόριθμο με ξεκάθαρη λογική λειτουργίας και τεκμηρίωση.
- Η υλοποίηση ενός υπολογιστικού συστήματος το οποίο θα εφαρμόζει την μεθοδολογία καθιστά εφικτό τον επαναπρογραμματισμό των δρομολογίων και βιβλίων μετρήσεων όποτε αυτό κρίνεται σκόπιμο. Μερικές περιπτώσεις στις οποίες απαιτείται ο επαναπρογραμματισμός μέρους των διαδρομών είναι οι ακόλουθες:
 - Αλλαγές στο οδικό δίκτυο.
 - Τροποποίηση της σύνθεσης του προσωπικού των καταμετρητών.
 - Αλλαγή του τρόπου διεξαγωγής των μετρήσεων.

- Αλλαγή στον αριθμό των κτηρίων και των παροχών.
- Ειδικές έκτακτες περιπτώσεις που επιβάλλουν επαναπρογραμματισμό (πχ κατασκευαστικά έργα).
- Η απόκτηση απολογιστικών στοιχείων από τη διεξαγωγή των μετρήσεων θα επιτρέψει την επίτευξη συνεχούς βελτίωσης της διαδικασίας, που θα οφείλεται στα ακριβέστερα δεδομένα, με τα οποία θα μπορεί να τροφοδοτηθεί ο αλγόριθμος στις μελλοντικές εφαρμογές της μεθοδολογίας. Ταυτόχρονα η ύπαρξη μετρήσιμων απολογιστικών στοιχείων θα ενδυναμώσει τις συνιστώσες μιας κουλτούρας συνεχούς βελτίωσης, αφού θα παρέχει διαχρονικό μέτρο σύγκρισης και θα παρέχει την δυνατότητα στοχοθέτησης.
- Η βελτιστοποίηση της διαδικασίας μέτρησης και η ισοστάθμιση του όγκου εργασίας των εργαζομένων θα οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση κόστους και διαθέσιμων πόρων στη υλοποίηση της διαδικασίας.
- Η αυτοματοποιημένη διαδικασία προγραμματισμού θα επιφέρει σημαντική εξοικονόμηση κόστους και σε αυτή την διαδικασία, αφού θα μπορεί να πραγματοποιηθεί δραματικά ταχύτερα σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση προσφέροντας ασφαλέστερα αποτελέσματα και επαρκή τεκμηρίωση.
- Οι διοικητικές αναφορές που θα εξάγονται συστηματικά και αυτοματοποιημένα από το σύστημα (business analytics) θα βοηθήσουν σημαντικά την διοίκηση σε διάφορους τομείς και θα τους παρέχουν πληροφορίες για την λήψη αποφάσεων που θα αφορούν:
 - Την επίλυση προβλημάτων που εμφανίζονται στην διαδικασία της μέτρησης.
 - Τον καλύτερο στρατηγικό σχεδιασμό και προγραμματισμό σε εκτελεστικό επίπεδο.
 - Τον κοστολογικό απολογισμό της διαδικασίας με χρήση επιλεγμένων δεικτών.
 - Τη λήψη αποφάσεων στρατηγικής σημασίας σε σχέση με το μείγμα χρησιμοποιούμενων πόρων.
 - Την πληροφορημένη επιλογή μελλοντικών επενδύσεων που σχετίζονται με τη διαδικασία των μετρήσεων (π.χ. τεχνολογίες AMR (Automatic Meter Reading) και AMI (Automatic Meter Infrastructure)).
- Η επιτυχής εφαρμογή ενός υποστηρικτικού πληροφοριακού συστήματος για την διεξαγωγή της διαδικασίας μέτρησης μπορεί να αποτελέσει εφελτήριο για την αξιοποίηση αντίστοιχων εργαλείων βελτιστοποίησης για τη διαδικασία συντήρησης η οποία διέπεται σε μεγάλο βαθμό από αντίστοιχη λογική που μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική αύξηση του βαθμού εξυπηρέτησης και μείωση του συνοδευόμενου κόστους.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί πως με βάση διεθνείς μελέτες που έχουν διεξαχθεί και αφορούν τις διαδικασίες καταμέτρησης σε Οργανισμούς Κοινής Ωφέλειας (Utilities) η ελάχιστη εξοικονόμηση κόστους που επιτυγχάνεται από την υιοθέτηση μεθοδολογιών βελτιστοποίησης ανέρχεται σε 15-20%.

4. Προτεινόμενη μεθοδολογία βελτιστοποίησης

4.1 Βασική ιδέα

Όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια η φύση του προβλήματος δεν είναι άγνωστη στον κλάδο της επιστήμης των υπολογιστών. Τα προβλήματα εύρεσης βέλτιστων διαδρομών συνεχίζουν απασχολούν μηχανικούς υπολογιστών και προγραμματιστές. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας το πρόβλημα προς λύση έχει χαρακτηριστικά τα οποία το διαφοροποιούν από ένα κλασσικό πρόβλημα πλανόδιου πωλητή (TSP). Έτσι αναπτύχθηκε μεθοδολογία που προσφέρει προσεγγιστικά βέλτιστες λύσεις εστιασμένες σε αυτή την εκδοχή του προβλήματος.

Το πρώτο κομμάτι της λύσης σε αυτό το πρόβλημα έχει να κάνει με την χάραξη μιας διαδρομής η οποία επισκέπτεται το σύνολο των κτηρίων που ο χρήστης έχει εισάγει στο σύστημα και για τα οποία είναι διαθέσιμες οι συντεταγμένες τους. Ενώ αυτό αποτελεί γνωστό πρόβλημα γενικά, στην ανάπτυξη του συγκεκριμένου συστήματος υπάρχουν δύο παράμετροι που κάνουν την εύρεση λύσης πιο δύσκολη διαδικασία. Αρχικά, το πρώτο εμπόδιο είναι το μεγάλο πλήθος δεδομένων. Για να είναι χρήσιμη μια εφαρμογή όπως αυτή που παρουσιάζεται σε αυτή την εργασία, θα πρέπει ο χρήστης να μπορεί να εισάγει ικανό πλήθος παροχών ώστε να είναι συμφέρουσα η χρήση του συστήματος. Η δεύτερη παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψιν είναι πως τα δεδομένα δεν αποτελούν απλά σημεία πάνω στην επιφάνεια της γης, αλλά είναι μέρος ενός συστήματος δρόμων και συνεπώς για την εύρεση της απόστασης μεταξύ τους δεν αρκεί ο υπολογισμός της ευκλείδειας απόστασης. Από τη σκοπιά του αλγορίθμου, οι παραπάνω παρατηρήσεις δημιουργούν την ανάγκη για έναν αλγόριθμο ο οποίος θα ισορροπεί την ανάγκη για μια καλή προσέγγιση της βέλτιστης λύσης και τον χρονικό περιορισμό καθώς το πρόγραμμα θα πρέπει να δίνει αποτελέσματα σε ένα λογικό χρονικό πλαίσιο. Επιπλέον κρίνεται απαραίτητη η εύρεση κατάλληλης συνάρτησης κόστους η οποία θα συνδυάζει την απόσταση μεταξύ δύο σημείων και τα στοιχεία της διεύθυνσης όπως είναι το ο δρόμος.

Το δεύτερο κομμάτι της λύσης στο συνολικό πρόβλημα έχει να κάνει με την χάραξη των νέων βιβλίων. Σε αυτό το στάδιο η διαδρομή που έχει παραχθεί προηγουμένως θα πρέπει να κατανεμηθεί σε ένα επιλεγμένο αριθμό βιβλίων με τρόπο ώστε όλα τα βιβλία να είναι κατά το δυνατόν ισοδύναμα. Πρέπει να σημειωθεί πως κατά την ανάπτυξη του συγκεκριμένου αλγορίθμου, απαραίτητη ήταν να ληφθεί υπόψιν ότι η συγκεκριμένη διαδικασία θα εκτελείται σχεδόν άμεσα, δίνοντας την δυνατότητα στον χρήστη να πειραματιστεί με διαφορετικούς αριθμούς διαδρομών και βιβλίων. Από την πλευρά του αλγορίθμου, ο χρονικός αυτός περιορισμός σε συνδυασμό με την φύση του συγκεκριμένου προβλήματος, οδηγεί προς χρήση δυναμικού προγραμματισμού για την λύση.

Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω, η συνολική λύση στο πρόβλημα χάραξης νέων βιβλίων μέτρησης για την εταιρεία ύδρευσης περιλαμβάνει ένα σύνολο αλγορίθμων και συναρτήσεων κόστους που εκτελούνται σε διαδοχικά βήματα και προσφέρουν την επιθυμητή λύση σε μορφή νέων βιβλίων. Συνοπτικά, τα διαδοχικά αυτά βήματα στα οποία αντιστοιχούν αλγόριθμοι είναι:

- Η πρώτη προσέγγιση βέλτιστης διαδρομής
- Η βελτιστοποίηση της παραπάνω πρώτης προσέγγισης λύσης

- Η χάραξη των νέων βιβλίων από την βέλτιστη διαδρομή

Στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου παρουσιάζονται και αναλύονται οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε βήμα της μεθοδολογίας.

4.2 Αλγόριθμος αρχικοποίησης βέλτιστης διαδρομής

4.2.1 Βασική ιδέα αλγορίθμου αρχικοποίησης

Το πρώτο βήμα της προτεινόμενης μεθοδολογίας είναι η εύρεση μιας διαδρομής η οποία αν και απέχει πιθανόν από το να είναι η βέλτιστη, προσεγγίζει αυτή σε σχέση με ένα τυχαίο ξεκίνημα. Ουσιαστικά σκοπός αυτού του αλγορίθμου είναι να προσφέρει μια πρώτη λύση πάνω στην οποία μπορεί να δουλέψει ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης. Συνεπώς, είναι σημαντικό ο αλγόριθμος να παράγει αποτέλεσμα σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα. Με βάση αυτές τις προϋποθέσεις και τους περιορισμούς επιλέχθηκε για χρήση ο αλγόριθμος των κοντινότερων γειτόνων (nearest neighbors), ο οποίος παρουσιάζεται στην συνέχεια.

4.2.2 Αλγόριθμος κοντινότερων γειτόνων

Ο αλγόριθμος των κοντινότερων γειτόνων αποτελεί έναν από τους πρώτους και πιο απλούς αλγορίθμους που έχουν χρησιμοποιηθεί για την επίλυση προβλημάτων όπως αυτό του πλανόδιου πωλητή. Η λογική με την οποία λειτουργεί ο αλγόριθμος είναι πως δέχεται ένα σημείο ως εκκίνηση και κάθε φορά επισκέπτεται το πιο κοντινό σημείο από εκεί που βρίσκεται μέχρι να μην υπάρχει άλλο σημείο που δεν έχει επισκεφτεί.

Παρακάτω φαίνονται τα βασικά βήματα που ακολουθεί ο αλγόριθμος για την επίλυση του προβλήματος:

1. Εκκίνηση από σημείο A από το σύνολο των σημείων.
2. Εύρεση της συντομότερης διαδρομής που συνδέει τον κόμβο που βρίσκεται ο αλγόριθμος και κάθε κόμβο που δεν έχει επισκεφτεί.
3. Μετακίνηση του αλγορίθμου στο νέο σημείο
4. Σημείωση ότι ο κόμβος έχει καλυφθεί
5. Αν όλοι οι κόμβοι έχουν καλυφθεί, ο αλγόριθμος τερματίζει
6. Συνέχεια από το βήμα 2

Η σειρά επίσκεψης των κόμβων αποτελεί και την λύση που δίνει ο αλγόριθμος.

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή, έγινε χρήση του αλγορίθμου των κοντινότερων γειτόνων λόγω των πλεονεκτημάτων που αυτός παρουσιάζει. Αρχικά είναι αρκετά εύκολη η υλοποίηση του από τον προγραμματιστή καθώς τα βήματα που απαιτούνται είναι απλά ενώ και δεν απαιτούνται σύνθετες τεχνικές ή περίπλοκες δομές δεδομένων. Λόγω αυτών των στοιχείων η εκτέλεση του αλγορίθμου αυτού είναι σύντομη σε χρονική διάρκεια, το οποίο αποτελεί ένα ακόμα πλεονέκτημά του.

Από την άλλη πλευρά ο αλγόριθμος των κοντινότερων γειτόνων δεν προσφέρει την βέλτιστη λύση λόγω της φύσης του. Κατατάσσεται στην κατηγορία των άπληστων (greedy) αλγορίθμων, το οποίο σημαίνει πως κατά την αναζήτηση της βέλτιστης διαδρομής, σε κάθε

βήμα γίνεται προσπάθεια για την ελαχιστοποίηση του άπληστου κριτηρίου του, το οποίο σε τέτοιου τύπου προβλήματα είναι το κόστος της διαδρομής. Το μειονέκτημα με αυτή την λογική είναι στο γεγονός πως ο αλγόριθμος δεν δύναται να δει την «μεγαλύτερη εικόνα». Κατά την σχεδίαση της συντομότερης διαδρομής υπάρχουν περιπτώσεις όπου επιλέγοντας μια λιγότερο καλή λύση σε ένα ενδιάμεσο βήμα μπορεί να οδηγηθούμε σε καλύτερη λύση συνολικά στο τέλος. Ένας άπληστος αλγόριθμος, και στην συγκεκριμένη περίπτωση ο αλγόριθμος κοντινότερων γειτόνων δεν θα μπορούσε να λάβει υπόψιν τέτοιες περιπτώσεις και άρα να δώσει την βέλτιστη λύση. Αξίζει να σημειωθεί πως παρά το μειονέκτημα αυτό, υπάρχει μεγάλο όφελος στην προσέγγιση που προσφέρει καθώς αποτελεί ένα πρώτο βήμα για την βελτιστοποίηση που ακολουθεί, ειδικά με δεδομένο πως η εναλλακτική θα ήταν μια τυχαία διαδρομή.

4.2.3 Ανάλυση αλγορίθμου κοντινότερων γειτόνων

Με βάση τη μέθοδο που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο μέρος για τον τρόπο λειτουργίας του αλγορίθμου κοντινότερων διαδρομών, σε αυτή την παράγραφο αναλύεται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια η υλοποίηση του στην συγκεκριμένη εφαρμογή.

Ο αλγόριθμος δέχεται σαν είσοδο τα κτήρια για τα οποία θα πρέπει να σχεδιάσει το συντομότερο με το οποίο καλύπτονται. Τα κτήρια αυτά προκύπτουν από τα βιβλία τα οποία έχει εισάγει ο χρήστης στο σύστημα και θέλει να χαράξει εκ νέου. Η είσοδος αυτή γίνεται σε μορφή λίστας, τα στοιχεία της οποίας είναι αντικείμενα τύπου `building`. Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί πως ο τύπος δεδομένων `building` περιλαμβάνει πληροφορίες οι οποίες αφορούν την τοποθεσία κάθε κτηρίου, όπως οι συντεταγμένες του και η διεύθυνσή του. Επίσης το δεύτερο στοιχείο το οποίο ο συγκεκριμένος αλγόριθμος λαμβάνει ως είσοδο είναι ο κόμβος εκκίνησης, δηλαδή το κτήριο από το οποίο ξεκινάει η διαδρομή.

Ο αλγόριθμος εκτελείται όσο η λίστα με τα κτήρια τα οποία δεν έχουν επιλεγεί ως μέρος της διαδρομής δεν είναι άδεια. Σε κάθε επανάληψη η μεταβλητή `head` κρατάει το κτήριο στο οποίο βρίσκεται ο αλγόριθμος εκείνη την στιγμή. Το πρώτο βήμα, είναι ο υπολογισμός της μικρότερης και μεγαλύτερης δυνατής απόστασης μεταξύ του σημείου που βρίσκεται και κάθε άλλου σημείου. Ο λόγος που γίνεται αυτή η διαδικασία είναι πως χρειάζονται αυτές οι δύο αποστάσεις σαν βάση για την κανονικοποίηση που ακολουθεί. Το δεύτερο βήμα του αλγορίθμου περιλαμβάνει μια επανάληψη που εξετάζει κάθε κτήριο που ακόμα δεν αποτελεί μέρος της διαδρομής. Για κάθε ένα από αυτά, υπολογίζεται το κόστος μετακίνησης από το κτήριο που βρίσκεται ο αλγόριθμος προς το υπό εξέταση κτήριο. Στο τέλος της επαναληπτικής διαδικασίας έχει βρεθεί το κτήριο με το μικρότερο κόστος μετακίνησης προς αυτό. Το τρίτο βήμα του αλγορίθμου είναι η αφαίρεση του κτηρίου που επιλέγει από την αρχική λίστα, η προσθήκη του στην λίστα της διαδρομής και ο ορισμός της μεταβλητής που δείχνει σε ποιο σημείο βρίσκεται ο αλγόριθμος.

Μετά την ολοκλήρωση της εκτέλεσης του αλγορίθμου έχει δημιουργηθεί μια νέα λίστα με στοιχεία τύπου `building`, η οποία αποτελεί το αποτέλεσμα του αλγορίθμου. Η σειρά των στοιχείων στη λίστα δηλώνει την σειρά επίσκεψης των κτηρίων ώστε να είναι βέλτιστη η διαδρομή.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο κώδικας που υλοποιεί την παραπάνω διαδικασία:

```

Dim head As Building = start
While listB.Count > 0
    '=====Initialize=====
    Dim bestScore As Double = Double.MaxValue
    Dim minDist As Double = Double.MaxValue
    Dim maxDist As Double = 0
    Dim closestPoint As Building = listB.First
    '=====

    '=====Find the min and max distance from the current point=====
    For Each p As Building In listB
        Dim dist As Double = GetDistanceSquare(head.Coord, p.Coord)
        If dist < minDist Then minDist = dist
        If dist > maxDist Then maxDist = dist
    Next
    '=====

    'Go through the available points to see which one is closer to our position
    For Each p As Building In listB
        Dim dist As Double = GetDistanceSquare(head.Coord, p.Coord)

        '====EXPERIMENT WITH ROAD NAMES====
        dist = (dist - minDist) / (maxDist - minDist)
        dist = (1 - ChangeRoadPenalty) * dist
        If Not (head.Street = p.Street) Then
            dist = dist + ChangeRoadPenalty
        End If
        '=====

        If dist < bestScore Then
            bestScore = dist
            closestPoint = p
        End If
    Next

    FirstRoute.Add(closestPoint)
    listB.Remove(closestPoint)
    head = closestPoint
End While

```

4.3 Αλγόριθμος βελτιστοποίησης διαδρομής

4.3.1 Βασική ιδέα αλγορίθμου βελτιστοποίησης

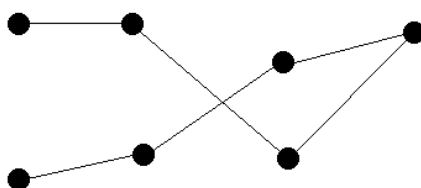
Το δεύτερο βήμα της μεθοδολογίας αφορά την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής που συνδέει τα κτήρια που ο χρήστης έχει εισάγει στο σύστημα. Ήδη από τα προηγούμενα, έχουμε διαθέσιμη μια προσέγγιση την λύσης που ψάχνουμε και άρα σε αυτό το βήμα η κεντρική ιδέα είναι η επεξεργασία αυτής με στόχο την βελτιστοποίησή της. Σε αυτό το στάδιο η ποιότητα της παραγόμενης λύσης έχει μεγαλύτερη σημασία από προηγουμένως ενώ και πάλι

διατηρείται η απαίτηση για εξαγωγή αποτελέσματος σε λογικά χρονικά πλαίσια. Συνεπώς με βάση τον παραπάνω στόχο αλλά και τους περιορισμούς που τίθενται για αυτό το βήμα, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί είναι ο αλγόριθμος 2-βέλτιστου (2-optimal algorithm)

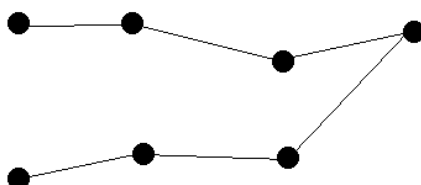
4.3.2 Αλγόριθμος 2-opt

Ο αλγόριθμος 2-opt είναι ένας απλός αλγόριθμος τοπικής αναζήτησης ο οποίος αναπτύχθηκε αρχικά με στόχο την επίλυση του προβλήματος του πλανόδιου πωλητή. Η βασική ιδέα πίσω από αυτόν τον αλγόριθμο είναι να παίρνει μέρη της διαδρομής που διασταυρώνονται και να τα αναδιατάσσει ώστε αυτό να μην συμβαίνει πλέον. Παρακάτω φαίνεται ένα παράδειγμα εφαρμογής του.

Αρχική διαδρομή



Βελτιστοποιημένη διαδρομή



Εικόνα 5 - Βελτιστοποίηση με χρήση αλγορίθμου 2-opt

Όπως αναφέρθηκε, ο αλγόριθμος 2-opt είναι αλγόριθμος τοπικής αναζήτησης (local search) και η καταλληλότητά του για την συγκεκριμένη εφαρμογή είναι αποτέλεσμα αυτού. Οι αλγόριθμοι αυτοί χρησιμοποιούν την τεχνική της επαναληπτικής βελτίωσης (iterative improvement) προσπαθώντας να βελτιώσουν την υπάρχουσα κατάσταση. Η φιλοσοφία αυτών των αλγορίθμων φαίνεται από τα βήματα που ακολουθούν:

- Επιλογή μιας λύσης από τον χώρο αναζήτησης λύσεων. Αυτή η λύση αξιολογείται με βάση κάποια συνάρτηση κόστους και ονομάζεται τρέχουσα λύση.
- Εφαρμογή μετασχηματισμού στην τρέχουσα λύση με στόχο τον σχηματισμό μιας νέας λύσης. Αυτή την νέα λύση την αξιολογούμε με την ίδια συνάρτηση κόστους.
- Σύγκριση των δύο λύσεων. Αν η νέα λύση είναι καλύτερη από την τρέχουσα, τότε η νέα λύση παίρνει την θέση της προηγούμενης και γίνεται τρέχουσα. Σε αντίθετη περίπτωση απορρίπτεται.
- Επανάληψη των παραπάνω βημάτων μέχρι κανένας μετασχηματισμός να μην βελτιώνει την τρέχουσα λύση.

Άρα γίνεται ξεκάθαρος ο τρόπος με τον οποίο τέτοιου τύπου αλγόριθμοι λειτουργούν βελτιώνοντας μια λύση που έχουμε ήδη. Το σημαντικό στοιχείο είναι πως οι νέες λύσεις οι οποίες αναζητούνται είναι «γειτονικές» της υπάρχουσας αφού προκύπτουν με μετασχηματισμό αυτής. Επίσης σε κάθε βήμα έχουμε μια πλήρη λύση (αν και αυτή μπορεί να είναι ατελής), το οποίο έρχεται σε αντίθεση με άλλους τύπους αλγορίθμων οι οποίοι σε κάθε βήμα τους έχουν μόνο μέρος της τελικής λύσης.

Το βασικό πλεονέκτημα αυτού του τύπου των αλγορίθμων, και κατ' επέκταση του αλγορίθμου 2-opt, είναι ότι έχουν την δυνατότητα να βρουν ικανοποιητικές λύσεις σε μεγάλους χώρους λύσεων όπου αλγόριθμοι εξαντλητικής αναζήτησης χρειάζονται απαγορευτικά μεγάλο χρονικό διάστημα για να δώσουν λύση. Ακόμα περισσότερο, σε περιπτώσεις με άπειρο χώρο λύσεων, η οικογένεια αυτή αλγορίθμων δύναται να δώσει λύσεις όταν άλλοι αλγόριθμοι αποτυγχάνουν. Επιπλέον παρά το πιθανόν μεγάλο μέγεθος της εισόδου, ο αλγόριθμος 2-opt δεν χρειάζεται παραπάνω χώρο για την εκτέλεση του, χαρακτηριστικό που τον καθιστά ιδανικό για προβλήματα όπως αυτό, όπου υπάρχει μεγάλο πλήθος δεδομένων. Τέλος το γεγονός ότι σε κάθε βήμα εκτέλεσης υπάρχει μια πλήρης λύση, δίνει την δυνατότητα τερματισμού του αλγορίθμου έπειτα από ένα χρονικό όριο ή έναν αριθμό επαναλήψεων, κάνοντας την χρήση του ιδανική σε περιπτώσεις όπως αυτή της εταιρείας ύδρευσης, όπου ο χρόνος εκτέλεσης είναι σημαντικός και πρέπει να εξισορροπηθεί με την ποιότητα της παραγόμενης λύσης.

4.3.3 Ανάλυση αλγορίθμου 2-opt

Με βάση τη μέθοδο που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο μέρος για τον τρόπο λειτουργίας του αλγορίθμου 2-opt, σε αυτή την παράγραφο αναλύεται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια η υλοποίηση του στην συγκεκριμένη εφαρμογή.

Ο αλγόριθμος δέχεται σαν είσοδο την διαδρομή η οποία έχει προκύψει από το προηγούμενο βήμα της μεθοδολογίας. Αυτό σημαίνει πως στην γενική περίπτωση θα λάβει σαν είσοδο μια διαδρομή που να προσεγγίζει σε κάποιο βαθμό την βέλτιστη λύση έχοντας όμως ατέλειες λόγω του άπληστου χαρακτήρα του προηγούμενου αλγορίθμου. Η είσοδος αυτή γίνεται και πάλι σε μορφή λίστας, τα στοιχεία της οποίας είναι αντικείμενα τύπου building. Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ξανά πως ο τύπος δεδομένων building περιλαμβάνει πληροφορίες οι οποίες αφορούν την τοποθεσία κάθε κτηρίου, όπως οι συντεταγμένες του και η διεύθυνσή του. Εναλλακτικά θα μπορούσε να δοθεί σαν είσοδος και ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων που θα πραγματοποιήσει ο αλγόριθμος, σε περίπτωση που κάτι τέτοιο είχε κριθεί αναγκαίο.

Ο αλγόριθμος εκτελείται επαναληπτικά και η συνθήκη τερματισμού η οποία χρησιμοποιείται είναι το αν πραγματοποιήθηκε βελτιστοποίηση στον χώρο λύσεων που κάλυψε η επανάληψη. Σε κάθε βήμα βελτιστοποίησης επιλέγονται δύο σημεία της τρέχουσας διαδρομής τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για τον μετασχηματισμό. Ο τρόπος με τον οποίο επιλέγονται είναι γραμμικός, αφού κάθε σημείο της διαδρομής θα δοκιμαστεί σαν πρώτο σημείο αναφοράς και για κάθε ένα από αυτά, κάθε σημείο που βρίσκεται πιο μετά στην διαδρομή θα δοκιμαστεί σαν δεύτερο σημείο αναφοράς. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να δοκιμάζεται κάθε ζεύγος σημείων για τον μετασχηματισμό καλύπτοντας εξαντλητικά τις «γειτονικές» λύσεις. Με δεδομένο ένα ζεύγος σημείων πραγματοποιείται ο μετασχηματισμός, ο οποίος περιλαμβάνει το «κόψιμο» της διαδρομής στα δύο σημεία, την αντιστροφή του τμήματος με άκρα τα δύο σημεία και τέλος την επανένωση με αποτέλεσμα

την δημιουργία μιας νέας διαδρομής. Στην συνέχεια αυτή η διαδρομή αξιολογείται με βάση μια δεδομένη συνάρτηση κόστους και συγκρίνεται με την τρέχουσα διαδρομή. Σε περίπτωση που η νέα διαδρομή είναι καλύτερη (άρα έχει μικρότερο κόστος) από την τρέχουσα τότε γίνεται η νέα τρέχουσα και σημειώνεται στην αντίστοιχη μεταβλητή πως πραγματοποιήθηκε κάποια βελτίωση σε αυτή την επανάληψη. Το σχήμα παρακάτω αναπαριστά την διαδικασία μετασχηματισμού με δεδομένο το ζεύγος σημείων 2 και 5.

Αρχική διαδρομή

$A \Rightarrow B \Rightarrow C \Rightarrow D \Rightarrow E \Rightarrow F \Rightarrow G$

Μετά τον μετασχηματισμό

$A \Rightarrow E \Rightarrow D \Rightarrow C \Rightarrow B \Rightarrow F \Rightarrow G$

Εικόνα 6 - Εφαρμογή αλγορίθμου 2-opt

Μετά την ολοκλήρωση της εκτέλεσης του αλγορίθμου έχει δημιουργηθεί μια νέα λίστα με στοιχεία τύπου `building`, η οποία αποτελεί το αποτέλεσμα του αλγορίθμου. Η σειρά των στοιχείων στη λίστα δηλώνει την σειρά επίσκεψης των κτηρίων ώστε να είναι βέλτιστη η διαδρομή.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο κώδικας που υλοποιεί την παραπάνω διαδικασία:

```
Dim CurRoute As List(Of Building) = listRoute

While OptMade
    OptRuns = OptRuns + 1
    OptMade = False
    Dim BestDistance As Double = GetRouteTotalScore(CurRoute, maxDist,
RoadsCount)
    For i = 1 To NodesNumber - 2
        Dim tempBool As Boolean = False
        For k = i + 1 To NodesNumber - 1
            'Create the new route and calculate the length of it
            Dim NewRoute As List(Of Building) = F2_OptSwap(CurRoute, i, k)
            Dim NewDist As Double = GetRouteTotalScore(NewRoute, maxDist,
RoadsCount)

            'Check if the new route is better than the old one and if so make it the
current
            If NewDist < BestDistance Then
                BestDistance = NewDist
                CurRoute = NewRoute
                OptMade = True
                'tempBool = True
                'Exit For
            End If
        Next
    Next
```

Next
End While

4.4 Συνάρτηση υπολογισμού κόστους

4.4.1 Βασική ιδέα συνάρτησης υπολογισμού κόστους

Ένα από τα πιο σημαντικά μέρη μιας μεθοδολογίας βελτιστοποίησης είναι η επιλογή κατάλληλης συνάρτησης κόστους η ελαχιστοποίηση της οποίας είναι ο στόχος των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται. Η συνάρτηση κόστους έχει σαν στόχο να ποσοτικοποιήσει την κατάσταση διαφόρων μεταβλητών μια δεδομένη χρονική στιγμή. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η ουσιαστική σύγκριση μεταξύ διαφορετικών καταστάσεων και επιλογή αυτής που είναι επιθυμητή.

Στα προβλήματα που έχουν να κάνουν με δημιουργία διαδρομών σημαντικός παράγοντας του κόστους είναι η απόσταση μεταξύ των σημείων. Μεγαλύτερες αποστάσεις σημαίνουν αυξημένο κόστος και συνεπώς λιγότερο καλές λύσεις για το πρόβλημα. Οι πιο διαδεδομένοι τρόποι για τον υπολογισμό αποστάσεων είναι:

- **Ευκλείδεια απόσταση:** είναι το μήκος της ευθείας που συνδέει δύο σημεία στο χώρο. Η ευκλείδεια απόσταση δηλώνει παράλληλα και το μήκος της συντομότερης διαδρομής μεταξύ τους. Ο τύπος που δίνει την απόσταση είναι:

$$d(p, q) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2},$$

όπου $p_i = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ και $q_i = (q_1, q_2, \dots, q_n)$

- **Απόσταση Manhattan:** είναι το άθροισμα των απόλυτων διαφορών των καρτεσιανών συντεταγμένων δύο σημείων. Αυτό ο τύπος απόστασης είναι χρήσιμος όταν επιτρέπεται κίνηση μόνο πάνω σε συγκεκριμένες διευθύνσεις (κάθετα, οριζόντια). Ο τύπος που δίνει την απόσταση είναι:

$$d(p, q) = \sum_{i=1}^n |p_i - q_i|,$$

όπου $p_i = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ και $q_i = (q_1, q_2, \dots, q_n)$

Βέβαια πρέπει να σημειωθεί πως ανάλογα με τις λεπτομέρειες και την φύση κάθε προβλήματος είναι πιθανόν να απαιτείται παραμετροποίηση της συνάρτησης κόστους ώστε να λαμβάνει υπόψιν τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του.

4.4.2 Υλοποίηση συνάρτησης υπολογισμού κόστους

Με βάση τα όσα παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο μέρος για την λειτουργικότητα των συναρτήσεων κόστους, σε αυτή την παράγραφο αναλύεται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια η υλοποίηση της στο πλαίσιο της συγκεκριμένης εφαρμογής.

Με βάση την φύση του όπως αυτή έχει περιγραφεί στα προηγούμενα κεφάλαια, έχουν προκύψει δύο χαρακτηριστικά τα οποία κάνουν το πρόβλημα της εταιρείας μοναδικό ως προς την αξιολόγηση του κόστους των υποψήφιων διαδρομών.

Οι αποστάσεις μεταξύ των κτηρίων είναι γενικά πολύ μικρές. Ακόμα κι αν δύο κτήρια βρίσκονται σε αντίθετες πλευρές του δρόμου η απόσταση μεταξύ τους είναι μικρή. Την ίδια στιγμή είναι πιο δύσκολο για τον καταμετρητή να διασχίζει τον δρόμο. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα πως το κόστος της απόστασης για τον υπάλληλο της εταιρείας δεν ταυτίζεται με την ευκλείδεια απόσταση. Συνεπώς κατά την ανάπτυξη της μεθοδολογίας, για να είναι η σύγκριση αποστάσεων από τους αλγορίθμους κατά τα πρότυπά μας, οι τιμές των αποστάσεων υψώνονται στο τετράγωνο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται μεγαλύτερο εύρος τιμών κάνοντας την σύγκριση πιο ξεκάθαρη. Αυτή η προσθήκη έχει ιδιαίτερη σημασία καθώς στην συνέχεια χρησιμοποιούνται και άλλα κριτήρια τα οποία επηρεάζουν την τιμή του κόστους μετακίνησης από ένα σημείο σε άλλο.

Η διαδρομή μεταξύ δύο σημείων που βρίσκονται σε διαφορετικούς δρόμους δεν είναι ευθεία, λόγω του γεγονότος πως τα κτήρια είναι οργανωμένα σε πλέγμα δρόμων. Έτσι σε περιπτώσεις όπου θέλουμε να υπολογίσουμε το κόστος μετακίνησης μεταξύ δύο κτηρίων που βρίσκονται σε διαφορετικούς δρόμους, η ευκλείδεια απόσταση (ή δυνάμεις αυτής) δεν είναι αρκετές για να απεικονίσουν το επιπλέον κόστος. Για αυτό τον λόγο στην συνάρτηση κόστους έγινε η επιλογή να ποσοτικοποιηθεί το γεγονός αλλαγής δρόμου. Αυτό έγινε με χρήση ποινής (penalty) η οποία αυξάνει το κόστος. Για να συνδυαστούν με σωστό τρόπο οι δύο παράγοντες του κόστους, επιπλέον έγινε κανονικοποίηση της τιμής της απόστασης όπως αυτή περιεγράφηκε παραπάνω.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο κώδικας που υλοποιεί την παραπάνω συνάρτηση κόστους διαδρομής.

```
Public Function GetRouteTotalScore(ByVal route As List(Of Building), ByVal maxDist
As Double, ByVal RoadCount As Integer) As Double
    Dim turns As Integer = 0
    '===== EUCLIDEAN DISTANCE=====
    Dim dist As Double = 0
    Dim i As Integer = 0
    For Each p As Building In route
        If i + 1 < route.Count - 2 Then
            dist = dist + GetDistanceSquare(route.ElementAt(i).Coord,
route.ElementAt(i + 1).Coord)
            If Not (route.ElementAt(i).Street = route.ElementAt(i + 1).Street) Then turns
= turns + 1
            End If
            i = i + 1
        Next

    '===== NORMALIZE AND ADD TURNS =====
    dist = (dist / maxDist) * (1 - ChangeRoadPenalty)
    turns = (turns - RoadCount) / (route.Count - RoadCount)
    dist = dist + (turns * ChangeRoadPenalty)

    Return dist
```

```

End Function

Public Function GetDistanceSquare(ByVal pointA As PointLatLng, ByVal pointB As
PointLatLng) As Double
    Dim distance As Double = Double.MaxValue

    distance = (Pow((pointA.Lat - pointB.Lat), 2) + Pow((pointA.Lng - pointB.Lng),
2))

    Return distance
End Function

Public Function GetRouteTotalScore(ByVal route As List(Of Building),
ByVal maxDist As Double, ByVal RoadCount As Integer) As Double
    Dim turns As Integer = 0
    '===== EUCLIDEAN DISTANCE=====
    Dim dist As Double = 0
    Dim i As Integer = 0
    For Each p As Building In route
        If i + 1 < route.Count - 2 Then
            dist = dist + GetDistanceSquare(route.ElementAt(i).Coord,
route.ElementAt(i + 1).Coord)
            If Not (route.ElementAt(i).Street = route.ElementAt(i + 1).Street) Then turns
= turns + 1
        End If
        i = i + 1
    Next

    '===== NORMALIZE AND ADD TURNS =====
    dist = (dist / maxDist) * (1 - ChangeRoadPenalty)
    turns = (turns - RoadCount) / (route.Count - RoadCount)
    dist = dist + (turns * ChangeRoadPenalty)

    Return dist
End Function

Public Function GetDistanceSquare(ByVal pointA As PointLatLng, ByVal pointB As
PointLatLng) As Double
    Dim distance As Double = Double.MaxValue
    distance = (Pow((pointA.Lat - pointB.Lat), 2) + Pow((pointA.Lng - pointB.Lng),
2))

    Return distance
End Function

```

4.5 Αλγόριθμος χάραξης νέων βιβλίων

4.5.1 Βασική ιδέα αλγορίθμου χάραξης νέων βιβλίων

Η χάραξη των νέων βιβλίων αποτελεί το τελευταίο βήμα στην εφαρμογή της μεθοδολογίας. Μέχρι αυτό το σημείο υπάρχει μια βέλτιστη διαδρομή η οποία καλύπτει το σύνολο των κτηρίων που έχει εισάγει ο χρήστης στο σύστημα. Σε αυτό το σημείο, η συνολική διαδρομή

θα πρέπει να χωριστεί σε επιμέρους βιβλία. Ο αριθμός των βιβλίων καθορίζεται από τον χρήστη ενώ ο στόχος της χάραξης είναι να προκύψουν βιβλία ισοδύναμου φόρτου. Για την επίλυση λοιπόν του προβλήματος, στόχος είναι να προσδιοριστεί ο μέγιστος φόρτος εργασίας που μπορεί να έχει ένα βιβλίο και με βάση αυτόν να γίνει η κατανομή. Με δεδομένο αυτόν, ο αλγόριθμος διασχίζει την διαδρομή και κάθε φορά που διαπιστώνεται πως η προσθήκη ενός ακόμα κτηρίου οδήγησε στην υπέρβαση αυτού του ορίου, κλείνει το τρέχον βιβλίο και ξεκινάει το επόμενο. Η μεγαλύτερη δυσκολία σε αυτό το κομμάτι βρίσκεται στην εύρεση του κατάλληλου μέγιστου φόρτου ο οποίος θα οδηγήσει σε ισοκατανεμημένα βιβλία. Η τεχνική που χρησιμοποιήθηκε είναι αυτή της δυαδικής αναζήτησης (binary search).

4.5.2 Δυαδική αναζήτηση

Η δυαδική αναζήτηση είναι ένας αλγόριθμος αναζήτησης ο οποίος εντοπίζει το επιθυμητό στοιχείο σε ένα ταξινομημένο σύνολο στοιχείων. Ο αλγόριθμος αυτός βασίζεται στην σύγκριση του στοιχείου το οποίο αναζητούμε με το μεσαίο στοιχείο του συνόλου που εξετάζουμε. Αν τα δύο αυτά στοιχεία ταιριάζουν τότε έχει βρεθεί ο στόχος. Αν όχι, τότε εξαλείφουμε το μισό του συνόλου στο οποίο ο στόχος δεν θα μπορούσε να βρίσκεται. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρι να βρεθεί ο στόχος ή αν το μισό σύνολο που επιλεγεί είναι κενό. Ο αλγόριθμος αυτός σε βήματα είναι ο εξής:

Με δεδομένο σύνολο A , το οποίο περιέχει n ταξινομημένα στοιχεία αναζητούμε τον στόχο T

1. Ορίζεται μεταβλητή $L=0$ και $R=n-1$
2. Αν ισχύει $L>R$ τότε η αναζήτηση τερματίζεται
3. Ορίζεται m η θέση του μεσαίου στοιχείου του συνόλου A
4. Αν ισχύει $A_m<T$ τότε $L=m+1$
5. Αν ισχύει $A_m>T$ τότε $R=m-1$
6. Αν ισχύει $A_m=T$ τότε η αναζήτηση τερματίζεται
7. Συνέχεια από το βήμα 2

Το μεγάλο πλεονέκτημα που έχει η δυαδική αναζήτηση είναι η ταχύτητα εκτέλεσης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως με κάθε βήμα εξαλείφεται ο μισός χώρος αναζήτησης συγκλίνοντας με μεγάλη ταχύτητα στην πιθανή λύση. Ακόμα και στην περίπτωση που δοθεί πολύ μεγάλος χώρος αναζήτησης η δυαδική αναζήτηση προσφέρει αποτέλεσμα με σχετικά μικρό αριθμό συγκρίσεων. Η πολυπλοκότητα της δυαδικής αναζήτησης είναι $O(\log n)$, το οποίο εξηγεί και την αποδοτικότητα της.

Τέλος πρέπει να αναφερθεί πως η δυαδική αναζήτηση έχει χρήση και σε πλήθος εφαρμογών πέρα από την αναζήτηση στοιχείων σε ένα πίνακα. Αυτός είναι ο λόγος που έγινε χρήση της στην μεθοδολογία για την χάραξη των νέων βιβλίων.

4.5.3 Υλοποίηση αλγορίθμου χάραξης νέων βιβλίων

Με βάση τη μέθοδο που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο μέρος για τον τρόπο λειτουργίας του αλγορίθμου της δυαδικής αναζήτησης, σε αυτή την παράγραφο αναλύεται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια η υλοποίηση του στην συγκεκριμένη εφαρμογή.

Ο αλγόριθμος δέχεται σαν είσοδο την διαδρομή η οποία έχει προκύψει από το προηγούμενο βήμα της μεθοδολογίας. Αυτό σημαίνει πως λαμβάνει σαν είσοδο την βέλτιστη διαδρομή που καλύπτει το σύνολο των κτηρίων και η οποία ήταν αποτέλεσμα του προηγούμενου

αλγορίθμου. Η είσοδος αυτή γίνεται και πάλι σε μορφή λίστας, τα στοιχεία της οποίας είναι αντικείμενα τύπου `building`. Επιπλέον λαμβάνει σαν είσοδο και τον επιθυμητό αριθμό βιβλίων στα οποία πρέπει να μοιράσει την συνολική διαδρομή.

Η λογική του αλγορίθμου δυαδικής αναζήτησης που χρησιμοποιήθηκε βασίστηκε στην αναζήτηση του μέγιστου κόστους με χρήση του οποίου θα πάρουμε έναν συγκεκριμένο αριθμό βιβλίων (`BookNum`). Το σύνολο στο οποίο αναζητούμε την λύση ορίζεται από το μεγαλύτερο δυνατό μέγιστο κόστος με το οποίο θα προέκυπτε ένα βιβλίο και το μικρότερο δυνατό μέγιστο κόστος με το οποίο θα προέκυπταν τόσα βιβλία όσα και τα κτήρια της διαδρομής. Σε κάθε βήμα του αλγορίθμου επιλέγεται το μεσαίο στοιχείο του χώρου αναζήτησης το οποίο αντιπροσωπεύει ένα υποψήφιο μέγιστο κόστος. Για αυτό μέγιστο κόστος υπολογίζουμε τον αριθμό βιβλίων που θα χρειαζόντουσαν. Αν είναι μεγαλύτερος τότε το κάτω όριο του χώρου αναζήτησης γίνεται λίγο μεγαλύτερο από το μεσαίο στοιχείο που εξετάσαμε. Αν είναι μικρότερος ή ίσος τότε το άνω όριο του χώρου αναζήτησης γίνεται ίσο με το μεσαίο στοιχείο. Στην συνέχεια η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου το κάτω όριο γίνει μεγαλύτερο ή ίσο του άνω. Με την ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας, η τιμή του κάτω ορίου είναι ο μέγιστος φόρτος ανά βιβλίο που αναζητούνταν.

Με δεδομένο τον μέγιστο φόρτο εργασίας, η ο αλγόριθμος χάραξης νέων βιβλίων διατρέπει την διαδρομή των κτηρίων και προσθέτει κτήρια στο τρέχον βιβλίο. Σε περίπτωση που η προσθήκη του τρέχοντος κτηρίου στο τρέχον βιβλίο σημαίνει υπέρβαση του μέγιστου φόρτου, τότε το τρέχον βιβλίο ολοκληρώνεται και το υπό εξέταση κτήριο εντάσσεται στο επόμενο βιβλίο.

Μετά την ολοκλήρωση της εκτέλεσης του αλγορίθμου έχει δημιουργηθεί μια νέα λίστα με στοιχεία τύπου `book`, η οποία αποτελεί το αποτέλεσμα του αλγορίθμου και το νέο σύνολο βιβλίων.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο κώδικας που υλοποιεί την παραπάνω δυαδική αναζήτηση του μέγιστου κόστους ανά βιβλίο.

```
While lower < upper
    Dim middle As Decimal = lower + ((upper - lower) / 2)
    Dim parts As Integer = Neededparts(distTimes, countTimes, middle,
OptimalRoute.Count)
    If parts <= bookNum Then
        upper = middle
    Else
        lower = middle + 0.001
    End If
End While

Public Function Neededparts(ByVal d() As Decimal, ByVal c As Decimal(), ByVal
limit As Decimal, k As Integer) As Integer
    Dim sum As Decimal = 0D
    Dim parts As Integer = 1

    For i As Integer = 0 To k - 1
        sum = sum + d(i) + c(i)
```

```
    If sum > limit Then
      sum = c(i)
      parts = parts + 1
    End If
  Next

  Return parts
End Function
```


5. Σχεδιασμός συστήματος

5.1 Μοντέλο σχεδιασμού

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής αναπτύχθηκε εφαρμογή Windows Forms η οποία χρησιμοποιείται από την εταιρεία ύδρευσης για τον επαναπροσδιορισμό και την οπτικοποίηση των νέων διαδρομών. Το μοντέλο με το οποίο έγινε ο σχεδιασμός της εν λόγω εφαρμογής είναι το ελικοειδές μοντέλο (Spiral Model). Το ελικοειδές μοντέλο σχεδιασμού βασίζεται στην λογική διαδοχικών βελτιώσεων ενός αρχικού πρωτοτύπου με βάση την εμπλοκή του χρήστη από τα πρώτα στάδια της ανάπτυξης. Κάθε φάση της αυτού του μοντέλου αποτελεί μια μικρογραφία του συνολικού κύκλου ανάπτυξης μιας εφαρμογής αφού περιλαμβάνει και τα 4 στάδια, τα οποία είναι:

- Ανάλυση των απαιτήσεων της εφαρμογής
- Σχεδιασμός ανάπτυξης, έρευνα των διαθέσιμων τεχνολογιών και των πλεονεκτημάτων/μειονεκτημάτων που αυτές έχουν
- Ανάπτυξη της εφαρμογής και δοκιμή λειτουργίας
- Αξιολόγηση της εφαρμογής

Η σταδιακή αυτή εξέλιξη της εφαρμογής ήταν σημαντική γιατί θεωρήθηκε πως η συμβολή των τελικών χρηστών στην ανάπτυξη με παρατηρήσεις και προτάσεις επί των πρωτοτύπων ήταν ιδιαίτερα κρίσιμη. Αυτό ενισχύεται και από το γεγονός πως σε μια μεγάλη επιχείρηση, η οποία έχει συγκεκριμένο τρόπο λειτουργίας αλλά και πλήθος υπαρχόντων συστημάτων, οι εφαρμογές που αναπτύσσονται με στόχο να ενταχθούν σε μια αλυσίδα εργασιών μιας επιχείρησης θα πρέπει να σχεδιάζονται και να αναπτύσσονται στις ανάγκες του πελάτη ο οποίος έχει την γνώση για το πως θα ενσωματωθούν και χρησιμοποιηθούν αποδοτικά.

Το πρώτα βήματα όπως φαίνεται και από το παραπάνω μοντέλο είναι αυτά του σχεδιασμού του συστήματος και αποτελούν το αντικείμενο του παρόντος κεφαλαίου. Τα στάδια τα οποία περιλαμβάνει ο σχεδιασμός είναι:

- Ανάπτυξη αρχικής ιδέας
- Ανάλυση αναγκών και λειτουργικών απαιτήσεων
- Σχεδιασμός δομών δεδομένων

Όπως έχει γίνει ξεκάθαρο από τα παραπάνω στόχος είναι η υλοποίηση ενός συστήματος το οποίο θα προσφέρει την δυνατότητα επαναχάραξης των υπάρχοντων διαδρομών και βιβλίων της εταιρείας ύδρευσης. Το σύστημα θα πρέπει να δέχεται σαν είσοδο τα υπάρχοντα βιβλία, τα οποία περιέχουν τα στοιχεία για τις παροχές που εντάσσονται σε αυτά, και στοιχεία για την ακριβή τοποθεσία των κτηρίων στα οποία αντιστοιχούν οι παροχές. Η βασική λειτουργία του συστήματος θα είναι η χάραξη νέων, βελτιωμένων βιβλίων για το σύνολο των παροχών που εισήχθησαν κατά το πρώτο βήμα. Επιπρόσθετα στο σύστημα ενσωματώνονται και πλήθος άλλων δυνατοτήτων οι οποίες λειτουργούν συμπληρωματικά με τον βασικό στόχο. Τέτοιες επεκτάσεις που υλοποιήθηκαν είναι η οπτικοποίηση των παροχών και των αντίστοιχων κτηρίων τους στο χάρτη, η στατιστική ανάλυση των υπαρχόντων και των νέων βιβλίων καθώς και η δυνατότητα αλλαγών μεταξύ συγκεκριμένων βιβλίων χωρίς να απαιτείται η εκτέλεση όλης της μεθοδολογίας από την αρχή. Τέλος, το σύστημα εξάγει τις νέες διαδρομές και τα βιβλία τους ώστε να χρησιμοποιηθούν από την εταιρεία.

5.2 Ανάπτυξη αναγκών και απαιτήσεων

5.2.1 Ανάλυση λειτουργικών απαιτήσεων

Βασικό κομμάτι του σχεδιασμού μιας εφαρμογής είναι η ανάλυση των λειτουργικών απαιτήσεων και αντίστοιχων των λειτουργικών προδιαγραφών τους. Η συγκεκριμένη τεχνική ανάλυσης γίνεται σε συνεργασία με τον τελικό χρήστη και σαν στόχο έχει να γεφυρώσει την απόσταση μεταξύ των αναγκών του ίδιου και της κατανόησης του προγραμματιστή. Με αυτό τον τρόπο γίνεται πιο εύκολη η υλοποίηση καθώς είναι σαφές το τι χρειάζεται και πως μπορεί αυτό να υλοποιηθεί ώστε να ικανοποιεί τον χρήστη. Τα βασικά μέρη αυτής της ανάλυσης είναι:

- **Λειτουργικές απαιτήσεις:** Περιγράφουν λειτουργικές δυνατότητες και ορίζουν ποιες υπηρεσίες θα πρέπει να παρέχει ένα σύστημα και πως προβλέπεται να αντιδρά σε συγκεκριμένες εισόδους και καταστάσεις. Οι λειτουργικές απαιτήσεις συνήθως είναι υψηλού επιπέδου δηλώσεις.
- **Λειτουργικές προδιαγραφές:** Περιγράφουν το πως το σύστημα θα υποστηρίξει τις εκάστοτε λειτουργικές απαιτήσεις του χρήστη. Ορίζει με μεγαλύτερη ακρίβεια το τι πρέπει να υλοποιηθεί ώστε να ικανοποιηθεί ο πελάτης και περιλαμβάνει περιορισμούς του συστήματος.

Κατά τον σχεδιασμό αυτού του συστήματος η ανάλυση των λειτουργικών απαιτήσεων έγινε για κάθε λειτουργική μονάδα ξεχωριστά:

Μονάδα 1: Εισαγωγή αρχείων

Η λειτουργική αυτή μονάδα αποτελεί την πρώτη οθόνη, η οποία στόχο έχει την εισαγωγή των απαραίτητων αρχείων στο σύστημα. Οι λειτουργικές απαιτήσεις για αυτή την μονάδα είναι:

Λειτουργικές Απαιτήσεις	Λειτουργικές προδιαγραφές
Επιλογή αρχείων	Πατώντας το κουμπί για την επιλογή αρχείου θα ανοίγει η εξερεύνηση των Windows για τον προσδιορισμό του επιθυμητού αρχείου
Έξοδος από την εφαρμογή	Κουμπί εξόδου με το οποίο τερματίζει η λειτουργία της εφαρμογής

Μονάδα 2: Κεντρική οθόνη

Η λειτουργική αυτή μονάδα αποτελεί την κύρια οθόνη, η οποία περιλαμβάνει το μενού πλοήγησης και είναι πάντα εμφανής. Οι λειτουργικές απαιτήσεις για αυτή την μονάδα είναι:

Λειτουργικές Απαιτήσεις	Λειτουργικές προδιαγραφές
Πλοήγηση στην εφαρμογή	Ύπαρξη ενός μενού το οποίο θα δίνει την δυνατότητα εναλλαγής της οθόνης που βλέπει ο χρήστης
Αλλαγή ρυθμίσεων	Κουμπί το οποίο οδηγεί στην οθόνη των ρυθμίσεων του συστήματος

Έξοδος από την εφαρμογή	Κουμπί εξόδου με το οποίο τερματίζει η λειτουργία της εφαρμογής
-------------------------	---

Μονάδα 3: Σχεδιασμός νέας διαδρομής

Η λειτουργική αυτή μονάδα υλοποιεί την ανάγκη για επαναχάραξη των βιβλίων που έχει εισάγει ο χρήστης στο σύστημα. Οι λειτουργικές απαιτήσεις για αυτή την μονάδα είναι:

Λειτουργικές Απαιτήσεις	Λειτουργικές προδιαγραφές
Σχεδίαση νέας διαδρομής	Κουμπί το οποίο ξεκινά την διαδικασία εύρεσης της βέλτιστης διαδρομής
Χάραξη βιβλίων	Κουμπί το οποίο χαράζει τα νέα βιβλία σύμφωνα με τις δοθείσες παραμέτρους
Αλλαγή επιλογών χάραξης βιβλίων	Πεδία εισόδου για τον προσδιορισμό του επιθυμητού αριθμού διαδρομών και βιβλίων
Αποθήκευση βιβλίων	Πατώντας το κουμπί αποθήκευσης θα ανοίγει η εξερεύνηση των Windows για επιλογή της τοποθεσίας εξαγωγής των νέων βιβλίων
Οπτικοποίηση βιβλίων	Διαδραστικός χάρτης στον οποίο ο χρήστης μπορεί να βλέπει τις θέσεις των κτηρίων μιας διαδρομής/βιβλίου

Μονάδα 4: Στατιστικά βιβλίων

Η λειτουργική αυτή μονάδα υλοποιεί την ανάγκη για αξιολόγηση των βιβλίων που έχει εισάγει ο χρήστης στο σύστημα βλέποντας τα στατιστικά στοιχεία τους. Οι λειτουργικές απαιτήσεις για αυτή την μονάδα είναι:

Λειτουργικές Απαιτήσεις	Λειτουργικές προδιαγραφές
Οπτικοποίηση βιβλίων	Διαδραστικός χάρτης στον οποίο ο χρήστης μπορεί να βλέπει τις θέσεις των κτηρίων μιας διαδρομής/βιβλίου

Μονάδα 5: Αναθεώρηση βιβλίων

Η λειτουργική αυτή μονάδα υλοποιεί την ανάγκη για ανταλλαγή κτηρίων μεταξύ των βιβλίων που έχει εισάγει ο χρήστης στο σύστημα. Οι λειτουργικές απαιτήσεις για αυτή την μονάδα είναι:

Λειτουργικές Απαιτήσεις	Λειτουργικές προδιαγραφές
Επιλογή βιβλίων	Dropdown μενού για την επιλογή των βιβλίων μεταξύ των οποίων θα γίνει η αλλαγή

Επιλογή κτηρίων	Επιλογή των κτηρίων από μια λίστα με checkboxes
Αποθήκευση βιβλίων	Πατώντας το κουμπί αποθήκευσης θα ανοίγει η εξερεύνηση των Windows για επιλογή της τοποθεσίας εξαγωγής των νέων βιβλίων
Οπτικοποίηση βιβλίων	Διαδραστικός χάρτης στον οποίο ο χρήστης μπορεί να βλέπει τις θέσεις των κτηρίων που έχει επιλέξει

Μετά τον καθορισμό των παραπάνω λειτουργικών απαιτήσεων, απαραίτητος είναι ο προσδιορισμός και των δεικτών ευχρηστίας της εφαρμογής. Με αυτό τον τρόπο ο πελάτης έχει την δυνατότητα να κατευθύνει την σχεδίαση προς την κατεύθυνση που είναι πιο σημαντική για εκείνον ως χρήστη της εφαρμογής. Σε ένα σύστημα όπως αυτό που αναπτύχθηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας είναι ζωτικής σημασίας η σχεδίαση διεπαφών οι οποίες είναι φιλικές προς τον χρήστη. Μια καλή διεπαφή είναι αυτή την οποία ο χρήστης χρησιμοποιεί χωρίς να το καταλαβαίνει καθώς τον οδηγεί στα επόμενα βήματα διαισθητικά. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή οι δείκτες ευχρηστίας, που ελήφθησαν υπόψιν φαίνονται παρακάτω:

- Ευκολία εκμάθησης του συστήματος από νέους χρήστες**

Η εφαρμογή θα πρέπει να ακολουθεί τις συνηθισμένες νόρμες σχεδιασμού διεπαφών. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνουμε ευκολότερη εκμάθηση της εφαρμογής καθώς ο χρήστης είναι συνηθισμένος να χρησιμοποιεί άλλα συστήματα με παρόμοια δομή. Η δομή των διεπαφών κάνει την πλοήγηση διαισθητική και προβλέψιμη και άρα μειώνεται η ανάγκη για εκμάθηση. Άλλο ένα σημαντικό στοιχείο που βοηθάει την εύκολη εκμάθηση είναι η απλή, λιτή και χωρίς περιττά στοιχεία σχεδίαση.
- Υψηλή απόδοση εκτέλεσης των λειτουργικών από τους έμπειρους χρήστες**

Με αυτό τον δείκτη έχουμε την δυνατότητα να αξιολογήσουμε το πόσο εύχρηστη είναι η εφαρμογή αφού κάποιος έχει εξοικειωθεί με αυτή. Ένας έμπειρος χρήστης θα πρέπει πλοηγείται στην εφαρμογή και να εκτελεί λειτουργίες γρήγορα και χωρίς αμφιβολία ή δισταγμό. Αυτό επιτυγχάνεται με την δημιουργία διαπροσωπίων η οποίες κάνουν ξεκάθαρο το αποτέλεσμα κάθε ενέργειας.
- Μικρός αριθμός εσφαλμένων χειρισμών κατά την χρήση του συστήματος**

Στόχος αυτού του δείκτη είναι να μειώσει τον αριθμό των σφαλμάτων που μπορεί να κάνει ο χρήστης κατά την λειτουργία της εφαρμογής. Και σε αυτή την περίπτωση σημαντική είναι η απλότητα και η σαφήνεια στην λειτουργία του συστήματος. Ένας δεύτερος παράγοντας που βελτιώνει τις επιδόσεις σε αυτόν τον δείκτη είναι η χρήση προειδοποιητικών μηνυμάτων που αποτρέπουν τα σφάλματα από την πλευρά του χρήστη.

5.2.2 Ανάλυση αναγκών με χρήση μοντέλου GOMS

Σε κάθε σύστημα λογισμικού είναι πολύ σημαντικό κατά τον σχεδιασμό να εκτιμηθεί το πόσο εύχρηστο είναι αυτό με την αξιολόγηση των διαδικασιών που χρειάζονται για την εκτέλεση συγκεκριμένων εργασιών. Ένας τρόπος για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός με συστηματικό τρόπο, είναι η χρήση μοντέλων Ανθρώπου Επεξεργαστή (Human Processor Models). Στην συγκεκριμένη εφαρμογή το μοντέλο που επιλέχθηκε είναι το μοντέλο GOMS (Goals, Operators, Methods, Selection), το οποίο μοντελοποιεί εργασίες και ενέργειες. Η συγκεκριμένη τεχνική αποτελείται από μεθόδους οι οποίες χρησιμοποιούνται για να επιτευχθούν συγκεκριμένοι στόχοι. Κάθε μέθοδος αποτελείται από λειτουργίες οι οποίες αναλύονται σε στοιχειώδεις ενέργειες. Σε περίπτωση που κάποιος στόχος μπορεί να επιτευχθεί με παραπάνω από μια μέθοδο, τότε χρησιμοποιούμε κανόνες επιλογής με τους οποίους χρησιμοποιείται η καταλληλότερη μέθοδος. Συνοπτικά, τα δομικά στοιχεία της μεθόδου αυτής είναι:

- **Στόχοι (Goals):** Περιγράφουν την κατάσταση την οποία ο χρήστης επιθυμεί να φτάσει και καθορίζουν διαφορετικές μεθόδους με τις οποίες αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί.
- **Λειτουργίες (Operators):** Είναι οι χειρισμοί οι οποίοι αλλάζουν το περιβάλλον εργασίας και την κατάσταση στην οποία βρίσκεται το σύστημα.
- **Μέθοδοι (Methods):** Περιγράφουν πιο αναλυτικά την διαδικασία με την οποία είναι εφικτό να επιτευχθεί ένας στόχος.
- **Κανόνες επιλογής (Selection rules):** Είναι οι κανόνες με τους οποίους καθορίζεται ποια μέθοδος θα ακολουθηθεί σε περίπτωση που υπάρχουν παραπάνω από μια διαθέσιμες.

Παρακάτω παρουσιάζεται η χρήση του μοντέλου GOMS σε διαφορετικά σενάρια χρήσης της εφαρμογής:

Σενάριο 1: Επιλογή αρχείων εισόδου

Αυτό το σενάριο αποτελεί το πρώτο βήμα που θα κάνει ο χρήστης κατά την εκκίνηση της εφαρμογής. Σε αυτό το στάδιο θα πρέπει να επιλέξει ένα αρχείο BCC, το οποίο περιέχει τις πληροφορίες για τις παροχές που θέλει να εισάγει στο σύστημα, και ένα αρχείο GIS, το οποίο περιέχει πληροφορίες για την τοποθεσία των κτηρίων με βάση το σύστημα συντεταγμένων. Και στις δύο περιπτώσεις αυτό γίνεται με επιλογή κατάλληλου αρχείου με χρήση Windows explorer. Τέλος και αφού έχει επιλέξει και τα δύο αρχεία, πατώντας στο κουμπί «Επόμενο», ολοκληρώνει την εισαγωγή. Η ανάλυση με χρήση GOMS φαίνεται παρακάτω:

ΣΤΟΧΟΣ: Εισαγωγή απαραίτητων αρχείων στο σύστημα

Μετακίνηση του δείκτη στο κουμπί «Άνοιγμα» στο πεδίο του αρχείου GIS

Κλικ στο κουμπί «Άνοιγμα»

Επιλογή του επιθυμητού αρχείου από το σύστημα αρχείων του υπολογιστή

Μετακίνηση του δείκτη στο κουμπί «Άνοιγμα»

Κλικ στο κουμπί «Άνοιγμα»

Μετακίνηση δείκτη στο κουμπί «Άνοιγμα» στο πεδίο του αρχείου BCC

Κλικ στο κουμπί «Άνοιγμα»

Επιλογή του επιθυμητού αρχείου από το σύστημα αρχείων του υπολογιστή

Μετακίνηση του δείκτη στο κουμπί «Άνοιγμα»

Κλικ στο κουμπί «Άνοιγμα»

Μετακίνηση του δείκτη στο κουμπί «Επόμενο»

Κλικ στο κουμπί «Επόμενο»

Σενάριο 2: Επιλογή οθόνης από το κεντρικό μενού

Αυτό το σενάριο χρήσης περιγράφει την διαδικασία της πλοήγησης στην εφαρμογή. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επιλέξει μια από τις διαφορετικές οθόνες που είναι διαθέσιμες από το κεντρικό μενού. Οι επιλογές που έχει είναι η οθόνη «Σχεδιασμός διαδρομής», η οθόνη «Στατιστικά βιβλίων» και η οθόνη «Αναθεώρηση βιβλίων». Επιπλέον υπάρχει και η δυνατότητα επιλογής της οθόνης «Ρυθμίσεις» η οποία όμως εμφανίζεται σαν pop up οθόνη. Η ανάλυση με χρήση GOMS φαίνεται παρακάτω:

ΣΤΟΧΟΣ: Επιλογή επιθυμητής οθόνης από το μενού

[ΕΠΙΛΟΓΗ: Επιλογή οθόνης «Σχεδιασμός διαδρομής»]

Μετακίνηση του δείκτη στο κουμπί «Σχεδιασμός διαδρομής»

Κλικ στο κουμπί «Σχεδιασμός διαδρομής»

[ΕΠΙΛΟΓΗ: Επιλογή οθόνης «Στατιστικά βιβλίων»]

Μετακίνηση του δείκτη στο κουμπί «Στατιστικά βιβλίων»

Κλικ στο κουμπί «Στατιστικά βιβλίων»

[ΕΠΙΛΟΓΗ: Επιλογή οθόνης «Αναθεώρηση βιβλίων»]

Μετακίνηση του δείκτη στο κουμπί «Αναθεώρηση βιβλίων»

Κλικ στο κουμπί «Αναθεώρηση βιβλίων»

[ΕΠΙΛΟΓΗ: Επιλογή οθόνης «Ρυθμίσεις»]

Μετακίνηση του δείκτη στο κουμπί «Ρυθμίσεις»

Κλικ στο κουμπί «Ρυθμίσεις»

Σενάριο 3: Αλλαγή ρυθμίσεων της εφαρμογής

Αυτό το σενάριο περιγράφει την διαδικασία αλλαγής των ρυθμίσεων της εφαρμογής από την αντίστοιχη οθόνη. Οι επιλογές που είναι διαθέσιμες αφορούν τον προσδιορισμό του άνω και κάτω ορίου μετρητών ανά βιβλίο, της ταχύτητας βηματισμού, του χρόνου λήψης μιας μέτρησης από την παροχή και την αλλαγή των στοιχείων σύνδεσης στην βάση δεδομένων της εταιρείας ύδρευσης. Τέλος ο χρήστης τις αλλαγές πατώντας το κουμπί «Αποθήκευση». Η ανάλυση με χρήση GOMS φαίνεται παρακάτω:

ΣΤΟΧΟΣ: Αλλαγή των ρυθμίσεων της εφαρμογής:

Μετακίνηση του δείκτη στο κουμπί «Ρυθμίσεις»

Κλικ στο κουμπί «Ρυθμίσεις»

[ΕΠΙΛΟΓΗ: Αλλαγή άνω ορίου μετρητών ανά βιβλίο]

Μετακίνηση του δείκτη στο πεδίο εισαγωγής «Μέγιστος Αριθμός Μετρητών»

Κλικ στο πεδίο εισαγωγής «Μέγιστος Αριθμός Μετρητών»

Πληκτρολόγηση «Μέγιστος Αριθμός Μετρητών»

[ΕΠΙΛΟΓΗ: Αλλαγή κάτω ορίου μετρητών ανά βιβλίο]

Μετακίνηση του δείκτη στο πεδίο εισαγωγής «Ελάχιστος Αριθμός Μετρητών»

Κλικ στο πεδίο εισαγωγής «Ελάχιστος Αριθμός Μετρητών»

Πληκτρολόγηση «Ελάχιστος Αριθμός Μετρητών»

[ΕΠΙΛΟΓΗ: Αλλαγή ταχύτητας βηματισμού]

Μετακίνηση του δείκτη στο πεδίο εισαγωγής «Ταχύτητα Βηματισμού»

Κλικ στο πεδίο εισαγωγής «Ταχύτητα Βηματισμού»

Πληκτρολόγηση «Ταχύτητα Βηματισμού»

[ΕΠΙΛΟΓΗ: Αλλαγή χρόνου καταγραφής μέτρησης]

Μετακίνηση του δείκτη στο πεδίο εισαγωγής «Χρόνος καταγραφής μέτρησης»

Κλικ στο πεδίο εισαγωγής «Χρόνος καταγραφής μέτρησης»

Πληκτρολόγηση «Χρόνος καταγραφής μέτρησης»

[ΕΠΙΛΟΓΗ: Αλλαγή διεύθυνσης IP για σύνδεση στην βάση δεδομένων]

Μετακίνηση του δείκτη στο πεδίο εισαγωγής «Διεύθυνση IP»

Κλικ στο πεδίο εισαγωγής «Διεύθυνση IP»

Πληκτρολόγηση «Διεύθυνση IP»

[ΕΠΙΛΟΓΗ: Αλλαγή θύρας σύνδεσης στην βάση δεδομένων]

Μετακίνηση του δείκτη στο πεδίο εισαγωγής «Port»

Κλικ στο πεδίο εισαγωγής «Port»

Πληκτρολόγηση «Port»

[ΕΠΙΛΟΓΗ: Αλλαγή ονόματος χρήστη για σύνδεση στη βάση δεδομένων]

Μετακίνηση του δείκτη στο πεδίο εισαγωγής «Username»

Κλικ στο πεδίο εισαγωγής «Username»

Πληκτρολόγηση «Username»

[ΕΠΙΛΟΓΗ: Αλλαγή κωδικού χρήστη για σύνδεση στη βάση δεδομένων]

Μετακίνηση του δείκτη στο πεδίο εισαγωγής «Password»

Κλικ στο πεδίο εισαγωγής «Password»

Πληκτρολόγηση «Password»

Μετακίνηση του δείκτη στο κουμπί «Αποθήκευση»

Κλικ στο κουμπί «Αποθήκευση»

Σενάριο 4: Χάραξη νέων βιβλίων

Αυτό είναι το σενάριο βασικής χρήσης του συστήματος. Ο χρήστης ακολουθεί διαδοχικά βήματα και στο τέλος εξάγει τα νέα βιβλία που έχουν προκύψει με την εφαρμογή της μεθοδολογίας που αναλύεται στην εργασία αυτή. Η ανάλυση με χρήση GOMS φαίνεται παρακάτω:

ΣΤΟΧΟΣ: Σχεδιασμός νέας διαδρομής

Μετακίνηση του δείκτη στο κουμπί «Σχεδιασμός Διαδρομής»

Κλικ στο κουμπί «Σχεδιασμός Διαδρομής»

Μετακίνηση του δείκτη στο κουμπί «Σχεδίαση νέας διαδρομής»

Κλικ στο κουμπί «Σχεδίαση νέας διαδρομής»

Μετακίνηση του δείκτη στο πεδίο «Αριθμός βιβλίων»

Κλικ στο πεδίο «Αριθμός βιβλίων»

Πληκτρολόγηση «Αριθμός βιβλίων»


Μετακίνηση του δείκτη στο πεδίο «Αριθμός διαδρομών»

Κλικ στο πεδίο «Αριθμός διαδρομών»
Πληκτρολόγηση «Αριθμός διαδρομών»
Μετακίνηση του δείκτη στο κουμπί «Χάραξη νέων βιβλίων»
Κλικ στο κουμπί «Χάραξη νέων βιβλίων»
Μετακίνηση του δείκτη στο κουμπί «Αποθήκευση βιβλίων»
Κλικ στο κουμπί «Αποθήκευση βιβλίων»
Επιλογή του επιθυμητού φακέλου από το σύστημα αρχείων του υπολογιστή
Μετακίνηση του δείκτη στο κουμπί «Άνοιγμα»
Κλικ στο κουμπί «Άνοιγμα»

Σενάριο 5: Μεταφορά παροχών από ένα βιβλίο σε άλλο

Αυτό το σενάριο περιγράφει την διαδικασία με την οποία ένας χρήστης μπορεί να μεταφέρει κτήρια (και τις αντίστοιχες παροχές τους) από το ένα βιβλίο στο άλλο. Αρχικά γίνεται επιλογή των δύο βιβλίων τα οποία συμμετέχουν στην διαδικασία και στην συνέχεια επιλογή των κτηρίων προς μεταφορά. Στην συνέχεια ο χρήστης μπορεί να πραγματοποιήσει αυτή την μεταφορά, ενώ για να την οριστικοποιήσει, αποθηκεύσει και να εξάγει τα νέα βιβλία πρέπει να πατήσει το κουμπί «Αποθήκευση». Η ανάλυση με χρήση GOMS φαίνεται παρακάτω:

ΣΤΟΧΟΣ: Μεταφορά παροχών από ένα βιβλίο σε ένα άλλο

Μετακίνηση του δείκτη στο κουμπί «Αναθεώρηση Βιβλίων»
Κλικ στο κουμπί «Αναθεώρηση Βιβλίων»
Μετακίνηση του δείκτη στο dropdown μενού «Βιβλίο 1»
Κλικ στο dropdown μενού «Βιβλίο 1»
Κλικ στο επιθυμητό «Βιβλίο 1»
Μετακίνηση του δείκτη στο dropdown μενού «Βιβλίο 2»
Κλικ στο dropdown μενού «Βιβλίο 2»
Κλικ στο επιθυμητό «Βιβλίο 2»
Μετακίνηση του δείκτη στο checkbox του κτηρίου στον πίνακα «Βιβλίο 1»
Κλικ στο checkbox του κτηρίου στον πίνακα «Βιβλίο 1»
Μετακίνηση του δείκτη στο checkbox του κτηρίου στον πίνακα «Βιβλίο 2»
Κλικ στο checkbox του κτηρίου στον πίνακα «Βιβλίο 2»
Μετακίνηση του δείκτη στο κουμπί «»

Κλικ στο κουμπί «  »

Μετακίνηση του δείκτη στο κουμπί «Αποθήκευση»

Κλικ στο κουμπί «Αποθήκευση»

Επιλογή του επιθυμητού φακέλου από το σύστημα αρχείων του υπολογιστή

Μετακίνηση του δείκτη στο κουμπί «Άνοιγμα»

Κλικ στο κουμπί «Άνοιγμα»

Σενάριο 6: Κλείσιμο εφαρμογής

Αυτό το σενάριο περιγράφει την διαδικασία για το κλείσιμο της εφαρμογής.

ΣΤΟΧΟΣ: Κλείσιμο της εφαρμογής

Μετακίνηση του δείκτη στο κουμπί «Έξοδος»

Κλικ στο κουμπί «Έξοδος»

5.2.3 Αναπαράσταση στοιχείων με UML

Ένα ακόμα βασικό στοιχείο κατά τον σχεδιασμό ενός ολοκληρωμένου συστήματος λογισμικού είναι η οπτικοποίηση των διαφόρων στοιχείων του. Ο πιο διαδεδομένος τρόπος που αυτό επιτυγχάνεται είναι με την χρήση UML (Unified Modeling Language), η οποία αποτελεί πρότυπη γλώσσα μοντελοποίησης στην μηχανική λογισμικού. Η UML χρησιμοποιείται κυρίως για την γραφική απεικόνιση, προσδιορισμό, τεκμηρίωση και κατασκευή των στοιχείων αντικειμενοστραφών συστημάτων.

Η UML ορίζει δύο τύπους διαγραμμάτων:

- Διαγράμματα δομής (Structural Diagrams)
- Διαγράμματα συμπεριφοράς (Behavioral Diagrams)

Από αυτές τις δύο κατηγορίες προκύπτει πλήθος διαφορετικών διαγραμμάτων τα οποία επιτελούν διαφορετικές λειτουργίες σχεδιασμού. Τα πιο διαδεδομένα από αυτά είναι:

Διαγράμματα δομής

- **Διαγράμματα Κλάσεων (Class Diagrams):** Από τους πιο διαδεδομένους τύπους διαγραμμάτων UML που χρησιμοποιούνται στον αντικειμενοστραφή προγραμματισμό. Αναπαριστά τις διαφορετικές κλάσεις σε ένα σύστημα, τις ιδιότητες (attributes), λειτουργίες (operations) και σχέσεις μεταξύ τους. Βοηθάει στην επισκόπηση των διαφορετικών στοιχείων ενός μεγάλου συστήματος.

- **Διαγράμματα Εξαρτημάτων (Component Diagrams):** Αυτός ο τύπος διαγραμμάτων χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση της εσωτερικής δομής κάθε κλάσης.
- **Διαγράμματα Ανάπτυξης (Deployment Diagrams):** Χρησιμοποιούνται κυρίως για την αναπαράσταση της διασύνδεσης λογισμικού και υλικού και είναι χρήσιμα σε περιπτώσεις που μια εφαρμογή εγκαθίσταται σε διαφορετικά μεταξύ τους συστήματα.
- **Διαγράμματα Αντικειμένων (Object Diagrams):** Αναπαριστά τα αντικείμενα και τις σχέσεις τα συνδέουν. Σημαντικό κομμάτι της απεικόνισης αυτής είναι και η αναπαράσταση των δεδομένων, η οποία κάνει τις σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων πιο ξεκάθαρες.
- **Διαγράμματα Πακέτων (Package Diagrams):** Σε αυτό τον τύπο των διαγραμμάτων φαίνονται οι αλληλεπιδράσεις και η εξαρτήσεις μεταξύ διαφόρων επιπέδων ενός συστήματος λογισμικού. Τα πακέτα αναπαριστούν τα διαφορετικά αυτά επίπεδα και γίνεται ξεκάθαρος ο τρόπος που αυτά επικοινωνούν.

Διαγράμματα συμπεριφοράς

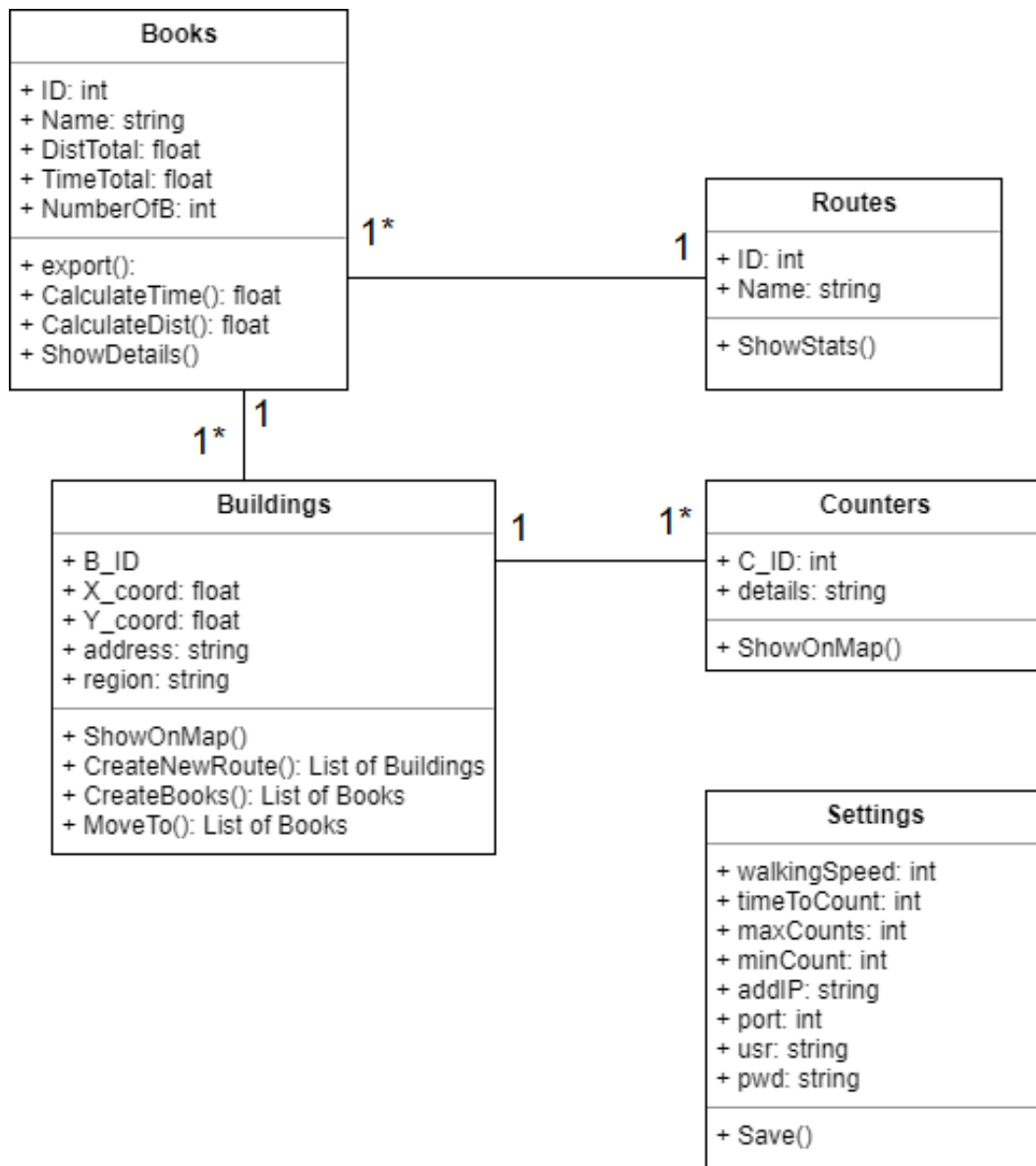
- **Διαγράμματα Δραστηριοτήτων (Activity Diagrams):** Αναπαριστούν με γραφικό τρόπο, με χρήση επιχειρησιακών διαγραμμάτων ροής, την δραστηριότητα κάθε μέρους του συστήματος. Αποτελούν εναλλακτική επιλογή των διαγραμμάτων κατάστασης.
- **Διαγράμματα Επικοινωνιών (Communication Diagrams):** Οπτικοποιούν την μεταφορά πληροφοριών και την ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ διαφορετικών αντικειμένων του συστήματος.
- **Διαγράμματα Ακολουθίας (Sequence Diagrams):** Αναπαριστούν τον τρόπο με τον οποίο τα διάφορα αντικείμενα του συστήματος αλληλοεπιδρούν και την σειρά με την οποία το κάνουν.
- **Διαγράμματα Καταστάσεων (State Machine Diagrams):** Όπως και τα διαγράμματα δραστηριοτήτων, περιγράφουν τον τρόπο με τον οποίο συμπεριφέρονται διαφορετικά αντικείμενα ανάλογα με την κατάσταση στην οποία βρίσκεται το σύστημα.
- **Διαγράμματα Χρονισμού (Timing Diagrams):** Όπως και τα διαγράμματα ακολουθίας, περιγράφουν την συμπεριφορά των διαφορετικών στοιχείων του συστήματος ως συνάρτηση του χρονικού πλαισίου της λειτουργίας του.
- **Διαγράμματα Περιπτώσεων Χρήσης (Use Case Diagrams):** Πιθανόν ο πιο διαδεδομένος τύπος διαγραμμάτων συμπεριφοράς. Αναπαριστούν τις διαφορετικές λειτουργίες του συστήματος και τον τρόπο που αυτές αλληλοεπιδρούν με χρήστες και άλλους εξωτερικούς παράγοντες.

Στην συγκεκριμένη εργασία, κατά τον σχεδιασμό του συστήματος έγινε χρήση δύο από τα παραπάνω διαγράμματα, του διαγράμματος περιπτώσεων χρήσης και διαγράμματος κλάσεων. Τα διαγράμματα περιπτώσεων χρήσης είναι χρήσιμα καθώς επιτρέπουν στην επισκόπηση του συστήματος από την πλευρά του χρήστη, το οποίο του επιτρέπει να συμμετέχει στην φάση του σχεδιασμού. Τα διαγράμματα κλάσεων επιτρέπουν στον προγραμματιστή να οργανώσει την ανάπτυξη σε διαφορετικές κλάσεις οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν με αρθρωτό (modular) τρόπο.

Όπως αναφέρθηκε το ελικοειδές μοντέλο ανάπτυξης σημαίνει διαδοχικές προσθήκες στο υπό ανάπτυξη λογισμικό με αποτέλεσμα μέρος της ανάλυσης να χρειάζεται επανασχεδιασμό μέχρι να φτάσει στην τελική μορφή. Παρακάτω παρουσιάζεται η τελική μορφή των δύο τύπων διαγραμμάτων.

Διάγραμμα Κλάσεων

Όπως αναφέρθηκε στο διάγραμμα κλάσεων περιγράφονται κλάσεις του συστήματος, οι ιδιότητες που αυτές έχουν, μέθοδοι που υλοποιούν και οι πιθανές σχέσεις που τις συνδέουν. Στο σύστημα που αποτελεί το αντικείμενο μελέτης αυτής της εργασίας οι βασικές κλάσεις περιγράφουν τα αντικείμενα των διαδρομών, βιβλίων, κτηρίων και παροχών που προκύπτουν από τα δεδομένα εισόδου. Έγινε προσπάθεια κατά την ανάπτυξη ώστε οι λειτουργίες που απαιτούνται να αναπτύσσονται στα πλαίσια κάθε κλάσης κάνοντας τον προγραμματισμό του συστήματος πιο ευέλικτο. Παρακάτω φαίνεται το διάγραμμα με τις βασικές κλάσεις της εφαρμογής:

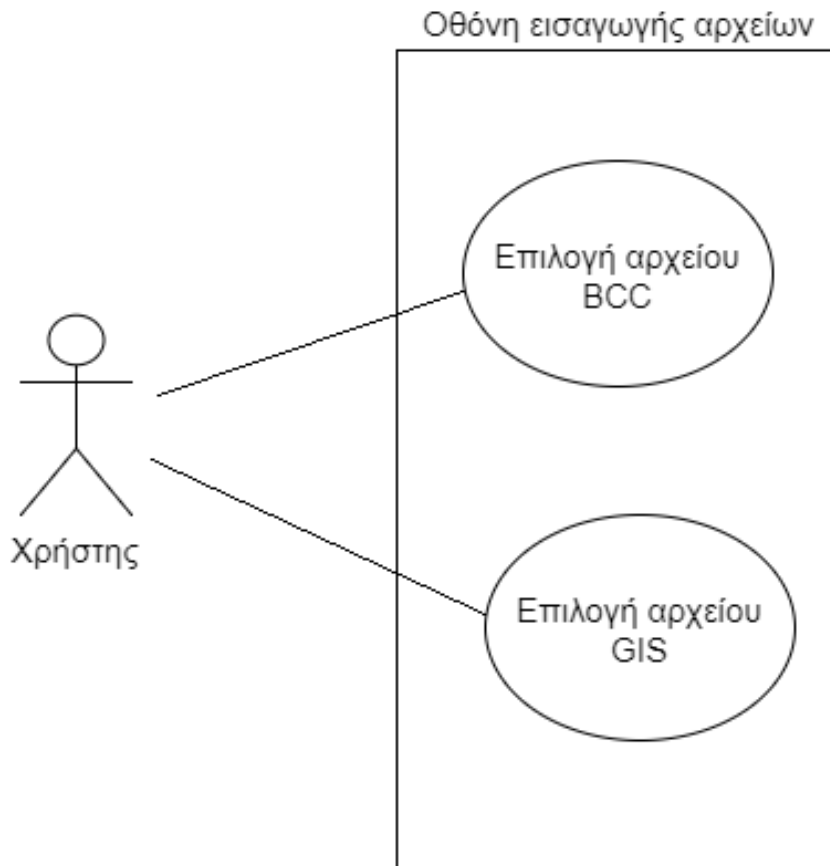


Εικόνα 7 - Διάγραμμα κλάσεων εφαρμογής

Διάγραμμα περιπτώσεων χρήσης

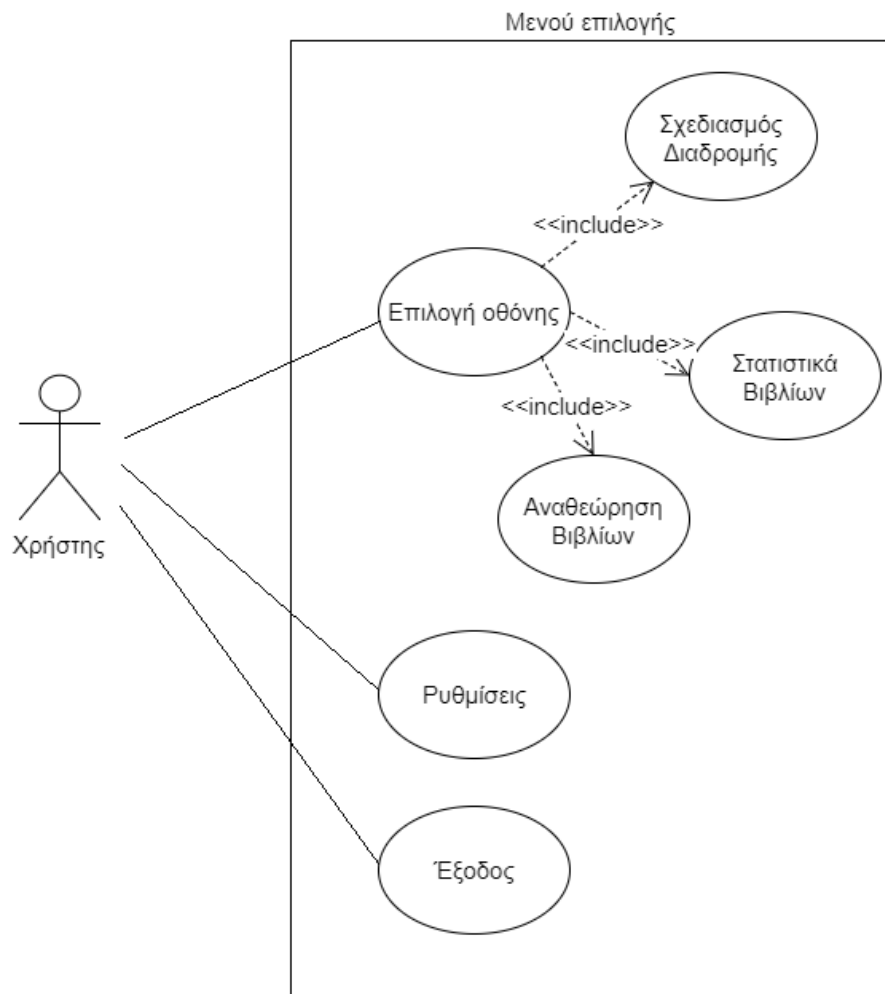
Τα διαγράμματα περιπτώσεων χρήσης περιγράφουν τι συμβαίνει σε διαφορετικά σενάρια χρήσης του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα αναπαριστούν τις διαφορετικές λειτουργίες της εφαρμογής, τις διαθέσιμες επιλογές του χρήστη και τον τρόπο με τον οποίο οι διάφορες λειτουργίες αλληλοεπιδρούν με εξωτερικούς παράγοντες. Παρακάτω φαίνονται τα διαγράμματα για τα βασικά σενάρια χρήσης της εφαρμογής:

Σενάριο 1: Εισαγωγή αρχείων εισόδου



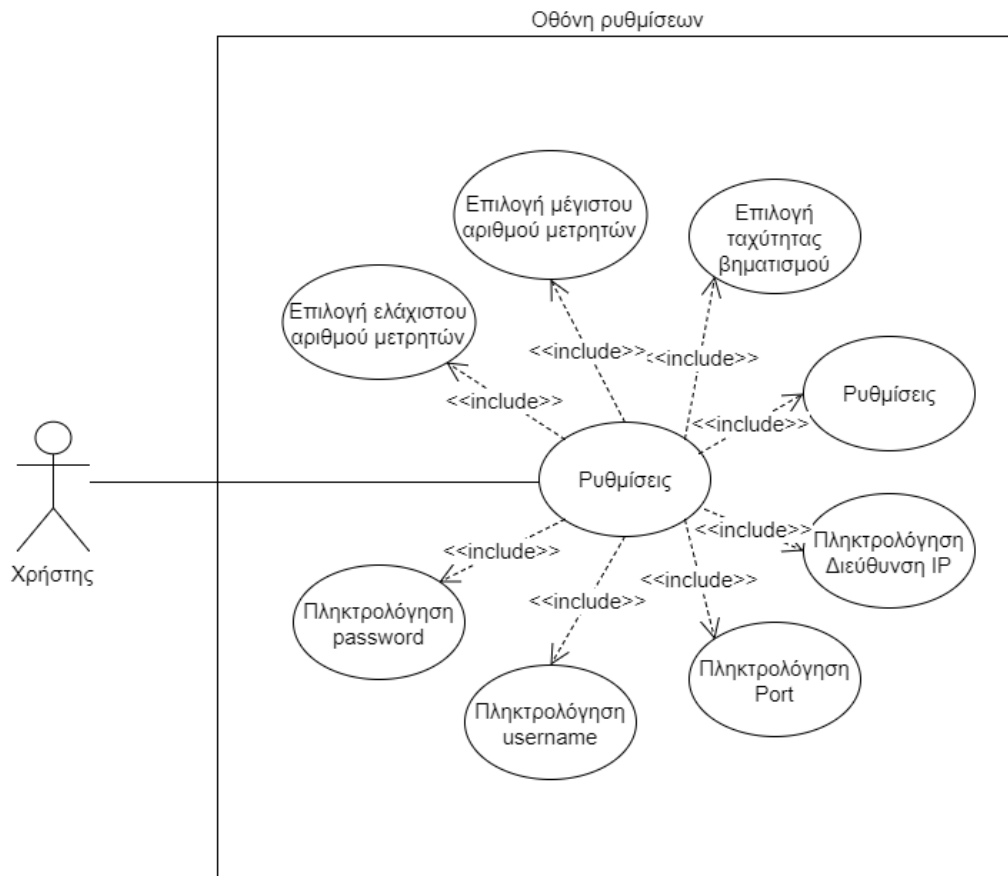
Εικόνα 8 - Διάγραμμα χρήσης - Επιλογή αρχείων

Σενάριο 2: Επιλογή οθόνης από το κεντρικό μενού



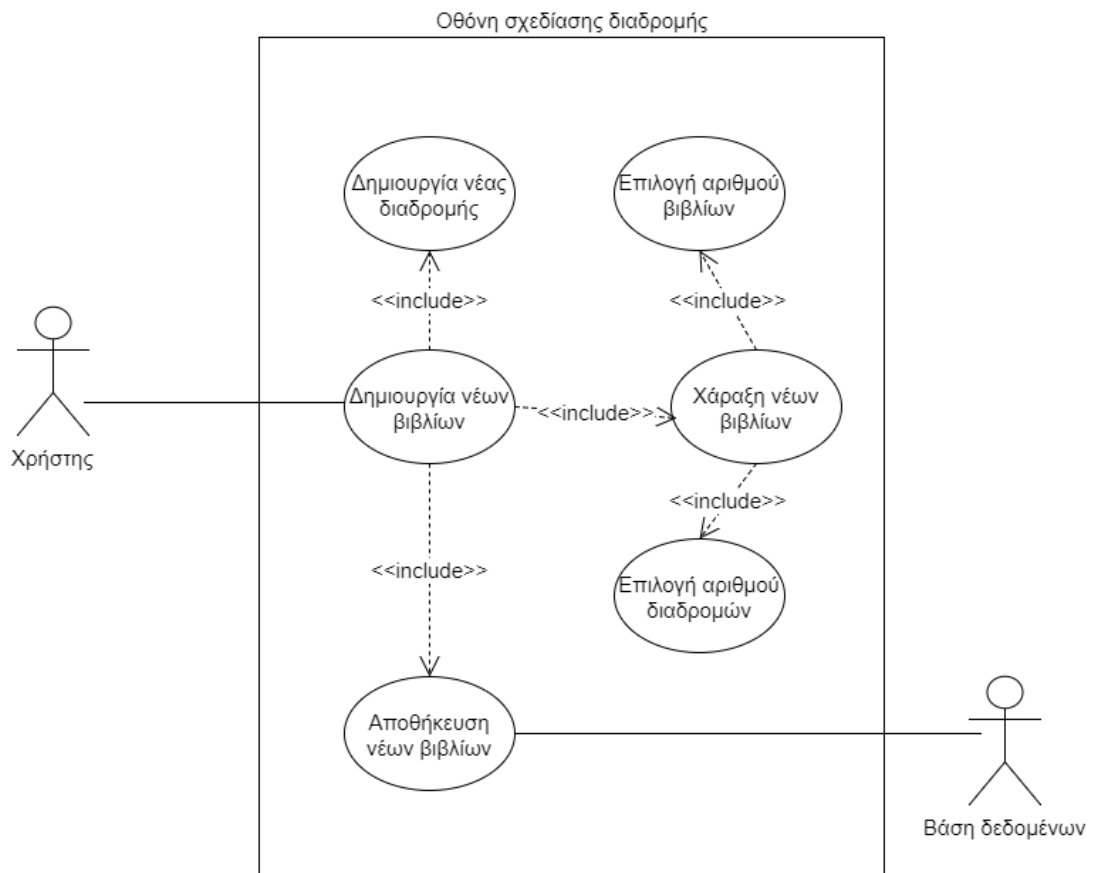
Εικόνα 9 - Διάγραμμα χρήσης - Επιλογή οθόνης

Σενάριο 3: Αλλαγή ρυθμίσεων της εφαρμογής



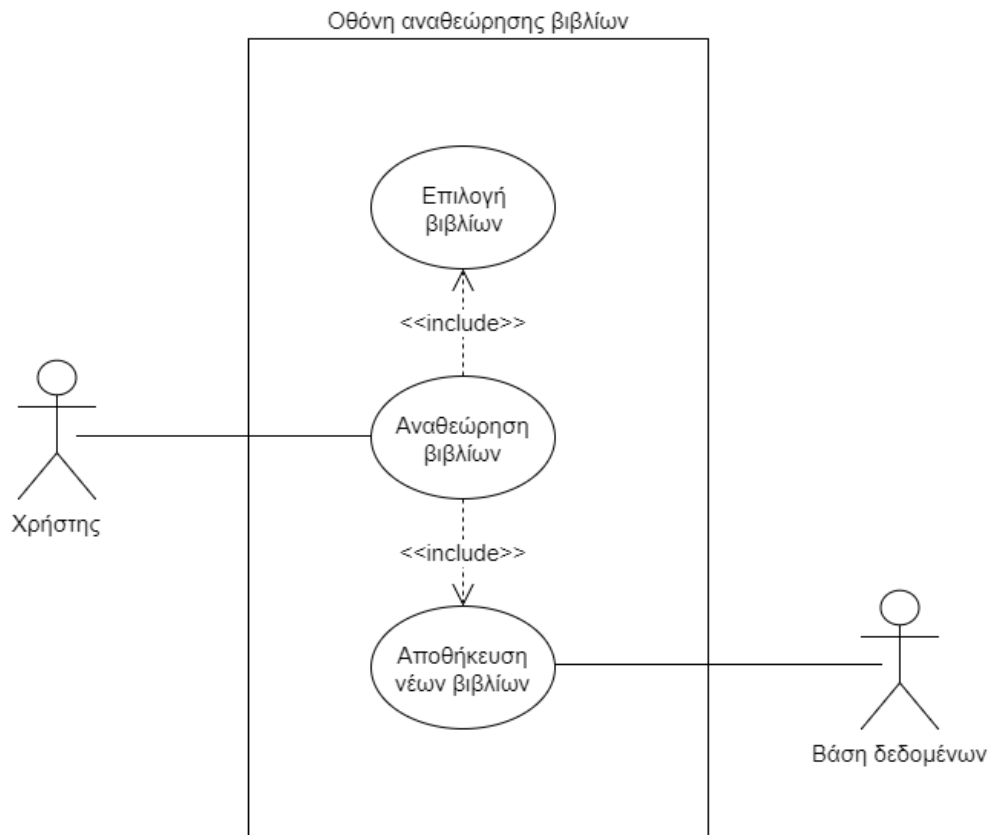
Εικόνα 10 - Διάγραμμα χρήσης - Αλλαγή ρυθμίσεων

Σενάριο 4: Χάραξη νέων βιβλίων



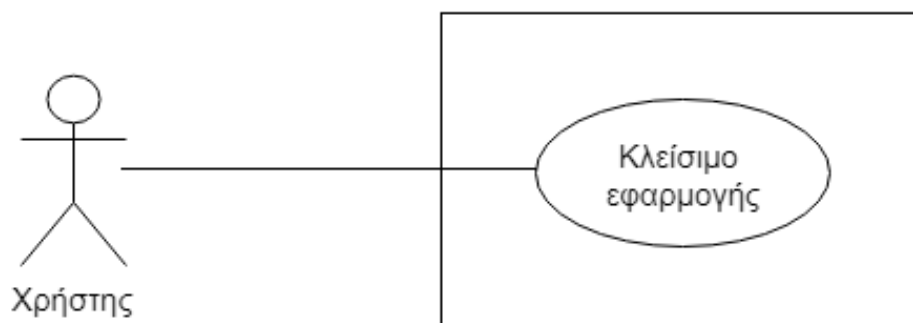
Εικόνα 11 - Διάγραμμα χρήσης – Χάραξη νέων βιβλίων

Σενάριο 5: Μεταφορά παροχών από ένα βιβλίο σε άλλο



Εικόνα 12 - Διάγραμμα χρήσης - Αναθεώρηση βιβλίων

Σενάριο 6: Κλείσιμο εφαρμογής



Εικόνα 13 - Διάγραμμα χρήσης - Κλείσιμο εφαρμογής

5.3 Σχεδίαση δομών δεδομένων

Βάσεις δεδομένων

Οι βάσεις δεδομένων αποτελούν τα τελευταία χρόνια μια από τις περισσότερο διαδεδομένες τεχνολογίες για την αποθήκευση μεγάλου όγκου δεδομένων. Πιο συγκεκριμένα, το μοντέλο που χρησιμοποιείται περισσότερο είναι το σχεσιακό. Η οργάνωση με βάση αυτό το μοντέλο βασίζεται στην αποθήκευση των δεδομένων με μορφή εγγραφών σε πίνακες οι οποίοι μπορούν να συνδέονται μεταξύ τους.

Σχήμα βάσης δεδομένων

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή κρίθηκε σημαντική η δυνατότητα αποθήκευσης στοιχείων που αφορούν τα βιβλία. Με αυτό τον τρόπο η εταιρεία έχει διαθέσιμα όλα τα δεδομένα με στόχο την επισκόπηση, την επεξεργασία και την αξιολόγηση των στοιχείων αυτών και την εξαγωγή συμπερασμάτων για τα δεδομένα βιβλία. Παρακάτω φαίνεται ο πίνακας της βάσης δεδομένων.

ID	ΠΚ	Διαδρομή	Όνομα	Απόσταση	Χρόνος	Κτήρια	Μετρητές
...

6. Υλοποίηση συστήματος

Η υλοποίηση της εφαρμογής έγινε με βάση την σχεδίαση η οποία περιεγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο και η οποία ικανοποιεί τις λειτουργικές απαιτήσεις των χρηστών της εταιρείας ύδρευσης. Για την ανάπτυξη αποφασίστηκε πως η εφαρμογή θα εκτελείται σε περιβάλλον Windows καθώς αυτό είναι το λειτουργικό σύστημα που χρησιμοποιείται. Επίσης λόγω των δικτυακών δομών της εταιρείας κρίθηκε πως είναι συμφέρουσα η ελαχιστοποίηση των αλληλεπιδράσεων του συστήματος μέσω διαδικτύου και η λειτουργία του σε τοπικό επίπεδο. Με βάση τα παραπάνω έγινε επιλογή της πλατφόρμας ανάπτυξης Microsoft Visual Studio 2013 και του μοντέλου υλοποίησης Windows Application. Κατά την υλοποίηση, και λόγω του ελικοειδούς μοντέλου σχεδιασμού, διαφορετικές λειτουργικές μονάδες αναπτύχθηκαν ανεξάρτητα μεταξύ τους ενώ παράλληλα δημιουργήθηκε και μια βιβλιοθήκη με τις απαραίτητες μεθόδους για χρήση στις διαφορετικές μονάδες.

Περίληπτικά έγινε χρήση των παρακάτω:

- **.NET Framework** για το υπόβαθρο της εφαρμογής
- **Visual Basic** για την ανάπτυξη της εφαρμογής
- **MySQL** για την υλοποίηση της βάσης δεδομένων

Στην συνέχεια παρουσιάζεται αναλυτικά το σύνολο των εργαλείων και πόρων που χρησιμοποιήθηκε στην ανάπτυξη αυτής της εφαρμογής, καθώς και οι διαφορετικές οθόνες της εφαρμογής και τα απαραίτητα αρχεία εισόδου και εξόδου.

6.1 Εργαλεία ανάπτυξης

Η εφαρμογή αναπτύχθηκε για χρήση σε περιβάλλον Windows το οποίο και είναι το λειτουργικό σύστημα που χρησιμοποιεί η εταιρεία ύδρευσης. Με βάση αυτό και την υπάρχουσα τεχνογνωσία επιλέχθηκε σαν πλατφόρμα για την ανάπτυξη το .NET Framework 4.5 της Microsoft και η γλώσσα Visual Basic .NET (VB.NET). Για την απαραίτητη βάση δεδομένων έγινε χρήση του συστήματος διαχείρισης βάσεων δεδομένων MySQL. Η ανάπτυξη της εφαρμογής έγινε στο προγραμματιστικό περιβάλλον Microsoft Visual Studio 2013 ενώ για τον σχεδιασμό και την διαχείριση της βάσης δεδομένων το MySQL Workbench. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα εργαλεία ανάπτυξης που χρησιμοποιήθηκαν:

.Net Framework 4.5

Το .NET Framework είναι ένα πλαίσιο (framework) ανάπτυξης λογισμικού το οποίο έχει αναπτυχθεί από την Microsoft και εκτελείται κυρίως σε περιβάλλοντα Windows της ίδιας εταιρείας. Με χρήση αυτού μπορεί να γίνει ανάπτυξη, εγκατάσταση και εκτέλεση τόσο desktop εφαρμογών όσο και διαδικτυακών. Τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται είναι:

Η FCL (Framework Class Library) η οποία αποτελεί τον πυρήνα του .NET Framework. Είναι ένα πακέτο από κλάσεις με την βοήθεια των οποίων ο προγραμματιστής μπορεί να διαχειριστεί βασικούς τύπους και δομές δεδομένων καθώς και να προσθέσει λειτουργίες όπως εισόδου/εξόδου, συνδεσιμότητας με βάσεις δεδομένων και διαχείριση αρχείων.

Το CLR (Common Language Runtime) είναι ένα περιβάλλον εκτέλεσης κώδικα που έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο .NET. Προσφέρει υπηρεσίες όπως η διαχείριση μνήμης και σφαλμάτων, ασφαλείας καθώς και λειτουργίες αποσφαλμάτωσης, οι οποίες είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη σύγχρονων σύνθετων εφαρμογών.

Το ASP.NET είναι η τεχνολογία για την ανάπτυξη σελίδων και υπηρεσιών διαδικτύου της Microsoft με χρήση αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού από την πλευρά του εξυπηρετητή.

Visual Basic .NET (VB.NET)

Η Visual Basic είναι μια οδηγούμενη από γεγονότα (event-driven) αντικειμενοστραφής (object oriented) τρίτης γενιάς γλώσσα προγραμματισμού. Υποστηρίζεται από την Microsoft και διαθέτει ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE). Η VB.NET θεωρείται συγγενής γλώσσα της BASIC, το οποίο σε συνδυασμό με την χρήση γραφικού περιβάλλοντος κατά τον προγραμματισμό την κατατάσσει στην κατηγορία των εύκολων προς εκμάθηση γλωσσών. Η VB.NET υποστηρίζει την δημιουργία γραφικών διεπαφών χρήστη (GUI) καθώς και την πρόσβαση σε δομές βάσεων δεδομένων.

Visual Studio 2013

Το Visual Studio 2013 είναι ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (Integrated Development Environment – IDE) το οποίο αναπτύχθηκε από την Microsoft. Το Visual Studio χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη εφαρμογών για Microsoft Windows, τον προγραμματισμό σελίδων, εφαρμογών και υπηρεσιών μέσω διαδικτύου καθώς και την ανάπτυξη εφαρμογών κινητών τηλεφώνων. Υποστηρίζει πλήθος γλωσσών προγραμματισμού (C, C++, C#, VB.NET, F#).

MySQL

Η MySQL είναι ένα ανοιχτού κώδικα (open source) σύστημα διαχείρισης σχεσιακών βάσεων δεδομένων (relational database management system - RDBMS). Προσφέρει υπηρεσίες αποθήκευσης, ανάκτησης και διαχείρισης δεδομένων με χρήση SQL.

MySQL Workbench

Το MySQL Workbench αποτελεί ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (Integrated Development Environment – IDE) για το σύστημα βάσεων δεδομένων MySQL. Προσφέρει υπηρεσίες ανάπτυξης, διαχείρισης, σχεδιασμού, δημιουργίας και συντήρησης βάσεων δεδομένων με χρήση γραφικού περιβάλλοντος και γλώσσας SQL.

6.2 Βοηθητικά πακέτα

Επιπλέον έγινε χρήση και βοηθητικών πακέτων και βιβλιοθηκών με στόχο την εισαγωγή λειτουργιών όπως η οπτικοποίηση σημείων πάνω σε διαδραστικό χάρτη και την γενικότερη βελτίωση του γραφικού περιβάλλοντος της εφαρμογής. Πιο συγκεκριμένα

χρησιμοποιήθηκαν τα πακέτα DevExpress, GMap.NET και οι βιβλιοθήκες MySQL και Excel Interop του Microsoft Office. Παρακάτω ακολουθεί μια σύντομη παρουσίαση αυτών:

DevExpress WinForms

Το DevExpress WinForms αποτελεί μια συλλογή από εργαλεία, controls και δομές δεδομένων. Στόχος είναι να κάνει την ανάπτυξη γραφικών εφαρμογών σε περιβάλλοντα Windows πιο εύκολη για τον προγραμματιστή καθώς εισάγει πλήθος έτοιμων για χρήση λειτουργιών και γραφικών αντικειμένων. Οι βιβλιοθήκες της πλατφόρμας ενσωματώνονται στο περιβάλλον ανάπτυξης του Visual Studio και χρησιμοποιούνται μέσα από αυτό, αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο τον αριθμό των διαθέσιμων πόρων που έχει ο προγραμματιστής στην διάθεσή του για την ανάπτυξη της εφαρμογής. Επιπλέον το DevExpress WinForms είναι εστιασμένο στο να προσφέρει controls με ιδιαίτερη προσοχή στην εμφάνισή τους δίνοντας την δυνατότητα ανάπτυξης εφαρμογών οι οποίες είναι πιο φιλικές προς τον χρήστη και ταυτόχρονα βελτιώνοντας την συνολική αισθητική.

GMap.NET

Το GMap.Net είναι μια βιβλιοθήκη που προσφέρει λειτουργίες χαρτογράφησης σε εφαρμογές Windows. Η βιβλιοθήκη δίνει την επιλογή χρήσης διαφορετικών γεωγραφικών υποβάθρων (Google maps, Yahoo!, Bing, OpenStreetMap, ArcGIS, κλπ) και κάθε ένα από αυτά προσφέρει διαφορετικές λειτουργίες επιτρέποντας στον προγραμματιστή να μπορεί να επιλέξει αυτό που ταιριάζει καλύτερα στην εφαρμογή του. Η αρχιτεκτονική της βιβλιοθήκης βασίζεται στο μοντέλο πελάτη- εξυπηρετητή (Client-Server model) καθώς οι ζητούμενες λειτουργίες εκτελούνται στην πλευρά του αντίστοιχου εξυπηρετητή και συνεπώς απαιτείται η επικοινωνία μέσω διαδικτύου. Συνοπτικά η βιβλιοθήκη προσφέρει λειτουργίες απεικόνισης, γεωκωδικοποίησης και δρομολόγησης μεταξύ σημείων.

MySQL libraries

Οι MySQL libraries αποτελούν το σύνολο των βιβλιοθηκών που είναι απαραίτητες για την διασύνδεση της εφαρμογής με αντίστοιχη MySQL βάση δεδομένων. Η βασικότερη λειτουργία την οποία προσφέρουν στον προγραμματιστή είναι η δυνατότητα σύνθεσης ερωτημάτων (queries), η εκτέλεσή τους στην βάση δεδομένων από και η επιστροφή των αποτελεσμάτων στην εφαρμογή και τον χρήστη.

Microsoft Excel Object Library

Η Microsoft Excel Object Library αποτελεί μια βιβλιοθήκη που επιτρέπει στον προγραμματιστή να αλληλεπιδράσει με αρχεία excel. Η βιβλιοθήκη αυτή απαιτεί την εγκατάσταση κάποιας έκδοσης του Microsoft Excel και δίνει την δυνατότητα ανάγνωσης, επεξεργασίας και δημιουργίας νέων αρχείων χρησιμοποιώντας το μοντέλο των κελιών.

6.3 Αρχεία εικόνων

Στην ανάπτυξη μιας εφαρμογής για κάποιον τελικό χρήστη είναι πολύ σημαντικό να λαμβάνουμε υπόψιν το τομέα της αισθητικής ώστε η πλοήγηση στην εφαρμογή να γίνεται

πιο εύκολη και ευχάριστη για αυτόν. Για αυτό τον λόγο έγινε χρήση χρωμάτων και γραφικών στοιχείων ιδιαίτερα σε κουμπιά τα οποία συνδέονται με κάποια διαφορετική λειτουργία. Παρακάτω παρουσιάζονται οι εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν, η πηγή από την οποία πάρθηκαν και η περιγραφή της χρήσης τους.

<https://icons8.com/icon/2502/waypoint-map>

Η εικόνα αυτή χρησιμοποιήθηκε στο κεντρικό μενού ως διακριτικό μαζί με τον τίτλο στο κουμπί «Σχεδιασμός Διαδρομής».



Εικόνα 14 - Εικόνα νέας διαδρομής

<https://icons8.com/icon/457/books>

Η εικόνα αυτή χρησιμοποιήθηκε στο κεντρικό μενού ως διακριτικό μαζί με τον τίτλο στο κουμπί «Στατιστικά Βιβλίων».



Εικόνα 15 - Εικόνα στατιστικών βιβλίων

<https://icons8.com/icon/2139/data-transfer>

Η εικόνα αυτή χρησιμοποιήθηκε στο κεντρικό μενού ως διακριτικό μαζί με τον τίτλο στο κουμπί «Αναθεώρηση Βιβλίων».



Εικόνα 16 - Εικόνα αναθεώρησης βιβλίων

<https://icons8.com/icon/11256/services-filled>

Η εικόνα αυτή χρησιμοποιήθηκε στο κεντρικό μενού ως διακριτικό μαζί με τον τίτλο στο κουμπί «Ρυθμίσεις».



Εικόνα 17 - Εικόνα ρυθμίσεων

<https://icons8.com/icon/10808/exit-sign>

Η εικόνα αυτή χρησιμοποιήθηκε στο κεντρικό μενού ως διακριτικό μαζί με τον τίτλο στο κουμπί «Έξοδος».



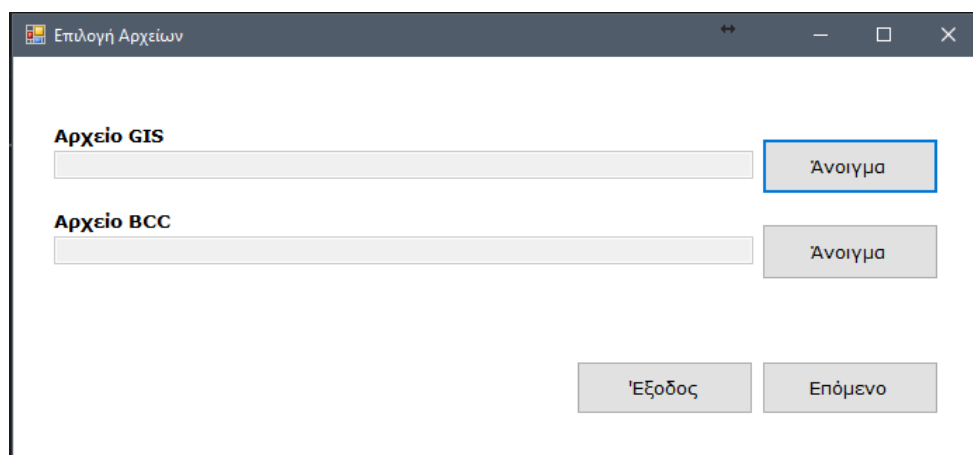
Εικόνα 18 - Εικόνα εξόδου

6.4 Εγχειρίδιο χρήσης εφαρμογής

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστεί ο πλήρης οδηγός χρήσης της εφαρμογής που αναπτύχθηκε. Θα παρουσιαστούν όλες οι δυνατότητες του συστήματος και οι οθόνες με τις οποίες μπορεί να αλληλεπιδράσει ο χρήστης.

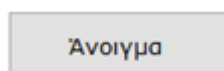
6.4.1 Οθόνη εισαγωγής αρχείων

Το πρώτο βήμα για την λειτουργία της εφαρμογής είναι εισαγωγή των αρχείων απαραίτητων αρχείων με τις πληροφορίες των κτηρίων που ανήκουν στην προς μελέτη περιοχή. Αυτά τα αρχεία προέρχονται από τρίτα συστήματα που ήδη είναι εγκατεστημένα και λειτουργούν στην εταιρεία ύδρευσης. Πιο συγκεκριμένα είναι αρχεία τύπου .csv και προέρχονται από τα συστήματα BCC και GIS της εταιρείας. Η οθόνη την οποία βλέπει ο χρήστης φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 19 - Οθόνη εισαγωγής αρχείων εισόδου

Η λειτουργία των κουμπιών σε αυτή την οθόνη περιγράφεται παρακάτω



Το κουμπί «Άνοιγμα» επιτρέπει την αναζήτηση και το άνοιγμα του κατάλληλου αρχείου από τους φακέλους του υπολογιστή του χρήστη μέσω της εξερεύνησης των Windows.

Έξοδος

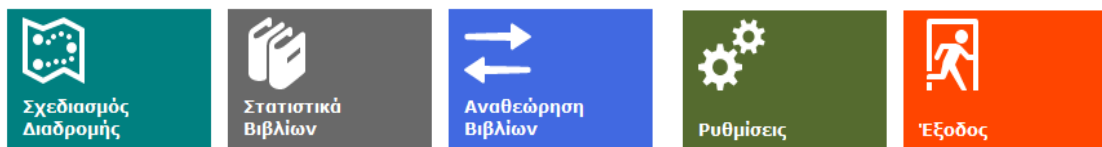
Σε περίπτωση που ο χρήστης θέλει σε οποιοδήποτε σημείο να εγκαταλείψει τη διαδικασία εισόδου αρχείων και να κλείσει το παράθυρο και την εφαρμογή μπορεί να χρησιμοποιήσει την επιλογή «Έξοδος».

Επόμενο

Αφού και τα δύο αρχεία του GIS και του BCC επιλεγθούν από τον χρήστη με το κουμπί «Επόμενο» ξεκινά η επεξεργασία τους μέσω της εφαρμογής. Σε περίπτωση επιτυχίας της διαδικασίας, ο χρήστης κατευθύνεται στην κύρια οθόνη της εφαρμογής.

6.4.2 Βασικό Μενού Επιλογών

Το βασικό μενού επιλογών της εφαρμογής φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 20 - Βασικό μενού εφαρμογής

Σχεδιασμός Διαδρομής: Μεταφέρει τον χρήστη στην καρτέλα σχεδιασμού νέας διαδρομής και δημιουργίας νέων βιβλίων καταμέτρησης. Σε αυτή την οθόνη ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει νέες διαδρομές και βιβλία για το σύνολο των κτηρίων που έχει εισάγει στην εφαρμογή κατά το άνοιγμά της.

Στατιστικά Βιβλίων: Μεταφέρει τον χρήστη στην καρτέλα στατιστικών των υπαρχόντων βιβλίων. Σε αυτή την οθόνη ο χρήστης έχει την δυνατότητα να αξιολογήσει τα βιβλία που έχει εισάγει κατά το άνοιγμα της εφαρμογής. Η αξιολόγηση γίνεται τόσο με στατιστικούς δείκτες όσο και με οπτική επισκόπηση των διαδρομών σε χάρτη.

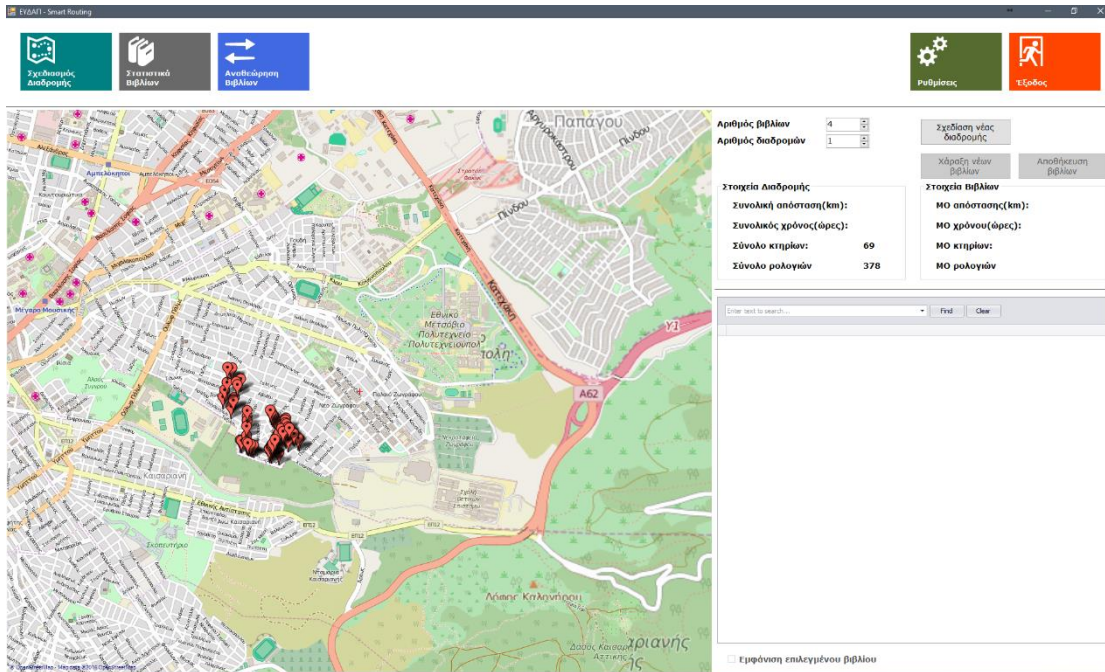
Αναθεώρηση Βιβλίων: Μεταφέρει τον χρήστη στη καρτέλα αναθεώρησης των βιβλίων. Σε αυτή την οθόνη ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επιλέξει δύο βιβλία και να μεταφέρει κτήρια μεταξύ αυτών. Ο στόχος είναι ο καλύτερος επιμερισμός κτηρίων μεταξύ συγκεκριμένων βιβλίων σε περιπτώσεις που αυτό κρίνεται σκόπιμο χωρίς να χρειάζεται επαναχάραξη για το σύνολο των διαδρομών.

Ρυθμίσεις: Μεταφέρει τον χρήστη στην φόρμα των ρυθμίσεων της εφαρμογής. Σε αυτό ο χρήστης μπορεί να αλλάξει τις παραμέτρους του συστήματος.

Έξοδος: Μέσω της συγκεκριμένης επιλογής ο χρήστης διακόπτει κάθε διεργασία του συστήματος και κλείνει την εφαρμογή.

6.4.3 Οθόνη Σχεδιασμού Διαδρομής

Η βασικότερη λειτουργία της εφαρμογής είναι η δημιουργία νέων, βέλτιστων διαδρομών και βιβλίων για το σύνολο των κτηρίων που ο χρήστης έχει επιλέξει να εισάγει στο σύστημα στην αρχική οθόνη. Η καρτέλα σχεδιασμού διαδρομής φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 21 - Οθόνη σχεδιασμού διαδρομής

Η καρτέλα αποτελείται από τρία τμήματα.

A. Ο χάρτης στο αριστερό τμήμα της καρτέλας στον οποίο ο χρήστης έχει την δυνατότητα να οπτικοποιήσει είτε το σύνολο της νέας βέλτιστης διαδρομής ή τα νέα βιβλία που έχουν προκύψει από την διαδικασία της χάραξης. Κάθε σημείο στον χάρτη αναπαριστά ένα κτήριο με τις αντίστοιχες παροχές. Επίσης όταν ο χρήστης περνάει με τον κέρσορα πάνω από ένα δείκτη έχει την δυνατότητα να δει τον κωδικό του συγκεκριμένου κτηρίου καθώς και την σειρά που έχει αυτό με δεδομένη την βέλτιστη διαδρομή για το σύνολο των κτηρίων.

B. Οι επιλογές για την σχεδίαση και την χάραξη των νέων βιβλίων και διαδρομών. Επίσης σε αυτό το τμήμα ο χρήστης εκκινεί τα διαφορετικά βήματα που απαιτούνται για την δημιουργία, χάραξη και αποθήκευση των νέων διαδρομών. Παρακάτω φαίνονται αναλυτικά τα επιμέρους στοιχεία του τμήματος.

Το πεδίο εισόδου «Αριθμός βιβλίων» δηλώνει τον συνολικό αριθμό βιβλίων που θα προκύψουν κατά την διαδικασία της χάραξης των νέων βιβλίων. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να αυξήσει ή να μειώσει τον αριθμό των επιθυμητών βιβλίων αλλάζοντας με αυτό τον τρόπο το φόρτο εργασίας τους.

Το πεδίο εισόδου «Αριθμός διαδρομών» δηλώνει τον συνολικό αριθμό διαδρομών που θα προκύψουν κατά την διαδικασία της χάραξης των νέων βιβλίων. Κάθε διαδρομή

περιλαμβάνει τον ίδιο αριθμό βιβλίων και ο χρήστης έχει την δυνατότητα να αυξήσει ή να μειώσει τον αριθμό των επιθυμητών διαδρομών.

Σχεδίαση νέας διαδρομής

Το κουμπί «Σχεδίαση νέας διαδρομής» ξεκινάει τη διαδικασία εύρεσης της συνολικής ελάχιστης διαδρομής με βάση τα στοιχεία των κτηρίων που εισήγαγε στο σύστημα ο χρήστης από το αρχικό βήμα. Η διαδικασία εύρεσης της βέλτιστης διαδρομής περιλαμβάνει τον μεγαλύτερο φόρτο εργασίας λόγω της αλγοριθμικής πολυπλοκότητας της διαδικασίας. Με την ολοκλήρωση της σχεδίασης της συνολικής διαδρομής, ενεργοποιείται το κουμπί «Χάραξη νέων βιβλίων».

Χάραξη νέων βιβλίων

Το κουμπί «Χάραξη νέων βιβλίων» ξεκινάει την διαδικασία χάραξης νέων βιβλίων. Για την διαδικασία αυτή, ως είσοδος λαμβάνεται η συνολική βέλτιστη διαδρομή που υπολογίστηκε στο προηγούμενο βήμα καθώς και οι επιλογές του αριθμού διαδρομών και αριθμού βιβλίων από τα αντίστοιχα πεδία εισόδου. Ως έξοδος δίνονται τα νέα βιβλία που προέκυψαν καθώς και ένα προειδοποιητικό μήνυμα στην περίπτωση που αριθμός των μετρούμενων ρολογιών σε κάποιο από τα βιβλία είναι πάνω από το επιθυμητό μέγιστο όριο ή κάτω από το αντίστοιχο ελάχιστο όριο. Η διαδικασία αυτή είναι αρκετά γρήγορη καθώς η συνολική βέλτιστη διαδρομή έχει υπολογιστεί στο προηγούμενο βήμα έτσι ο χρήστης μπορεί να δοκιμάσει αρκετούς συνδυασμούς διαδρομών/βιβλίων πριν την τελική του επιλογή. Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας χάραξης νέων βιβλίων ενεργοποιείται το κουμπί «Αποθήκευση βιβλίων».

Αποθήκευση βιβλίων

Το κουμπί «Αποθήκευση βιβλίων» ξεκινάει την διαδικασία αποθήκευσης των νέων βιβλίων. Η αποθήκευση περιλαμβάνει δύο στάδια. Αρχικά δημιουργούνται τα κατάλληλα αρχεία εξόδου του συστήματος, τα οποία μετά μπορούν να εισαχθούν σε τρίτα συστήματα που χρησιμοποιεί η εταιρεία. Επιπλέον τα στατιστικά στοιχεία των νέων βιβλίων αποθηκεύονται στην βάση κατάλληλη βάση δεδομένων της εταιρείας. Η αναλυτική περιγραφή της γραμμογράφησης και της ονοματολογίας των παραγόμενων αρχείων περιγράφονται αναλυτικά στο κεφάλαιο «Αρχεία εξόδου» του παρόντος.

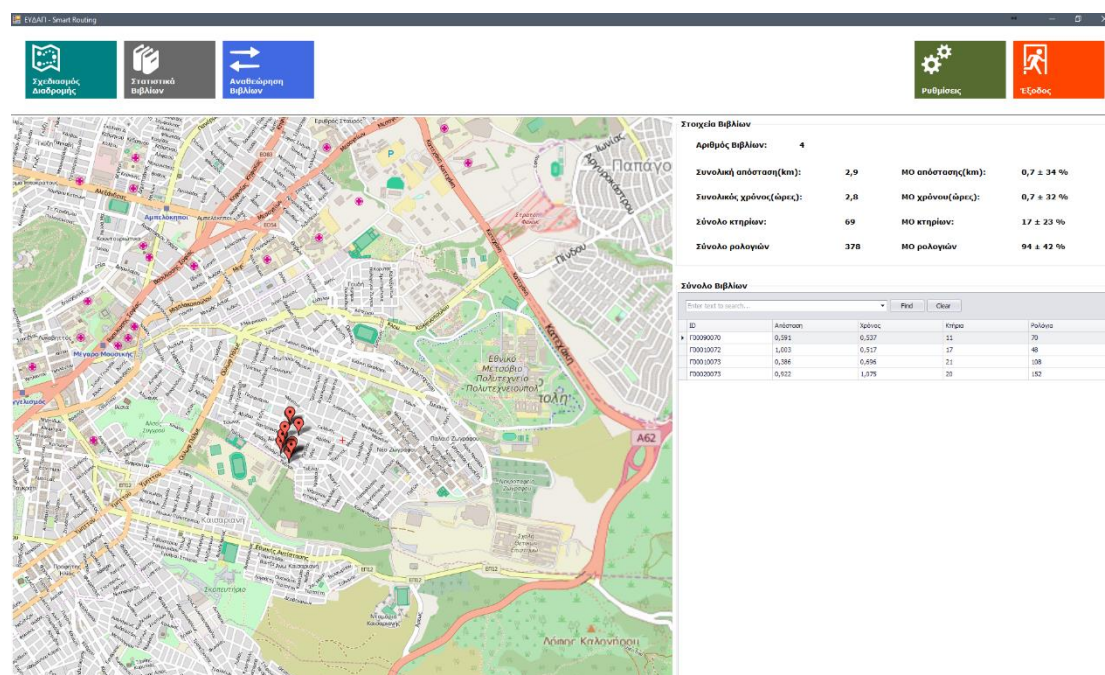
Γ. Τα συγκεντρωτικά στατιστικά στοιχεία της νέας διαδρομής και των νέων βιβλίων που χαράχθηκαν. Επίσης στον πίνακα που βρίσκεται στο δεξί μέρος της καρτέλας ο χρήστης έχει την δυνατότητα να δει για κάθε βιβλίο που έχει προκύψει τα στοιχεία για το μήκος της διαδρομής του, τον εκτιμώμενο χρόνο για την ολοκλήρωση των εργασιών του βιβλίου, τον συνολικό αριθμό κτηρίων που περιλαμβάνει καθώς και τον αντίστοιχο αριθμό ρολογιών.

Τέλος κάτω από το τμήμα με τα στατιστικά και τα στοιχεία των βιβλίων υπάρχει η επιλογή «Εμφάνιση επιλεγμένου βιβλίου». Με αυτή ο χρήστης μπορεί να επιλέξει αν θέλει στον χάρτη να βλέπει την συνολική διαδρομή που έχει προκύψει στο πρώτο βήμα ή μόνο το επιλεγμένο βιβλίο από τον αναλυτικό πίνακα.

6.4.4 Οθόνη Στατιστικών Βιβλίων

Η καρτέλα παρουσίασης στατιστικών των βιβλίων προσφέρει στον χρήστη την δυνατότητα επισκόπησης των βιβλίων που έχουν εισαχθεί κατά την εκκίνηση της εφαρμογής. Για αυτό

τον λόγο αποτελεί την πρώτη οθόνη που θα συναντήσει ο χρήστης μετά την εισαγωγή των αρχείων εισόδου. Η καρτέλα στατιστικών των βιβλίων φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 22 - Οθόνη στατιστικών βιβλίων

Η καρτέλα αποτελείται από δύο τμήματα.

A. Ο χάρτης στο αριστερό τμήμα της καρτέλας στον οποίο ο χρήστης έχει την δυνατότητα να οπτικοποιήσει τα βιβλία που έχει εισάγει στο προηγούμενο στάδιο. Στον χάρτη, κάθε στιγμή οπτικοποιείται το επιλεγμένο βιβλίο από τον αναλυτικό πίνακα. Κάθε σημείο στον χάρτη αναπαριστά ένα κτήριο με τις αντίστοιχες παροχές. Επίσης όταν ο χρήστης περνάει με τον κέρσορα πάνω από ένα δείκτη έχει την δυνατότητα να δει τον κωδικό του συγκεκριμένου κτηρίου.

B. Τα συγκεντρωτικά στατιστικά στοιχεία των υπαρχουσών διαδρομών και βιβλίων που ο χρήστης εισήγαγε στο προηγούμενο στάδιο. Επίσης στον πίνακα που βρίσκεται στο δεξί μέρος της καρτέλας ο χρήστης έχει την δυνατότητα να δει για κάθε βιβλίο τα στοιχεία για το μήκος της διαδρομής του, τον εκτιμώμενο χρόνο για την ολοκλήρωση των εργασιών του βιβλίου, τον συνολικό αριθμό κτηρίων που περιλαμβάνει καθώς και τον αντίστοιχο αριθμό ρολογιών.

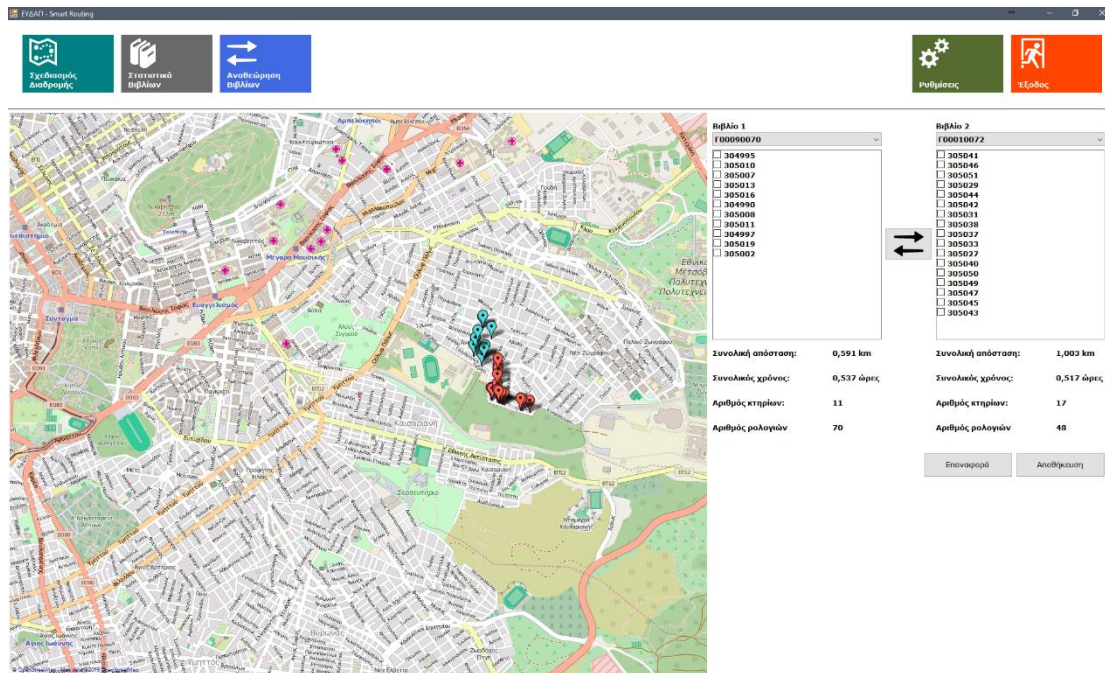
Αναλυτικότερα, τα στατιστικά των βιβλίων που έχει την δυνατότητα να αξιολογήσει ο χρήστης μέσω της εφαρμογής είναι τα παρακάτω:

- **Αριθμός Βιβλίων:** Αναφέρεται στον συνολικό αριθμό βιβλίων που έχουν παραχθεί από τα αρχεία που έχουν τροφοδοτηθεί στο σύστημα.
- **Συνολική απόσταση σε χιλιόμετρα:** Η συνολική απόσταση η οποία εκτιμάται ότι απαιτείται να καλυφθεί για την καταμέτρηση όλων των μετρητών των συγκεκριμένων βιβλίων καταμέτρησης

- **Συνολικός χρόνος σε ώρες:** Ο συνολικός χρόνος που απαιτείται για την καταμέτρηση του συνόλου των μετρητών. Ο χρόνος υπολογίζεται με βάση παραμέτρους τις οποίες μπορεί να ρυθμίσει ο χρήστης στην καρτέλα «Ρυθμίσεις».
- **Σύνολο κτιρίων:** Ο συνολικός αριθμός κτιρίων που συμπεριλαμβάνονται στα παραγόμενα βιβλία καταμέτρησης.
- **Σύνολο ρολογιών:** Ο συνολικός αριθμός μερίδων που ανήκουν στα συγκεκριμένα βιβλία καταμέτρησης.
- **Μέσος όρος απόστασης σε χιλιόμετρα:** Ο μέσος όρος των χιλιομέτρων που πρέπει να καλυφθεί για την κάλυψη των βιβλίων καταμέτρησης που εισήχθησαν στο σύστημα. Αναφέρεται επίσης η διακύμανση για το σύνολο των βιβλίων καταμέτρησης ούτως ώστε να εντοπίζονται εύκολα πιθανές ανομοιομορφίες.
- **Μέσος όρος χρόνου σε ώρες:** Ο μέσος όρος των ωρών που πρέπει να εργαστεί ένας καταμετρητής για την κάλυψη των βιβλίων καταμέτρησης που εισήχθησαν στο σύστημα. Αναφέρεται επίσης η διακύμανση για το σύνολο των βιβλίων καταμέτρησης ούτως ώστε να εντοπίζονται εύκολα πιθανές ανομοιομορφίες.
- **Μέσος όρος κτιρίων:** Ο μέσος όρος των κτιρίων που ανήκουν στα βιβλία καταμέτρησης που εισήχθησαν στο σύστημα. Αναφέρεται επίσης η διακύμανση για το σύνολο των βιβλίων καταμέτρησης ούτως ώστε να εντοπίζονται εύκολα πιθανές ανομοιομορφίες.
- **Μέσος όρος ρολογιών:** Ο μέσος όρος μερίδων που ανήκουν στα βιβλία καταμέτρησης που εισήχθησαν στο σύστημα. Αναφέρεται επίσης η διακύμανση για το σύνολο των βιβλίων καταμέτρησης ούτως ώστε να εντοπίζονται εύκολα πιθανές ανομοιομορφίες.

6.4.5 Οθόνη Αναθεώρησης Βιβλίων

Η τρίτη λειτουργία της εφαρμογής είναι αυτή της αναθεώρησης δύο υπαρχόντων βιβλίων καταμέτρησης. Αυτή η λειτουργία δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να μεταφέρει κτήρια από ένα βιβλίο σε κάποιο άλλο σε περίπτωση που κρίνεται σκόπιμο για λόγους καλύτερου καταμερισμού του φόρτου εργασίας μεταξύ δύο βιβλίων και χωρίς να απαιτείται η πιο χρονοβόρα διαδικασία επαναχάραξης. Επίσης δίνει την δυνατότητα άμεσης παρέμβασης, χρησιμοποιώντας την γνώση κάποιου «ειδικού» ειδικά σε περιπτώσεις όπου η θέση των παροχών διαφέρει σημαντικά από την θέση των κτηρίων.




Εικόνα 23 - Οθόνη αναθεώρησης βιβλίων

Το πρώτο βήμα για αυτή την διαδικασία είναι η επιλογή των δύο βιβλίων μεταξύ των οποίων θα γίνει η ανταλλαγή κτηρίων. Η επιλογή αυτή γίνεται με χρήση των dropdown μενού στα οποία ο χρήστης μπορεί να βρει όλα τα διαθέσιμα βιβλία.

Όταν ο χρήστης επιλέξει τα βιβλία θα έχει την δυνατότητα να δει τα κτήρια τα οποία περιλαμβάνονται σε αυτά και να επιλέξει αυτά που θα ήθελε να μετακινήσει από το ένα βιβλίο στο άλλο. Αυτό επιτυγχάνεται με δύο τρόπους:

- 1) Τα επιλεγμένα βιβλία οπτικοποιούνται στο χάρτη ο οποίος βρίσκεται στο αριστερό μέρος της οθόνης. Τα σημεία που αντιστοιχούν σε κάθε βιβλίο έχουν διαφορετικό χρώμα καθώς και τα σημεία που αναπαριστούν τα υποψήφια προς ανταλλαγή κτήρια. Επίσης όταν ο χρήστης περνάει με τον κέρσορα πάνω από ένα δείκτη έχει την δυνατότητα να δει τον κωδικό του αντίστοιχου κτηρίου.
- 2) Τα κτήρια τα οποία αποτελούν κάθε επιλεγμένο βιβλίο παρατίθενται στον πίνακα που βρίσκεται από κάτω. Κάθε κτήριο αναπαρίσταται με τον κωδικό του, ενώ με την χρήση checkboxes μπορεί αυτό να επιλεγθεί.

Με την ολοκλήρωση της επιλογής των κτηρίων προς μετακίνηση σε οποιοδήποτε ή και στα δύο βιβλία, μπορεί να τα μεταφέρει επιλέγοντας το κουμπί «  » που βρίσκεται ανάμεσα στους δύο πίνακες.

Κάθε από κάθε βιβλίο καταμέτρησης εμφανίζονται τα στατιστικά του στοιχεία τα οποία σε κάθε αλλαγή η οποία πραγματοποιείται επαναυπολογίζονται. Αναλυτικότερα, τα διαθέσιμα στοιχεία είναι:

- **Συνολική απόσταση σε χιλιόμετρα:** Η συνολική απόσταση η οποία απαιτείται για την καταμέτρηση των παροχών που ανήκουν στο εν λόγω βιβλίο. Για τον υπολογισμό της υπολογίζεται η βέλτιστη διαδρομή για την κάλυψη των κτηρίων του βιβλίου.

- **Συνολικός χρόνος σε ώρες:** Ο συνολικός εκτιμώμενος χρόνος για την ολοκλήρωση της καταμέτρησης του εν λόγω βιβλίου. Ο χρόνος αυτός υπολογίζεται ως άθροισμα του χρόνου που απαιτείται για την κάλυψη της απόστασης του βιβλίου και του χρόνου για την λήψη των μετρήσεων από τις παροχές.
- **Σύνολο κτηρίων:** Ο συνολικός αριθμός κτηρίων που συμπεριλαμβάνονται στο εν λόγω βιβλίο.
- **Σύνολο ρολογιών:** Ο συνολικός αριθμός παροχών που συμπεριλαμβάνονται στο εν λόγω βιβλίο.

Το τελευταίο βήμα στην διαδικασία είναι οι παρακάτω επιλογές:

Επαναφορά

Το κουμπί «Επαναφορά» δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να ακυρώσει τις αλλαγές που έχει κάνει και να επαναφέρει τα βιβλία στην αρχική τους μορφή.

Αποθήκευση

Το κουμπί «Αποθήκευση» οριστικοποιεί τις αλλαγές που ο χρήστης έχει κάνει στα δύο βιβλία, εξάγει τα αντίστοιχα αρχεία εξόδου και αποθηκεύει τις αλλαγές στα στοιχεία τους στην βάση δεδομένων.

6.4.6 Οθόνη Ρυθμίσεων

Η οθόνη των ρυθμίσεων του συστήματος δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να αλλάξει κάποιες βασικές παραμέτρους της εφαρμογής οι οποίες σχετίζονται με τον υπολογισμό των στατιστικών στοιχείων των βιβλίων, την χάραξη νέων βιβλίων και διαδρομών καθώς και τα στοιχεία σύνδεσης στην βάση δεδομένων της εταιρείας. Η οθόνη των ρυθμίσεων φαίνεται παρακάτω:

Επιλογές Διαδρομής

Στοιχεία Διαδρομών

Ελάχιστος αριθμός μετρητών	100
Μέγιστος αριθμός μετρητών	295
Ταχύτητα Βηματισμού (km/h)	4
Χρόνος καταγραφής μέτρησης (sec)	20

Στοιχεία Σύνδεσης

Διεύθυνση IP	172.016.001.228
Port	1433
Username	SmartRouting
Password	••••••••••••••••

Ακύρωση Αποθήκευση

Εικόνα 24 - Οθόνη ρυθμίσεων εφαρμογής

Πιο αναλυτικά ο χρήστης μπορεί να αλλάξει τις παρακάτω παραμέτρους:

Ελάχιστος αριθμός μετρητών ανά βιβλίο καταμέτρησης: Ο αριθμός αυτός δηλώνει το ελάχιστο όριο των παροχών οι οποίες θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται σε κάθε βιβλίο. Με αυτό τον τρόπο προλαμβάνεται η περίπτωση δημιουργίας πολύ μικρών βιβλίων.

Μέγιστος αριθμός μετρητών ανά βιβλίο καταμέτρησης: Ο αριθμός αυτός δηλώνει το μέγιστο όριο των παροχών οι οποίες θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται σε κάθε βιβλίο. Με αυτό τον τρόπο προλαμβάνεται η περίπτωση δημιουργίας πολύ μεγάλων βιβλίων.

Ταχύτητα βηματισμού: Αυτή η μεταβλητή δηλώνει την μέση ταχύτητα με την οποία βαδίζουν οι καταμετρητές. Γίνεται χρήση αυτής για την εκτίμηση του χρόνου που χρειάζεται για να καλυφθεί μια δεδομένη διαδρομή.

Χρόνος καταγραφής μέτρησης: Αυτή η μεταβλητή δηλώνει τον χρόνο ο οποίος χρειάζεται ένας καταμετρητής προκειμένου να καταγράψει την ένδειξη από μια παροχή. Γίνεται χρήση αυτή της μεταβλητής κατά τον υπολογισμό του χρόνου για την λήψη μετρήσεων από το σύνολο των παροχών μιας διαδρομής.

Διεύθυνση IP: Στο πεδίο αυτό ο χρήστης έχει την δυνατότητα να αλλάξει την προεπιλεγμένη διεύθυνση IP του εξυπηρετητή στο οποίο βρίσκεται η βάση δεδομένων της εταιρείας ύδρευσης. Γίνεται χρήση της διεύθυνσης αυτής κατά την αποθήκευση των νέων βιβλίων και των αντίστοιχων στατιστικών τους στοιχείων.

Port: Στο πεδίο αυτό ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να αλλάξει την προεπιλεγμένη θύρα σύνδεσης στην οποία ακούει η υπηρεσία που διαχειρίζεται την συνδεσιμότητα της βάσης δεδομένων στον εξυπηρετητή. Γίνεται χρήση της θύρας αυτής κατά την αποθήκευση των νέων βιβλίων και των αντίστοιχων στατιστικών τους στοιχείων.

Username: Στο πεδίο αυτό ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να αλλάξει το προεπιλεγμένο όνομα χρήστη για την σύνδεση στην βάση δεδομένων.

Password: Στο πεδίο αυτό ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να αλλάξει τον προεπιλεγμένο κωδικό για την σύνδεση στην βάση δεδομένων.

6.5 Αρχεία Εισόδου

Κατά την εκκίνηση του συστήματος, στην αρχική οθόνη ζητώνται τα αρχεία τα οποία προσδιορίζουν το σύνολο διαδρομών και βιβλίων μαζί με τα αντίστοιχα κτήρια και τις παροχές τους. Τα δεδομένα αυτά προκύπτουν από τρίτα συστήματα που χρησιμοποιεί η εταιρεία ύδρευσης και εξάγονται σε μορφή αρχείων .csv. Αυτά είναι τα αρχεία BCC και GIS.

6.5.1 Αρχείο BCC

Το αρχείο BCC δίνει πληροφορίες για τις παροχές και τα κτήρια στα οποία αντιστοιχούν. Κάθε εγγραφή αυτού του αρχείου είναι μια παροχή με τις πληροφορίες που την συνοδεύουν. Η γραμμογράφηση του αρχείου εισόδου BCC περιγράφεται παρακάτω:

- **PAROXH:** Κωδικός της παροχής στην οποία αναφέρεται η εγγραφή.
- **GRAFEIO:** Κωδικός Περιφερειακού Κέντρου ΕΥΔΑΠ στο οποίο ανήκει η παροχή.
- **DIADROMH:** Αριθμός διαδρομής στην οποία ανήκει η παροχή.
- **VIVLIO:** Αριθμός βιβλίου καταμέτρησης στο οποίο ανήκει η παροχή.
- **KTIRIO:** Κωδικός κτιρίου με το οποίο είναι συσχετισμένη η παροχή.
- **ADD_NAME:** Όνομα οδού του κτιρίου.
- **ODOS:** Κωδικός οδού του κτιρίου.
- **ARITHMOS:** Αριθμός κτιρίου.
- **EPKΤASH:** Επέκταση αριθμού του κτιρίου (π.χ. Α, Β, κτλ.)
- **ZIPCODE:** Ταχυδρομικός κωδικός στον οποίο ανήκει το κτίριο.
- **DHMOS:** Δήμος στον οποίο ανήκει το κτίριο.
- **PERIOXH:** Περιοχή του δήμου στην οποία ανήκει το κτίριο.

Ένα παράδειγμα αρχείου BCC φαίνεται παρακάτω:

```
PAROXH;GRAFEIO;DIADROMH;VIVLIO;KTIRIO;ADD_NAME;ODOS;ARITHMOS;EPEKTASH;ZIPCODE;DHMOS;PERIOXH
1707359;Γ;70;Γ0009;305016;ΕΚΒΑΤΑΝΩΝ;2015860;9;;15771;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
1707358;Γ;70;Γ0009;305016;ΕΚΒΑΤΑΝΩΝ;2015860;9;;15771;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
1707360;Γ;70;Γ0009;305016;ΕΚΒΑΤΑΝΩΝ;2015860;9;;15771;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
1575477;Γ;70;Γ0009;305002;ΠΕΡΣΕΠΟΛΕΩΣ;2015840;17;;15771;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
1575476;Γ;70;Γ0009;305002;ΠΕΡΣΕΠΟΛΕΩΣ;2015840;17;;15771;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
1575475;Γ;70;Γ0009;305002;ΠΕΡΣΕΠΟΛΕΩΣ;2015840;17;;15771;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
1575474;Γ;70;Γ0009;305002;ΠΕΡΣΕΠΟΛΕΩΣ;2015840;17;;15771;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
1575473;Γ;70;Γ0009;305002;ΠΕΡΣΕΠΟΛΕΩΣ;2015840;17;;15771;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
1575472;Γ;70;Γ0009;305002;ΠΕΡΣΕΠΟΛΕΩΣ;2015840;17;;15771;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
1575471;Γ;70;Γ0009;305002;ΠΕΡΣΕΠΟΛΕΩΣ;2015840;17;;15771;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
2197799;Γ;72;Γ0001;305041;ΧΑΤΖΗ Α.;2015900;1;;15772;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
2197798;Γ;72;Γ0001;305041;ΧΑΤΖΗ Α.;2015900;1;;15772;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
2197797;Γ;72;Γ0001;305041;ΧΑΤΖΗ Α.;2015900;1;;15772;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
2197796;Γ;72;Γ0001;305041;ΧΑΤΖΗ Α.;2015900;1;;15772;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
2086520;Γ;72;Γ0001;305046;ΧΑΤΖΗ Α.;2015900;15;;15772;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
2086519;Γ;72;Γ0001;305046;ΧΑΤΖΗ Α.;2015900;15;;15772;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
2086518;Γ;72;Γ0001;305046;ΧΑΤΖΗ Α.;2015900;15;;15772;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
2086517;Γ;72;Γ0001;305046;ΧΑΤΖΗ Α.;2015900;15;;15772;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
2086516;Γ;72;Γ0001;305046;ΧΑΤΖΗ Α.;2015900;15;;15772;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
2086515;Γ;72;Γ0001;305046;ΧΑΤΖΗ Α.;2015900;15;;15772;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
2037296;Γ;72;Γ0001;305051;ΧΑΤΖΗ Α.;2015900;33;;15772;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
2037295;Γ;72;Γ0001;305051;ΧΑΤΖΗ Α.;2015900;33;;15772;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
2037294;Γ;72;Γ0001;305051;ΧΑΤΖΗ Α.;2015900;33;;15772;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
2037293;Γ;72;Γ0001;305051;ΧΑΤΖΗ Α.;2015900;33;;15772;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
2037292;Γ;72;Γ0001;305051;ΧΑΤΖΗ Α.;2015900;33;;15772;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
2037291;Γ;72;Γ0001;305051;ΧΑΤΖΗ Α.;2015900;33;;15772;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
2037290;Γ;72;Γ0001;305051;ΧΑΤΖΗ Α.;2015900;33;;15772;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
2037289;Γ;72;Γ0001;305051;ΧΑΤΖΗ Α.;2015900;33;;15772;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
2037288;Γ;72;Γ0001;305051;ΧΑΤΖΗ Α.;2015900;33;;15772;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
2037287;Γ;72;Γ0001;305051;ΧΑΤΖΗ Α.;2015900;33;;15772;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
2040254;Γ;72;Γ0001;305029;ΠΑΡΑΠΑΜΙΣΙΟΥ;2015880;7;;15772;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
1833779;Γ;72;Γ0001;305044;ΧΑΤΖΗ Α.;2015900;11;;15772;ΖΩΓΡΑΦΟΥ;ΖΩΓΡΑΦΟΥ
```

Εικόνα 25 - Στιγμιότυπο αρχείου BCC

6.5.2 Αρχείο GIS

Το αρχείο GIS δίνει πληροφορίες για την αντιστοίχιση κάθε κτηρίου με την τοποθεσία στην οποία βρίσκεται. Κάθε εγγραφή αυτού του αρχείου είναι ένας κωδικός κτηρίου με τις συντεταγμένες που το συνοδεύουν. Η γραμμογράφηση του αρχείου εισόδου GIS περιγράφεται παρακάτω:

- **bcc_id:** Κωδικός κτηρίου.
- **X (WGS84):** Γεωγραφικό μήκος του κτηρίου σε σύστημα συντεταγμένων WGS84.
- **Y (WGS84):** Γεωγραφικό πλάτος του κτηρίου σε σύστημα συντεταγμένων WGS84.

Ένα παράδειγμα αρχείου GIS φαίνεται παρακάτω:

```
bcc_id;X(WGS84);Y(WGS84)
303766;23,77119735;37,97807829
301472;23,77598474;37,97299018
304877;23,76500784;37,97532014
304646;23,77057458;37,97330143
303800;23,76548425;37,98010918
303834;23,77287242;37,97836941
303385;23,77461991;37,97009931
293767;23,76065253;37,97807407
303037;23,77321978;37,97353566
302119;23,76724646;37,97747695
303635;23,77118077;37,98052183
302171;23,76512306;37,97893282
302749;23,7695816;37,97411596
304355;23,75925189;37,97804111
299903;23,77241293;37,98244125
302260;23,76198602;37,97841873
301378;23,77636756;37,97372988
303730;23,76703746;37,9793331
301873;23,77388258;37,98198452
301829;23,77275946;37,98121536
301758;23,76968677;37,98283522
303184;23,77506165;37,97099459
304988;23,76616532;37,97417763
304884;23,76368134;37,9745522
304785;23,76565997;37,97265254
304427;23,76077424;37,97776157
304989;23,76627791;37,97238816
305222;23,76872224;37,97123682
```

Εικόνα 26 - Στιγμιότυπο αρχείου GIS

Μετά την εισαγωγή των δύο αυτών αρχείων ακολουθεί η διαδικασία ένωσης με βάση τον κωδικό του κτηρίου. Με αυτόν τον τρόπο το σύστημα αποκτά το σύνολο της πληροφορίας που χρειάζεται ενώ παράλληλα επισημούνται τα κτήρια εκείνα για τα οποία υπάρχει

6.6 Αρχεία Εξόδου

Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως στόχος της εφαρμογής αυτής είναι η λειτουργία της σε συνεργασία με τα υπόλοιπα συστήματα που ήδη χρησιμοποιεί η εταιρεία ύδρευσης. Για τον σκοπό αυτό όλα τα παραγόμενα αποτελέσματα είναι απαραίτητο να εξάγονται με συγκεκριμένο τρόπο. Τα αρχεία που προκύπτουν σαν αποτελέσματα στα σημεία που έχουν περιγραφεί παραπάνω είναι τύπου .csv και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: αρχεία τύπου BCC και αρχεία βιβλίων.

6.6.1 Αρχείο Βιβλίου καταμέτρησης

Τα αρχεία των νέων βιβλίων δίνουν πληροφορίες για τα κτήρια και τις παροχές που εντάσσονται σε κάθε βιβλίο καθώς και τον βέλτιστη διαδρομή για την καταγραφή των μετρήσεων από αυτές. Κάθε γραμμή αποτελεί ένα διάστημα διευθύνσεων προς καταμέτρηση και σχεδιάστηκε με στόχο την συμβατότητα με τις φορητές συσκευές που οι καταμετρητές έχουν μαζί τους για την καταγραφή των καταναλώσεων. Η γραμμογράφηση του αρχείου βιβλίων περιγράφεται παρακάτω:

- **A/A:** Αύξων αριθμός εγγραφής.
- **Διεύθυνση:** Κωδικός διεύθυνσης έναρξης της εγγραφής .
- **Από:** Όνομα διεύθυνσης έναρξης της εγγραφής.
- **Αριθμός:** Αριθμός διεύθυνσης έναρξης της εγγραφής.
- **Επέκταση:** Επέκταση αριθμού διεύθυνσης έναρξης της εγγραφής.
- **Διεύθυνση:** Κωδικός διεύθυνσης τερματισμού της εγγραφής.
- **Έως:** Όνομα διεύθυνσης τερματισμού της εγγραφής.
- **Αριθμός:** Αριθμός διεύθυνσης τερματισμού της εγγραφής.
- **Επέκταση:** Επέκταση αριθμού διεύθυνσης τερματισμού της εγγραφής.
- **Μονά/Ζυγά:** Επιλογή που αναφέρεται στο αν η εγγραφή περιλαμβάνει όλα τα κτίρια, μόνο τα μονά ή μόνο τα ζυγά, ανάμεσα στην έναρξη και τον τερματισμό.

Ένα παράδειγμα αρχείου βιβλίων φαίνεται παρακάτω:

```
A/A;Διεύθυνση;Από;Αριθμός;Επέκταση;Διεύθυνση;Έως;Αριθμός;Επέκταση;Μονά/Ζυγά
1;2015900;ΧΑΤΖΗ Α. ;1;;2015900;ΧΑΤΖΗ Α. ;3;Ω;MONA
2;2015900;ΧΑΤΖΗ Α. ;9;;2015900;ΧΑΤΖΗ Α. ;17;Ω;MONA
3;2015900;ΧΑΤΖΗ Α. ;27;;2015900;ΧΑΤΖΗ Α. ;29;Ω;MONA
4;2015900;ΧΑΤΖΗ Α. ;33;;2015900;ΧΑΤΖΗ Α. ;33;Ω;ΟΛΑ
4;2015880;ΠΑΡΑΠΑΜΙΣΟΥ;25;;2015880;ΠΑΡΑΠΑΜΙΣΟΥ;25;Ω;ΟΛΑ
4;2016180;ΤΡΙΦΥΛΛΙΑΣ;33;;2016180;ΤΡΙΦΥΛΛΙΑΣ;41;Ω;MONA
5;2016180;ΤΡΙΦΥΛΛΙΑΣ;45;;2016180;ΤΡΙΦΥΛΛΙΑΣ;53;Ω;MONA
```

Εικόνα 27 - Στιγμιότυπο αρχείου βιβλίου καταμέτρησης

Κατά την χρήση της εφαρμογής παράγεται μεγάλο πλήθος αρχείων βιβλίων. Λόγω αυτού απαραίτητη είναι η χρήση ενός συστήματος ονοματολογίας το οποίο να συμβαδίζει με τα υπάρχοντα πρότυπα της εταιρείας ύδρευσης. Έτσι κάθε αρχείο που παράγεται από το σύστημα διαθέτει ένα 9-ψήφιο κωδικό ως όνομα αρχείου. Πιο αναλυτικά:

- 1^ο ψηφίο, αναφέρεται στο Περιφερειακό Κέντρο στο οποίο ανήκει το συγκεκριμένο βιβλίο.
- 2^ο – 5^ο ψηφίο, αναφέρονται στον αριθμό του βιβλίου μέσα στη συγκεκριμένη διαδρομή καταμέτρησης
- 6^ο – 9^ο ψηφίο, αναφέρονται στον αύξοντα αριθμό της διαδρομής μέσα στο περιφερειακό κέντρο της εταιρείας ύδρευσης.

Παράδειγμα, το βιβλίο με όνομα Γ00040070.csv αναφέρεται στο 4^ο βιβλίο της 70^{ης} διαδρομής του Γ' Περιφερειακού Κέντρου της εταιρείας ύδρευσης.

6.6.2 Αρχείο BCC

Τα αρχεία τύπου BCC εξυπηρετούν την ανάγκη για ύπαρξη ενός νέου αρχείου το οποίο μπορεί να εισαχθεί στο σύστημα εκ νέου για περαιτέρω μελέτη ή επεξεργασία. Το πρώτο αρχείο BCC, με όνομα «*BCC_NEO.csv*» καταγράφει τις πληροφορίες για όλες τις παροχές, τα κτήρια στα οποία ανήκουν καθώς και τα νέα βιβλία στα οποία εντάσσονται. Το δεύτερο αρχείο, με όνομα «*ΥΠΟΛΟΙΠΑ.csv*» καταγράφει όλες εκείνες τις παροχές για τα κτήρια των οποίων δεν ήταν εφικτή η αντιστοίχιση με συντεταγμένες από το αρχείο GIS, δηλαδή παροχές που δεν μπορούν να τοποθετηθούν στο χάρτη. Ο χρήστης της εφαρμογής αυτής μπορεί να αξιοποιήσει το εν λόγω αρχείο προκειμένου να ενημερώσει το αρχείο GIS ή να τις εντάξει χειροκίνητα σε κάποιο από τα υπάρχοντα βιβλία με χρήση του ίδιου του BCC.

7. Εφαρμογή της μεθοδολογίας σε περιφερειακό κέντρο της εταιρείας ύδρευσης

Το σύστημα το οποίο αναπτύχθηκε και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται σε αυτό δοκιμάστηκε σε πραγματικές συνθήκες ώστε να εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητα της μεθοδολογίας. Σκοπός του πειράματος αυτού είναι η δημιουργία νέων διαδρομών και βιβλίων τα οποία θα βελτιώνουν την διαδικασία της καταμέτρησης τόσο σε επίπεδο οργάνωσης με την μείωση των υπάρχοντων βιβλίων όσο και σε επίπεδο εργασιών πεδίου με την.

7.1 Δεδομένα εισόδου

Τα δεδομένα τα οποία επελέγησαν για να χρησιμοποιηθούν στο πείραμα είναι οι μετρητές ενός ολόκληρου περιφερειακού κέντρου, το οποίο περιλαμβάνει την περιοχή του δήμου Ζωγράφου. Τα συγκεκριμένα δεδομένα αποτελούν αντιπροσωπευτικό δείγμα του συνόλου των δεδομένων της εταιρείας ύδρευσης καθώς το πλήθος των κτηρίων που εντάσσονται σε αυτά είναι αρκετά μεγάλο και η πυκνότητά τους είναι ενδεικτική και για τις περισσότερες περιοχές της πόλης.

Σαν πρώτο βήμα εισήχθησαν λοιπόν τα απαιτούμενα αρχεία BCC και GIS στο σύστημα και εξετάστηκαν τα στατιστικά των υπάρχοντων βιβλίων μέσω της καρτέλας «Στατιστικά Βιβλίων». Όπως φαίνεται και στον πίνακα που ακολουθεί, η εν λόγω περιοχή διαθέτει 51,626 παροχές οι οποίες αντιστοιχούν σε 4,635 κτίρια και μετρούνται σήμερα σε 197 βιβλία και 25 διαδρομές. Οι καταμετρητές καλούνται να καλύψουν λοιπόν μία απόσταση ίση με 116.6 χιλιόμετρα ενώ, σύμφωνα με τις ρυθμίσεις που παρουσιάστηκαν νωρίτερα, η μέτρηση όλων των παροχών απαιτεί την εργασία ενός ατόμου για 316 ώρες. Τέλος σε κάθε βιβλίο ανήκουν κατά μέσο όρο 24 κτήρια και 262 παροχές.

Στοιχεία Βιβλίων

Αριθμός Βιβλίων:	197		
Συνολική απόσταση(km):	116,6	ΜΟ απόστασης(km):	0,6 ± 55 %
Συνολικός χρόνος(ώρες):	316,0	ΜΟ χρόνου(ώρες):	1,6 ± 28 %
Σύνολο κτηρίων:	4635	ΜΟ κτηρίων:	24 ± 45 %
Σύνολο ρολογιών	51626	ΜΟ ρολογιών	262 ± 27 %

Εικόνα 28 - Στοιχεία δεδομένων εισόδου

7.2 Κριτήρια αξιολόγησης

Για την ορθή αξιολόγηση, τόσο των υπάρχοντων όσο και των νέων βιβλίων, είναι πολύ σημαντικός ο προσδιορισμός μετρικών και κριτηρίων τα οποία να ανταποκρίνονται στις ανάγκες και τις απαιτήσεις της εταιρείας ύδρευσης. Επιπλέον η καθορισμός αυτών δίνει την δυνατότητα αξιολόγησης και της εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας. Παρακάτω αναλύονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά και οι περιορισμοί που λαμβάνονται υπόψιν στα πειράματα που έγιναν και στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων τους:

- **Αριθμός Βιβλίων:** Ο συνολικός αριθμός των βιβλίων για την κάλυψη μιας περιοχής δίνει την εκτίμηση του κόστους που έχει αυτή η διαδικασία για τον οργανισμό. Η μείωση του αριθμού αυτού σημαίνει μείωση του κόστους καταμέτρησης στην συγκεκριμένη περιοχή και άρα καλύτερη χρήση των διαθέσιμων πόρων.
- **Μέσος Όρος χρόνου:** Μετράται σε ώρες ανά βιβλίο. Στον χρόνο αυτό περιλαμβάνεται ο χρόνος που απαιτείται για την κάλυψη της απόστασης κάθε βιβλίου καθώς και ο χρόνος για την λήψη των μετρήσεων. Αποτελεί ένδειξη για το φόρτο εργασίας των καταμετρητών στο πεδίο. Ο χρόνος αυτός αυξάνεται ή μειώνεται ανάλογα με την μείωση ή την αύξηση του αριθμού των βιβλίων αντίστοιχα.
- **Διακύμανση Χρόνου:** Μετράται σε ποσοστό επί της εκατό. Με τον συγκεκριμένο δείκτη δίνεται η δυνατότητα εκτίμησης της ισοδυναμίας των βιβλίων. Ο στόχος είναι η δημιουργία βιβλίων που θα έχουν όσο το δυνατόν ίσο φόρτο εργασίας, δείκτης του οποίου είναι ο χρόνος που απαιτείται για το κάθε βιβλίο. Συνεπώς μικρότερες τιμές διακύμανσης σημαίνουν πως τα υπό μελέτη βιβλία είναι ισοδύναμα σε φόρτο εργασίας.
- **Μέσος Όρος απόστασης:** Μετράται σε χιλιόμετρα ανά βιβλίο. Περιλαμβάνει το μήκος της διαδρομής που θα πρέπει να κάνει ο καταμετρητής για να καλύψει όλα τα κτήρια και τις αντίστοιχες παροχές που εντάσσονται στο κάθε βιβλίο. Πρέπει να σημειωθεί ότι η απόσταση αυτή είναι ελάχιστη δυνατή καθώς προκύπτει από την διαδικασία εύρεσης του συντομότερου μονοπατιού για την επίσκεψη όλων των κτηρίων. Στόχος είναι η μείωση της απόστασης αυτής, και συνεπώς του κόπου του καταμετρητή.
- **Αριθμός Παροχών ανά βιβλίο:** Ο συνολικός αριθμός των μετρούμενων παροχών που εντάσσονται σε κάθε βιβλίο. Ο αριθμός των παροχών αποτελεί έναν από τους περιορισμούς που υπάρχουν κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας. Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει σε κάθε βιβλίο να περιλαμβάνονται και να μετρώνται τουλάχιστον 100 παροχές. Παράλληλα θα πρέπει ο αριθμός των παροχών να μην ξεπερνάει τις 295.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως υπάρχουν και άλλες μετρικές οι οποίες όμως δεν μπορούν να αποτελέσουν κριτήριο για την αξιολόγηση ενός βιβλίου. Πιο συγκεκριμένα, στοιχεία όπως η διακύμανση της απόστασης ή των μετρούμενων ρολογιών δεν αποτελούν ικανοποιητικά κριτήρια καθώς οι μεγάλες τιμές που παρουσιάζονται οφείλονται στην μορφολογία της κάθε περιοχής και στις διακυμάνσεις που υπάρχουν στην πυκνότητα των κτηρίων. Σε περιοχές με πιο αραιή δόμηση οι αποστάσεις θα είναι μεγαλύτερες σε σχέση με περιοχές όπου η δόμηση είναι πιο πυκνή.

7.3 Αξιολόγηση υπάρχοντων βιβλίων

Με βάση τα παραπάνω κριτήρια πραγματοποιήθηκε μια πρώτη αξιολόγηση των διαδρομών και των βιβλίων που χρησιμοποιούνταν από την εταιρεία ύδρευσης πριν την εφαρμογή της μεθοδολογίας που αναλύεται σε αυτή την εργασία.

Το πρώτο στοιχείο που παρατηρούμε είναι οι μεγάλες τιμές στις διακυμάνσεις τόσο του μέσου όρου του χρόνου όσο και του μέσου αριθμού μετρούμενων ρολογιών. Πιο συγκεκριμένα βλέπουμε πως ο μέσος χρόνος που απαιτείται ανά βιβλίο για την ολοκλήρωσή του καθώς και ο αριθμός των ρολογιών χαρακτηρίζονται από μία διακύμανση της τάξης του 30%. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, φαίνεται πως τα υπάρχοντα βιβλία είναι αρκετά ανόμοια μεταξύ τους και ο φόρτος εργασίας δεν μοιράζεται με δίκαιο τρόπο. Αυτό αποτελεί σημαντικό πρόβλημα για την εταιρεία σε επίπεδο διοίκησης αλλά και για τους καταμετρητές που καλούνται να εκτελέσουν τα βιβλία αυτά.

Το δεύτερο στοιχείο προκύπτει από την τιμή της απόστασης που χρειάζεται για να καλυφθούν τα βιβλία αυτά και από την οπτικοποίηση των διαδρομών. Πιο συγκεκριμένα παρατηρήθηκε η κατανομή παροχών στα βιβλία δεν γίνεται με βέλτιστο τρόπο με αποτέλεσμα να χρειάζονται περισσότερα χιλιόμετρα για την κάλυψη όλων των κτηρίων.

Οι παραπάνω παρατηρήσεις οδηγούν στο συμπέρασμα πως είναι επιτακτική η αναθεώρηση των βιβλίων με αυτόματο τρόπο που θα εγγυάται την μείωση της απόστασης και του χρόνου με την βελτιστοποίηση των διαδρομών και την δημιουργία ισοδύναμων βιβλίων με παρόμοιο φόρτο εργασίας.

7.4 Εφαρμοζόμενη μεθοδολογία

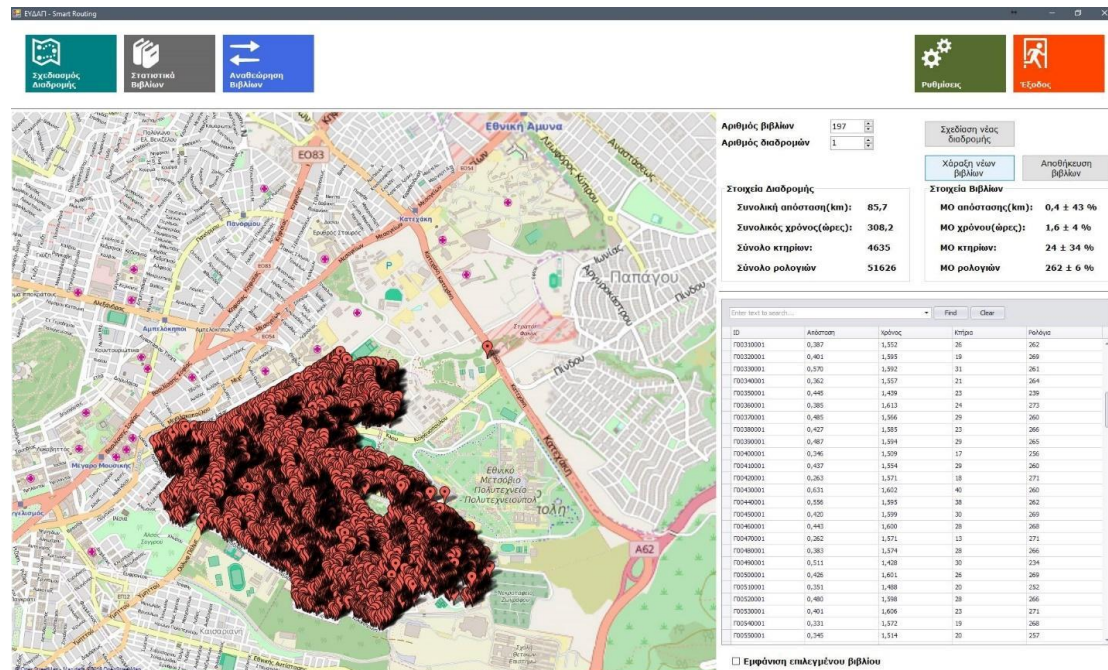
Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε κατά την διεξαγωγή του πειράματος είναι η ακόλουθη:

- Εισαγωγή των δεδομένων για την υπό μελέτη περιοχή.
- Αξιολόγηση των υπαρχόντων βιβλίων με χρήση των στατιστικών τους στοιχείων αλλά και της οπτικοποίησης στον χάρτη.
- Δημιουργία βέλτιστης διαδρομής για το σύνολο των κτηρίων στο περιφερειακό κέντρο.
- Δοκιμή διαφορετικών σεναρίων με διαφορετικό συνολικό αριθμό βιβλίων.
- Αξιολόγηση των διαφορετικών σεναρίων με χρήση των στατιστικών τους στοιχείων αλλά και της οπτικοποίησης στον χάρτη.
- Αποθήκευση και εξαγωγή των διαφορετικών σεναρίων και των βιβλίων που προέκυψαν.

Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζονται δύο σενάρια τα οποία δείχνουν την αποτελεσματικότητα χρήσης της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Στο πρώτο σενάριο στόχος είναι η διατήρηση του αριθμού των μετρούμενων ρολογιών και του μέσου χρόνου εργασίας στα ίδια επίπεδα με την αρχική κατανομή των βιβλίων. Στο δεύτερο σενάριο επιχειρήθηκε η μείωση του συνολικού αριθμού των βιβλίων διατηρώντας τον περιορισμό για τον μέγιστο αριθμό παροχών σε ένα βιβλίο.

7.5 Αποτελέσματα μεθοδολογίας

Το πρώτο βήμα στην διαδικασία χάραξης νέων βιβλίων είναι ο προσδιορισμός νέας βέλτιστης διαδρομής η οποία να καλύπτει το σύνολο των κτηρίων και παροχών του περιφερειακού κέντρου.



Εικόνα 29 - Αποτέλεσμα χάραξης νέας βέλτιστης διαδρομής

Το πρώτο πολύ σημαντικό αποτέλεσμα το οποίο παρατηρούμε είναι η σημαντική μείωση στην απόσταση που απαιτείται για την κάλυψη των όλων των σημείων στο χάρτη. Συγκεκριμένα από τα 116.6 km που απαιτούνταν πριν την εφαρμογή της μεθοδολογίας, μετά την βελτιστοποίηση της διαδρομής χρειάζονται 85.7 km, δηλαδή έχουμε διαφορά 30.9 km η οποία αντιστοιχεί σε βελτίωση κατά 26.5%. Με αυτό τον τρόπο επιβεβαιώνεται η προηγούμενη παρατήρηση για τα περιθώρια βελτίωσης των διαδρομών ανεξαρτήτως του αριθμού των βιβλίων.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα δύο διαφορετικά σενάρια για την χάραξη των νέων βιβλίων

ΣΕΝΑΡΙΟ 1: ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΦΟΡΤΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στόχος του πρώτου πειράματος είναι η διατήρηση του ίδιου χρόνου εργασίας ανά βιβλίο καθώς και του αριθμού των μετρούμενων ρολογιών. Άρα σε αυτή την περίπτωση ο αριθμός των βιβλίων παραμένει στα ίδια επίπεδα. Παρακάτω στον πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου σεναρίου:

Στοιχεία Διαδρομής		Στοιχεία Βιβλίων	
Συνολική απόσταση(km):	85,7	ΜΟ απόστασης(km):	0,4 ± 44 %
Συνολικός χρόνος(ώρες):	308,2	ΜΟ χρόνου(ώρες):	1,6 ± 3 %
Σύνολο κτηρίων:	4635	ΜΟ κτηρίων:	24 ± 33 %
Σύνολο ρολογιών	51626	ΜΟ ρολογιών	266 ± 5 %

Εικόνα 30 - Σενάριο 1: Αποτελέσματα χάραξης βιβλίων

Από το παραπάνω συμπεραίνουμε πως ακόμα κι αν διατηρήσουμε τον χρόνο εργασίας στα ίδια επίπεδα, έχουμε βελτίωση σχεδόν σε όλους τους υπόλοιπους δείκτες. Πιο αναλυτικά:

- Η απόσταση ανά βιβλίο από 0.6 km πλέον μετά την βελτιστοποίηση και την χάραξη των νέων βιβλίων είναι 0.4 km, το οποίο σημαίνει πως επιτυγχάνουμε βελτίωση κατά 33%. Επίσης παρατηρείται και μείωση στην διακύμανση της τιμής από 55% σε 44%. Συνολικά, τα νέα βιβλία απαιτούν την κάλυψη μικρότερης απόστασης, ενώ ακόμα και σε αυτό τον δείκτη είναι πιο ομοιόμορφα.
- Ο χρόνος ανά βιβλίο παραμένει ο ίδιος καθώς ήταν μια από τις παραμέτρους του σεναρίου. Όμως παρατηρείται πολύ σημαντική βελτίωση στην διακύμανση του. Πριν την εφαρμογή της μεθοδολογίας η διακύμανση βρισκόταν στο 28% ενώ στα νέα βιβλία βρίσκεται στο 3%. Η διαφορά αυτή είναι καθοριστικής σημασίας καθώς καθιστά τα βιβλία σχεδόν ισοδύναμα σε φόρτο εργασίας.
- Ο αριθμός των ρολογιών ανά βιβλίο παραμένει στα ίδια επίπεδα καθώς εμμέσως επηρεάζεται από τον περιορισμό του χρόνου που χρησιμοποιήθηκε. Και σε αυτή αξίζει να σημειωθεί η μείωση της διακύμανσης από 27% σε 5%.

Συνολικά λοιπόν παρατηρούμε σημαντικές βελτιώσεις στις διακυμάνσεις που αφορούν τον φόρτο εργασίας και στις αποστάσεις κάθε βιβλίου. Αξίζει να σημειωθεί, ακόμα και αν αυτό δεν αποτελούσε στόχο του συγκεκριμένου σεναρίου, παρατηρήθηκε μείωση του συνολικού αριθμού των βιβλίων από 197 σε 194, το οποίο αποτελεί βελτίωση κατά 1.5%.

ΣΕΝΑΡΙΟ 2: ΜΕΙΩΣΗ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΒΙΒΛΙΩΝ

Στόχος του δεύτερου πειράματος είναι η κατά το δυνατόν μείωση του αριθμού των βιβλίων που απαιτούνται για την κάλυψη της υπό μελέτης περιοχής. Ο περιορισμός που υπάρχει είναι πως ο συνολικός αριθμός των μετρούμενων ρολογιών ανά βιβλίο δεν θα πρέπει να ξεπερνάει τα 295. Έπειτα από διαδοχικές δοκιμές, έγινε εφικτή η μείωση των βιβλίων σε 180 από 197. Παρακάτω στον πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου σεναρίου:

Στοιχεία Διαδρομής		Στοιχεία Βιβλίων	
Συνολική απόσταση(km):	85,7	ΜΟ απόστασης(km):	0,5 ± 34 %
Συνολικός χρόνος(ώρες):	308,2	ΜΟ χρόνου(ώρες):	1,7 ± 6 %
Σύνολο κτηρίων:	4635	ΜΟ κτηρίων:	26 ± 34 %
Σύνολο ρολογιών	51626	ΜΟ ρολογιών	287 ± 8 %

Εικόνα 31 - Σενάριο 2: Αποτελέσματα χάραξης βιβλίων

Από το παραπάνω βλέπουμε πως έχουμε σημαντικές βελτιώσεις σε αρκετούς δείκτες χωρίς να υπάρχει σημαντική αύξηση σε άλλους. Πιο αναλυτικά:

- Και σε αυτό το σενάριο, παρά την αύξηση του φόρτου εργασίας, φαίνεται η βελτίωση της απόστασης ανά βιβλίο σε σχέση με την αρχική χάραξη των βιβλίων. Με την εφαρμογή της μεθοδολογίας και αυτού του σεναρίου έχουμε μείωση της απόστασης από 0.6 km σε 0.5 km το οποίο αντιστοιχεί σε βελτίωση 16.6%. Επίσης παρατηρείται και πάλι μείωση της διακύμανσης από 55% σε 34%. Άρα συνολικά, και σε αυτό το σενάριο τα βιβλία είναι πιο ομοιόμορφα και απαιτούν την κάλυψη μικρότερης απόστασης.
- Ο χρόνος ανά βιβλίο σε αυτό το σενάριο αυξάνεται από 1.6 ώρες σε 1.7, το οποίο αντιστοιχεί σε αύξηση 6%. Η συγκεκριμένη αύξηση στον χρόνο είναι αναμενόμενη καθώς σε αυτό το σενάριο αυξάνεται ο φόρτος εργασίας ανά βιβλίο. Σημειώνεται πάντως πως η αύξηση αυτή του χρόνου δεν θεωρείται αρκετά μεγάλη ώστε να αποτελεί πρόβλημα για την δεδομένη χάραξη βιβλίων. Παράλληλα, και σε αυτή την περίπτωση, είναι πολύ σημαντική η μείωση της διακύμανσης από 28% σε 6% καθιστώντας τα παραγόμενα νέα βιβλία ισοδύναμα μεταξύ τους.
- Ο αριθμός των ρολογιών ανά βιβλίο αυξήθηκε από 262 σε 287 σε αυτό το σενάριο, το οποίο αντιστοιχεί σε αύξηση κατά 9.5%. Και σε αυτή την περίπτωση ο φόρτος εργασίας ο οποίος προστίθεται δεν είναι πολύ μεγάλος ενώ διατηρείται ο περιορισμός για τον μέγιστο αριθμό παροχών ανά βιβλίο. Επίσης, και σε αυτή την περίπτωση, η βελτίωση της διακύμανσης είναι μεγάλη αφού από 27% πλέον βρίσκεται στο 8%.

Συνολικά λοιπόν παρατηρούμε πως υπάρχει η δυνατότητα μείωσης των βιβλίων κατά 17, το οποίο αντιστοιχεί σε μείωση 8.6% του κόστους καταμέτρησης για την εταιρεία ύδρευσης. Αυτό επιτυγχάνεται παράλληλα με την μείωση της απόστασης ανά βιβλίο καθώς και την δημιουργία ισοδύναμων βιβλίων και την διατήρηση των δοθέντων ορίων για τον φόρτο εργασίας κάθε βιβλίου.

7.6 Συμπεράσματα

Συνολικά από την εκτέλεση και αξιολόγηση των παραπάνω πειραμάτων γίνεται αντιληπτή η χρησιμότητα της εφαρμογής και της μεθοδολογίας που αναλύεται σε αυτή την εργασία. Η υπάρχουσα χάραξη βιβλίων που χρησιμοποιείται επιδέχεται σημαντικής βελτίωσης σε ένα

πλήθος διαφορετικών τομέων. Τα πιο σημαντικά συμπεράσματα για τα περιθώρια βελτιστοποίησης που προκύπτουν θα μπορούσαν να συνοψιστούν στους παρακάτω τομείς:

Μείωση των αποστάσεων: Σε κάθε περίπτωση, και ανεξάρτητα από το αν επιδιώκεται μείωση ή διατήρηση του αριθμού των βιβλίων, η εφαρμογή του αλγορίθμου για την εύρεση του συντομότερου μονοπατιού για ένα δεδομένο σύνολο σημείων μειώνει την απόσταση που οι καταμετρητές χρειάζεται να περπατήσουν για να επιτελέσουν το έργο τους. Η μείωση αυτή έχει και σαν αποτέλεσμα την μείωση του χρόνου που απαιτείται για την ολοκλήρωση της εργασίας το οποίο δίνει την επιλογή στην εταιρεία να λειτουργεί πιο αποδοτικά μειώνοντας τον συνολικό αριθμό ανθρωποωρών που απαιτούνται για την λήψη μετρήσεων.

Εξισορρόπηση βιβλίων: Το δεύτερο σημαντικό αποτέλεσμα που επιτυγχάνεται με την χρήση του αλγορίθμου για την χάραξη των βιβλίων είναι η εξισορρόπησή τους από πλευράς φόρτου εργασίας. Αυτό συμβαίνει σε κάθε σενάριο, ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες παραμέτρους και είναι ύψιστης σημασίας για την εταιρεία καθώς πλέον οι εργασίες διαιρούνται σε ισοδύναμα μέρη, κάνοντας έτσι τον προγραμματισμό πιο εύκολο και την κατανομή των εργασιών πιο δίκαια προς τους υπαλλήλους της.

Σε δεύτερο χρόνο, και μετά την αρχική χάραξη των διαδρομών, πρέπει να τονιστεί πως η δυνατότητα οπτικοποίησης των βιβλίων στο χάρτη ως μέρος της μεθοδολογίας, επιτρέπει την πιο λεπτομερή επισκόπηση τους για την ανίχνευση προβλημάτων τα οποία ο αυτόματος αλγόριθμος δεν ήταν εφικτό να διορθώσει. Σημειώνεται πως ο αριθμός τέτοιων των περιπτώσεων είναι πολύ μικρός και η καρτέλα αναθεώρησης βιβλίων κάνει την διόρθωσή τους εύκολη.

8. Δυνατότητες επέκτασης του συστήματος

Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας σαν σκοπό έχει να δώσει λύση στο πρόβλημα της ανανέωσης των βιβλίων καταμέτρησης της εταιρείας ύδρευσης. Στα πλαίσια αυτού του συστήματος υλοποιήθηκαν διαφορετικές λειτουργίες οι οποίες διευκόλυναν και βελτίωσαν σε σημαντικό βαθμό την συγκεκριμένη εργασία με την εισαγωγή αυτοματοποίησης και οπτικοποίησης. Πιο συγκεκριμένα αυτή το υπό μελέτη σύστημα υλοποίησε:

- Την οπτικοποίηση διαδρομών σε χάρτη.
- Την ανάλυση διαδρομών με βάση στατιστικά στοιχεία τους.
- Την δημιουργία βέλτιστων διαδρομών για τα νέα βιβλία.

Παρά την υλοποίηση όλων των παραπάνω λειτουργιών οι οποίες αποτελούν ένα ολοκληρωμένο και λειτουργικό σύστημα λογισμικού υπάρχουν περιθώρια βελτίωσής του προς διάφορες κατευθύνσεις με στόχο να γίνει πιο εύχρηστο και να παρέχει περισσότερες επιλογές στον τελικό χρήστη.

Μια πρώτη δυνατότητα που θα μπορούσε να ενσωματωθεί στο εν λόγω σύστημα είναι η επιλογή χρήσης μηχανοκίνητου οχήματος από τον καταμετρητή. Σε αυτό το στάδιο γίνεται η υπόθεση πως ο εργαζόμενος περπατάει και συνεπώς δεν η φορά κάθε δρόμου δεν λαμβάνεται υπόψιν κατά την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής. Η επιλογή αυτή δεν υλοποιήθηκε καθώς θα άλλαζε σημαντικά τον βαθμό εξάρτησης της εφαρμογής από ένα υπόβαθρο χάρτη το οποίο θα μπορούσε να έχει αυτές τις πληροφορίες. Σε περίπτωση που αυτό θα ήταν διαθέσιμο η επέκταση του παρόντος συστήματος προς αυτή την κατεύθυνση θα μπορούσε να κάνει σημαντική διαφορά στην εταιρεία. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι υπάρχουν περιοχές όπου οι αποστάσεις είναι μεγαλύτερες λόγω πιο αραιής δόμησης και άρα η χρήση οχήματος είναι συμφέρουσα.

Μια δεύτερη βελτίωση που θα μπορούσε να εξεταστεί στο μέλλον είναι η μείωση του χρόνου που απαιτείται αυτή την στιγμή για την σχεδίαση της νέας, βέλτιστης διαδρομής. Ο αλγόριθμος ο οποίος έχει χρησιμοποιηθεί αναπτύχθηκε με στόχο να ισορροπήσει τον χρόνο για την παραγωγή αποτελέσματος και την ποιότητα του αποτελέσματος, με μεγαλύτερο βάρος στο δεύτερο. Η δημιουργία νέων διαδρομών με μεγάλο πλήθος δεδομένων είναι μια διαδικασία που χρειάζεται κάποιες ώρες για να ολοκληρωθεί καθιστώντας την συχνή αναθεώρηση των βιβλίων ασύμφορη. Μια εκτενέστερη αλγοριθμική ανάλυση των χρησιμοποιούμενων αλγορίθμων καθώς και περαιτέρω παραμετροποίησή τους θα μπορούσε πιθανόν να μειώσει τον χρόνο λειτουργίας και άρα το κόστος για τον πλήρη επανασχεδιασμό των βιβλίων.

Μια λειτουργική αλλαγή στην υπάρχουσα υλοποίηση θα μπορούσε να είναι η μεταφορά της εφαρμογής σε εξυπηρετητή και αλλαγή της λογικής αυτής από εφαρμογή Windows σε τερματικό σε μια web εφαρμογή που χρησιμοποιεί το μοντέλο πελάτη-εξυπηρετητή. Σε πρώτο επίπεδο κρίθηκε πως κάτι τέτοιο θα αύξανε σημαντικά τον βαθμό δυσκολίας ανάπτυξης της εφαρμογής και δεν επιλέχθηκε αυτό το μοντέλο. Στο μέλλον μια επέκταση προς αυτή την κατεύθυνση θα έκανε την χρήση της εφαρμογής πιο εύκολη στο βαθμό που η προσβασιμότητα σε αυτή θα ήταν πιο εύκολη.

Μια άλλη λειτουργική αλλαγή θα μπορούσε να είναι η καλύτερη ενσωμάτωση της εφαρμογής με τα υπάρχοντα και χρησιμοποιούμενα συστήματα της εταιρείας. Σε αυτό το στάδιο απαιτείται η εξαγωγή αρχείων από δύο άλλα συστήματα και ο συνδυασμός τους για να χρησιμοποιηθούν από την εν λόγω εφαρμογή, ενώ ταυτόχρονα το γεωγραφικό υπόβαθρο που διαθέτει η εταιρεία δεν χρησιμοποιείται. Η σύνδεση διαφορετικών συστημάτων προσθέτει αρκετή πολυπλοκότητα κατά το στάδιο της υλοποίησης και για αυτό τον λόγο δεν επιλέχθηκε καθώς τα υπόλοιπα μέρη είχαν μεγαλύτερη προτεραιότητα. Στο μέλλον και με δεδομένη την υλοποίηση των υπάρχοντων λειτουργιών θα μπορούσε να γίνει περαιτέρω ανάπτυξη προς αυτή την κατεύθυνση.

9. Βιβλιογραφία

- David Applegate, Robert Bixby, Vasek Chvatal, William Cook (1998), "On the solution of traveling salesman problems", Documenta Mathematica – Extra Volume ICM (1998)
- Daniel J. Rosenkrantz, Richard E. Stearns, Philip M. Lewis (1977), "An analysis of several heuristics for the traveling salesman problem", SIAM J. Computing (1977)
- Barun Chandra, Howard Karloff, Craig Tovey (1994), "New results on the old k-opt algorithm for the TSP", 5th ACM-SIAM Symp. (1994)
- Christofides N. (1976), "Worst-case analysis of a new heuristic for the travelling salesman problem", Technical Report 388
- Gilbert Laport (1991), "The traveling salesman problem: An overview of exact and approximate algorithms", European Journal of Operational Research 59 (1992)
- Montemanni R., Barta J., Gambardella L.M., "An exact algorithm for the robust traveling salesman problem with interval data"
- Woeginger Gerhard J., "Exact algorithms for NP-hard problems: A survey"
- Held M., Karp R. (1970), "The traveling salesman problem and minimum spanning trees"
- Held M., Karp R. (1962), "A dynamic programming approach to sequencing problems", SIAM J. (1962)
- Miliotis P. (1978), "Using cutting planes to solve the symmetric traveling salesman problem"
- Bellman, R. (1962), "Dynamic Programming Treatment of the Travelling Salesman Problem", *J. Assoc. Comput. Mach.*
- Hassin, R.; Rubinstein, S. (2000), "Better approximations for max TSP", *Information Processing Letters*
- Beardwood, J.; Halton, J.H.; Hammersley, J.M. (1959), "The Shortest Path through Many Points", *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*
- Padberg, M.; Rinaldi, G. (1991), "A Branch-and-Cut Algorithm for the Resolution of Large-Scale Symmetric Traveling Salesman Problems", *Siam Review*
- Papadimitriou, C. H.; Yannakakis, M. (1993), "The traveling salesman problem with distances one and two", *Math. Oper. Res.*
- Croes G. A. (1958), "A method for solving traveling salesman problems", *Operations Res.* 6 (1958)
- Serdyukov, A. I. (1984), "An algorithm with an estimate for the traveling salesman problem of the maximum", *Upravlyaemye Sistemy*
- Steinerberger, Stefan (2015), "New Bounds for the Traveling Salesman Constant", *Advances in Applied Probability*
- G. Gutin, A. Yeo and A. Zverovich (2002), "Traveling salesman should not be greedy: domination analysis of greedy-type heuristics for the TSP", *Discrete Applied Mathematics* 117
- G. Bendall and F. Margot (2006), "Greedy Type Resistance of Combinatorial Problems", *Discrete Optimization* 3