



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών

Τομέας Έργων Υποδομής και Αγροτικής Ανάπτυξης

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΠΟΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΔΙΟΡΘΩΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ (ΣΕ ΜΙΑ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ)



ΓΕΡΟΝΙΚΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Επιβλέπων: Κεπαπτσόγλου Κωνσταντίνος, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2018

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Προπτυχιακών Σπουδών «Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών», του Τμήματος Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους συνέβαλαν με οποιονδήποτε τρόπο στην εκπόνηση αυτής της διπλωματικής, αλλά και όσους μου πρόσφεραν την αμέριστη συμπαράστασή τους σε όλο το ακαδημαϊκό έτος.

Πρώτα απ' όλα, λοιπόν, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, τον κ. Κ. Κεπαπτσόγλου, Επίκουρο Καθηγητή της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, για την υποστήριξή του, καθώς και για την εκπληκτική συνεργασία που είχαμε σε όλα τα στάδιά της. Επιπλέον, οφείλω να τον ευχαριστήσω για τη σωστή καθοδήγηση αλλά και για τις γενικότερες γνώσεις που μου μετέδωσε.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Υποψήφια Διδάκτορα της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ Χριστίνα Ηλιοπούλου για τις παρατηρήσεις της, την πολύτιμη συμβολή της και το χρόνο που μου αφιέρωσε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου για τη συμπαράσταση και την υπομονή τους σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο το βέλτιστο προγραμματισμό των εργασιών συντήρησης εύκαμπτων οδοστρωμάτων. Ο σκοπός του προγραμματισμού συντήρησης είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους και της όχλησης των οδηγών, η οποία θεωρήθηκε ότι προκαλείται από την καθυστέρηση συντήρησης και την αυξημένη φθορά του οδοστρώματος από τις διελεύσεις των οχημάτων. Για την επίλυση του προβλήματος, διατυπώνεται μοντέλο γραμμικού δυαδικού ακέραιου προγραμματισμού. Κατά τη διαμόρφωση του μοντέλου λήφθηκαν υπόψη περιορισμοί σχετικά με το διαθέσιμο προϋπολογισμό, το μέγιστο αριθμό των εργασιών που επιτρέπεται να πραγματοποιηθούν σε κάθε τμήμα ανά ημέρα, καθώς και τις διαθέσιμες εργατοώρες για την υλοποίησή τους. Για την αξιολόγηση του μοντέλου, πραγματοποιήθηκε εφαρμογή σε μέρος του αστικού οδικού δικτύου της Αλεξανδρούπολης, αποτελούμενου από 50 συνδέσμους. Επιλέχθηκαν συγκεκριμένα 4 είδη εργασιών συντήρησης για την επισκευή των προβλημάτων στα 50 τμήματα οδοστρώματος στις 30 μέρες του μήνα. Για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων, καθώς και για την επαλήθευση της ορθότητας του μοντέλου που διαμορφώθηκε, επιλύθηκαν σενάρια με διαφορετικά budget, και σενάρια με διαφορετικά βάρη στους συντελεστές της αντικειμενικής συνάρτησης. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτά έδειξαν ότι το μοντέλο προγραμματίζει τις εργασίες συντήρησης δίνοντας χρονική προτεραιότητα στην επέμβαση σε τμήματα με μεγάλο φόρτο κυκλοφορίας, ενώ επιλέγονται εργασίες με την καλύτερη σχέση κόστους - ωφέλειας.

ABSTRACT

The present diploma thesis deals with the optimal scheduling of pavement maintenance activities. For this purpose, a binary integer programming model is designed, minimizing maintenance costs and driver nuisance, which is caused by increased pavement wear. The model takes into account several constraints, such as the available budget, the maximum number of tasks that may be performed at each roadway section per day and the available working hours. The model was tested on a part of the Alexandroupoli urban road network, consisting of 50 roadway sections. Specifically, four types of maintenance work were selected and a 30-day planning horizon was considered. In order to extract useful conclusions and to validate the model, scenarios with different budgets and various combinations of the objective function coefficients were solved. Results show that the model selects activities with best cost-benefit ratio and prioritizes segments with heavy traffic.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Γενική ανασκόπηση	1
1.2 Χρήσεις ασφάλτου	1
1.3 Οδόστρωμα	3
1.3.1 Ορισμός οδοστρώματος	3
1.3.2 Δομή οδοστρώματος	4
1.4 Στόχος της παρούσας εργασίας	7
1.5 Μεθοδολογία	7
1.6 Δομή διπλωματικής	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	11
2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ	11
2.1 Εισαγωγή	11
2.2 Συντήρηση και αποκατάσταση των οδοστρωμάτων	11
2.3 Βέλτιστη κατανομή πορων	14
2.4 Αλγόριθμοι για την συντήρηση των οδοστρωμάτων	16
2.5 Κόστος συντήρησης οδοστρώματος	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	23
3 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	23
3.1 Διαχείριση οδοστρωμάτων	23
3.1.1 Η αρχιτεκτονική δομή των συστημάτων διαχείρισης οδοστρωμάτων	24
3.2 Παράγοντες που επηρεάζονται από την κατάσταση των οδοστρωμάτων	25
3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την κατάσταση των οδοστρωμάτων	27
3.3.1 Ορισμός και κατηγορίες φθορών οδοστρωμάτων	27
3.4 Στρατηγικές συντήρησης και τεχνικές επισκευής οδοστρώματος	28
3.4.1 Τύποι τεχνικών επιδιόρθωσης	29
3.4.2 Εργασίες συντήρησης εύκαμπτων οδοστρωμάτων και κόστος	31
3.5 Επίδραση της λειτουργίας συντήρησης και του τύπου επισκευής στο PPI (Pavement Performance Indicators: Δείκτες Απόδοσης Οδοστρώματος)	34
3.5.1 Επίδραση της προληπτικής συντήρησης στο PPI	34
3.5.2 Επίδραση της διορθωτικής συντήρησης στο PPI	34
3.5.3 Επίδραση της έκτακτης συντήρησης στο PPI	34
3.5.4 Επίδραση της Overlay τεχνική επισκευής στο PPI	35
3.5.5 Επίδραση τεχνική επισκευής Crack Sealing στο PPI	35
3.5.6 Επίδραση της τεχνική επισκευής Seal-Coat στο PPI	35
3.5.7 Επίδραση του τεχνική επισκευής Patching στο PPI	35
3.6 Δείκτες οδοστρωμάτων	36
3.6.1 Δείκτης κατάστασης οδοστρώματος (Pavement Condition Index ή PCI)	36
3.6.2 Δείκτης βαθμολόγησης κατάστασης οδοστρώματος (Pavement Condition Rating ή PCR)	38
3.6.3 Δείκτης παρούσας λειτουργικότητας (Present Serviceability Index ή PSI)	39

3.6.4 Δείκτης άνεσης οδήγησης (Riding Comfort Index ή RCI) ..	39
3.6.5 Δείκτης επιπεδότητας οδοστρώματος για εκτίμηση κόστους οδήγησης (Roughness Index for Driving Expenditure ή RIDE) ..	40
3.6.6 Δείκτης εκδήλωσης φθορών (Distress Manifestation Index ή DMI)	40
3.6.7 Διεθνής δείκτης τραχύτητας (International Roughness Index ή IRI)	41
3.6.8 Δείκτη τριβής οδοστρώματος (ΔΤΙ).....	42
3.6.9 Συσχέτιση των δεικτών κατάστασης οδοστρώματος	42
3.7 Θεωρητικό μέρος προγραμματισμού	43
3.7.1. Θεωρία γραμμικών μοντέλων προγραμματισμού	43
3.7.2 Ακέραιος προγραμματισμός	45
3.7.3 Δυσικό πρόβλημα.....	46
3.8 Ανάπτυξη μαθηματικού προτύπου.....	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	51
4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	51
4.1 Στόχος	51
4.2 Διαμόρφωση μοντέλου προβληματισμού.....	51
4.3 Δεδομένα	55
4.3.1 Αντικειμενική συνάρτηση	64
4.3.2 Περιορισμοί	66
4.4 Αναλυτική παρουσίαση των βημάτων επίλυσης	67
4.5 Προγραμματιστική εφαρμογή μοντέλου βελτιστοποίησης μέσω excel	70
4.6 Επίλυση σεναρίων και αποτελέσματα μοντέλου βελτιστοποίησης	73
4.6.1 Αρχική επίλυση Αντικειμενικής Συνάρτησης, ελαχιστοποιώντας την και με ορισμένες τις εργασίες επισκευής	74
4.6.2 Μεταβολή του προϋπολογισμού του έργου	79
4.6.3 Μεταβολή συντελεστών βαρύτητας των όρων της αντικειμενικής συνάρτησης.....	85
4.7 Ανάλυση αποτελεσμάτων επίλυσης.....	105
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	107
5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	107
5.1 Ανασκόπηση του προβλήματος.....	107
5.2. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	108
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	110

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Πρώτος Δρόμος της Βαβυλώνας	3
Εικόνα 1.2: Κατασκευή πρώτου δρόμου	4
Εικόνα 1.3: Διατομή τυπικού οδοστρώματος (Πηγή: ΕΑΡΑ, 2010)	5
Εικόνα 1.4: Επιμέρους στρώσεις διατομής τυπικού οδοστρώματος	6
Εικόνα 4.1: Αποσάρθρωση.....	52
Εικόνα 4.2: Παραμόρφωση	52
Εικόνα 4.3: Ρηγμάτωση	52
Εικόνα 4.4: Λακκούβες	52
Εικόνα 4.5: Προσθήκη Open Solver στο Microsoft Excel	71
Εικόνα 4.6: Μοντέλο Βελτιστοποίησης του συγκεκριμένου προβλήματος στο Open Solver	73

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1: Στάδια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας	8
Σχήμα 3.1: Βασική αρχιτεκτονική δομή σύγχρονων ΣΔΟ (Haas et al., 1994)	25
Σχήμα 3.2: Μεταβολές στην κατάσταση του οδοστρώματος	26
Σχήμα 3.3: Γενικές αρχές συντήρησης οδοστρώματος	29
Σχήμα 3.4: Αποτελεσματικότητα χρήσης τεχνικών συντήρηση αναφορικά με την εξέλιξη της κατάστασης ενός οδοστρώματος (Patenaude D., 2013).....	32
Σχήμα 3.5: Δείκτης κατάστασης οδοστρώματος (PCI) Σειρές [US Army Corps of Engineers-USACE, (2012)].	37
Σχήμα 3.6: Ο δείκτης PCI συναρτήσει του χρόνου (beaumonttexas.gov)	38
Σχήμα 3.7: IRI Τραχύτητα Κλίμακα, [Sayers, M W et al., (1986)].	41
Σχήμα 3.8: F60 Κλίμακα [McDaniel, RS, και KJ Kowalski, (2012)].	42

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1: Κόστος και διάρκεια ζωής των τεχνικών συντήρησης (Patenaude D., 2013).....	33
Πίνακας 4.1: Βαθμολογία κατάστασης οδοστρώματος	53
Πίνακας 4.2: Τμήματα οδοστρώματος 1-50	64
Πίνακας 4.3: Τιμές Α.Σ., όρου κόστους, όρου φόρτου κυκλοφορίας, όρου βελτίωσης και αριθμός πραγματοποιούμενων εργασιών	75
Πίνακας 4.4: Υπολογισμός εργασιών στα τμήματα και ο προγραμματισμός επισκευής τους τις ημέρες του μήνα για Min λύση	76
Πίνακας 4.5: Προγραμματισμός εργασιών στα τμήματα και τις ημέρες του μήνα με ορισμένες τις εργασίες επισκευής Min λύση.....	77
Πίνακας 4.6: Τιμές Α.Σ., όρου κόστους, όρου φόρτου κυκλοφορίας, όρου βελτίωσης και αριθμός πραγματοποιούμενων εργασιών	79
Πίνακας 4.7: Υπολογισμός εργασιών στα τμήματα και ο προγραμματισμός επισκευής τους τις ημέρες του μήνα για Budget 25.000€.	81
Πίνακας 4.8: Υπολογισμός εργασιών στα τμήματα και ο προγραμματισμός επισκευής τους τις ημέρες του μήνα για Budget 30.000€.	82
Πίνακας 4.9: Υπολογισμός εργασιών στα τμήματα και ο προγραμματισμός επισκευής τους τις ημέρες του μήνα για Budget 40.000€.....	83
Πίνακας 4.10: Τιμές Α.Σ., όρου κόστους, όρου φόρτου κυκλοφορίας, όρου βελτίωσης και αριθμός πραγματοποιούμενων εργασιών	85
Πίνακας 4.11: Υπολογισμός εργασιών στα τμήματα και ο προγραμματισμός επισκευής τους τις ημέρες του μήνα για Βάρη συντελεστών (0.2_0.4_0.4)...	87
Πίνακας 4.12: Υπολογισμός εργασιών στα τμήματα και ο προγραμματισμός επισκευής τους τις ημέρες του μήνα για Βάρη συντελεστών (0.4_0.3_0.3)....	88
Πίνακας 4.13: Υπολογισμός εργασιών στα τμήματα και ο προγραμματισμός επισκευής τους τις ημέρες του μήνα για Βάρη συντελεστών (0.6_0.2_0.2). ..	89
Πίνακας 4.14: Υπολογισμός εργασιών στα τμήματα και ο προγραμματισμός επισκευής τους τις ημέρες του μήνα για Βάρη συντελεστών (0.8_0.1_0.1). ..	90
Πίνακας 4.15: Τιμές Α.Σ., όρου κόστους, όρου φόρτου κυκλοφορίας, όρου βελτίωσης και αριθμός πραγματοποιούμενων εργασιών.	91
Πίνακας 4.16: Υπολογισμός εργασιών στα τμήματα και ο προγραμματισμός επισκευής τους τις ημέρες του μήνα για Βάρη συντελεστών (0.1_0.8_0.1). ..	93
Πίνακας 4.17: Υπολογισμός εργασιών στα τμήματα και ο προγραμματισμός επισκευής τους τις ημέρες του μήνα για Βάρη συντελεστών (0.2_0.6_0.2)....	94
Πίνακας 4.18: Υπολογισμός εργασιών στα τμήματα και ο προγραμματισμός επισκευής τους τις ημέρες του μήνα για Βάρη συντελεστών (0.3_0.4_0.3). ..	95
Πίνακας 4.19: Υπολογισμός εργασιών στα τμήματα και ο προγραμματισμός επισκευής τους τις ημέρες του μήνα για Βάρη συντελεστών (0.4_0.2_0.4). ..	96
Πίνακας 4.20: Τιμές Α.Σ., όρου κόστους, όρου φόρτου κυκλοφορίας, όρου βελτίωσης και αριθμός πραγματοποιούμενων εργασιών	97
Πίνακας 4.21: Υπολογισμός εργασιών στα τμήματα και ο προγραμματισμός επισκευής τους τις ημέρες του μήνα για Βάρη συντελεστών (0.1_0.1_0.8). ..	99
Πίνακας 4.22: Υπολογισμός εργασιών στα τμήματα και ο προγραμματισμός επισκευής τους τις ημέρες του μήνα για Βάρη συντελεστών (0.2_0.2_0.6)..	100
Πίνακας 4.23: Υπολογισμός εργασιών στα τμήματα και ο προγραμματισμός επισκευής τους τις ημέρες του μήνα για Βάρη συντελεστών (0.3_0.3_0.4)..	101

Πίνακας 4.24: Υπολογισμός εργασιών στα τμήματα και ο προγραμματισμός επισκευής τους τις ημέρες του μήνα για Βάρη συντελεστών (0.4_0.4_0.2).. 102

Πίνακας 4.25: Υπολογισμός εργασιών στα τμήματα και ο προγραμματισμός επισκευής τους τις ημέρες του μήνα για Βάρη συντελεστών(0.25_0.25_0.5)103

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 4.1: Φόρτος κυκλοφορίας του κάθε τμήματος	36
Διάγραμμα 4.2: Δείκτης κατάστασης του οδοστρώματος	58
Διάγραμμα 4.3: Ποσοστό του μήκους του κάθε τμήματος με βλάβη	59
Διάγραμμα 4.4: Μήκος που χρήζει επισκευής	60
Διάγραμμα 4.5: Κόστος ενεργειών επισκευής	61
Διάγραμμα 4.6: Βελτίωση του οδοστρώματος σε έτη	62
Διάγραμμα 4.7: Διάγραμμα ροής αναπτυσσόμενου μοντέλου	70
Διάγραμμα 4.8: Διαγραμματική απεικόνιση των: τιμή (Α.Σ.), όρος κόστους, όρος φόρτου κυκλοφορίας και όρος βελτίωσης	76
Διάγραμμα 4.9: Διαγραμματική απεικόνιση των: τιμή (Α.Σ.), όρος κόστους, όρος φόρτου κυκλοφορίας και όρος βελτίωσης	81
Διάγραμμα 4.10: Διαγραμματική απεικόνιση των: τιμή (Α.Σ.), όρος κόστους, όρος φόρτου κυκλοφορίας και όρος βελτίωσης	80
Διάγραμμα 4.11: Διαγραμματική απεικόνιση των: τιμή (Α.Σ.), όρος κόστους, όρος φόρτου κυκλοφορίας και όρος βελτίωσης	91
Διάγραμμα 4.12: Διαγραμματική απεικόνιση των: τιμή (Α.Σ.), όρος κόστους, όρος φόρτου κυκλοφορίας και όρος βελτίωσης	97

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Από τα προϊστορικά χρόνια είχε γεννηθεί η ανάγκη για μεταφορά φτιάχνοντας μονοπάτια και έπειτα δρόμους. Με το πέρασμα των χρόνων αυτή η ανάγκη έχει μεγαλώσει και έχει εξελιχτεί γι' αυτό και η κατασκευή των αυτοκινητοδρόμων στις ανεπτυγμένες χώρες έχει σχεδόν ολοκληρωθεί και το ενδιαφέρον των αρμόδιων οργάνων έχει στραφεί προς την αποτελεσματική λειτουργία, τη συντήρηση και τη διαχείριση των υφιστάμενων οδικών δικτύων. Ο στόχος της βελτίωσης της ποιότητας των οδοστρωμάτων είναι αλληλένδετος με σημαντικά λειτουργικά χαρακτηριστικά όπως η ασφάλεια, η μείωση του κόστους μετακίνησης και η περιβαλλοντική προστασία. Τα στοιχεία αυτά οδηγούν στην ανάγκη για αειφόρο ανάπτυξη με την αποτελεσματική διαχείριση των πόρων, την περιβαλλοντική ευαισθησία, τους κοινωνικούς περιορισμούς και την επιθυμία των ανθρώπων να μετακινούνται σε διαφορετικά μέρη με τον βέλτιστο χρόνο. Από άποψη βιωσιμότητας, τα οδικά δίκτυα αποτελούν ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του τομέα των μεταφορών και η κατάστασή τους συνεισφέρει σημαντικά στην κοινωνική ευημερία και κοινωνική ανάπτυξη.

1.2 ΧΡΗΣΕΙΣ ΑΣΦΑΛΤΟΥ

Οι ασφαλτοστρωμένοι δρόμοι κατέχουν ένα πολύ σημαντικό ρόλο στην καθημερινή ζωή. Χρησιμοποιούνται ως ένα αναπόσπαστο μέρος της καθημερινότητας για κάθε μετακίνηση, καθώς παρέχουν πρόσβαση από πόρτα σε πόρτα τόσο για εμπορική χρήση όσο και για χρήση αναψυχής, αλλά και για την προσέγγιση προς υπόλοιπα μέσα μεταφοράς. Επιπλέον, κάθε είδους εμπόρευμα, όπως τα τρόφιμα, τα ποτά, αλλά και κάθε καταναλωτικό αγαθό που χρησιμοποιούμε κάθε μέρα, μεταφέρεται προς τους τελικούς χρήστες οδικώς.

Περίπου το 90% του συνόλου των διαστρωμένων οδών είναι στρωμένοι με άσφαλτο. Η άσφαλτος παρέχει στους χρήστες των οδών, από φορτηγά έως πεζούς, μια συνεπή, ασφαλή και ανθεκτική επιφάνεια για τις μετακινήσεις τους, είτε τοπικά είτε παγκόσμια. Οι δρόμοι αποτελούν τον πλέον διαδεδομένο τρόπο μεταφοράς. Πρόσφατα στοιχεία σχετικά με τη μεταφορά των χερσαίων αγαθών και επιβατών στην Ευρώπη έδειξαν ότι πάνω από το 72% των προϊόντων και το 83% των επιβατών ταξιδεύουν οδικώς, παρά σιδηροδρομικώς, αεροπορικώς ή ακτοπλοϊκώς. Εντός του ευρωπαϊκού οδικού δικτύου υπάρχουν περίπου 6,1 εκ. χλμ. ασφαλτοστρωμένοι δρόμοι που συνδέουν μεγάλα αστικά κέντρα και μικρές κοινότητες σε όλη την έκταση της ηπείρου (ΕΑΡΑ, 2010).

Παρά το γεγονός ότι η άσφαλτος χρησιμοποιείται κυρίως για την ασφαλτόστρωση οδών, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και να εφαρμοσθεί για διάφορους άλλους σκοπούς. Μεταξύ των άλλων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στους ακόλουθους τομείς (ΕΑΡΑ, 2010):

- Μεταφορές (πχ. δρόμοι, σήραγγες, υποστρώματα σιδηροδρομικών γραμμών ή διαδρόμων αεροδρομίων, διάδρομοι τροχοδρόμησης, κλπ),
- Αναψυχή (παιδικές χαρές, ποδηλατοδρόμοι, δρόμοι για τρέξιμο, γήπεδα τένις, κλπ),
- Γεωργία (δάπεδα στάβλων, δάπεδα θερμοκηπίων, κλπ.),
- Βιομηχανία (λιμάνια, καταλύματα υγειονομικής ταφής, χώροι εργασίας, κλπ.),
- Κατασκευή κτιρίων (δάπεδα, κλπ.).

Καθώς, όμως, το 70% των εφαρμογών της, αφορά στο οδικό δίκτυο, περαιτέρω ανάλυση θα επικεντρωθεί σε αυτόν τον τομέα. Οι δρόμοι χρειάζονται και πρέπει να συντηρηθούν. Το βασικό καθήκον των κρατικών αρχών, που ευθύνονται για την τεχνική και οικονομική αξιολόγηση των μεθόδων συντήρησης οδοστρωμάτων υποδομές, είναι να αναπτύξουν και να διατηρήσουν ένα οδικό δίκτυο που να παρέχει απρόσκοπτη και ασφαλή διέλευση σε όλες τις καιρικές συνθήκες. Οι δρόμοι υποστηρίζουν την ευημερία, την παραγωγικότητα και την ανταγωνιστικότητα των κοινοτήτων και των εμπορικών δραστηριοτήτων συμβάλλοντας στην οικονομική, κοινωνική και πολιτισμική ανάπτυξη. Ταυτόχρονα, αποτελούν έργα με μεγάλο κόστος, τόσο κατασκευαστικό όσο και περιβαλλοντικό, γεγονός που καθορίζει την σημαντικότητα της διατήρησής τους (ΕΑΡΑ, 2010).



Εικόνα 1.1: Έργα επιδιορθωτικής συντήρησης αστικών οδοστρωμάτων

1.3 ΟΔΟΣΤΡΩΜΑ

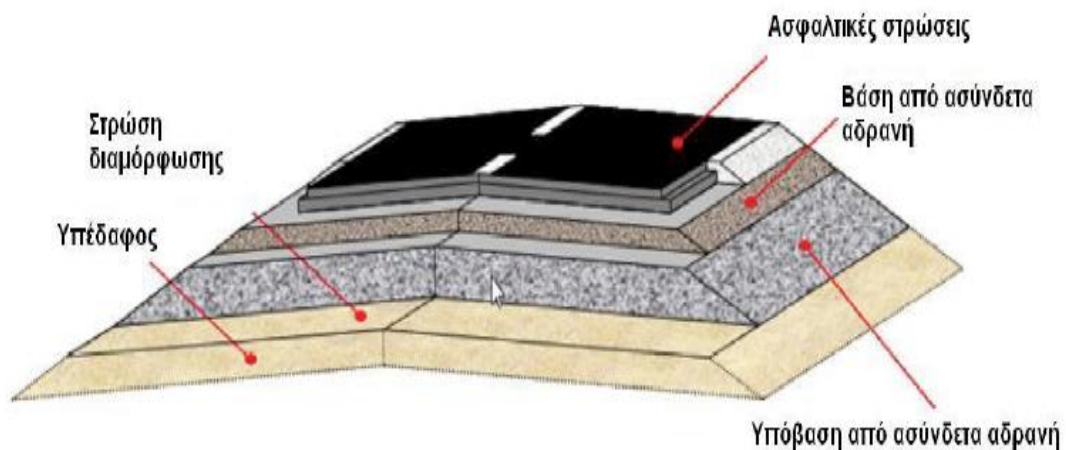
Οδόστρωμα είναι το κομμάτι μιας οδού, το οποίο κατασκευάζεται για την κυκλοφορία των οχημάτων και εξαρτάται από τον κυκλοφοριακό φόρτο, το κόστος κατασκευής, το κόστος συντήρησης και τη δυνατότητα εξεύρεσης υλικών. Ακόμη, το οδόστρωμα αποτελεί ένα από τα κύρια πάγια περιουσιακά στοιχεία των φορέων διαχείρισης ενός αυτοκινητοδρόμου, με το κόστος της συντήρησης του οδοστρώματος να ανέρχεται στο 50% του συνολικού κόστους συντήρησής του.

1.3.1 Ορισμός οδοστρώματος

Ως οδόστρωμα ορίζεται το σύνολο των επάλληλων στρώσεων που είναι τοποθετημένες πάνω από το φυσικό έδαφος για τη δημιουργία της οδού. Αποτελεί μία σύνθετη κατασκευή που έχει να επιτελέσει διάφορες λειτουργίες οι οποίες είναι ανόμοιες μεταξύ τους. Τα οδοστρώματα κατασκευάζονται επειδή το φυσικό έδαφος, στη μορφή που βρίσκεται, δεν είναι ικανό να φέρει τις προερχόμενες από την κυκλοφορία καταπονήσεις και δεν έχει την απαιτούμενη λεία επιφάνεια για την ομαλή κίνηση των τροχών πάνω σε αυτό.

1.3.2 Δομή οδοστρώματος

Οδοστρώμα ονομάζεται το τμήμα της υποδομής της οδού, το οποίο κατασκευάζεται για να χρησιμοποιηθεί από τα οχήματα κυκλοφορίας και να διανέμει τα φορτία κυκλοφορίας πριν φτάσουν στο έδαφος. Μια τυπική διατομή οδοστρώματος, όπως φαίνεται και στην *Εικόνα 1.3* που ακολουθεί, ξεκινώντας από τις κατώτερες στρώσεις αποτελείται από το υπέδαφος και την διαμορφωμένη του στρώση, την στρώση υπόβασης, βάση και τις ασφαλτικές στρώσεις (ΕΑΡΑ, 2010).



Εικόνα 1.2: Διατομή τυπικού οδοστρώματος (Πηγή: ΕΑΡΑ, 2010)

Υπέδαφος

Τα χαρακτηριστικά και η κατάσταση του υπεδάφους καθορίζουν την ποιότητα και την μακροζωία του οδοστρώματος. Γι' αυτό πριν τον σχεδιασμό ενός οδοστρώματος είναι απαραίτητη η γεωλογική έρευνα, ο εργαστηριακός έλεγχος και η μελέτη του εδάφους, ώστε να αναγνωριστούν τα χαρακτηριστικά και η κατάστασή του. Από τα συμπεράσματα αυτά λαμβάνεται η απόφαση του βέλτιστου σχεδιασμού, δηλαδή του τρόπου δημιουργίας της στρώσης διαμόρφωσης του φυσικού εδάφους έδρασης του οδοστρώματος. Σε κάποιες περιπτώσεις που το έδαφος δεν έχει τα κατάλληλα χαρακτηριστικά, ενδείκνυται η χρησιμοποίηση πρόσθετων υλικών, τα οποία μετά από ιδιαίτερη επεξεργασία το βελτιώνουν και το σταθεροποιούν (ΕΑΡΑ, 2010).

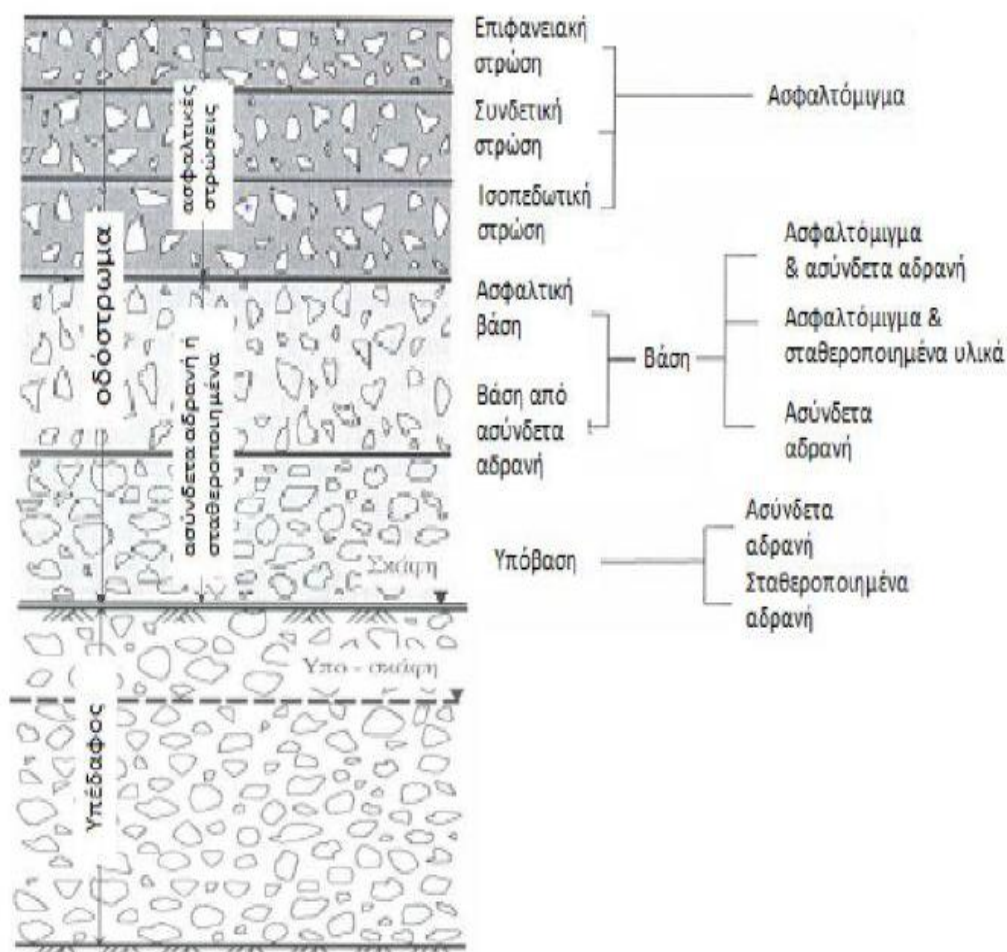
Υπόβαση

Οι στρώσεις που κατασκευάζονται πάνω από την διαμορφωμένη στρώση του υπεδάφους ονομάζονται στρώσεις υπόβασης. Σε αυτές χρησιμοποιούνται θραυστά υλικά ικανοποιητικής αντοχής, τα χαρακτηριστικά των οποίων δεν είναι απαραίτητο να έχουν τόσο υψηλές απαιτήσεις όσο τα υλικά των βάσεων. Σκοπός των στρώσεων υπόβασης είναι η κατασκευή ενός οδοστρώματος

διατομής μεγάλου πάχους με σχετικά χαμηλό κόστος, καθώς επίσης και η διανομή των φορτίων κυκλοφορίας που λαμβάνει από την υπερκείμενη στρώση βάσης πριν μεταβιβαστούν στο έδαφος (ΕΑΡΑ, 2010).

Βάση

Οι στρώσεις βάσης κατασκευάζονται, όπως φαίνεται και στην *Εικόνα 1.4*, μεταξύ των στρώσεων υπόβασης και των ασφαλτικών στρώσεων. Όπως και στις στρώσεις υπόβασης, για την κατασκευή τους χρησιμοποιούνται θραυστά αμμοχάλικα, μικρότερης κοκκομετρικής διαβάθμισης και υψηλότερων απαιτήσεων ποιότητας, προκειμένου να αντέχουν στις μεγαλύτερες καταπονήσεις, να διανέμουν αποτελεσματικά και να μεταβιβάζουν τα κυκλοφοριακά και περιβαλλοντικά φορτία με τέτοιο τρόπο ώστε οι υποκείμενες ασυμπύκνωτες στρώσεις να μην εκτίθενται σε υπερβολικές καταπονήσεις και πιέσεις. Αυτό συχνά συνεπάγεται τη συγκριτικά υψηλή ακαμψία των στρώσεων βάσης. Επίσης, οι στρώσεις βάσης θα πρέπει να έχουν επαρκή αντοχή σε κόπωση (ΕΑΡΑ, 2010).

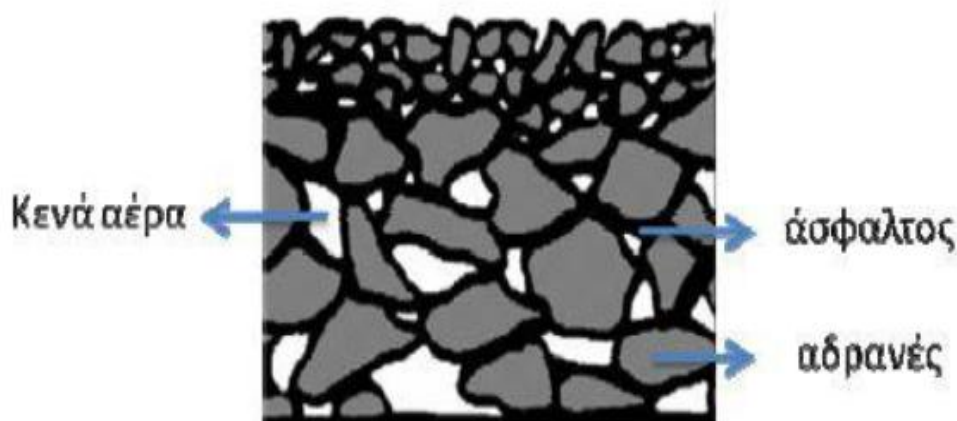


Εικόνα 1.3: Επιμέρους στρώσεις διατομής τυπικού οδοστρώματος

Ασφαλτικές στρώσεις

Στις ασφαλτικές στρώσεις ενός οδοστρώματος περιλαμβάνονται, γενικά, η ασφαλτική βάση (base course), η ισοπεδωτική στρώση, η συνδετική στρώση (binder course) και η επιφανειακή στρώση (surface course), η οποία απαιτείται να είναι αντιολισθηρή σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές των έργων οδοστρωσίας *Εικόνα 1.4* (ΕΑΡΑ, 2010).

Η ασφαλτική στρώση αποτελεί το ανώτερο στρώμα του οδοστρώματος και πρέπει να αντέχει στον υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο και περιβαλλοντικό που προκαλείται από τις τάσεις χωρίς να εμφανίζει μη ικανοποιητικές ρηγματώσεις και αυλακώσεις, προκειμένου να παρέχει άνεση στον χρήστη και συγχρόνως να εξασφαλίζει επαρκή αντίσταση έναντι ολίσθησης. Ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά, όπως η αντίσταση σε ολίσθηση, η μείωση του θορύβου και η ανθεκτικότητα (durability), καθορίζονται οι απαιτήσεις για τις ασφαλτικές στρώσεις. Σε μερικές περιπτώσεις, η ταχεία αποστράγγιση των επιφανειακών υδάτων είναι επιθυμητή, ενώ σε άλλες περιπτώσεις, η επιφανειακή στρώση (wearing course) πρέπει να είναι αδιαπέρατη, προκειμένου να κρατήσει το νερό έξω από τη δομή του οδοστρώματος. Ένα ευρύ φάσμα προϊόντων επιφανειακών στρώσεων (ασφαλτικών στρώσεων) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανάλογα με τις συγκεκριμένες απαιτήσεις κάθε περίπτωσης. Συνεπώς, ανάλογα με την στρώση για την οποία προορίζεται, τις ιδιότητες και απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιεί, κάθε ασφαλτόμικμα διαθέτει διαφορετική σύνθεση. Τα βασικά συστατικά του μέρη, ωστόσο, είναι η άσφαλτος και τα αδρανή υλικά, μεταξύ των οποίων δημιουργούνται και κενά αέρα *Εικόνα 1.5*. Προκειμένου να συνδεθούν τα αδρανή σε ένα συνεκτικό μίγμα χρησιμοποιείται ως συνδετικό υλικό η άσφαλτος (ΕΑΡΑ, 2010).



Εικόνα 1.4: Βασικά συστατικά ασφαλτομίγματος

1.4 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός μοντέλου βελτιστοποίησης της κατανομής των πόρων για τη επιδιόρθωση και την συντήρηση και την αναβάθμιση των οδοστρωμάτων μιας αστικής περιοχής. Για τον λόγο αυτό αναπτύσσεται μαθηματικό μοντέλο βελτιστοποίησης με εφαρμογή στον επιστημονικό κλάδο της επιχειρησιακής έρευνας και βελτιστοποίησης για μηχανικούς. Πιο συγκεκριμένα βασίζεται στο πρόβλημα του ακέрайου προγραμματισμού της μορφής «0-1». Θέτοντας ως βασικό άξονα και περιορισμούς τον ελάχιστο διατιθέμενο προϋπολογισμό και την επιτρεπτή κατάσταση του οδοστρώματος, θα καταβληθεί η προσπάθεια δημιουργίας ενός μοντέλου βέλτιστης συντήρησης και αναβάθμισης αστικού οδικού τμήματος.

Έπειτα από εκτενή συλλογή και δημιουργία στοιχείων τα οποία θα παρουσιαστούν παρακάτω και αφορούν στον κυκλοφοριακό φόρτο, την κατάσταση του οδοστρώματος και τα γεωμετρικά στοιχεία αυτών, όπως πλάτος, μήκος, ποσοστό του μήκους του οδοστρώματος με βλάβη, κτλ.

1.5 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Αρχικά καθορίστηκε το αντικείμενο εξέτασης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς και ο επιδιωκόμενος στόχος. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ευρεία βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με το πρόβλημα του προγραμματισμού εργασιών συντήρησης στα οδοστρώματα. Στη συνέχεια, συλλέχθηκαν τα απαραίτητα στοιχεία και καταχωρήθηκαν σε αρχείο Excel.

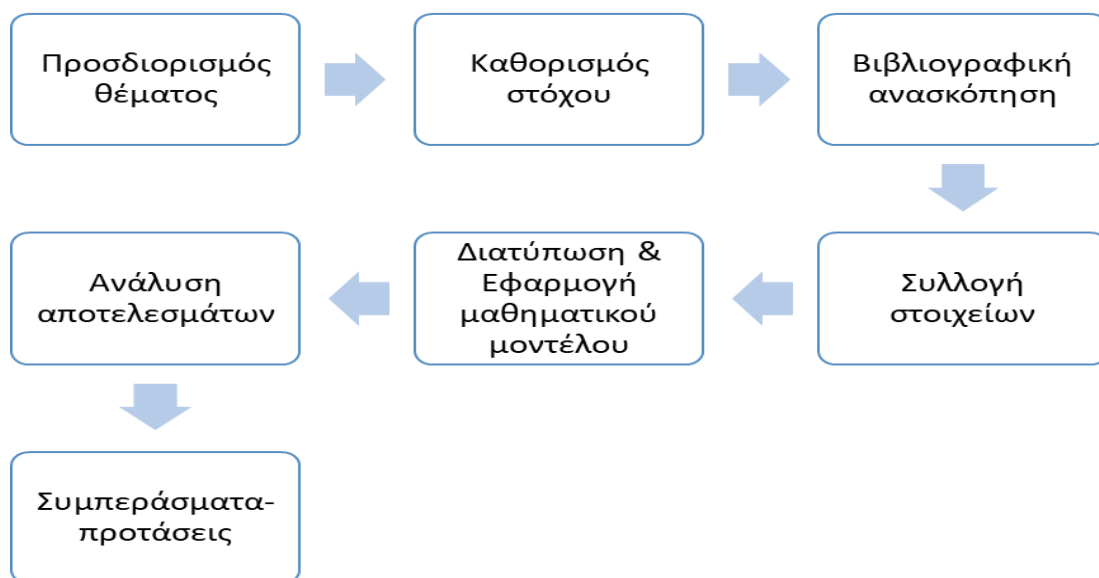
Η ανάπτυξη του μοντέλου βασίστηκε σε ένα σύνολο ποσοτικών σχέσεων που εκφράζουν τους στόχους του προβλήματος και τους περιορισμούς του περιβάλλοντος και συγκεκριμένα στον ακέрайο προγραμματισμό της μορφής «0-1». Η συγκεκριμένη μορφή μπορεί να συσχετισθεί με τη διαδικασία λήψης αποφάσεων όπου οι εναλλακτικές επιλογές είναι της μορφής «ΝΑΙ-ΟΧΙ», δηλαδή αν θα πραγματοποιηθεί ή όχι μια ενέργεια με σκοπό το βέλτιστο αποτέλεσμα.

Η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος περιλαμβάνει, αρχικά, τον προσδιορισμό των μεταβλητών του, όπου σε προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού ποσοτικοποιούμε τις αποφάσεις που πρόκειται να ληφθούν, γι' αυτό ονομάζονται μεταβλητές απόφασης. Οι τιμές αυτών των μεταβλητών χρειάζονται να προσδιοριστούν με τέτοιο τρόπο, ώστε η

αντικειμενική συνάρτηση, στην περίπτωση του παρόντος προβλήματος, να ελαχιστοποιηθεί, δεδομένων κάποιων γνωστών περιορισμών.

Μετά την ανάπτυξη και εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου, παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματά του. Τέλος, προέκυψαν τα συμπεράσματα από την ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Στο παρακάτω *Σχήμα 1.1*, παρουσιάζονται, υπό μορφή διαγράμματος ροής, τα διαδοχικά στάδια που ακολουθήθηκαν κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.



Σχήμα 1.1: Στάδια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας

1.6 ΔΟΜΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

Στο κεφάλαιο 1 προσδιορίζεται το θέμα της διπλωματικής εργασίας και καθορίζεται ο στόχος της. Έπειτα από μία γενική ανασκόπηση της αναγκαιότητας των οδοστρωμάτων επισημαίνεται η σπουδαιότητα των συστημάτων υποδομών με στόχο τη διασφάλιση της ομαλής λειτουργίας, συντήρησης και αναβάθμισης τους και καταγράφεται με μεγαλύτερη σαφήνεια ο στόχος εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Παρατίθεται περιγραφή της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

Γίνεται αναφορά στη συντήρηση ως μία από τις βασικότερες ανάγκες για την ομαλή λειτουργία του οδικού δικτύου και αναλύονται οι κύριες αρχές που διέπουν το σύστημα συντήρησης του οδοστρώματος σε αστική περιοχή, καθώς και οι εργασίες συντήρησης που υλοποιούνται στα οδοστρώματα. Μέσα από την περιγραφή της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε και τη δομή της διπλωματικής εργασίας, επιδιώκεται η πλήρης κατανόηση του αντικειμένου της, καθώς και ο τρόπος που αυτό θα προσεγγιστεί.

Το κεφάλαιο 2 περιλαμβάνει την παρουσίαση και την ανασκόπηση των αποτελεσμάτων από έρευνες συναφείς με το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας, καθώς και των μεθοδολογιών που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα για την αντιμετώπιση παρόμοιων προβλημάτων. Με αυτό τον τρόπο γίνεται μια προσπάθεια συγκριτικής αξιολόγησης, ώστε να διαπιστωθεί αν και ποιες από αυτές μπορούν να συνδράμουν στην επίλυση του προβλήματος.

Στο κεφάλαιο 3 προσδιορίζεται το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο βασιστήκαμε και αναλύεται εις βάθος για την πλήρη αποσαφήνιση η επιλεγείσα μεθοδολογία καθώς και οι προϋποθέσεις εφαρμογής της. Γίνεται ακόμα η διατύπωση του μοντέλου της αντικειμενικής συνάρτησης και των περιορισμών του.

Στο κεφάλαιο 4 περιγράφεται αναλυτικά η εφαρμογή του μοντέλου που διαμορφώθηκε για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Αρχικά, γίνεται αναφορά στα απαραίτητα δεδομένα που συλλέχθηκαν για την μαθηματική του διατύπωση κι έπειτα παρουσιάζεται η αναλυτική περιγραφή του μοντέλου και των βημάτων που ακολουθήθηκαν για την υλοποίηση στο κατάλληλο λογισμικό. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα διάφορα σενάρια του μοντέλου παρατίθενται στο εν λόγω κεφάλαιο.

Στο κεφάλαιο 5 περιέχονται τα συνολικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας και διατυπώνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα ή επιπλέον διερεύνηση, προσθήκη ή αλλαγή μεταβλητών και παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν.

Τέλος, παρατίθεται κατάλογος βιβλιογραφικών αναφορών, οι οποίες σχετίζονται με παρεμφερείς έρευνες που χρησιμοποιήθηκαν στη βιβλιογραφική ανασκόπηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο δεύτερο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα παρουσιαστεί η βιβλιογραφική ανασκόπηση από διάφορες έρευνες που έχουν γίνει στο πέρασμα των ετών, σχετικές με το θέμα μελέτης της παρούσας εργασία.

2.2 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Οι **Gao et al.** (2012) ανέλυσαν μεθόδους για τη συντήρηση και την αποκατάσταση του οδοστρώματος, με προγραμματισμό για τη βέλτιστη βελτίωση των επιδόσεων και την καλύτερη αξιοποίηση του προϋπολογισμού. Συγκεκριμένα η εργασία τους περιγράφει πόσο αποτελεσματική είναι στην επίλυση ενός προβλήματος πλήρως αμφίβολης συντήρησης και αποκατάστασης-προγραμματισμού του οδοστρώματος, το οποίο στοχεύει στη βελτιστοποίηση δύο στόχων: την βελτίωση της κατάστασης του οδοστρώματος και την ταυτόχρονη μείωση του προϋπολογισμού. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπιστεί με τη μέθοδο στάθμισης, τη μέθοδο περιορισμού, τη μέθοδο κατάταξης και διάφορες μεθόδους μεταχείρισεως. Ωστόσο, καμία από αυτές τις μεθόδους δεν μπορεί να εγγυηθεί την πλήρη λύση Pareto, την βέλτιστη λύση, η οποία θα μπορούσε ενδεχομένως να οδηγήσει σε άριστες αποφάσεις. Προτείνεται μια παραμετρική μέθοδος για την επίλυση του ζητήματος της συντήρησης και αποκατάστασης-προγραμματισμού των δύο αντικειμένων του οδοστρώματος. Η αποτελεσματικότητα της παραμετρικής μεθόδου διερευνάται και καταδεικνύεται μέσω μελέτης περιπτώσεων που χρησιμοποιεί το σύνολο δεδομένων πραγματικού κόσμου από το Σύστημα Πληροφοριών Διαχείρισης οδοστρωμάτων του Ντάλας. Μια σύγκριση επιδόσεων μεταξύ της ευρέως χρησιμοποιούμενης μεθόδου στάθμισης και της παραμετρικής μεθόδου, που δικαιολογεί σαφώς τα υπολογιστικά πλεονεκτήματα της παραμετρικής μεθόδου.

Ο **Sarsam** (2016) μελέτησε το σύστημα διαχείρισης και συντήρησης ενός οδοστρώματος. Το σύστημα διαχείρισης συντήρησης (PMMS: Σύστημα Διαχείρισης και Συντήρησης Οδοστρώματος) είναι μια συστηματική μέθοδος για έλεγχο και εκτίμηση της κατάστασης του οδοστρώματος σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Το σύστημα εκτελεί επίσης μια ανάλυση κόστους-αποτελεσματικότητας των διαφόρων στρατηγικών συντήρησης και αποκατάστασης. Τέλος, το σύστημα δίνει προτεραιότητα και προτείνει την αποκατάσταση και τη συντήρηση του οδοστρώματος για να μεγιστοποιήσει τα αποτελέσματα μέσα σε ένα συγκεκριμένο ποσό του προϋπολογισμού. Το σύστημα τονίζει επίσης την οικονομική χρήση όπως, του προσωπικού, του εξοπλισμού και των υλικών. Το σύστημα εφαρμόζει οπτικό ή αυτοματοποιημένο έλεγχο του τομέα και βαθμολογεί το κάθε τμήμα του δρόμου, τα οποία στη συνέχεια τέθηκαν σε μια βάση δεδομένων. Οι πληροφορίες αναλύθηκαν χρησιμοποιώντας ένα λογισμικό που παρέχει στοιχεία που προβάλλει τις μελλοντικές συνθήκες. Το σύστημα διαχείρισης οδοστρώματος δημιουργεί μια καμπύλη φθοράς για κάθε τμήμα με βάση τα στοιχεία, στη συνέχεια αναθέτει την πιο αποδοτική στρατηγική επισκευής με βάση: την κατάσταση, τον τύπο της επιφάνειας, τη λειτουργική ταξινόμηση και το διαθέσιμο προϋπολογισμό. Η εργασία αυτή ερευνά σε βάθος την PMMS (Σύστημα Διαχείρισης και Συντήρησης Οδοστρώματος) και τις δυνατότητές της ώστε να βοηθήσει στην εφαρμογή της σωστής μεθόδου επισκευής του οδοστρώματος, την κατάλληλη στιγμή, ώστε η αναμενόμενη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος να έχει επεκταθεί όσο το δυνατόν περισσότερο με αποδεκτό κόστος.

Οι **Lukas** και **Borrman** (2013) εξετάζουν το πρόβλημα που δημιουργείται στην κυκλοφοριακή ροή των οχημάτων όταν συντηρείται το οδόστρωμα. Στόχος τους είναι η βελτιστοποίηση του προβλήματος ελαχιστοποιώντας τις επιπτώσεις των έργων συντήρησης λαμβάνοντας υπόψη την αμοιβαία αλληλεπίδραση μεταξύ του κλεισίματος των διάφορων τμημάτων του δρόμου. Προκειμένου να βρουν λύση χρησιμοποιούν δύο διαφορετικές αναπαραστάσεις για γενετικούς αλγορίθμους και δύο διαφορετικά είδη αλγορίθμων αποικίας μυρμηγκιών ώστε να δημιουργήσουν ένα χρονοδιάγραμμα συντήρησης για ένα συγκεκριμένο αριθμό ετών στο μέλλον. Τα χρονοδιαγράμματα αυτά αξιολογούνται ώστε να αποφασιστεί ο χρόνος ταξιδιού του οχήματος όταν η χωρητικότητα του οδικού δικτύου μειώνεται εξαιτίας των έργων συντήρησης. Καθώς η ζήτηση της κυκλοφορίας και η χρονική κατανομή είναι ίδια, είτε στο διαταραγμένο είτε στο αδιατάρακτο δίκτυο, ο συνολικός αριθμός των ωρών των οχημάτων στο οδικό δίκτυο κατά την ώρα αιχμής αποτελεί ένα καλό μέτρο για τον αντίκτυπο που έχουν τα έργα

συντήρησης. Στόχος της βελτιστοποίησης είναι η μείωση αυτού του αριθμού για τον πιο κρίσιμο χρόνο του χρονοδιαγράμματος

Οι **Elhadidy et al.** (2013) εξετάζουν ένα πολυκριτηριακό πρόβλημα βελτιστοποίησης της συντήρησης των οδοστρωμάτων και των στρατηγικών αποκατάστασης σε επίπεδο οδικού δικτύου. Το μοντέλο βελτιστοποίησης εξετάζει δύο αντικείμενα: το ελάχιστο κόστος συντήρησης και τη βέλτιστη κατάσταση οδοστρώματος. Στην προτεινόμενη προσέγγιση, τα μοντέλα Markov χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της απόδοσης του οδοστρώματος και για τον υπολογισμό της αναμενόμενης επιδείνωσης σε διάφορες χρονικές περιόδους. Προκειμένου να επιλυθεί αυτό το πρόβλημα αναπτύσσεται ένας γενετικός αλγόριθμος. Το μοντέλο αναζητεί τις βέλτιστες δράσεις συντήρησης σε επαρκή χρόνο για να εφαρμοστούν στο κατάλληλο οδόστρωμα. Βασιζόμενο στα υπολογιστικά αποτελέσματα, προκύπτουν οι βέλτιστες Pareto λύσεις. Από αυτές τις βέλτιστες λύσεις που αντιπροσωπεύονται από το κόστος και την κατάσταση, αυτός που λαμβάνει τις αποφάσεις μπορεί εύκολα να αποκτήσει τις πληροφορίες για τη συντήρηση και την αποκατάσταση που θα έχουν το ελάχιστο κόστος και θα προσφέρουν την καλύτερη κατάσταση.

Οι **Abaza και Ashur** (2004) εφάρμοσαν ένα μοντέλο Markov για να προβλέψουν τη μελλοντική κατάσταση του οδοστρώματος και ανέπτυξαν μία μη γραμμική μέθοδο βελτιστοποίησης ώστε να επιτύχουν τη βέλτιστη κατάσταση οδοστρώματος με βάση και με τους περιορισμούς του προϋπολογισμού. Το μοντέλο Markov που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από τρία κύρια στοιχεία. Τα συγκεκριμένα στοιχεία είναι οι πέντε δείκτες κατάστασης οι οποίες αντιπροσωπεύουν την τέλεια, την καλή, τη μέτρια, τη πτωχή και την κακή κατάσταση αντίστοιχα, οι πιθανότητες χειροτέρευσης P_{ij} οι οποίες αντιπροσωπεύουν την πιθανότητα που έχει το οδόστρωμα να χειροτερεύσει από την κατάσταση i στην κατάσταση j σε ένα μεμονωμένο χρονικό διάστημα και τέλος οι πιθανότητες συντήρησης f_{ij} , οι οποίες αντιπροσωπεύουν την πιθανότητα που έχει ένα οδόστρωμα να βελτιωθεί από την κατάσταση i στην κατάσταση j σε ένα μεμονωμένο χρονικό διάστημα ως αποτέλεσμα των ενεργειών συντήρησης. Βασική επιδίωξη των Abaza και Ashur ήταν να καθορισθεί το βέλτιστο μελλοντικό πρόγραμμα συντήρησης και βελτιστοποίησης, το οποίο και θα εφαρμοστεί. Το προτεινόμενο μοντέλο ήταν σε θέση να παρέχει το ποσό επένδυσης που απαιτήθηκε για κάθε στρατηγική συντήρησης και αποκατάστασης έτσι ώστε να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

2.3 ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΟΡΩΝ

Οι **Fwa et al.** (1998) παρουσιάζουν ένα θεωρητικό σύστημα διαχείρισης οδοστρωμάτων, όπου εφαρμόζοντας γενετικούς αλγορίθμους αναζητούν την εύρεση της βέλτιστης τεχνικής για τη συντήρηση του οδοστρώματος. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αφορούσαν την κατάσταση του οδικού δικτύου, τις φθορές, τα κυκλοφοριακά δεδομένα, τις εναλλακτικές παρεμβάσεις συντήρησης και τους διατιθέμενους πόρους (ανθρώπινο δυναμικό, χρήματα). Εξετάστηκαν τρεις διαφορετικές περιπτώσεις, και ανάλογα με το πρόβλημα που εξετάζεται κάθε φορά, οι χρήστες αλλάζουν τις παραμέτρους της συνάρτησης βελτιστοποίησης και δίνουν βαρύτητα στους εκάστοτε περιορισμούς, με τα αποτελέσματα να υποδεικνύουν ποιο είδος συντήρησης και σε ποιο οδικό τμήμα θα εφαρμοστεί.

Οι **Fwa et al.** (2000) μελέτησαν την περιφερειακή βελτιστοποίηση για την εγκατάσταση και τον προγραμματισμό συντήρησης. Όπου ο προγραμματισμός και η σχεδίαση της συντήρησης του οδοστρώματος απαιτεί ανάλυση και βελτιστοποίηση που περιλαμβάνει πολλαπλές αντικειμενικές ενέργειες και σκέψεις. Παραδοσιακά, οι τεχνικές βελτιστοποίησης του οδοστρώματος έχουν χρησιμοποιηθεί από ερευνητές και πρακτικοί (επαγγελματίες), λόγω της πολυπλοκότητας που ενέχεται στην ανάλυση πολλαπλών αντικειμένων. Αναπτύσσει μια γενετική μέθοδος βασισμένη στον αλγόριθμο για την επίλυση πολλαπλών αντικειμένων συντήρησης των επιφανειών του δικτύου και προβλήματα προγραμματισμού. Περιλαμβάνει τις έννοιες της βέλτιστης λύσης Pareto και της κατάταξης με βάση την αξιολόγηση της φυσικής κατάστασης, και δύο μεθόδους επιλογής βέλτιστης λύσης. Διαπιστώθηκε ότι τα εύρωστα χαρακτηριστικά αναζήτησης και η ικανότητα διαχείρισης πολλαπλών λύσεων γενετικών αλγορίθμων ήταν πολύ κατάλληλη για βελτιστοποίηση πολλαπλών αντικειμένων. Η διατύπωση και η ανάπτυξη της λύσης του αλγορίθμου περιγράφηκαν και καταδείχθηκαν με ένα αριθμητικό παράδειγμα προβλήματος στο οποίο μια υποθετική ανάλυση δικτύου προγραμματισμού συντήρησης οδοστρώματος πραγματοποιήθηκε για βελτιστοποίηση δύο και τριών στόχων, αντίστοιχα. Μια σύγκριση μεταξύ των λύσεων των δύο και τριών στόχων για να επισημανθούν κάποιες πρακτικές εκτιμήσεις στην εφαρμογή βελτιστοποίησης πολλαπλών αντικειμένων στη διαχείριση συντήρησης του οδοστρώματος

Ο **Linard** (2000) μελετά ένα σύστημα διαχείρισης οδοστρωμάτων, το οποίο βασίζεται στην τεχνολογία των γενετικών αλγορίθμων και έχει ως στόχο την εύρεση βέλτιστων λύσεων για το ετήσιο κόστος συντήρησης κάθε τμήματος

και τον υπολογισμό της χρονικής διάρκειας μέχρι την επόμενη συντήρηση. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται είναι η κατάσταση του οδοστρώματος, τα κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά, το κόστος συντήρησης και το λειτουργικό κόστος του οχήματος.

Οι **Ferreira et al.** (2002) εισήγαγαν ένα σύστημα που ελαχιστοποιεί το κόστος συντήρησης του οδικού δικτύου και προτείνει την καλύτερη θεραπεία επισκευής του οδοστρώματος. Το σύστημα βασίζεται σε ένα ντετερμινιστικό μοντέλο για την επιδείνωση του οδοστρώματος. Επιπλέον, το σύστημα χρησιμοποιεί ένα γενετικό αλγόριθμο και εξάγει τα αποτελέσματα σε ένα σύστημα πληροφοριών και σε χάρτη με γεωγραφική απεικόνιση του μοντέλου. Σε αυτό το σύστημα, μόνο το κόστος υπολογίζεται και δεδομένου ότι η γλώσσα προγραμματισμού και ο σχεδιασμός του συστήματος είναι αρκετά ξεπερασμένη, το σύστημα χρειάζεται αρκετό χρόνο για να καθορίσει τη βέλτιστη λύση. Οι **Morcous και Loupis** (2005) επεκτείνουν την έρευνα της **Ferreira** με τη χρήση πιθανοτικών μοντέλων για την επιδείνωση οδοστρώματος και με την εφαρμογή του συστήματος σε οδοστρώματα γεφυρών.

Οι **Herabat και Tangphaisankun** (2005) χρησιμοποιούν γραμμικά μοντέλα φθοράς βασιζόμενα στους δείκτες κατάστασης οδοστρωμάτων. Πιο συγκεκριμένα, στην πρώτη έρευνα χρησιμοποιείται ο δείκτης IRI (International Roughness Index), αφού το μοντέλο θεωρεί ότι η καταπόνηση του οδοστρώματος οφείλεται αποκλειστικά σε κυκλοφοριακούς παράγοντες. Με την χρήση πέντε διαφορετικών τύπων συντήρησης επιδιώκεται η εύρεση του βέλτιστου τύπου, ο οποίος θα ελαχιστοποιεί, παράλληλα, το κόστος του χρήστη εξαιτίας της χρήσης του οχήματος. Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, φαίνεται ότι οι γενετικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται ευρέως σε PMMS (Σύστημα Διαχείρισης και Συντήρησης Οδοστρώματος), για να προσδιοριστεί η λύση συντήρησης που ελαχιστοποιεί το κόστος. Λίγα συστήματα έχουν ασχοληθεί με το κόστος χρήσης και αυτά έχουν εξετάσει κυρίως το κόστος λειτουργίας του οχήματος. Στην εργασία αυτή το μοντέλο προγραμματισμού έχει αναπτυχθεί και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους ιθύνοντες για τον καθορισμό της βέλτιστης λύσης για τη συντήρηση του οδοστρώματος. Το σύστημα (Paveman) βασίζεται σε γενετικούς αλγόριθμους και ελαχιστοποιεί το γενικευμένο κόστος (το κόστος χρήσης και περιβαλλοντικό κόστος), ενώ τηρείται η προϋπόθεση η κατάσταση του οδοστρώματος να είναι σε υψηλά επίπεδα. Τέλος, το πρόγραμμα, σε αντίθεση με προηγούμενες προσπάθειες, έχει έναν μεγάλο αριθμό των στρατηγικών συντήρησης και υλοποιείται σε μια νέα γλώσσα προγραμματισμού,

χρησιμοποιώντας τις πιο σύγχρονες τεχνολογίες, ως εκ τούτου, οδηγεί στην επίτευξη καλύτερων υπολογιστικών αποτελεσμάτων.

2.4 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Οι **Chikezie et al.** (2013) παρουσίασαν σε επίπεδο έργου συντήρησης οδοστρώματος τον προγραμματισμό αποκατάστασης των προβλημάτων, όπου το ενδιαφέρον επικεντρώνεται κυρίως στην επιλογή της μεθόδου επισκευής (π.χ. 0: καμία δράση, 1: ρωγμή σφράγιση, 2: επιδιόρθωση λακκούβας και 3: αποκατάσταση για ένα επιλεγμένο δρόμο). Σε αυτήν την περίπτωση, οι λεπτομέρειες σχετικά με τη συγγραφή της μεθόδου επισκευής, του κόστους, και την αναμενόμενη βελτίωση. Κατά τη διάρκεια του έτους υπήρξαν επιτυχείς εφαρμογές και εφαρμογές πολλαπλού στόχου με προβλήματα βελτιστοποίησης με χρήση γενετικών αλγορίθμων.

Οι **Morcous και Lounis** (2005) στηριζόμενοι στην μελέτη των Ferreira et al. (2002) κατασκευάζουν ένα μοντέλο διαχείρισης οδοστρωμάτων, το οποίο χρησιμοποιεί γενετικούς αλγορίθμους και πιθανοτικά μοντέλα φθοράς Markov με στόχο την ελαχιστοποίηση του κόστους συντήρησης. Η εφαρμογή του γίνεται σε οδοστρώματα γεφυρών από σκυρόδεμα με ασφαλική στρώση οδοστρώματος και στα δεδομένα, εκτός από την κατάσταση του οδοστρώματος, συγκαταλέγονται αρκετές περιβαλλοντικές παράμετροι.

Οι **Bosurgi και Trifiro** (2005) πρότειναν την βελτιστοποίηση του προγραμματισμού εργασιών στην επιφάνεια των εύκαμπτων οδοστρωμάτων. Το πρόβλημα βελτιστοποίησης του προγραμματισμού επιλύθηκε με χρήση γενετικού αλγορίθμου με βάση δύο δείκτες, που αναφέρονται αντίστοιχα στην πλάγια δύναμη του οδοστρώματος για την πρόβλεψη ατυχημάτων. Έτσι έχουν αναπτύξει ένα μοντέλο προγραμματισμού συντήρησης που βασίζεται σε γενετικούς αλγόριθμους και ερευνά την καλύτερη λύση για τη συντήρηση του οδοστρώματος με βάση τον προϋπολογισμό. Τα μοντέλα απόδοσης οδοστρώματος είναι γραμμικά που βασίζονται στο σημερινό δείκτη λειτουργικότητας (PSI). Το σύστημα δέχεται περιορισμένο αριθμό εναλλακτικών εργασιών αποκατάστασης και δεν υπολογίζει το συνολικό κόστος χρήσης.

Οι **Yang** και **Chang** (2009) δημιούργησαν έναν εξελικτικό αλγόριθμο βελτιστοποίησης πολλαπλών-στόχων που αποσκοπεί στη μείωση του συνολικού κόστους. Η απόφαση για τα μεταβαλλόμενα μοντέλα Markov λαμβάνει υπόψη, τη διαδικασία φθοράς, τις εργασίες συντήρησης που προτείνονται, και την πρόβλεψη της διαθεσιμότητας των επιμέρους τμημάτων.

Οι **Deshpande** και **Damnjanovic** (2010) πρότειναν μοντέλα βελτιστοποίησης για τον προγραμματισμό αποκατάστασης για εύκαμπτα οδοστρώματα. Τα τρία μοντέλα που παρουσιάζονται, ελαχιστοποιούν το κόστος όπου η αξιοπιστία του στόχου έχει οριστεί ως περιορισμός, ενώ μεγιστοποιούν την αξιοπιστία του κύκλου ζωής, όπου ο προϋπολογισμός έχει οριστεί ως περιορισμός.

Οι **Gao et al.** (2012) ασχολήθηκαν με το πρόβλημα του προγραμματισμού εργασιών συντήρησης. Το μοντέλο που δημιούργησαν αποσκοπεί στη ταυτόχρονη βελτιστοποίηση της κατάστασης του οδοστρώματος και της αξιοποίησης του προϋπολογισμού. Μια παραμετρική μέθοδος προτείνεται για την επίλυση του προβλήματος της συντήρησης οδοστρώματος και της αποκατάστασης-προγραμματισμού.

Οι **Marcouk et al.** (2004) παρουσιάζουν τις εξελίξεις που σημειώθηκαν σε ένα στοχαστικό μοντέλο πρόβλεψης και απόδοσης. Το μοντέλο βελτιστοποίησης έχει ως δύο βασικά μέρη ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης οδοστρωμάτων. Το μοντέλο Markov χρησιμοποιείται για να προβλέψει την κατάσταση του οδοστρώματος με τη χρήση του δείκτη κατάστασης (PCI). Η τεχνική γενετικού αλγορίθμου χρησιμοποιείται για την κατασκευή του μοντέλου βελτιστοποίησης. Τρεις στόχοι λειτουργίας έχουν κατασκευαστεί για την ελαχιστοποίηση του προϋπολογισθέντος κόστους συντήρησης, μεγιστοποιώντας την ποιότητα των εργασιών που εκτελούνται και το συνολικό ποσοστό της περιοχής του δικτύου που θα είναι υπό συντήρηση και αποκατάσταση. Παρουσίασαν επίσης έξι τύπους προγραμμάτων συντήρησης και αποκατάστασης για την επίτευξη αυτών των στόχων.

Οι **Chootinan et al.** (2005) πρότειναν ένα πρόγραμμα πολυετούς συντήρησης οδοστρωμάτων, χρησιμοποιώντας μια στοχαστική προσομοίωση και προσέγγιση με γενετικό αλγόριθμο. Πιο συγκεκριμένα ο στόχος της εργασίας τους είναι να εισαγάγει μια μεθοδολογία προγραμματισμού

πολυετούς συντήρησης οδοστρώματος που λαμβάνει υπόψη την αβεβαιότητα στην επιδείνωση του οδοστρώματος. Αυτό επιτυγχάνεται με την ανάπτυξη μιας προσέγγισης προσομοίωσης με βάση το γενετικό αλγόριθμο (GA), η οποία είναι ικανή να σχεδιάζει τις δραστηριότητες συντήρησης κατά τη διάρκεια μιας περιόδου προγραμματισμού πολλών ετών. Μια στοχαστική προσομοίωση χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της αβεβαιότητας των μελλοντικών συνθηκών οδοστρώματος, με βάση το κλιμακωμένο μοντέλο επιδείνωσης ενώ ο GA χρησιμοποιείται για να χειριστεί την συνδυαστική φύση του προγραμματισμού συντήρησης οδοστρώματος σε επίπεδο δικτύου. Με βάση τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής, είναι προφανές ότι τα μοντέλα προγραμματισμού συντήρησης οδοστρώματος χρησιμοποιώντας ένα ντετερμινιστικό μοντέλο για την ανάπτυξη του προγράμματος συντήρησης οδοστρώματος υποτιμούν το επίπεδο της φθοράς του οδοστρώματος κατά τα επόμενα έτη. Ένα άμεσο αποτέλεσμα αυτού είναι η υποτίμηση του απαιτούμενου κόστους συντήρησης και η υπερεκτίμηση της αναμενόμενης απόδοσης οδοστρώματος. Με την λογιστική αβεβαιότητα και τη μορφή του σφάλματος πρόβλεψης, σχέδια πολυετούς συντήρησης οδοστρώματος μπορεί να προβλέψουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τις μελλοντικές ανάγκες του δικτύου. Μέσα από την ανάπτυξη του πλαισίου προσομοίωσης-βελτιστοποίησης, τα μοντέλα προγραμματισμού συντήρησης μπορεί να αναπτύξουν προγράμματα πολυετούς συντήρησης οδοστρώματος που μπορεί να λαμβάνουν υπόψη την αβεβαιότητα στη διαδικασία πρόβλεψης.

Οι **Elhadidy et al.** (2014) ανέλυσαν την βέλτιστη συντήρηση οδοστρώματος χρησιμοποιώντας γενετικό αλγόριθμο πολλαπλών στόχων. Αναλυτικότερα, η εργασία αυτή επικεντρώνεται στην παροχή ενός συστήματος υποστήριξης αποφάσεων για τη διαχείριση του οδοστρώματος ως μία από τις σημαντικότερες μορφές της διαχείρισης των υποδομών. Το προτεινόμενο μοντέλο παράγει τις βέλτιστες ενέργειες συντήρησης για να εφαρμοστούν σε ένα κατάλληλο οδόστρωμα. Το μοντέλο αλυσίδας Markov χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της κατάστασης του οδοστρώματος κατά μήκος της ζωής του. Χρησιμοποιείται ο γενετικός αλγόριθμος και το μοντέλο βελτιστοποίησης για δύο στόχους, ο πρώτος είναι η μεγιστοποίηση της κατάστασης και ο δεύτερος στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους. Προκειμένου να διευκολυνθεί η χρήση του προτεινόμενου μοντέλου, το μοντέλο κωδικοποιείται και υλοποιείται με τη χρήση της Visual Basic σε απλό και φιλικό προς το χρήστη περιβάλλον.

Οι **Lee et al.** (2013) παρουσιάζουν ένα μαθηματικό μοντέλο προγραμματισμού για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού των τεχνικών

αποκατάστασης οδοστρωμάτων. Το μοντέλο μεγιστοποιεί την περιοχή αποκατάστασης μέσω ενός νέου αλγορίθμου που βασίζεται στις διαδικασίες του harmony search αλγόριθμου. Επιπλέον, ο προτεινόμενος αλγόριθμος βασίζεται σε μία βέλτιστη μέθοδο λύσης για το πρόβλημα των πολλαπλών σημείων των δραστηριοτήτων αποκατάστασης σε οδοστρώματα, χρησιμοποιώντας εμπειρικά μοντέλα επιδείνωσης και αποκατάστασης σύμφωνα με έναν περιορισμένο προϋπολογισμό συντήρησης. Έτσι, εφαρμόζονται μοντέλα μη γραμμικής απόδοσης και αποκατάστασης ώστε να μεγιστοποιηθούν οι αντικειμενικές συναρτήσεις της περιοχής αποκατάστασης με το διαθέσιμο κεφάλαιο.

Οι **Terzi** και **Serin** (2013) αναπτύσσουν ένα μοντέλο για τον προγραμματισμό των τεχνικών συντήρησης οδοστρωμάτων χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο αποικίας μηρυγκιών και τη γλώσσα προγραμματισμού Visual basic. Χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο αποικίας μυρμηγκιών ένας αριθμός παραγόντων (ο αριθμός των μυρμηγκιών, ο αριθμός της περιόδου, οι beta και alpha μεταβλητές) επηρεάζουν τη βέλτιστη λύση. Οι δύο τελευταίες μεταβλητές έχουν κωδικοποιηθεί κατά τη διάρκεια του προγραμματισμού ενώ ο αριθμός των μυρμηγκιών και των περιόδων παίρνουν τιμές βάσει της κρίσης του χρήστη. Κάθε μυρμήγκι έχει φτάσει στο βέλτιστο αποτέλεσμα μετά την τελευταία περιήγηση που συγκλίνει στην καλύτερη τιμή καταλληλότητας. Χρησιμοποιώντας την παραπάνω διαδικασία προκύπτει ότι η ποιότητα της λύσης είναι καλύτερη ενώ η διαδικασία της βελτιστοποίησης πιο απλοποιημένη.

Οι **Golroo** και **Tighe** (2012) δημιουργούν ένα σύστημα διαχείρισης οδοστρωμάτων προκειμένου να βρεθούν οι βέλτιστες τεχνικές συντήρησης για ένα δεδομένο τμήμα του οδοστρώματος. Για την ανάπτυξη του συστήματος χρησιμοποιούν γενετικό αλγόριθμο καθώς θεωρούν ότι είναι ένα αποδοτικό εργαλείο για την επίλυση τέτοιων πολύπλοκων προβλημάτων. Επίσης, για να εξοικονομήσουν υπολογιστικό χρόνο, μετέβαλαν τις ρυθμίσεις του γενετικού αλγορίθμου ώστε να βρουν ποιες δίνουν τα καλύτερα αποτελέσματα.

Οι **Choo** και **Le** (2011) προτείνουν έναν πολυκριτηριακό αλγόριθμο βελτιστοποίησης σμήνους σωματιδίων για την αξιολόγηση του κόστους στρατηγικών συντήρησης εύκαμπτων οδοστρωμάτων. Το κόστος συντήρησης και η αξιοπιστία του οδοστρώματος λαμβάνονται ταυτόχρονα υπόψη με τις ενέργειες συντήρησης και το πάχος της επικάλυψης κατά τη διάρκεια της βελτιστοποίησης. Ως αξιοπιστία οδοστρώματος θεωρείται η πιθανότητα αυτό να μπορεί να εκτελέσει μία προκαθορισμένη λειτουργία υπό ορισμένες

προϋποθέσεις για μία δεδομένη χρονική περίοδο. Επιπλέον, χρησιμοποιείται ένα πιθανοτικό μοντέλο για τις παραμέτρους παλινδρόμησης ώστε να εκτιμηθεί η αξιοπιστία τους και πραγματοποιείται Monte Carlo προσομοίωση. Για να αποδείξουν την αποτελεσματικότητα της προτεινόμενης μεθόδου εφαρμόζουν ένα αριθμητικό παράδειγμα σε ένα έργο οδοποιίας. Τα αναλυτικά αποτελέσματα δείχνουν ότι η προτεινόμενη προσέγγιση μπορεί να βοηθήσει τους υπεύθυνους λήψης των αποφάσεων για τη βελτιστοποίηση των ενεργειών συντήρησης.

2.5 ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Οι **Qiao et al.** (2013) ανέλυσαν το κόστος της συντήρησης για χαμηλή και μέτρια κυκλοφορία σε οδοστρώματα στο Τενεσί. Στην εργασία ερεύνησαν την αποτελεσματικότητα και την σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας της τοποθέτησης νέου οδοστρώματος. Τις επιστρώσεις συντήρησης που εφαρμόζονται σε οδοστρώματα ασφάλτου χαμηλής και μέτριας κυκλοφορίας στο Τενεσί αξιολογήθηκαν με βάση τα δεδομένα της κατάστασης του οδοστρώματος και το κόστος των αναγνωρισμένων έργων συντήρησης μεμονωμένων και πολλαπλών μοντέλων παλινδρόμησης. Το αποτέλεσμα της έρευνας έδειξε ότι η διάρκεια ζωής της επιδιόρθωσης μειώθηκε ελαφρώς καθώς ο όγκος της κυκλοφορίας αυξήθηκε. Η διάρκεια ζωής που επιτυγχάνεται από την εφαρμογή της λεπτής επικάλυψης, του ελάστρου και του υλικού γεμίσματος HMA είναι 11, 10 και 8,5 έτη, αντίστοιχα. Διαπιστώθηκε ότι η στάθμη της κυκλοφορίας και η κατάσταση του οδοστρώματος προ επεξεργασίας είναι σημαντικές για την αποτελεσματικότητα και τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας των θεραπειών. Η αποτελεσματικότητα και η μείωση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας με αύξηση του επίπεδο κυκλοφορίας και κατάστασης προ επεξεργασίας του οδοστρώματος. Οι αναλύσεις έδειξαν ότι η λεπτή επικάλυψη HMA είχε την υψηλότερη αποτελεσματικότητα, ακολουθούμενη από έλαστρο και υλικό γεμίσματος.

Οι **Farhan** και **Fwa** (2016) έκαναν μια εργασία για τις δύο φάσεις βελτιστοποίησης, για την κατανομή των κεφαλαίων και για την συντήρηση του οδοστρώματος σχετικά με πολλαπλούς στόχους σε επίπεδο δικτύου. Η φάση-I της προσέγγισης εκπροσώπησε την πρακτική των ανεξάρτητων μεμονωμένων συστημάτων διαχείρισης της περιοχής, το καθένα αντιμετώπισε

την επιχειρησιακή και την υπηρεσιακή ως μοναδικό στόχο για τον εαυτό του. Στην φάση-II ενσωματώνονται στρατηγικές βέλτιστης συντήρησης Pareto από μεμονωμένες περιοχές για να εκτελέσει το κεντρικό επίπεδο ανάλυσης κατανομή του προϋπολογισμού με ένα προκαθορισμένο σύνολο στόχων και περιορισμών σε κεντρικό επίπεδο. Τα δυνατά σημεία της προτεινόμενης διαδικασίας, σε σύγκριση με τα υπάρχοντα μοντέλα κατανομής του προϋπολογισμού, μπορούν να συνοψιστούν ως εξής: 1) βελτιστοποιεί πολλαπλούς στόχους ταυτόχρονα, ενώ ενσωματώνοντας τις ανάγκες και τους στόχους της κάθε μία από τις ανταγωνιστικές περιοχές, 2) χρησιμοποιεί κριτήρια απόδοσης αντί για συντελεστές προτεραιότητας σε περιοχές όπου χρησιμοποιείται υποκειμενική εκτίμηση, 3) επιτρέπει σε περιοχές να αναπτύξουν τις αντίστοιχες προτεραιότητές τους με βάση την κατάσταση της ανάπτυξης και την κατάσταση του οδικού δικτύου τους, και 4) την προσέγγιση δύο φάσεων ανάλυσης, που επιτρέπει την ανάλυση και βελτιστοποίηση σε επίπεδο για να επιλέξει τις βέλτιστες στρατηγικές συντήρησης και αποκατάστασης σε περιφερειακό επίπεδο (επίπεδο περιοχής). Το προτεινόμενο πλαίσιο απεικονίστηκε χρησιμοποιώντας ένα αριθμητικό παράδειγμα σε τρεις περιοχές.

Οι **Panagopoulou** και **Chassiakos** (2012) παρουσίασαν το σύστημα διαχείρισης οδοστρωμάτων Paveman, σκοπός του οποίου είναι η επιλογή τεχνικής συντήρησης οδοστρωμάτων με ελαχιστοποίηση του γενικευμένου κόστους και διατήρηση του οδοστρώματος σε καλή κατάσταση. Η ανάπτυξη του συστήματος βασίζεται στην τεχνολογία των γενετικών αλγορίθμων. Οι παράμετροι που λαμβάνει υπόψη του είναι οι κυκλοφοριακές συνθήκες, τα χαρακτηριστικά του οδοστρώματος, το ύψος της χρηματοδότησης και η ελάχιστη επιθυμητή κατάσταση του οδοστρώματος. Σε αντίθεση με παλιότερες προσπάθειες κατασκευής συστημάτων διαχείρισης οδοστρωμάτων, το σύστημα δεν έχει κανέναν περιορισμό στις παραμέτρους και ξετάζει το γενικευμένο κόστος συντήρησης, δηλαδή το κόστος των παρεμβάσεων συντήρησης, το κόστος των χρηστών και το κόστος προς το περιβάλλον. Η κατασκευή του συστήματος αποτελείται από τρία μέρη: 1) την επιλογή και ανάπτυξη ενός μοντέλου φθοράς του οδοστρώματος, 2) την εύρεση όλων των συνιστωσών του γενικευμένου κόστους συντήρησης και 3) την εφαρμογή γενετικών αλγορίθμων στη διαδικασία εύρεσης της βέλτιστης λύσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

3.1 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Το οδικό δίκτυο είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που συμβάλλουν στην οικονομική, κοινωνική και πολιτισμική ανάπτυξη μίας χώρας. Στις ανεπτυγμένες χώρες το δίκτυο μεταφορών, εθνικές οδοί και αυτοκινητόδρομοι, είτε έχει ολοκληρωθεί είτε τείνει προς την ολοκλήρωση της κατασκευής του, μεταφέροντας το ενδιαφέρον των μελετητών και των αρμόδιων φορέων της οδοποιίας στο στάδιο της διαχείρισης των δικτύων αυτών. Και πιο συγκεκριμένα, στη διαχείριση της λειτουργίας και της συντήρησης των οδικών δικτύων, αναφορικά με τη βελτίωση της ποιότητάς τους, και στη διατήρηση ενός υψηλού επιπέδου των λειτουργικών κριτηρίων των συγκοινωνιακών έργων (άνεση, ασφάλεια, κόστος, περιβάλλον), μέσω τεχνικών παρεμβάσεων (Πάνος κ.ά., 2002).

Η διατήρηση ενός υψηλού λειτουργικού επιπέδου ενός οδικού δικτύου απαιτεί οικονομικούς πόρους, κυρίως από το δημόσιο, αλλά και σε ορισμένες περιπτώσεις από τον ιδιωτικό τομέα. Συνεπώς, οι δημόσιες επενδύσεις σε οδικά δίκτυα αποτελούν μεγάλης αξίας κεφάλαιο, το οποίο πρέπει να αξιοποιηθεί κατάλληλα και να διατηρηθεί σε υψηλό βαθμό απόδοσης για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (Πέρρου Θ., 2014).

Τα τελευταία χρόνια, ο περιορισμός των πόρων για τη συντήρηση των οδικών δικτύων επιβάλλει τη βέλτιστη και οικονομικά αποδοτική διαχείριση των διατιθέμενων πόρων. Ακόμη, τα τελευταία χρόνια δίνεται έμφαση στην έννοια της βιωσιμότητας ως αποτέλεσμα της εμφάνισης προβλημάτων, όπως η υποβάθμιση και αλλοίωση του φυσικού περιβάλλοντος, η εξάντληση των φυσικών πόρων και η διεύρυνση των κοινωνικών ανισοτήτων. Επομένως, στόχος των βιώσιμων συστημάτων μεταφορών είναι να διασφαλίσουν, ότι κατά τη διαδικασία λήψεως αποφάσεων που σχετίζονται με τις μεταφορές, λαμβάνονται υπόψη περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά κριτήρια (Transport Canada, 2000).

Στην κατεύθυνση αυτή, σχεδιάζονται και υλοποιούνται σε πολλές χώρες συστήματα για τη βέλτιστη διαχείριση των πόρων συντήρησης του οδικού δικτύου, ώστε να εξασφαλίζεται η ασφάλεια, η άνεση και η οικονομία μετακίνησης με το μικρότερο δυνατό κόστος συντήρησης.

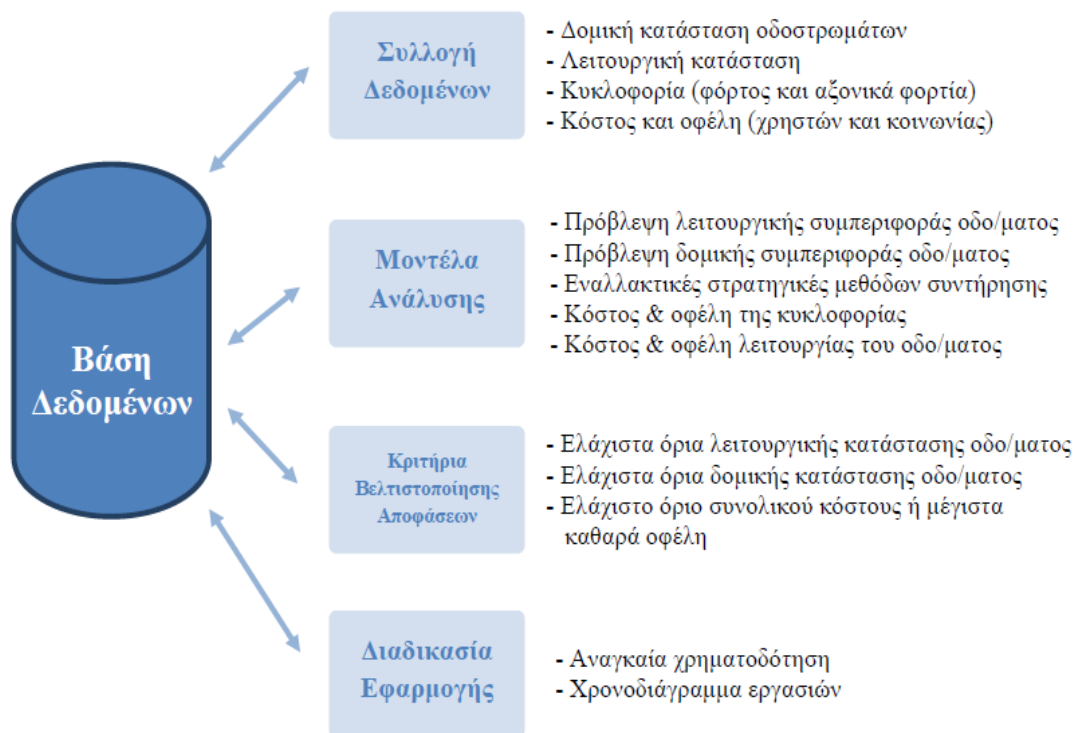
3.1.1 Η αρχιτεκτονική δομή των συστημάτων διαχείρισης οδοστρωμάτων

Τα βασικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής δομής των Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων είναι:

- α) βάση δεδομένων
- β) μοντέλα ανάλυσης/προσομοίωσης της συμπεριφοράς των οδοστρωμάτων
- γ) μοντέλο βελτιστοποίησης.

Αναλυτικότερα, στη βάση δεδομένων αποθηκεύονται και αντλούνται στοιχεία αναφορικά με τα οδικά τμήματα, όπως π.χ. τα υλικά, τα πάχη των στρώσεων, η κυκλοφορία, τα χαρακτηριστικά των οχημάτων, οι φθορές κ.ά.. Τα προσομοιώματα συμπεριφοράς των οδοστρωμάτων ή αλλιώς μοντέλα επιδείνωσης είναι υπεύθυνα για την πρόβλεψη της εξέλιξης της φθοράς σε σχέση με το χρόνο (Haas et al., 1994).

Τέλος, συνήθως εξελικτικοί αλγόριθμοι βελτιστοποίησης χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση της πολυπλοκότητας και του μεγάλου πλήθους των μεταβλητών ενός ΣΔΟ, όπου εξετάζονται εναλλακτικά σενάρια συντήρησης και επιλέγεται η βέλτιστη λύση, από οικονομικής και τεχνικής απόψεως (Haas et al., 1994).



Σχήμα 3.1: Βασική αρχιτεκτονική δομή σύγχρονων ΣΔΟ (Haas et al., 1994)

3.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Ένα από τα δυσκολότερα σημεία στα ΣΔΟ, είναι η ακριβής χρονικά εκτίμηση της αστοχίας ενός οδοστρώματος. Δηλαδή δεν είναι εφικτή η κατασκευή ενός χρονοδιαγράμματος, το οποίο θα αφορά και θα σχετίζεται με τα στοιχεία εκείνα που οδηγούν στην αστοχία. Τα στοιχεία αυτά μπορεί να αφορούν κάποια μεταβολή στην κυκλοφορία ή απλά τη γήρανση του οδοστρώματος ή άλλους παράγοντες.



Σχήμα 3.2: Μεταβολές στην κατάσταση του οδοστρώματος

Παρόλα αυτά, με τη σωστή εκτίμηση της κατάστασης ενός οδοστρώματος, μέσω τακτικής και ποιοτικής συλλογής δεδομένων, οι ερευνητές είναι σε θέση να αποφασίζουν για την επικείμενη δρομολόγηση κατάλληλων επεμβάσεων συντήρησης, ώστε να μην οδηγηθεί στην αστοχία. Οι διάφορες αξιολογήσεις της ποιότητας οδικών δικτύων, μπορούν να εξετάσουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Οδική Ασφάλεια - Road Safety
- Κυκλοφοριακή Άνεση - Ride Comfort
- Επιπτώσεις στο Περιβάλλον - Environmental Impact
- Οικονομία (για τον κύριο του έργου και τους χρήστες) - Economy

Κάθε ένα από αυτά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά συνδέεται, με διαφορετικούς βαθμούς επίδρασης, με τα επιφανειακά χαρακτηριστικά του οδοστρώματος.

Τα επιφανειακά χαρακτηριστικά των οδοστρωμάτων είναι:

- α) οι επιφανειακές φθορές (surface distress),
- β) η ολισθηρότητα (slipperiness),
- γ) η επιπεδότητα ή ομαλότητα (evenness, roughness),
- δ) η αντίσταση κύλισης (rolling resistance),
- ε) ο θόρυβος επαφής (tire-pavement noise) και
- στ) τα χαρακτηριστικά φωτοανάκλασης (reflectance characteristics).

3.3 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Σύμφωνα με τους Adlinge & Gurta (2009), υπάρχουν ορισμένοι παράγοντες οι οποίοι ρυθμίζουν και επιδρούν στην κατάσταση ενός οδοστρώματος. Παράλληλα, το μέγεθος του εκάστοτε παράγοντα επηρεάζει, με ανάλογο τρόπο, τον συνολικό ρυθμό επιδείνωσης της κατάστασης του οδοστρώματος. Οι παράγοντες που επιδεινώνουν την κατάσταση του οδοστρώματος είναι α) το περιβάλλον, β) η δομή και το υπέδαφος, γ) η κυκλοφορία, δ) η ποιότητα κατασκευής και ε) η συντήρηση.

3.3.1 Ορισμός και κατηγορίες φθορών οδοστρωμάτων

Με τον όρο **φθορά** ορίζεται «κάθε είδους ανωμαλία, η οποία χειροτερεύει τις συνθήκες κύλισης των οχημάτων στην επιφάνεια του οδοστρώματος». Οι φθορές είναι συγχρόνως αιτίες και αποτελέσματα, διότι οι αρχικές φθορές αποτελούν συνήθως αιτία νέων φθορών του ίδιου ή διαφορετικού τύπου.

Οι φθορές εξελίσσονται, είτε προοδευτικά σε μεγάλο χρονικό διάστημα (ολισθηρότητα, ρωγμές, αυλακώσεις), είτε γρήγορα και ξαφνικά σε ελάχιστο χρονικό διάστημα (π.χ. μεγάλες λακκούβες, διογκώσεις, καθιζήσεις). Στην πρώτη περίπτωση πρέπει να προγραμματίζεται η έγκαιρη συντήρησή τους, με στόχο να εμποδιστεί η επέκτασή τους και η δημιουργία σημαντικότερων φθορών. Στη δεύτερη περίπτωση, δεν παρακολουθείται η εξέλιξη τους αλλά προγραμματίζεται άμεση συντήρηση, διότι θέτουν σε κίνδυνο το οδόστρωμα και έμμεσα τους χρήστες (Κόλλαρος κ.ά., 2006).

Όλες οι φθορές, οι οποίες εμφανίζονται στα εύκαμπτα οδοστρώματα μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις κατηγορίες (Local Road Research Board – Minnessota, 2008):

- 1) Ρηγματώσεις
- 2) Παραμορφώσεις
- 3) Αποσαθρώσεις
- 3) Λειάνσεις της επιφάνειας κύλισης

Οι ρηγματώσεις και οι παραμορφώσεις ξεκινούν από τις κατώτερες στρώσεις και φτάνουν μέχρι την επιφανειακή στρώση, ενώ οι αποσαθρώσεις και οι λειάνσεις της επιφάνειας κύλισης εμφανίζονται και αναπτύσσονται στην επιφανειακή στρώση.

3.4 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

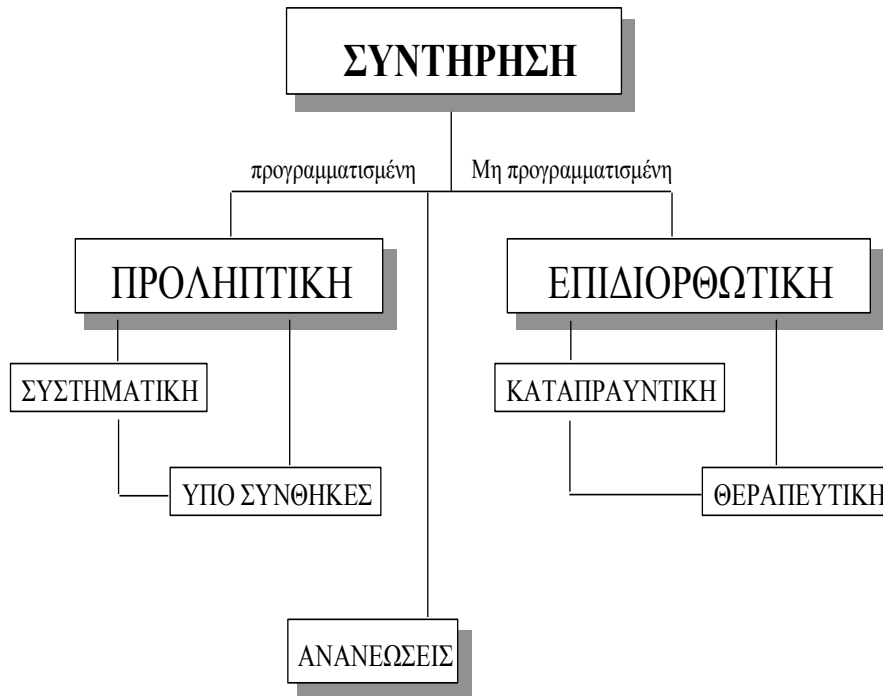
Η συντήρηση οδοστρώματος έχει ευρέως αναγνωριστεί ως έργο που καταφέρνει να διατηρήσει και να επεκτείνει τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος. Υπάρχουν τρεις τύποι στρατηγικών συντήρησης οδοστρώματος:

1. Προληπτική συντήρηση: Οι θεραπείες προληπτικής συντήρησης διατηρούν την δομική ικανότητα των οδοστρωμάτων, αντί να την βελτιώνουν. Οι θεραπείες προληπτικής συντήρησης περιορίζονται σε οδοστρώματα σε καλή κατάσταση. Επιπλέον, για να είναι αποτελεσματική, η προληπτική συντήρηση θα πρέπει να εφαρμοστεί πριν εμφανίζονται σημαντικές φθορές, όπως είναι η εκδορά, η οξειδωση, και οι ρωγμές. Για να είναι οικονομικά αποδοτική, η προληπτική συντήρηση οδοστρώματος θα πρέπει να εφαρμοστεί πριν οι μηχανικοί, ή οι αρμόδιοι φορείς θεωρήσουν αναγκαία την εφαρμογή τους. Η έγκαιρη παρέμβαση έχει αποδειχθεί πιο αποδοτική (Mamlouk & Zaniewski, 1999).

2. Διορθωτική Συντήρηση: Διενεργείται μετά από ανεπάρκεια που εμφανίζεται στο οδόστρωμα, όπως η μέτρια έως σοβαρή αυλάκωση, η εκδορά ή εκτεταμένες ρωγμές. Αυτό μπορεί επίσης να αναφέρεται ως "αντιδραστική" συντήρηση. Οι διαφορές μεταξύ προληπτικής και διορθωτικής συντήρησης συμβάλουν στο χρονοδιάγραμμα και το κόστος. Η διορθωτική συντήρηση είναι αντιδραστική, δηλαδή, αυτή γίνεται όταν ο δρόμος χρήζει επισκευής, ώστε το κόστος είναι μεγαλύτερο. Καθυστερήσεις στην διορθωτική συντήρηση έχουν ως αποτέλεσμα μεγαλύτερο κόστος και αυξανόμενη σοβαρότητα των αστοχιών. Οι διορθωτικές θεραπείες συντήρησης περιλαμβάνουν δομικές επικαλύψεις (3 ίντσες ή παραπάνω), άλεση, επισκευή και επιδιόρθωση ρωγμών (Robinson & Roberts, 1982).

3. Έκτακτη ανάγκη συντήρησης: Διενεργείται σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, όπως ένα ρήγμα ή μια σοβαρή λακκούβα που χρειάζεται άμεση επισκευή. Αυτό θα μπορούσε επίσης να περιλαμβάνει προσωρινές θεραπείες που συγκρατούν την επιφάνεια μαζί μέχρι να εκτελεστεί μια πιο μόνιμη θεραπεία. Οι συντηρήσεις έκτακτης ανάγκης συχνά σχετίζονται με την ασφάλεια και το χρόνο, το κόστος δεν είναι το πρωταρχικό μέλημα. Ομοίως, τα υλικά που μπορεί να μην είναι αποδεκτά για προληπτική ή διορθωτική συντήρηση, μπορεί να είναι η καλύτερη επιλογή για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης (Johanns & Craig, 2002). Η διαφορά μεταξύ των μέτρων πρόληψης, διόρθωσης και επισκευής έκτακτης ανάγκης είναι περισσότερο η κατάσταση

του οδοστρώματος όταν εφαρμόζεται η θεραπεία, παρά το είδος της θεραπείας (Mamlouk & Zaniewski, 1999).



Σχήμα 3.3: Γενικές αρχές συντήρησης οδοστρώματος

3.4.1 Τύποι τεχνικών επιδιόρθωσης

1. Crack Sealing (σφράγιση ρωγμών): η σφράγιση των ρωγμών είναι η διαδικασία καθαρισμού, στεγανοποίησης και επανασφράγισης των ρωγμών στο οδόστρωμα. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται για να γεμίσει διαμήκη και εγκάρσιες ρωγμές, συμπεριλαμβανομένων των κοινών ρωγμών αντανάκλασης από υποκείμενες πλάκες της ασφάλτου, οι οποίες είναι μεγαλύτερες από 1/8 της ίντσας. Ο πρωταρχικός σκοπός της σφράγισης ρωγμών σε οδοστρώματα είναι να αποφευχθεί η διείσδυση των επιφανειακών

υδάτων μέσα στο θεμέλιο του οδοστρώματος. Είναι πιο αποδοτικό να χρησιμοποιείται η τεχνική αυτή ως προληπτικό μέτρο, όταν η γενική κατάσταση του οδοστρώματος είναι καλή ή πολύ καλή. Η σφράγιση ρωγμών σε ένα φθαρμένο οδόστρωμα δεν είναι οικονομικά αποτελεσματική (Shahim, 2005).

2. Patching (αντικατάσταση): Αυτή η τεχνική περιλαμβάνει την αντικατάσταση του πλήρους βάρους του στρώματος της ασφάλτου, αλλά μπορεί και να περιλαμβάνει την αντικατάσταση της βάσης και υπόβασης του οδοστρώματος. Πλήρη αντικατάσταση του βάρους χρησιμοποιείται για την επισκευή αστοχιών, όπως ρωγμές αλιγάτορα και πτυχώσεων. Στην περίπτωση της απόκλισης όπου η αποτυχία μπορεί να περιορίζεται στο κορυφαίο στρώμα της ασφάλτου, το βάθος της αντικατάστασης μπορεί να περιορίζεται στο άνω στρώμα της ασφάλτου εάν μπορεί να αφαιρεθεί εύκολα (Shahim, 2005).

3. Overlay (επικάλυψη): Αυτή η τεχνική περιλαμβάνει την προσθήκη ενός ή περισσότερων στρωμάτων ασφάλτου σε μια υπάρχουσα στρώση ασφάλτου του οδοστρώματος. Χρησιμοποιείται για να διορθώσει ή να βελτιώσει τις διαρθρωτική ικανότητα ή τις λειτουργικές απαιτήσεις, όπως η αντίσταση ολίσθησης και ποιότητα κύλισης. Η χρήση μιας επικάλυψης ασφάλτου είναι συνήθως πιο οικονομική όταν το υπάρχον οδόστρωμα είναι ακόμα σε καλή κατάσταση (Shahim, 2005).

4. Ασφαλτος Seal-Coat: Η στρώση αυτή είναι σφραγίδα ασφάλτου που αποτελείται από μία λεπτή στοιβάδα ενός υλικού, όπως γαλακτώματα ασφάλτου, ή οδοστρωσίας-βαθμού ασφαλικής κονίας. Στο ασφαλικό υγρό μίγμα συχνά προστίθενται τροποποιητές και μπορεί να περιλαμβάνουν ελαστικό, λατέξ, άμμο, ορυκτά και συνθετικά υλικά πληρώσεως, και το ελαστικό ψίχουλα μπορεί να εφαρμοστεί μετά το ασφαλικό μίγμα εφαρμόζεται στην επιφάνεια οδοστρώματος.

Υπάρχουν διάφορα είδη επιφανειακών επεξεργασιών όπως fog seal, sand seal, scrub seal, chip seal, multiple chip seals, slurry seal, cape seal.

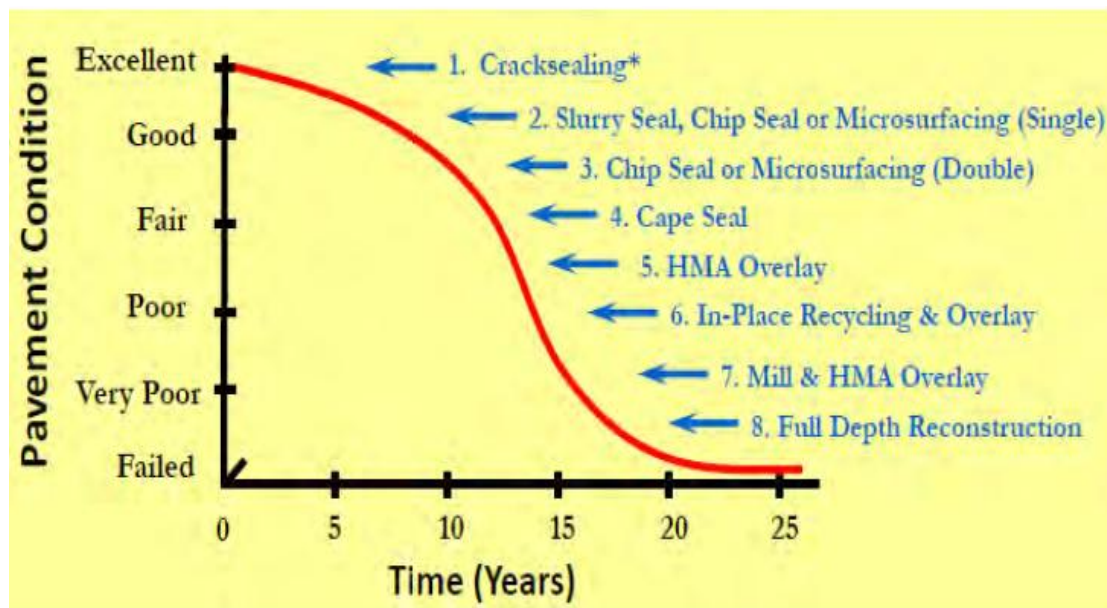
3.4.2 Εργασίες συντήρησης εύκαμπτων οδοστρωμάτων και κόστος

Οι εννιά βασικές τεχνικές συντήρησης που απαντώνται στα εύκαμπτα οδοστρώματα είναι οι εξής (FHWA, 1989):

- 1. Cracksealing:** Σφράγιση ρωγμών σε οδοστρώματα ηλικίας 0-5 ετών. Καθάρισμα υπολειμμάτων των ρωγμών και πλήρωση με μονωτικό υλικό.
- 2. Slurry Seal:** Κάλυψη των υφιστάμενων ελαττωμάτων της επιφάνειας με ένα ομοιογενές μίγμα ασφαλτικού γαλακτώματος, νερού, καλά βαθμονομημένων λεπτόκοκκων αδρανών και ορυκτού πληρωτικού, το οποίο έχει κρεμώδη εμφάνιση κατά την εφαρμογή του.
- 3. Chip Seal:** Θεραπεία της επιφάνειας των οδοστρωμάτων με ένα ή περισσότερα στρώματα ασφάλτου με λεπτόκοκκα αδρανή.
- 4. Microsurfacing:** Προηγμένη μέθοδος θεραπείας της slurry seal, με την χρήση πρόσθετων προηγμένων πολυμερών στο ομοιογενές μίγμα ασφαλτικού γαλακτώματος.
- 5. Cape Seal:** Συνδυασμός των chip seal και slurry seal/microsurfacing για την θεραπεία των ρωγμών, όταν οι φθορές έχουν φτάσει σε επίπεδο όπου οι προηγούμενες δύο μέθοδοι δεν είναι πλέον αποτελεσματικές.
- 6. Hot Mix Asphalt (HMA) Overlay:** Μη δομική προληπτική συντήρηση που χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση της αποκόλλησης των αδρανών, της γήρανσης, της ανάδυσης της ασφάλτου, τις μικρές ρωγμές και της αποσύνθεσης. Η θεραπεία πραγματοποιείται με λεπτές στρώσεις θερμού ασφαλτικού μίγματος, το οποίο βελτιώνει την ποιότητα μετακίνησης, μειώνει την οξειδωση της επιφάνειας του οδοστρώματος, εξασφαλίζει την αποστράγγιση και την πρόσφυση και διορθώνει τις επιφανειακές ανωμαλίες.
- 7. In Place Recycling & Overlay:** Θεραπεία για την αποκατάσταση λακκουβών, αποσαθρώσεων, αυλακώσεων, εγκάρσιων και διαμηκών ρωγμών και τραχιών επιφανειών. Κατηγοριοποιείται στις Hot-in-Place Recycling και Cold-in-Place Recycling. Στην πρώτη μέθοδο το υπάρχων οδόστρωμα θερμαίνεται για να μαλακώσει και στη συνέχεια χαράσσεται σε καθορισμένο βάθος. Ενώ στη δεύτερη, το οδόστρωμα (σε βάθος 2-5 ιντσών) κονιοποιείται σε ένα συγκεκριμένο μέγεθος αδρανών, αναμιγνύεται με ένα ασφαλτικό γαλάκτωμα και στη συνέχεια επαναχρησιμοποιείται στο ίδιο οδόστρωμα, χωρίς τη χρήση θερμότητας.
- 8. Mill & HMA Overlay:** Θεραπεία για την αποκόλληση αδρανών, την ανάδυση ασφάλτου, τις αυλακώσεις και τις κυματώσεις. Αφαίρεση του άνω στρώματος, βάθους 2 ιντσών, ενός οδοστρώματος με μια μηχανή άλεσης, κάλυψη με υγρό επίστρωμα ασφάλτου για τη σύνδεση του παλαιού με το νέο οδόστρωμα και τοποθέτηση νέου ασφαλτικού στρώματος.

9. Full Depth Reconstruction: Ολική ανακατασκευή του οδοστρώματος, όταν η κατάστασή του φτάσει σε χαμηλά επίπεδα και καμία άλλη μέθοδος δεν θεωρείται αποτελεσματική.

Στο παρακάτω Σχήμα 3.4 απεικονίζεται ποιο είδος συντήρησης είναι κατάλληλο ανάλογα με την κατάσταση του οδοστρώματος, ενώ στον Πίνακα 3.1 αναφέρονται οι τιμές του κόστους της κάθε εργασίας συντήρησης, καθώς και η βελτίωση σε έτη, που επιφέρουν στην ηλικία του οδοστρώματος σε περίπτωση εφαρμογής τους.



Σχήμα 3.4: Αποτελεσματικότητα χρήσης τεχνικών συντήρηση αναφορικά με την εξέλιξη της κατάστασης ενός οδοστρώματος (Patenaude, 2013).

Πίνακας 3.1: Κόστος και διάρκεια ζωής των τεχνικών συντήρησης (Patenaude, 2013).

Εργασίες συντήρησης	Κόστος (€/m ²)	Προστιθέμενη διάρκεια ζωής (έτη)
Cracksealing	0,41	2
SlurrySeal	2,13	5
ChipSeal	4,07	7
Cape Seal	5,59	9
HMA Overlay	8,13	9
In-Place Recycling & Overlay	11,18	11
Mill &HMA Overlay	10,67	10
Full Depth Reconstruction	26,43	20

Το κόστος συντήρησης δίνεται από την εξίσωση:

$$C_{\text{main}} = C_{\text{παρ}} * L * W + \delta$$

όπου:

C_{main} = κόστος συντήρησης για ένα τμήμα οδοστρώματος (€)

$C_{\text{παρ}}$ = κόστος μίας παρέμβασης συντήρησης (€/m²)

L = μήκος ενός τμήματος οδοστρώματος (m)

W = πλάτος ενός τμήματος οδοστρώματος (m)

δ = σταθερό κόστος συντήρησης (€)

3.5 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΣΤΟ PPI (Pavement Performance Indicators: Δείκτες Απόδοσης Οδοστρώματος)

3.5.1 Επίδραση της προληπτικής συντήρησης στο PPI

Προληπτική συντήρηση ορίζεται, ως εκείνες οι δραστηριότητες που διορθώνουν ελάσσονες επιφανειακές ανεπάρκειες του οδοστρώματος που είναι σε καλή κατάσταση. Το οδόστρωμα με την προληπτική συντήρηση, παρά τη βελτίωση της δομικής ικανότητας της κατασκευής έχει μικρή επίδραση στο PPI, διότι βρισκόταν σε ένα καλό επίπεδο εξαρχής. Όταν οι δείκτες απόδοσης του οδοστρώματος της επιλεγμένης μελέτης υποδεικνύουν κακή κατάσταση, τότε αυτό το είδος της συντήρησης δεν είναι κατάλληλο.

3.5.2 Επίδραση της διορθωτικής συντήρησης στο PPI

Η διορθωτική συντήρηση πραγματοποιείται μετά από την ύπαρξη ανάγκης που εμφανίζεται στο οδόστρωμα, αυτή μπορεί να είναι: η απώλεια της τριβής, μέτρια έως σοβαρή αυλάκωση, αποσάρθρωση κ.α.. Συνήθως αντιμετωπίζεται με εκτεταμένη πυρόλυση για να επανέλθει η κατάσταση του οδοστρώματος σε καλό επίπεδο. Οι κύριες διαφορές μεταξύ προληπτικής και διορθωτικής συντήρησης είναι το κόστος και ο χρόνος. Η διορθωτική συντήρηση είναι αντιδραστικό μέτρο, σημαίνει ότι διενεργείται όταν ένας δρόμος έχει ανάγκη από επισκευή, και είναι αρκετά δαπανηρή. Η καθυστέρηση της διορθωτικής συντήρησης σε βάθος χρόνου, έχει σαν αποτέλεσμα ακόμη μεγαλύτερο κόστος των ελαττωμάτων και αύξηση της σοβαρότητα τους.

3.5.3 Επίδραση της έκτακτης συντήρησης στο PPI

Η συντήρηση έκτακτης ανάγκης εφαρμόζεται όταν μια απροσδόκητη κατάσταση που συμβαίνει, όπως μια λακκούβα που χρειάζεται άμεση επισκευή, και επαναφέρει την κατάσταση του οδοστρώματος σε αρχικό ή καλύτερο επίπεδο.

3.5.4 Επίδραση της Overlay τεχνική επισκευής στο PPI

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για την διόρθωση και την βελτίωση της δομικής ικανότητας του οδοστρώματος. Επίσης βελτιώνει τις λειτουργικές απαιτήσεις του οδοστρώματος. Αυτές είναι η αντίσταση ολίσθησης και η ποιότητα κύλισης, αυτές ενισχύουν την ομαλότητα, την τριβή, την βελτίωση της επιφάνεια του οδοστρώματος. Με αποτέλεσμα να οδηγεί σε αύξηση του PCI και μείωση των ανωμαλιών σε διαμήκη προφίλ.

3.5.5 Επίδραση τεχνική επισκευής Crack Sealing στο PPI

Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται για να γεμίσει διαμήκεις και εγκάρσιες ρωγμές. Ο πρωταρχικός σκοπός της σφράγισης ρωγμών είναι η πρόληψη της εισβολής υγρασίας στο οδόστρωμα, καθώς και η ελαχιστοποίηση της ποσότητας των υλικών για τις ρωγμές. Η σφράγιση ρωγμών σε ένα φθαρμένο οδόστρωμα δεν είναι οικονομικά αποτελεσματική και έχει μικρή επίπτωση στο PPI.

3.5.6 Επίδραση της τεχνική επισκευής Seal-Coat στο PPI

Χρησιμοποιείται για να παρέχει μία επιφάνεια σφράγισης ή επιφάνεια ολίσθησης-ανθεκτικότητας στο οδόστρωμα. Αυτή η τεχνική είναι κατάλληλη για χαμηλό φόρτο κυκλοφορίας και παρέχει μικρή βελτίωση των δεικτών.

3.5.7 Επίδραση του τεχνική επισκευής Patching στο PPI

Η Patching έχει ως αποτέλεσμα την αποκατάσταση της δομικής ακεραιότητας ενός οδοστρώματος και την βελτίωση της πορείας. Διορθώνει ρωγμές αλιγότερα και αυλάκωση αυτό οδηγεί σε βελτίωση του PPI.

3.6 ΔΕΙΚΤΕΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Το οδόστρωμα συνεχίζει να επιδεινώνεται από τις συνδυασμένες ενέργειες φόρτος κυκλοφορίας και το περιβάλλον. Η ικανότητα του δρόμου για να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις της κυκλοφορίας και του περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια της ζωής του, όπως αρχικά είχε σχεδιαστεί είναι γνωστή ως απόδοση. Οι πιο κοινοί δείκτες απόδοσης οδοστρώματος είναι:

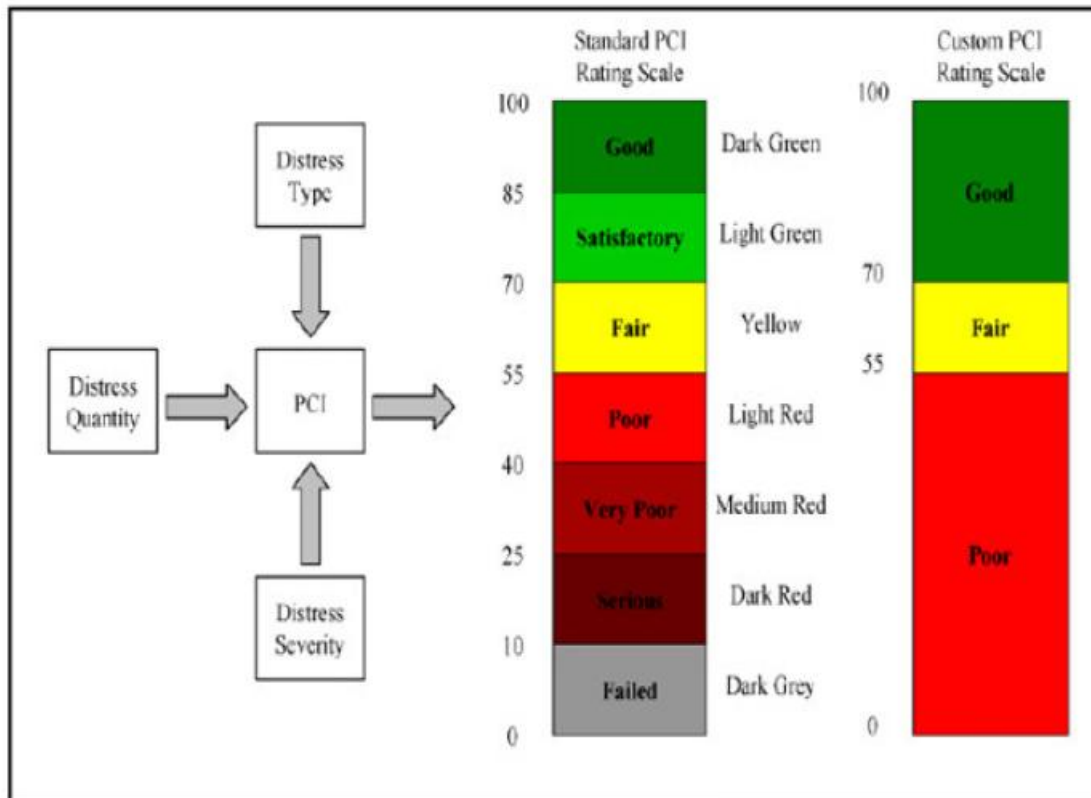
- 1) δείκτης κατάστασης οδοστρώματος (PCI),
- 2) δείκτης βαθμολόγησης κατάστασης οδοστρώματος (PCR),
- 3) δείκτης παρούσας λειτουργικότητας οδοστρώματος (PSI),
- 4) δείκτης άνεσης οδήγησης (RCI),
- 5) δείκτης επιπεδότητας οδοστρώματος για εκτίμηση κόστους οδήγησης (RIDE),
- 6) δείκτης εκδήλωσης φθορών οδοστρώματος (DMI),
- 7) διεθνής δείκτης τραχύτητας οδοστρώματος (IRI) και
- 8) διεθνής δείκτης τριβής οδοστρώματος (IFI).

Η κατανόηση των επιπτώσεων συντήρησης μπορεί να ωφελήσει τη λήψη αποφάσεων συντήρησης οδοστρωμάτων. Κατά συνέπεια, η έρευνα αυτή παρουσιάζει την απόδοση δείκτη και την επίδραση των εναλλακτικών συντήρησης για οδοστρώματα. Χρησιμοποιώντας τη σωστή θεραπεία συντήρησης στο σωστό χρόνο, θα βοηθήσει να πάρει το μέγιστο όφελος και διατηρώντας τις τιμές του δείκτη απόδοσης οδοστρώματος σε ένα καλό επίπεδο.

3.6.1 Δείκτης κατάστασης οδοστρώματος (Pavement Condition Index ή PCI)

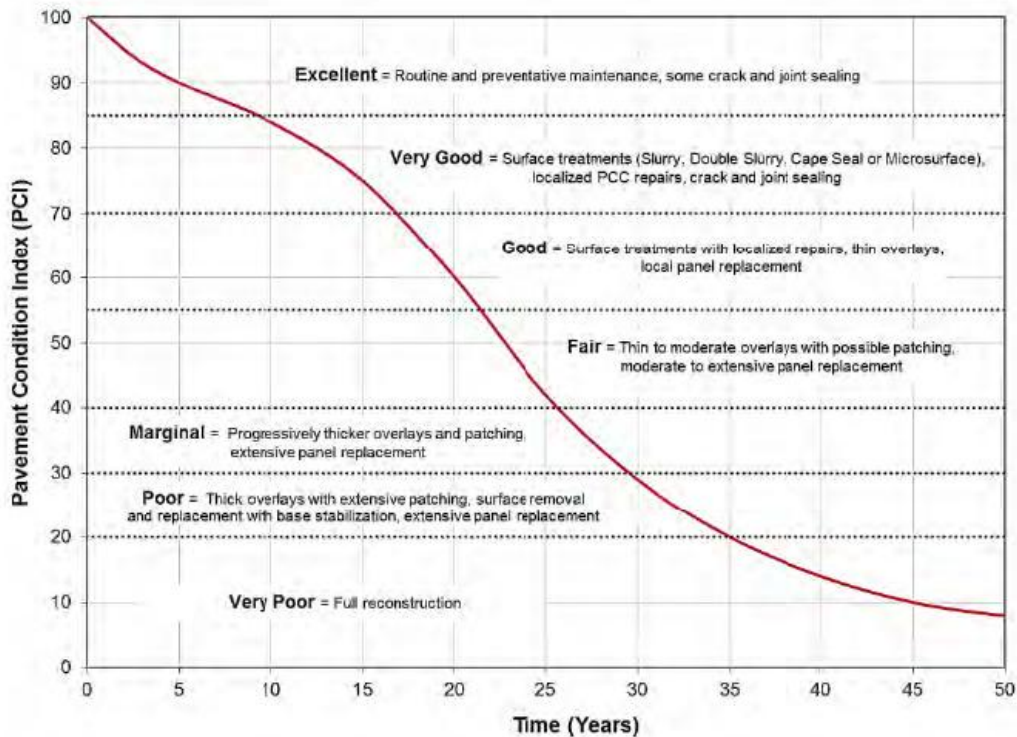
Ο δείκτης PCI είναι σε θέση να εκτιμήσει την κατάσταση ενός οδοστρώματος, αναφορικά με τις επιφανειακές φθορές του. Συγκεκριμένα, δεν μετρά τη δομική ανεπάρκεια του οδοστρώματος, ούτε παρέχει άμεση εκτίμηση της επιπεδότητας ή της ολίσθησης, αλλά αξιολογεί το είδος, την έκταση και τη σοβαρότητα των επιφανειακών φθορών του οδοστρώματος, καθώς και την ομαλότητα ως προς την οδηγική άνεση. Η εξαγωγή του δείκτη γίνεται με συγκεκριμένο μαθηματικό αλγόριθμο με βάση το ποσοστό της έκτασης και το επίπεδο σοβαρότητας κάθε φθοράς καθώς και συντελεστών βαρύτητας για κάθε τύπο και επίπεδο σοβαρότητας φθοράς (ASTM 1997, Shahin 1994).

Η αριθμητική βαθμολογία της κατάστασης του οδοστρώματος κυμαίνεται από 0 έως 100 λαμβάνοντας υπόψη ότι, 0 είναι η χειρότερη δυνατή κατάσταση και 100 είναι η καλύτερη δυνατή κατάσταση (ASTM D6433) όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.5.



Σχήμα 3.5: Δείκτης κατάστασης οδοστρώματος (PCI) (US Army Corps of Engineers-USACE, 2012).

Ακόμη, παρατηρείται ότι στο πέρασμα του χρόνου και καθώς αυξάνεται η ηλικία του οδοστρώματος, αυτό από εξαιρετική κατάσταση οδηγείται σε πλήρη αποτυχία. Παράλληλα πρέπει να αναφερθεί, ότι για τη συντήρηση και αποκατάσταση του οδοστρώματος όταν ο PCI είναι σχετικά υψηλός δαπανούνται λιγότερα χρήματα, από όταν η συντήρηση πραγματοποιηθεί σε σχετικά χαμηλές τιμές του δείκτη.



Σχήμα 3.6: Ο δείκτης PCI συναρτήσεσι του χρόνου (*beaumonttexas.gov*)

3.6.2 Δείκτης βαθμολόγησης κατάστασης οδοστρώματος (Pavement Condition Rating ή PCR)

Ο δείκτης PCR αποτελεί ένα σύνθετο δείκτη κατάστασης, αφού λαμβάνει υπόψη όλα τα είδη φθορών σε ένα οδόστρωμα, τα οποία και βαθμολογούνται ανάλογα με την σοβαρότητα και την έκταση της φθοράς. Η κλίμακα βαθμολόγησης της εκάστοτε φθοράς έχει εύρος από 0 έως 5 ή 10 (σε ειδικές περιπτώσεις σημαντικού μεγέθους φθορών), στη συνέχεια αθροίζονται και αφαιρούνται από ένα ανώτατο όριο ή μία μέγιστη τιμή και διαμορφώνουν την συνολική βαθμολογία της κατάστασης του οδοστρώματος, η οποία κυμαίνεται από 0 (ιδανική κατάσταση χωρίς φθορές) έως 100 (σημαντικές φθορές). Η μετατροπή των ποιοτικών χαρακτηριστικών μιας φθοράς (έκταση, σοβαρότητα, κλπ.) σε αριθμητική τιμή, πραγματοποιείται με τη χρήση εξισώσεων, οι οποίες διαφέρουν από κράτος σε κράτος, εμπεριέχοντας διαφορετικές παραμέτρους αξιολόγησης.

3.6.3 Δείκτης παρούσας λειτουργικότητας (Present Serviceability Index ή PSI)

Ο δείκτης PSI αναπτύχθηκε στα πλαίσια του οδικού πειράματος AASHO3 και συνδυάζει τη λειτουργική κατάσταση ενός οδοστρώματος με την ποιότητα οδήγησης σε αυτό. Μια ομάδα παρατηρητών αξιολογούσε διάφορα οδικά τμήματα στις πολιτείες του Ιλινόις, Μινεσότα και Ιντιάνα από το 1958 έως το 1960 και κατέγραφε μετρήσεις ορισμένων φυσικών παραμέτρων της επιφάνειας του οδοστρώματος, όπως η διακύμανση της εγκάρσιας κλίσης, το ποσοστό ρηγματωμένης επιφάνειας στο σύνολο του οδικού τμήματος, το βάθος αυλακώσεων και το ποσοστό των επιφανειών που έχουν συντηρηθεί, και με τη χρήση ειδικών εξισώσεων προέκυπτε η τιμή του δείκτη PSI.

Η κλίμακα τιμών του δείκτη είναι μεταξύ του 0 και του 5, όπου είναι η χειρότερη δυνατή κατάσταση του οδοστρώματος ενώ 5 η καλύτερη. Η τιμή του δείκτη PSI μειώνεται σταδιακά με το χρόνο, φτάνοντας σε ένα κρίσιμο σημείο, παίρνοντας την τιμή 2.5, όπου θεωρείται ως επίπεδο προειδοποίησης για αποκατάσταση του οδοστρώματος. Αν δεν πραγματοποιηθεί κάποιο είδος συντήρησης, ο δείκτης φτάνει στην τιμή 2, όπου θεωρείται ότι το οδόστρωμα βρίσκεται πλέον σε κακή κατάσταση και απαιτείται άμεση αποκατάστασή του. Ο δείκτης PSI μπορεί να υπολογιστεί για εύκαμπτα οδοστρώματα από την παρακάτω εξίσωση (Carey & Irick, 1960):

$$PSI = 5,03 - \log(1 + SV) - 1,38 * RD2 - 0,01 * (C + P)0,5$$

όπου

SV: είναι η μέση τιμή διακύμανσης της εγκάρσιας κλίσης και στα δύο ίχνη των τροχών

RD: είναι το μέσο βάθος αυλάκωσης (σε in) μετρούμενο και στα δύο ίχνη των τροχών με ράβδο μήκους 4 ft

C: είναι το ποσοστό της ρηγματωμένης επιφάνειας (μήκος ρωγμών σε ft/1000 ft²) και

P: είναι το ποσοστό των μπαλωμάτων (ft²/1000 ft²).

3.6.4 Δείκτης άνεσης οδήγησης (Riding Comfort Index ή RCI)

Ο δείκτης RCI προέκυψε, επίσης από μια ομάδα ειδικών, στα τέλη της δεκαετίας του '50 και τις αρχές της δεκαετίας του '60 στον Καναδά (Haas et al., 1994). Αρχικά, είχε ως στόχο την περιγραφή της συνολικής κατάστασης ενός οδοστρώματος, ωστόσο κατέληξε να αποτελεί μέτρο επιπεδότητας και να ταξινομεί τις τιμές των ανωμαλιών ενός οδοστρώματος. Συνδυάζοντας τα

δεδομένα αυτά, ο δείκτης λαμβάνει τιμές από 0 έως 5, όπου το 0 υποδεικνύει ένα καλά κατασκευασμένο και ομαλό οδόστρωμα, ενώ το 5 ένα εξαιρετικά τραχύ οδόστρωμα.

3.6.5 Δείκτης επιπεδότητας οδοστρώματος για εκτίμηση κόστους οδήγησης (Roughness Index for Driving Expenditure ή RIDE)

Ο δείκτης RIDE συσχετίζει το κόστος λειτουργίας ενός οχήματος με την κατάσταση του οδοστρώματος στο οποίο κινείται, αναφορικά με την επιπεδότητά του. Ο δείκτης μετρά την κατακόρυφη επιτάχυνση ενός οχήματος, λόγω των ανωμαλιών του οδοστρώματος, με βάση την ανάλυση συχνοτήτων του προφίλ της οδού. Μετράται σε mm/sec², από ειδικό επιταχυνσιόμετρο που στερεώνεται στο κινούμενο όχημα, και λαμβάνει τιμές μεταξύ 150 (περίπου) για οδόστρωμα χωρίς ανωμαλίες και 1500 (περίπου) για οδόστρωμα με σημαντικές ανωμαλίες (Paragiannakis & Dewlar, 1999).

3.6.6 Δείκτης εκδήλωσης φθορών (Distress Manifestation Index ή DMI)

Ο δείκτης DMI περιγράφει την κατάσταση του οδοστρώματος εξάγοντας ένα μέτρο της έκτασης και της σοβαρότητας κάθε τύπου φθοράς. Οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται μεταξύ 0 και 248, όπου η τιμή 0 αντιστοιχεί σε οδόστρωμα χωρίς φθορές. Η κλίμακα τιμών εκφράζει το επίπεδο λειτουργικότητας και υποδεικνύει το είδος των απαιτούμενων εργασιών συντήρησης που πρέπει να υλοποιηθούν στο εξεταζόμενο τμήμα ανάλογα με την τιμή του δείκτη. Ο δείκτης DMI για n τύπους φθορών υπολογίζεται από τη σχέση:

$$DMI = \sum C_i (S_i + D_i) = 0$$

όπου

i: τύπος φθοράς

C_i: συντελεστής βαρύτητας ανάλογα με την επίδραση της φθοράς i στην υποβάθμιση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του οδοστρώματος

S_i: συντελεστής σοβαρότητας της φθοράς i

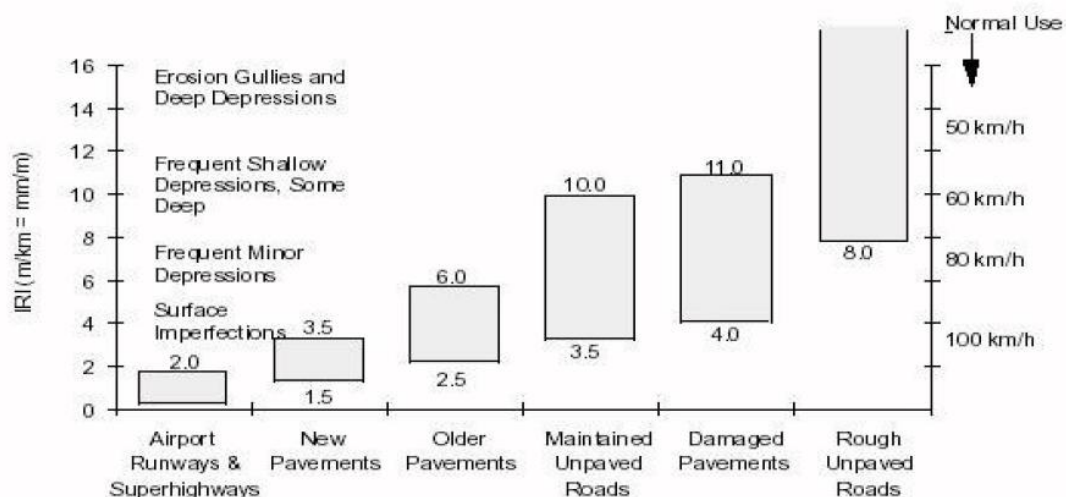
D_i: συντελεστής έκτασης της φθοράς i

3.6.7 Διεθνής δείκτης τραχύτητας (International Roughness Index ή IRI)

Ο δείκτης IRI κατασκευάστηκε το 1980 από την Παγκόσμια Τράπεζα και εκφράζει τον τρόπο με τον οποίο το όχημα και οι επιβαίνοντες ανταποκρίνονται στην υφιστάμενη ποιότητα κύλισης μίας επιφάνειας ενός οδοστρώματος. Η πραγματική τιμή του δείκτη προσδιορίζεται λαμβάνοντας υπόψη μία ακριβή καταγραφή της κατανομής της επιφάνειας του οδοστρώματος. Ακόμη, εξασφαλίζει τη δυνατότητα σύγκρισης μετρήσεων διαφορετικών συστημάτων, αλλά και διαφορετικών χρονικών φάσεων λειτουργίας του οδοστρώματος.

Η κλίμακα τιμών του δείκτη IRI, ο οποίος μετράται συνήθως σε m/km, είναι μεταξύ του 0 και 20, όπου 0 είναι η καλύτερη δυνατή κατάσταση του οδοστρώματος και 20 η χειρότερη. Για τιμές μεγαλύτερες του 6 δεν προτείνεται κάποιο είδος συντήρησης, αλλά η ανακατασκευή του, καθώς το οδοστρώμα θεωρείται ότι έχει φτάσει σε πολύ φτωχά επίπεδα και είναι ασύμφορη και αναποτελεσματική η οποιαδήποτε συντήρηση.

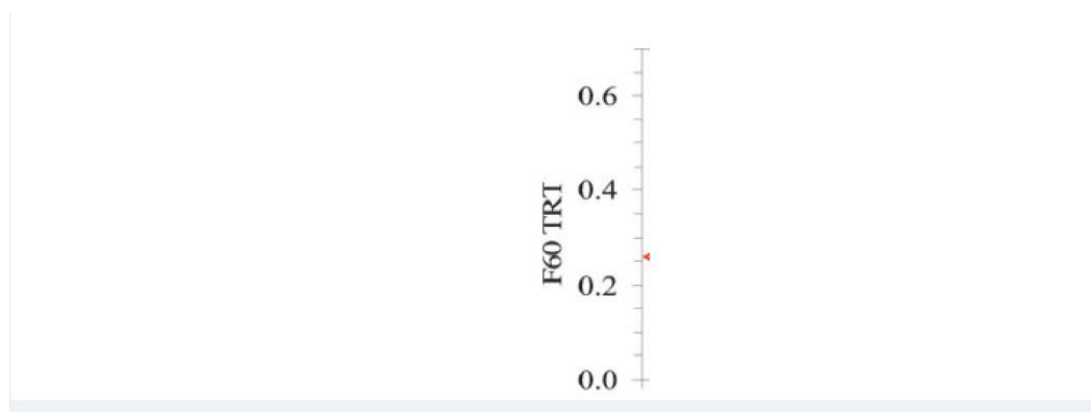
Το διαμήκης προφίλ μετράται για τον προσδιορισμό των παραμορφώσεων που επηρεάζουν την άνεση και την ασφάλεια του χρήστη. Ο δείκτης ποιότητας χρησιμοποιείται γενικά για την ποιότητα κύλισης και είναι η Διεθνής τραχύτητας Index (IRI). Η κλίμακα Βαθμολόγησης φαίνεται στο Σχήμα 3.7.



Σχήμα 3.7: IRI Τραχύτητα Κλίμακα, (Sayers et al., 1986).

3.6.8 Δείκτη τριβής οδοστρώματος (ΔΤΙ)

Ο δείκτης ΔΤΙ μας δηλώνει την αντίσταση ολίσθησης και προσδιορίζεται με βάση τον δείκτη (IFI) (διεθνής δείκτης τριβής). Η κλίμακα που κυμαίνεται είναι (0,0 έως 0,6) όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.8, ο δείκτης ΔΤΙ με τιμή 0,6 υποδεικνύει ότι το οδόστρωμα έχει καλή υφή.



Σχήμα 3.8: F60 Κλίμακα (McDaniel & Kowalski, 2012).

3.6.9 Συσχέτιση των δεικτών κατάστασης οδοστρώματος

Για τα εύκαμπτα οδοστρώματα έχουν βρεθεί και χρησιμοποιούνται ευρύτατα οι παρακάτω σχέσεις, οι οποίες συσχετίζουν τους δείκτες κατάστασης οδοστρωμάτων μεταξύ τους.

$RCI = 8,52 - 7,49 * \log_{10}(IRI)$	(Ningyuan et al., 2000)
$IRI = 0,15 * (100 - PCI)$	(Sharaf & Fathy Mandeel, 1998)
$IRI = 0,0171 * (153 - PCI)$	(Dewan & Smith, 2002)
$PSI = 5,0 * e^{-0,18 * IRI}$	(Paterson, 1986)
$RIDE = 144,78 * e^{0,235 * IRI}$	(Papagiannakis & Delwar, 2000)
$PCI = 10 * (0,1 * RCI)^{1/2} * DMI * C_i$	(Ningyuan et al., 2000)
$PSI = PCI / 20$	(Paterson, 1986)

3.7 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται το θεωρητικό υπόβαθρο μοντέλων προγραμματισμού, μέσω των οποίων επιλύονται προβλήματα βελτιστοποίησης. Συγκεκριμένα, δίνεται έμφαση σε προβλήματα γραμμικού και ακέραιου προγραμματισμού, στα οποία στηρίχθηκε η παρούσα διπλωματική εργασία με στόχο τη βελτιστοποίηση του προγραμματισμού των ενεργειών συντήρησης στα οδοστρώματα.

3.7.1 Θεωρία γραμμικών μοντέλων προγραμματισμού

Στο θεωρητικό υπόβαθρο της διπλωματικής εργασίας συμπεριλαμβάνεται κομμάτι της θεωρίας από το βιβλίο με τίτλο “Επιχειρησιακή έρευνα και βελτιστοποίηση για μηχανικούς” με συγγραφείς τους Καρλαύτη και Λαγαρό που εκδόθηκε το 2010. Στο βιβλίο αυτό αναπτύσσονται μέθοδοι επίλυσης προβλημάτων βελτιστοποίησης στηριζόμενες στις αρχές του γραμμικού προγραμματισμού.

Το μαθηματικό πρότυπο του Γραμμικού Προγραμματισμού (Linear Programming L.P.) επιλύει το πρόβλημα του βέλτιστου προγραμματισμού κάτω από περιορισμούς που είναι γραμμικοί όροι, επιδιώκοντας να βελτιστοποιήσουν (μεγιστοποιήσουν ή ελαχιστοποιήσουν) μία αντικειμενική συνάρτηση. Κατά το μαθηματικό πρότυπο γραμμικού προγραμματισμού πρέπει να ικανοποιούνται οι προϋποθέσεις της αναλογικότητας, της προσθετικότητας, της διαιρετότητας και της βεβαιότητας.

Η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος περιλαμβάνει αρχικά τον καθορισμό των μεταβλητών του, όπου σε προβλήματα γραμμικού προγραμματισμού, ποσοτικοποιούν τις αποφάσεις που πρόκειται να ληφθούν, γι’ αυτό και ονομάζονται μεταβλητές απόφασης. Οι τιμές αυτών των μεταβλητών χρειάζεται να προσδιοριστούν με τέτοιο τρόπο ώστε να αποδοθεί το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα, το οποίο αποτελεί και το κριτήριο ή μέτρο απόδοσης του συστήματος που έχει ορισθεί. Η συνάρτηση της οποίας αναζητείται το μέγιστο ή το ελάχιστο αποτελεί την αντικειμενική συνάρτηση.

Η ανάλυση Γραμμικού Προγραμματισμού έχει στόχο τον προσδιορισμό των τιμών των μεταβλητών απόφασης ή άγνωστων μεταβλητών $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ που μεγιστοποιούν ή ελαχιστοποιούν την αντικειμενική συνάρτηση.

$$\max/\min(c_1 \cdot x_1 + c_2 \cdot x_2 + \dots + c_n \cdot x_n)$$

Ταυτόχρονα οι μεταβλητές απόφασης πρέπει να ικανοποιούν τους περιορισμούς

$$a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 + \dots + a_{1n} \cdot x_n [\leq, =, \geq] b_1$$

$$\alpha_{21} \cdot x_1 + \alpha_{22} \cdot x_2 + \dots + \alpha_{2n} \cdot x_n [\leq, =, \geq] b_2$$

.....

$$\alpha_{m1} \cdot x_1 + \alpha_{m2} \cdot x_2 + \dots + \alpha_{mn} \cdot x_n [\leq, =, \geq] b_n$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$$

Όλες οι συναρτήσεις του προβλήματος (αντικειμενική συνάρτηση και περιορισμοί) πρέπει να είναι γραμμικές ως προς τις άγνωστες μεταβλητές $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$.

Είδη λύσεων προβλήματος γραμμικού προγραμματισμού

Ως λύση θεωρείται κάθε διάνυσμα x που ικανοποιεί τους περιορισμούς του προβλήματος εκτός ίσως από τους περιορισμούς μη αρνητικότητας. Τα διάφορα είδη λύσεων σε ένα πρόβλημα Γραμμικού Προγραμματισμού είναι τα ακόλουθα:

- Εφικτή λύση (feasible solution): Ως εφικτή λύση θεωρείται κάθε διάνυσμα x που ικανοποιεί όλους τους περιορισμούς του προβλήματος, καθώς και τους περιορισμούς μη αρνητικότητας
- Βέλτιστη εφικτή λύση (optimal feasible solution): η εφικτή λύση η οποία βελτιστοποιεί την αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος
- Εφικτή λύση ακραίου σημείου (corner point feasible solution): η εφικτή λύση που κείται σε κάποιο γειτονικό σημείο
- Γειτονικές ακραίες εφικτές λύσεις (adjacent corner point feasible solution): Δύο οποιεσδήποτε ακραίες εφικτές λύσεις, αρκεί η ευθεία που τις ενώνει να αποτελεί εξίσωση ορίου για το χώρο εφικτότητας του προβλήματος
- Επαυξημένη λύση (augmented solution): Δεδομένου ενός προβλήματος με περιορισμούς ανισότητες, η λύση εκείνου του ισοδύναμου προβλήματος το οποίο έχει επαυξηθεί με μεταβλητές απόφασης, ώστε να μετατραπεί σε πρόβλημα με περιορισμούς ισότητας
- Βασική λύση (basic solution): κάθε ακραία επαυξημένη λύση, η συγκεκριμένη μπορεί να είναι εφικτή ή μη
- Βασική εφικτή λύση (basic feasible solution): Η βασική εκείνη λύση του προβλήματος της οποίας οι m βασικές μεταβλητές είναι μη αρνητικές και οι $n-m$ μη βασικές μεταβλητές είναι όλες ίσες με το μηδέν. Μία βασική εφικτή λύση καλείται εκφυλισμένη (degenerated) εάν κάποιες από τις m βασικές μεταβλητές έχουν μηδενική τιμή.
- Εξισώσεις ορίων (boundary equations): Οι εξισώσεις ορίων ορίζουν ένα υπερεπίπεδο ή ένα n -διάστατο γεωμετρικό σχήμα που είναι το ανάλογο

μιας ευθείας των δύο διαστάσεων ή ενός επιπέδου των τριών διαστάσεων και κατασκευάζονται από τις ανισώσεις των περιορισμών, αν αντικατασταθούν τα \leq, \geq με ισότητες. Προφανώς το όριο της εφικτής περιοχής ενός προβλήματος Γραμμικού Προγραμματισμού αποτελείται από τις εφικτές λύσεις που ικανοποιούν μία ή περισσότερες εξισώσεις ορίων.

Ο αλγόριθμος SIMPLEX είναι η αλγεβρική διαδικασία η οποία χρησιμοποιείται για την επίλυση μίας κατηγορίας προβλημάτων Γραμμικού Προγραμματισμού. Για να εφαρμοστεί ο αλγόριθμος SIMPLEX πρέπει όλοι οι περιορισμοί να είναι ισότητες. Η αντικειμενική συνάρτηση μετατρέπεται σε ισότητα, θεωρώντας την ίση με το 0. Γενικά, ακολουθείται επαναληπτική μέθοδος προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού μέχρις ότου επιτευχθεί βέλτιστη λύση.

3.7.2 Ακέραιος Προγραμματισμός

Μία κατηγορία προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού είναι ο ακέραιος προγραμματισμός ο οποίος βρίσκει εφαρμογή σε περιπτώσεις προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού όπου οι τιμές των μεταβλητών που συμμετέχουν επιβάλλεται να είναι ακέραιες.

Κυριότερες τεχνικές επίλυσης προβλημάτων ακέραιου προγραμματισμού:

1) Μέθοδοι διακλάδωσης και ορίου (branch and bound)

Η λύση εδώ έρχεται ύστερα από τη λύση μιας σειράς υποπροβλημάτων, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με διακλαδώσεις.

2) Τεχνικές περιορισμού του εφικτού χώρου (cutting planes)

Σε αυτές τις μεθόδους δημιουργούνται συμπληρωματικές ανισότητες για περιορισμό του χώρου των λύσεων ώστε το πρόβλημα να έχει ακέραιες μεταβλητές.

3) Μέθοδοι απαρίθμησης

Σε αυτές τις μεθόδους εντοπίζονται σύμφωνα με κάποια κριτήρια όλες οι εφικτές λύσεις και επιλέγεται αυτή που μεγιστοποιεί ή ελαχιστοποιεί την αντικειμενική συνάρτηση.

4) Διαμεριστικοί αλγόριθμοι

Επιλύουν ενός μεικτού προβλήματος ακέραιου προγραμματισμού μέσω της επίλυσης μιας σειράς προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού και προβλημάτων ακέραιου προγραμματισμού.

3.7.3 Δυϊκό Πρόβλημα

Η βέλτιστη λύση ενός προβλήματος γραμμικού προγραμματισμού βασίζεται στις εφήμερες συνθήκες που κυριαρχούν τη στιγμή κατά την οποία το μοντέλο του προβλήματος κατασκευάζεται και επιλύεται. Σε προβλήματα πραγματικών συνθηκών, τα διάφορα περιβάλλοντα αποφάσεων παραμένουν στατικά μόνο σε εξαιρετικά σπάνιες περιπτώσεις. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαίο να καθοριστεί ο τρόπος με τον οποίο αλλάζει η βέλτιστη λύση όταν μεταβάλλονται οι παράμετροι του μοντέλου. Με το παραπάνω πρόβλημα ασχολείται η ανάλυση της ευαισθησίας η οποία παρέχει ικανές υπολογιστικές τεχνικές που βοηθούν στη μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς της βέλτιστης λύσης, η οποία προκύπτει από διάφορες αλλαγές που προκύπτουν στις παραμέτρους του μοντέλου. Η θεωρία της δυϊκότητας παρέχει έναν αλγεβρικό τρόπο αντιμετώπισης αυτού του σημαντικού πρακτικού προβλήματος. Το δυϊκό πρόβλημα (dual problem) είναι ένα πρόγραμμα γραμμικού προγραμματισμού το οποίο καθορίζεται ντετερμινιστικά από το αρχικό ή πρωτεύον μοντέλο (primal or original problem) προβλήματος γραμμικού προγραμματισμού. Η συσχέτιση των δύο προβλημάτων είναι τόσο απόλυτη ώστε αν προκύψει με κάποιο τρόπο η βέλτιστη λύση του πρωτεύοντος, να επέρχεται με φυσιολογικό τρόπο και η λύση του δυϊκού προβλήματος και αντίστροφα. Το είδος της βελτιστοποίησης (max ή min), οι μορφές των ανισοτήτων των περιορισμών (\geq , $=$, \leq), καθώς και το είδος των μεταβλητών προσδιορίζουν πλήρως το δυϊκό πρόβλημα. Συγκεκριμένα, οι περιορισμοί του πρωτεύοντος καθορίζουν τις μεταβλητές του δυϊκού, οι μεταβλητές του πρωτεύοντος καθορίζουν τους περιορισμούς του δυϊκού, η ίδια αντίθεση ισχύει και με τους συντελεστές μεταξύ των μεταβλητών του ενός και συντελεστών του άλλου. Τέλος, το είδος της βελτιστοποίησης που επιζητείται είναι επίσης αντίθετη στα δύο προβλήματα. Δηλαδή ένα πρωτεύον πρόβλημα μεγιστοποίησης μετατρέπεται σε πρόβλημα ελαχιστοποίησης στο δυϊκό και αντίστροφα.

3.8 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ

Για τη μαθηματική επίλυση του προβλήματος είναι αναγκαίο να ορίσουμε της μεταβλητές, την Αντικειμενική Συνάρτηση και τους περιορισμούς της αναπτυσσόμενης συνθήκης. Ορίζονται ως εξής:

- **i**: ενέργεια επισκευής
- **I**: το σύνολο των εργασιών συντήρησης *i*
- **j**: τμήμα οδοστρώματος
- **J**: το σύνολο των τμημάτων *j*
- **k**: ημέρα επισκευής
- **K**: το σύνολο των ημερών που χρειάζονται για την επισκευή
- **C_i**: κόστος κάθε ενέργειας που πραγματοποιείται
- **B**: διαθέσιμος προϋπολογισμός
- **V_j**: κυκλοφοριακός φόρτος τμήματος *j*
- **ΔX_i**: βελτίωση (σε χρόνο ζωής) που επιφέρει η ενέργεια *i*
- **P_j**: ποσοστό του μήκους του τμήματος με βλάβη
- **L_j**: το μήκος του τμήματος *j*
- **PC_{Ij}**: δείκτης κατάστασης του τμήματος *j*
- **M_j**: ημέρα που γίνεται η εργασία στο τμήμα *j*
- **H**: το σύνολο των διαθέσιμων εργατωρών σε μία ημέρα
- **h_i**: απαιτούμενες εργατοώρες για την ολοκλήρωση μιας εργασίας *i*
- **PL_j**: μήκος που χρήζει επισκευής
- **X_{ijk}**: παίρνει την τιμή 1 αν η εργασία *i* πραγματοποιείται στο τμήμα *j* τη χρονική στιγμή *k* και 0 αν δεν πραγματοποιείται

Αντικειμενική Συνάρτηση

$$\begin{aligned} \min Z = & w1 \left[\sum_{i \in I} C_i * \sum_k \sum_j PL_j * X_{ijk} \right] + w2 \left[\sum_{j \in J} M_j * V_j * \sum_{i \in I} \sum_k X_{ijk} \right] - \\ & w3 \left[\sum_{i \in I} \Delta X_i * \sum_{j \in J} (100 - PC_{Ij}) * \sum_k X_{ijk} \right] \end{aligned} \quad (3.1)$$

Περιορισμοί

$$\sum_{i=1}^I X_{ijk} * h_i \leq H, \quad \forall j \in J, \forall k \in K \quad (3.2)$$

$$\sum_{i \in I} C_i * \sum_{j \in J} LP_j \sum_k X_{ijk} \leq B \quad (3.3)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{ijk} \leq 1, \quad \forall j \in J, \forall k \in K \quad (3.4)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K X_{ijk} \leq 2, \quad \forall i \in I \quad (3.5)$$

$$P_j \leq 70 * (1 + \sum_i \sum_k X_{ijk}), \quad \forall j \in J \quad (3.6)$$

$$PCI_j \geq 40 * (1 - \sum_i \sum_k X_{ijk}), \quad \forall j \in J \quad (3.7)$$

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{αν η ενέργεια } i \text{ πραγματοποιηθεί στο τμήμα } j \text{ τη χρονική στιγμή } k \\ 0 & \text{αν η ενέργεια } i \text{ δεν πραγματοποιηθεί στο τμήμα } j \text{ τη χρονική στιγμή } k \end{cases} \quad (3.8)$$

Η συνάρτηση (3.1) αποτελεί την Αντικειμενική Συνάρτηση του προβλήματος, στόχος της οποίας είναι ο βέλτιστος προγραμματισμός των εργασιών συντήρησης ώστε να επιτευχθεί το ελάχιστο κόστος συντήρησης και η βέλτιστη κατάσταση οδοστρώματος με την ελαχιστοποίηση της όχλησης των οδηγών, η οποία οφείλεται στις καθυστερήσεις των μετακινήσεων τους και έμμεσα στη φθορά του οδοστρώματος που προκαλείται από τον κυκλοφοριακό φόρτο των οχημάτων. Έτσι, ο πρώτος όρος της αντικειμενικής συνάρτησης αναφέρεται στο κόστος της επισκευής των τμημάτων του οδοστρώματος που θέλουν επισκευή, ο δεύτερος όρος στον φόρτο κυκλοφορίας του τμήματος, και ο τρίτος όρος αναφέρεται στην (σημαντικότητα – βαρύτητα) επίδραση της κάθε επισκευής στο τμήμα που επισκευάζεται. Επιδιώκεται έτσι η αμεσότερη διεξαγωγή των εργασιών στα τμήματα που

έχουν την μεγαλύτερη φθορά και τον μεγαλύτερο φόρτο κυκλοφορίας ώστε να επιβαρυνθούν όσο το δυνατόν λιγότερο οι χρήστες των τμημάτων, καθώς η υποβάθμιση της λειτουργικότητας σε αυτά θα ήταν πολύ ταχύτερη.

Η φθορά του οδοστρώματος από τις διελεύσεις των οχημάτων επηρεάζει έμμεσα την όχληση των οδηγών, όπως για παράδειγμα όταν δεν υπάρχει η κατάλληλη επαφή του ελαστικού με το οδόστρωμα, γεγονός που συνεπάγεται τη μη ομαλή κίνηση του οχήματος, άρα και όχληση του οδηγού και αυξημένο κίνδυνο τροχαίου ατυχήματος.

Η εξίσωση (3.2) αναφέρεται στο σύνολο των ωρών εργασίας που καταλαμβάνουν οι επισκευές που πραγματοποιούνται μέσα σε μία ημέρα και οι οποίες δεν πρέπει να ξεπερνούν το σύνολο των διαθέσιμων σε αυτήν εργατωρών.

Η εξίσωση (3.3) υποδεικνύει πως το συνολικό κόστος των εργασιών που προγραμματίζονται για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο δεν πρέπει να ξεπερνάει τον προϋπολογισμό που αντιστοιχεί σε αυτήν.

Η εξίσωση (3.4) εξασφαλίζει πως μπορεί να πραγματοποιηθεί μέχρι μια εργασία σε κάθε τμήμα οδοστρώματος.

Η εξίσωση (3.5) εξασφαλίζει πως μέχρι δύο εργασίες σε κάθε ημέρα είναι δυνατό να προγραμματιστούν.

Ο περιορισμός (3.6) αναφέρεται στην έκταση της βλάβης στο τμήμα j και ορίζει ότι αν το ποσοστό της βλάβης P_j είναι μεγαλύτερο από 70% του τμήματος, θα γίνεται οπωσδήποτε επισκευή σε ολόκληρο το τμήμα της οδού.

Ο περιορισμός (3.7) αναφέρεται στην κατάσταση του οδοστρώματος στο τμήμα j και ορίζει ότι αν το ποσοστό της κατάστασης του οδοστρώματος PCI_j είναι μικρότερο από 40%, θα γίνεται οπωσδήποτε η επισκευή στο τμήμα της οδού με τη βλάβη.

Τέλος, η εξίσωση (3.8) καθορίζει ότι οι μεταβλητές θα είναι δυαδικές (binary).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

4.1 ΣΤΟΧΟΣ

Σκοπός του δημιουργούμενου μοντέλου είναι ο βέλτιστος προγραμματισμός των εργασιών συντήρησης οδοστρωμάτων, με ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση του κόστους επισκευής και μεγιστοποίηση της βελτίωσης της κατάστασης του οδοστρώματος. Για τις ανάγκες της βελτιστοποίησης συλλέγονται και δημιουργούνται τα απαραίτητα στοιχεία-δεδομένα και γίνονται οι κατάλληλες επιλογές και παραδοχές έτσι ώστε να προγραμματιστούν μια σειρά από επισκευές, για να υλοποιηθούν στα επιλεγμένα τμήματα που χρήζουν επισκευής.

4.2 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΣΜΟΥ

Σε πρώτη φάση, από την αναφορά που έγινε στο κεφάλαιο 3.4 για την συντήρηση και τους τρόπους επιδιόρθωσης των βλαβών - φθορών που υπάρχουν για τα εύκαμπτα οδοστρώματα, θα επιλέξουμε θεωρητικά ποια σημεία του δικτύου χρήζουν επισκευής σύμφωνα με τα δεδομένα και τους δείκτες. Στο παρόν κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με την διορθωτική συντήρηση εύκαμπτων οδοστρωμάτων. Θα υποθέσουμε ότι τα τμήματα που διαλέξαμε για επισκευή παρουσιάζουν τις εξής πιθανές ζημιές:

1. Αποσάρθρωση
2. Παραμόρφωση
3. Ρηγμάτωση
4. Λακκούβες



Εικόνα 4.1: Αποσάρθρωση



Εικόνα 4.2: Παραμόρφωση



Εικόνα 4.3: Ρηγμάτωση



Εικόνα 4.4: Λακκούβες

Για την επίλυση του παρόντος προβληματισμού επιλέχθηκαν τέσσερις τρόποι αντιμετώπισης των πιθανών ζημιών που παρατηρήθηκαν από την επιθεώρηση των τμημάτων. Οι τύποι συντήρησης που θεωρούμε ότι θα έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα στο παρόν πρόβλημα θα είναι:

- **0.**Δεν κάνουμε καμία ενέργεια επισκευής
- **1.**Cape Seal
- **2.**Hot Mix Asphalt Overlay
- **3.**In Place Recycling & Overlay
- **4.**Mill & HMA Overlay

Η αξιολόγηση της κατάστασης του οδοστρώματος που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε από την FHWA, η οποία χρησιμοποιεί μια κλίμακα από το 0 έως 4 για την οδική κατάσταση του οδοστρώματος. Τα οδοστρώματα είναι επισκευάσιμα μέχρι η τιμή της αξιολόγησης να μειωθεί σε 1 (μη επισκευάσιμα). Οι αξιολογήσεις είναι συνθήκη που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την υφιστάμενη κατάσταση του οδοστρώματος. Θεωρείται μία πολύ σημαντική φάση στην οποία βασίζονται οι μεταγενέστερες αποφάσεις.

Εκτίμηση βαθμολογίας κατάστασης οδοστρωμάτων (FHWA)		
	PCI (εύρος)	Περιγραφή
0	0-10	Αποτυχία: κατάσταση εκτός λειτουργίας, δεν επιδιορθώνεται, χρήζει αντικατάστασης.
1	10-40	Κακή κατάσταση: απώλεια τμήματος, φθορά, μεγάλη συντήρηση είναι απαραίτητη.
2	40-55	Μέτρια κατάσταση: μικρή απώλεια τμήματος, ρωγμές, μικρή αποκατάσταση είναι απαραίτητη.
3	55-70	Καλή κατάσταση: μερικά μικρά προβλήματα για μικρές εργασίες συντήρησης.
4	70-100	Άριστη κατάσταση: καθόλου προβλήματα, δεν υπάρχουν αξιοσημείωτες ελλείψεις.

Πίνακας 4.1: Βαθμολογία κατάστασης οδοστρώματος

Από την βιβλιογραφική ανασκόπηση, περιγράφεται η μεθοδολογία του προγραμματιστικού μοντέλου προβλημάτων συντήρησης οδοστρώματος.

1. Η κατάταξη του οδικού δικτύου (Αστική ή αγροτική) είναι το πρώτο βήμα για την υλοποίηση του προγραμματιστικού μοντέλου. Εάν έχουμε μια αστική περιοχή, το οδικό δίκτυο χωρίζεται σε ζώνες δήμους, ενώ εάν είναι αγροτική περιοχή χωρίζεται σε οδικά τμήματα.

2. Η αρίθμηση και η ταυτοποίηση του οδοστρώματος εφαρμόζεται ως εξής, χωρίζεται σε ζώνες, δήμους, σε τμήματα των 50 έως 550μ. μήκος. Η ταυτοποίηση του οδικού δικτύου γίνεται από ένα (ID) που απαιτείται για κάθε τμήμα, το τμήμα καλύπτει μόνο μία λωρίδα, (3 έως 3,5 m πλάτος), και η κατεύθυνση κυκλοφορίας είναι επίσης δεδομένο. Οι τεχνικές GPS GIS θα μπορούσαν να υλοποιηθούν σε αυτό το βήμα για να απλοποιηθεί η διαδικασία τεκμηρίωσης των δεδομένων.

3. Το τρίτο βήμα είναι η αξιολόγηση του οδοστρώματος, δηλαδή η κατάσταση της επιφάνειας είτε οπτικά είτε με αυτοματοποιημένες τεχνικές, οι ατέλειες της επιφάνειας αναφέρονται σε ένα σκίτσο ή με φωτογραφία. Η έκθεση υποβάλλεται με αξιολόγηση στο γραφείο για να καθορίσει τη σοβαρότητα και την έκταση κάθε τύπου δυσχέρειας (χαμηλή, μέση ή υψηλή).

4. Στο τέταρτο στάδιο, το μαθηματικό μοντέλο επίλυσης θα αποφασίσει τη βαθμολογία του κάθε τμήματος, σύμφωνα με τους τύπους. Η τελική βαθμολογία προκύπτει, ως η απαιτούμενη εναλλακτική συντήρησης χρησιμοποιώντας τη διαδικασία βελτιστοποίησης. Το κόστος της κάθε εναλλακτικής συντήρησης αξιολογείται και ο εμπειρογνώμονας θα αποφασίσει το ύψος του προϋπολογισμού για το τμήμα.

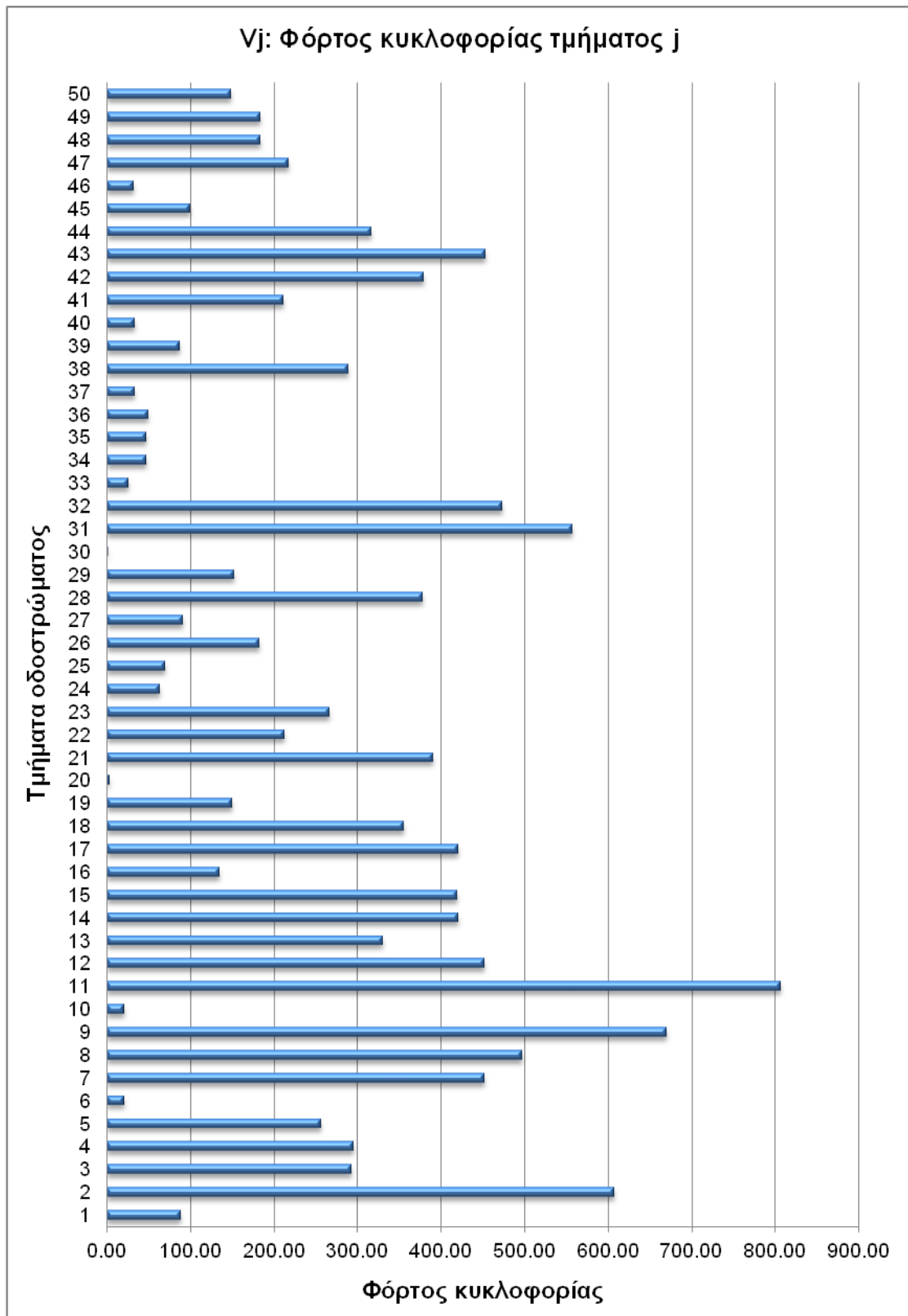
5. Σε αυτό το πέμπτο βήμα, το οδικό δίκτυο θα παρακολουθείται περιοδικά ή κάθε έξι μήνες χρησιμοποιώντας το σύστημα παρακολούθησης των επιδόσεων οδοστρώματος μακροχρόνια (LTPPS), τα δεδομένα της κατάστασης οδοστρώματος θα προστεθούν στη βάση δεδομένων, έτσι ώστε το μοντέλο επιδείνωσης να δημιουργηθεί. Το μοντέλο ανάλυσης κόστους κύκλου ζωής δημιουργείται σε αυτό το βήμα. Το μοντέλο επιδείνωσης χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη της διαδικασίας σχεδιασμού της συντήρησης του οδοστρώματος. Η επιλογή της συντήρησης γίνεται βήμα προς βήμα με λογική προσέγγιση, η οποία θα μπορούσε να καθορίσει τα αίτια της δυσφορίας, και να αναπτύξει έναν κατάλογο επιδιόρθωσης που θα διατηρήσει σε καλή κατάσταση το οδόστρωμα για να αποτρέψει μελλοντικές αστοχίες.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία η ανάλυση επιλέχθηκε να γίνει για 50 ξεχωριστά τμήματα οδοστρωμάτων μιας περιοχής, όπου έχουν προϋπολογιστεί ο δείκτης PCI και ο φόρτος κυκλοφορίας, όπως είναι ο

συνηθέστερος τρόπος αντιμετώπισης ανάλογων προβλημάτων στη βιβλιογραφία.

4.3 ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Τα δεδομένα αφορούν σε 50 τμήματα του κεντρικού οδικού δίκτυο της Αλεξανδρούπολης. Στο παρόν κεφάλαιο, παρατίθενται τα διαγράμματα για τα δεδομένα που αφορούν, 1) το φόρτο κυκλοφορίας του κάθε τμήματος, 2) τον δείκτη της κατάστασης σε κάθε τμήμα οδοστρώματος, 3) το ποσοστό του μήκους του κάθε τμήματος με βλάβη, 4) το μήκος που χρήζει επισκευής, 5) το κόστος επισκευής και 6) η βελτίωση που φέρει κάθε ενέργεια.

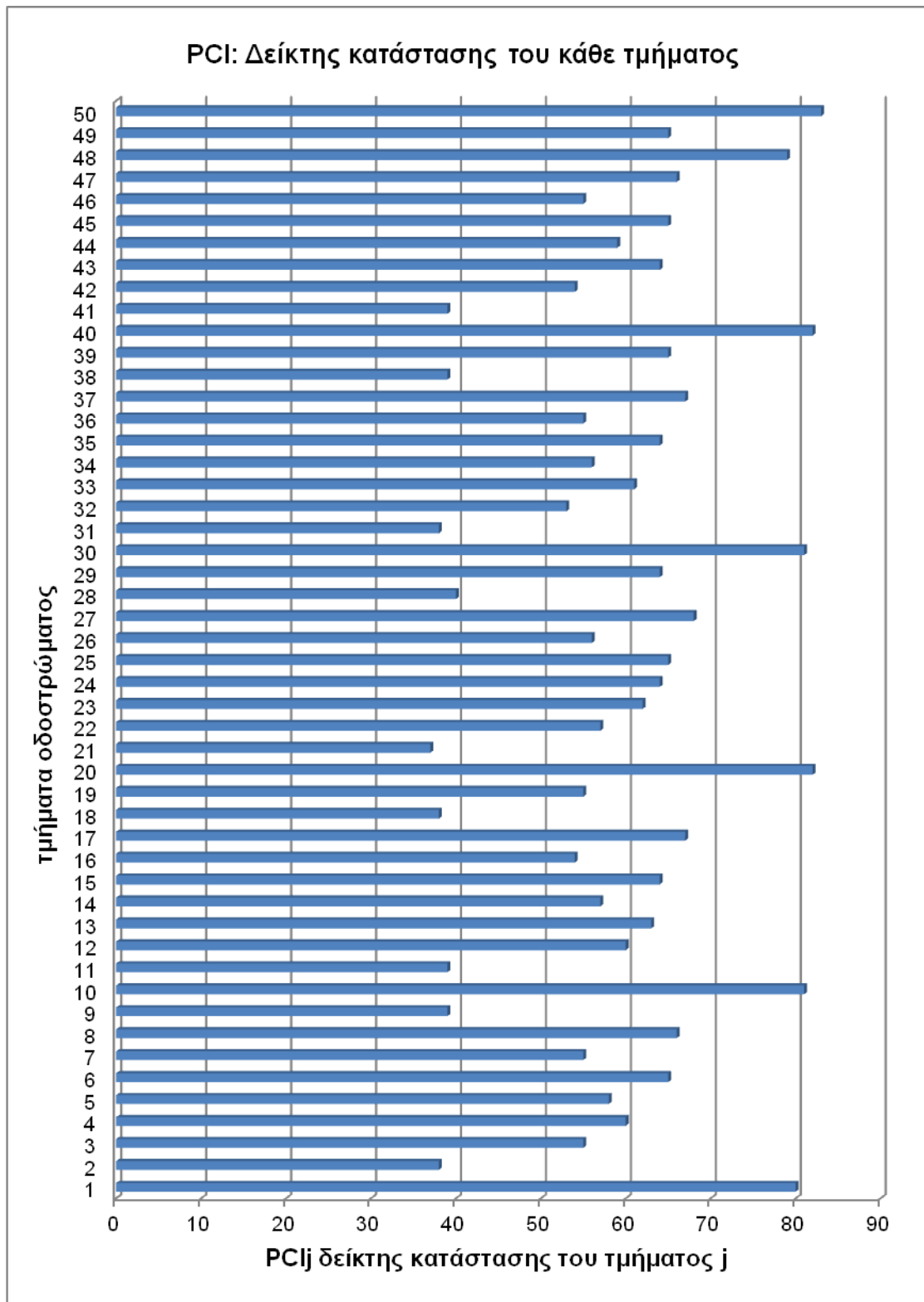


Διάγραμμα 4.1: Φόρτος κυκλοφορίας του κάθε τμήματος

Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι στα τμήματα 2, 9 και 11 απαντάται ο μεγαλύτερος φόρτος κυκλοφορίας, καθώς είναι οι πιο κεντρικοί δρόμοι της περιοχής.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι δείκτες κατάστασης του κάθε τμήματος, οι οποίοι παράχθηκαν με τυχαίο τρόπο για τους σκοπούς της εργασίας. Επιλέγεται στα τμήματα που είναι τα πιο επιβαρημένα από τις διελεύσεις των οχημάτων, δηλαδή έχουν τον μεγαλύτερο φόρτο κυκλοφορίας, να θεωρήσουμε ότι θα έχουμε την χειρότερη κατάσταση του οδοστρώματος και το μεγαλύτερο ποσοστό του τμήματος με βλάβη. Αυτή η παραδοχή γίνεται ώστε τα δεδομένα μας να είναι πιο ρεαλιστικά. Επίσης θεωρούμε ότι τα πενήντα αστικά τμήματα που θα επισκευαστούν έχουν αρχικά κατασκευαστεί περίπου την ίδια χρονική περίοδο, δηλαδή έχουν την ίδια ακριβώς παλαιότητα. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν ορισμένοι περιορισμοί όπως, αν το μήκος του τμήματος έχει ζημιά μεγαλύτερη από 70% να επισκευάζεται ολόκληρο το μήκος του συγκεκριμένου τμήματος.

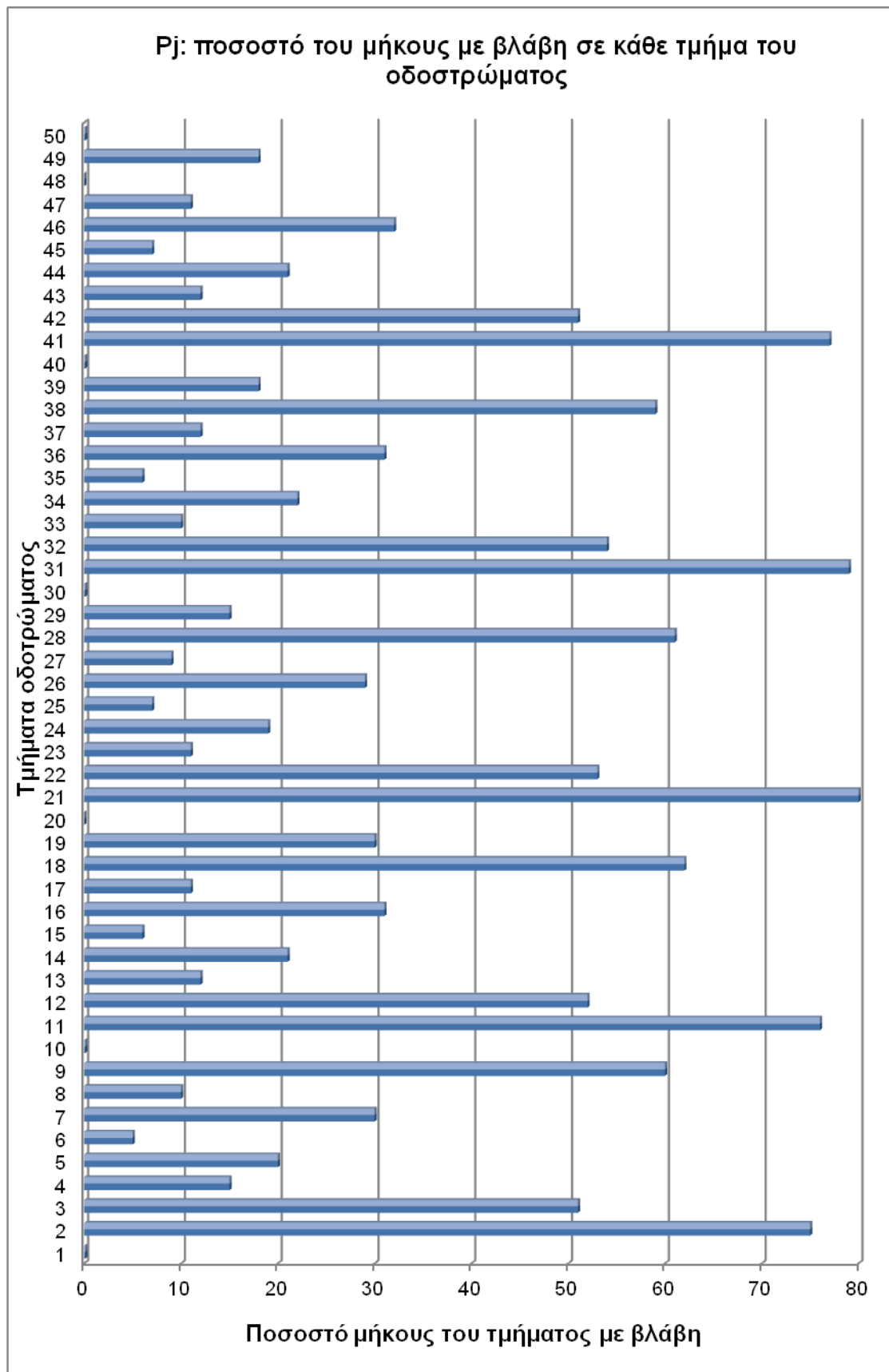
Θεωρήθηκε πως αν ο δείκτης κατάστασης του οδοστρώματος (PCI) είναι μικρότερος από 40, τότε θα πρέπει να επισκευάζεται οπωσδήποτε το συγκεκριμένο τμήμα.



Διάγραμμα 4.2: Δείκτης κατάστασης του οδοστρώματος

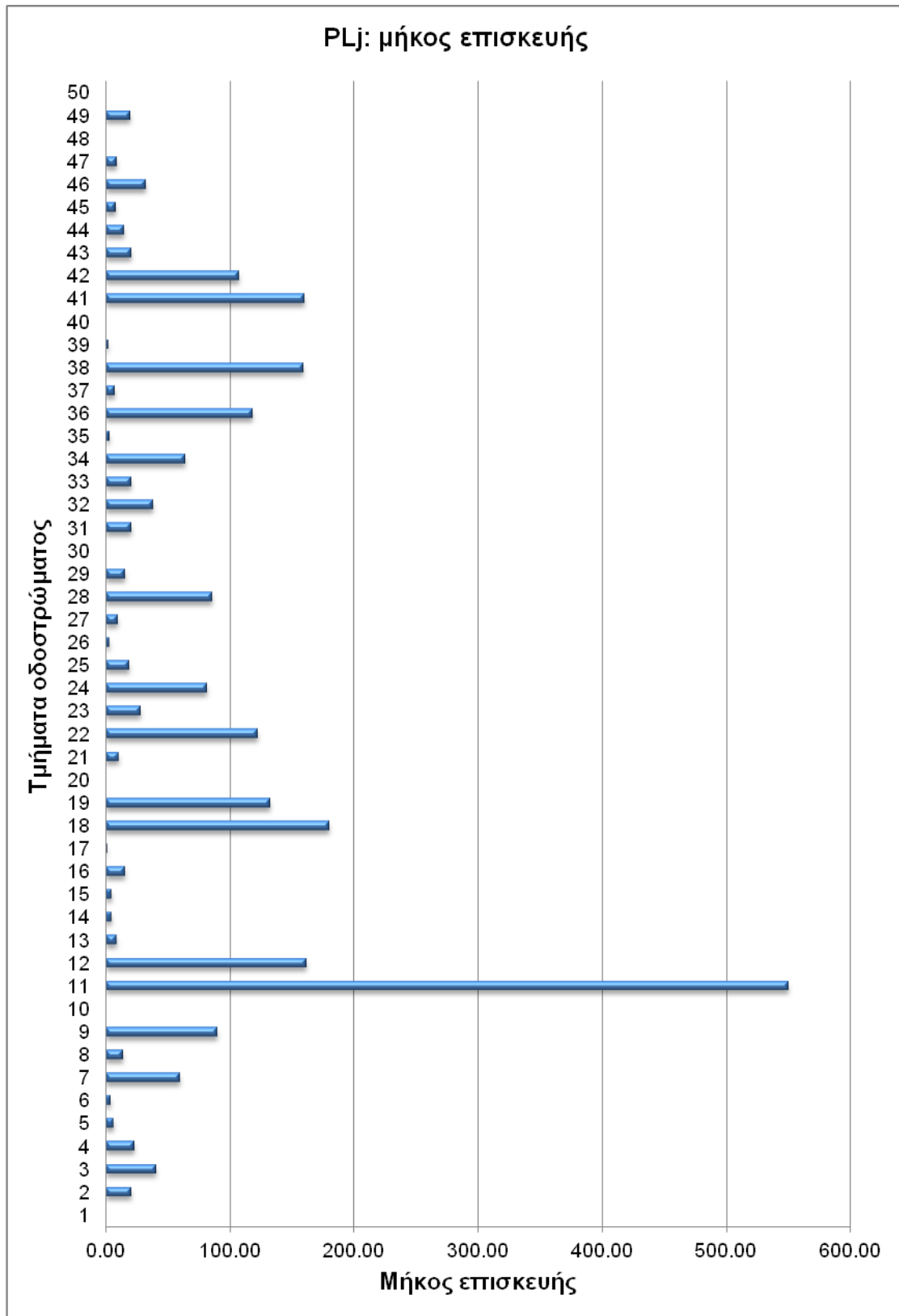
Από το παραπάνω διάγραμμα που κατασκευάστηκε για την εποπτικότερη παρουσίαση των δεδομένων της κατάστασης του οδοστρώματος, φαίνεται ότι την μεγαλύτερη φθορά την έχουν τα τμήματα 2, 9, 11, 18, 21, 31, 38 και 41 ενώ την χαμηλότερη φορά την έχουν τα τμήματα 10, 20, 30, 40 και 50.

Ομοίως, το ποσοστό του μήκους κάθε τμήματος που παρουσιάζει βλάβη, παράχθηκε με τυχαίο τρόπο και παρουσιάζεται στο επόμενο διάγραμμα:



Διάγραμμα 4.3: Ποσοστό του μήκους του κάθε τμήματος με βλάβη

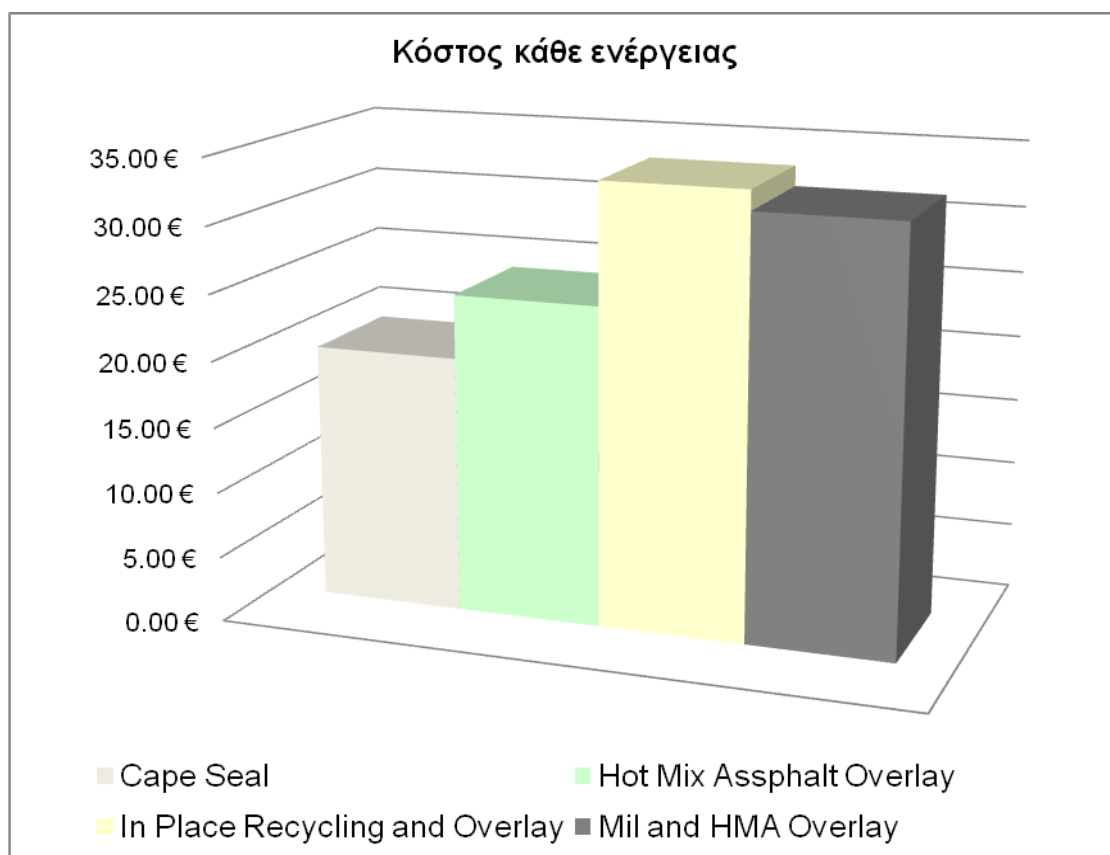
Το μήκος βλάβης που προκύπτει σε κάθε τμήμα φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 4.4: Μήκος που χρήζει επισκευής

Από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση επιλέχθηκαν οι εργασίες που πρέπει να υλοποιούνται στην επισκευαστική συντήρηση των οδοστρωμάτων, και τα στοιχεία για τις απαιτούμενες ώρες εργασίες και το κόστος για τις επιλεχθείσες ενέργειες συντήρησης. Οι τέσσερις εργασίες επισκευής που επιλέχθηκαν είναι μέρος από τις εννιά βασικές τεχνικές συντήρησης που απαντώνται στα εύκαμπτα οδοστρώματα (FHWA, 1989), η αποτελεσματικότητα της χρήσης τεχνικών συντήρησης αναφορικά με την εξέλιξη της κατάστασης ενός οδοστρώματος σύμφωνα με τον (Patenaude, 2013), το κόστος και η διάρκεια ζωής των τεχνικών συντήρησης σύμφωνα με τον (Patenaude, 2013).

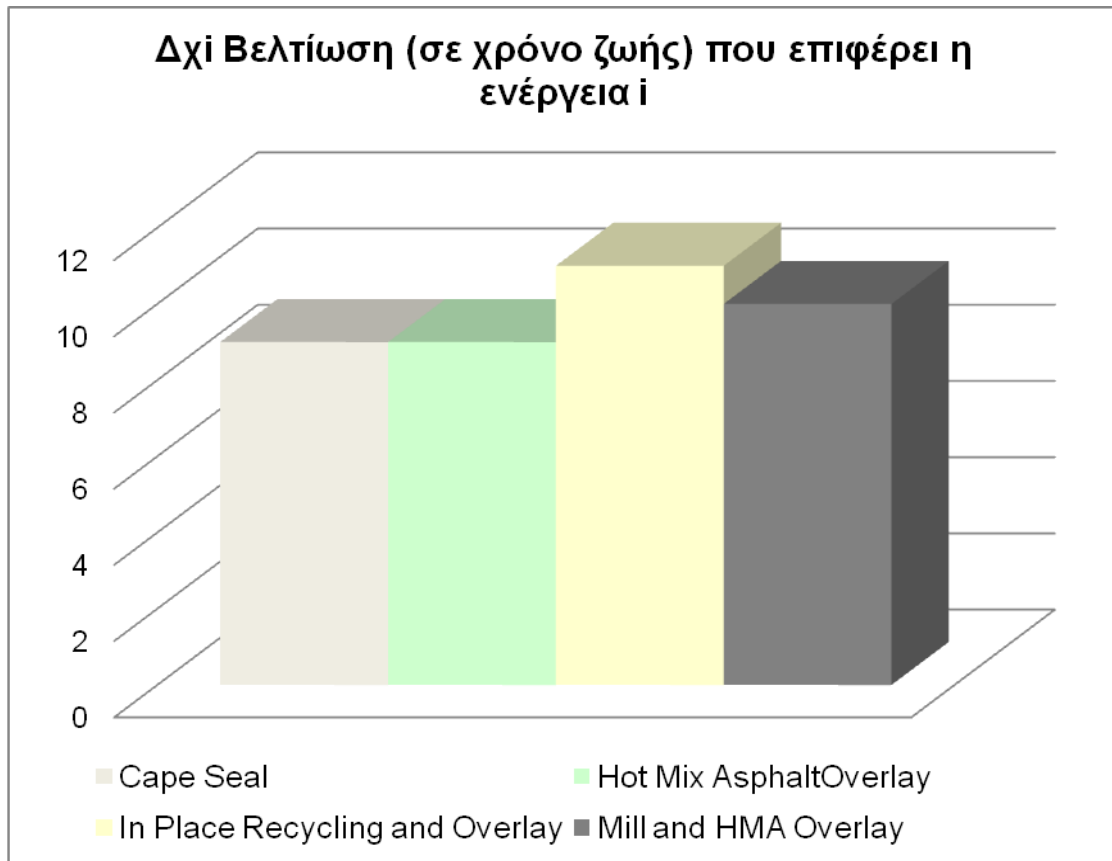
Τα κόστη που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε εργασία παρουσιάζονται στο επόμενο διάγραμμα:



Διάγραμμα 4.5: Κόστος ενεργειών επισκευής

Γίνεται μία παραδοχή που αφορά το πλάτος του οδοστρώματος που θεωρείται ίδιο σε όλα τα τμήματα και ίσο με 3,5 μ., ώστε να υπολογιστούν οι τιμές του πίνακα που αφορούν τιμές ανά τρέχον μέτρο επισκευής για κάθε εργασία .

Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται η βελτίωση σε χρόνια ζωής του οδοστρώματος που επιφέρει κάθε εργασία συντήρησης.



Διάγραμμα 4.6: Βελτίωση του οδοστρώματος σε έτη

Έτσι, προέκυψαν τα εξής τμήματα μελέτης:

Πίνακας 4.2: Τμήματα οδοστρώματος 1-50

α/α Τμήματα οδοστρώματος j	ID Ονομασία τμήματος	Lj Μήκος τμήματος j σε (m)	Μέγιστο ανεκτός φόρτος κυκλοφορίας A	Ταχύτητα_AB	Χρόνος_AB	Vj Φόρτος κυκλοφορίας τμήματος j
1	518	70	1000	40	0.10	88.18
2	441	20	900	40	0.03	607.50
3	363	80	900	50	0.09	292.91
4	364	150	900	50	0.18	294.85
5	8	30	900	50	0.03	256.58
6	470	80	900	40	0.13	20.11
7	469	200	900	40	0.29	451.81
8	4	140	900	50	0.17	496.16
9	5	150	900	50	0.18	669.40
10	471	50	900	40	0.11	20.11
11	426	550	900	50	0.66	806.45
12	472	310	900	40	0.46	451.81
13	467	70	900	40	0.10	330.33
14	504	20	900	40	0.02	420.36
15	165	70	900	40	0.11	419.47
16	141	50	900	40	0.08	134.94
17	20	10	900	40	0.01	420.36
18	492	290	900	30	0.58	354.66
19	176	440	900	30	0.89	149.31
20	376	250	900	30	0.50	3.56
21	380	10	900	40	0.01	390.33
22	377	230	900	40	0.34	212.30
23	189	250	900	40	0.37	266.46
24	210	430	900	30	0.86	62.67
25	486	270	900	30	0.54	69.29
26	485	10	900	40	0.02	182.15
27	527	110	900	40	0.16	91.32
28	526	140	900	50	0.17	377.36
29	657	100	1000	40	0.15	151.50
30	473	220	900	30	0.44	0.89
31	462	20	900	30	0.03	556.51
32	461	70	900	30	0.10	472.79
33	223	200	1000	30	0.39	25.56
34	478	290	1000	40	0.44	47.25
35	18	50	900	40	0.08	47.25
36	15	380	1000	40	0.57	49.57
37	90	60	900	40	0.09	33.22
38	474	270	1000	50	0.31	288.46
39	95	10	900	40	0.02	86.98
40	369	170	900	40	0.25	33.22
41	361	160	1000	50	0.19	211.51
42	406	210	1000	50	0.24	379.08
43	360	170	1000	50	0.20	452.69

44	14	70	1000	50	0.09	316.01
45	365	110	900	40	0.17	99.56
46	362	100	900	40	0.14	31.21
47	404	80	900	40	0.12	217.77
48	401	150	900	40	0.22	183.10
49	367	110	900	40	0.16	183.10
50	213	30.00	900.00	30.00	0.06	148.59

Ο προγραμματισμός των εργασιών επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί σε βάθος ενός μήνα, ενώ μπορεί να πραγματοποιηθεί μέχρι μία εργασία επισκευής σε κάθε τμήμα οδοστρώματος και μέχρι δύο εργασίες επισκευής για κάθε ημερολογιακή ημέρα, δηλαδή για καθεμιά από τις τριάντα (30) ημέρες του μήνα. Οι προαναφερόμενες παραδοχές έχουν εισαχθεί ως περιορισμοί για την επίλυση του προβλήματος. Για κάθε τμήμα που χρειάζεται επιδιόρθωση θεωρείται ότι γίνεται και η αντίστοιχη αλλαγή της κυκλοφορίας ώστε να μπορούν να γίνουν οι επισκευές.

4.3.1 Αντικειμενική συνάρτηση

Για τις ανάγκες της συγκεκριμένης βελτιστοποίησης πραγματοποιήθηκαν οι εξής αποφάσεις στην αντικειμενική συνάρτηση και στους περιορισμούς.

Η αντικειμενική συνάρτηση προέκυψε από το άθροισμα του περιεχομένου των κελιών του πρώτου και δεύτερου όρου, μείον του τρίτου και στην προσπάθεια ελαχιστοποίησης της τιμής, δοθέντων ορισμένων περιορισμών, προγραμματίστηκαν οι εργασίες στις διάφορες μέρες του μήνα ανάλογα με τις ανάγκες.

- Ο πρώτος όρος της αντικειμενικής συνάρτησης σταθμίστηκε με το κόστος επισκευής του κάθε τμήματος.
- Ο δεύτερος όρος της αντικειμενικής συνάρτησης σταθμίστηκε με τον φόρτο κυκλοφορίας του κάθε τμήματος.
- Ο τρίτος όρος της αντικειμενικής συνάρτησης σταθμίστηκε με την βελτίωση της κάθε ενέργειας επισκευής του κάθε τμήματος.
- Οι όροι της αντικειμενικής συνάρτησης κανονικοποιήθηκαν, ώστε η αντικειμενική συνάρτηση να έχει φυσικό νόημα και να εκφράζει επί της ουσίας την βέλτιστη λύση του κόστους για την επισκευή συντήρησης, η οποία οφείλεται στη φθορά του οδοστρώματος λόγω διελεύσεων των οχημάτων από τα τμήματα που εμφανίζουν αστοχία, το συνολικό κόστος της επισκευής και την βελτίωση σε σχέση με την επιλογή της κάθε μεθόδου.

- Ο όρος του συνολικού κόστους της επιδιόρθωσης διαιρέθηκε με το μέγιστο (δυσμενέστερο) κόστος επισκευής, το οποίο πραγματοποιείται αν όλες οι επισκευές πραγματοποιηθούν με την ακριβότερη μέθοδο. Ο δεύτερος όρος που έχει σχέση με την ημέρα που πραγματοποιείται η επισκευή διαιρέθηκε με το μέγιστο (δυσμενέστερο) μέγεθος, που πραγματοποιείται αν όλες οι επισκευές πραγματοποιηθούν τις τελευταίες ημέρες του μήνα, που είναι η αργότερη δυνατή χρονική στιγμή πραγματοποίησης των εργασιών. Τέλος ο τρίτος όρος που είναι η σημαντικότητα-βαρύτητα της κάθε επισκευής διαιρέθηκε με το μέγιστο (δυσμενέστερο) μέγεθος, που πραγματοποιείται αν όλες οι επισκευές πραγματοποιηθούν με τη μέθοδο που μας δίνει τη μεγαλύτερη βελτίωση.

Έτσι, η αντικειμενική συνάρτηση έχει φυσικό νόημα, εκφράζοντας την βέλτιστη λύση του κόστους για την επισκευαστική συντήρηση συναρτήσει του φόρτου κυκλοφορίας με την ημέρα επισκευής και συναρτήσει της βελτίωσης με την κατάσταση του οδοστρώματος.

- Στη διεθνή βιβλιογραφία ο προγραμματισμός των εργασιών συντήρησης βασίζεται σε μοντέλα φθοράς, τα οποία έχουν προκύψει κατά κύριο λόγο ύστερα από την εφαρμογή κάποιας μαθηματικής κατανομής στα στοιχεία που έχουν συλλεχθεί έπειτα από τη συνεχή παρακολούθηση και καταγραφή της κατάστασης του οδοστρώματος. Ωστόσο, λόγω έλλειψης ανάλογων στοιχείων, για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αξιοποιήθηκε η γνώση από σχετικές έρευνες όπου θεωρείται ότι οι καμπύλες υποβάθμισης είναι κατά κανόνα γραμμικές, έτσι ώστε να μπορεί η φθορά να θεωρηθεί ότι αυξάνεται γραμμικά με τις διελεύσεις των οχημάτων ανά ημέρα.
- Οι μεταβλητές απόφασης είναι ακέραιες μεταβλητές της μορφής X_{ijk} που λαμβάνουν την τιμή 1 ή 0 ανάλογα με το αν μια συγκεκριμένη ενέργεια επισκευής πραγματοποιείται -ή όχι- αντίστοιχα σε δεδομένη χρονική στιγμή και καθορισμένο τμήμα. Ο δείκτης i αφορά το είδος της εργασίας, ο j το τμήμα του οδοστρώματος και ο k τη χρονική στιγμή (στην περίπτωση μας την ημέρα του μήνα). Εφόσον πρόκειται για τρισδιάστατο πρόβλημα, οι μεταβλητές απόφασης αναπαριστώνται σε ένα δυσδιάστατο πίνακα ο κάθε ένας εκ των οποίων αντιπροσωπεύει και μία εργασία επισκευής i . Στον οριζόντιο άξονα του κάθε πίνακα απεικονίζεται η χρονική στιγμή k (ημέρες του μήνα), ενώ στον κατακόρυφο τα επιμέρους τμήματα οδοστρώματος j .

4.3.2 Περιορισμοί

Για τη διαμόρφωση των περιορισμών λήφθηκαν υπόψη κυρίως πληροφορίες που συλλέχθηκαν από την βιβλιογραφική έρευνα παρόμοιων προβλημάτων.

- Λαμβάνοντας υπόψη τις ώρες που θεωρούνται ότι απαιτούνται για την ολοκλήρωση της κάθε εργασίας, καθώς και τις εργασίες που πραγματοποιούνται συνολικά σε μία μέρα, θέτουμε τον περιορισμό οι συνολικές ώρες εργασίας σε μία μέρα να μην υπερβαίνουν το συνολικό αριθμό διαθέσιμων εργατωρών ο οποίος προκύπτει από το σύνολο των εργατών που είναι διαθέσιμοι και τις ώρες «καθαρής» εργασίας που διαθέτει ο καθένας για την υλοποίηση μιας εργασίας (περιορισμός 3.2).
- Στο σημείο αυτό γίνεται η παραδοχή ότι οι διαθέσιμες εργατοώρες προκύπτουν από τον ακόλουθο συλλογισμό:
Το σύνολο των εργαζομένων της, που απασχολούνται για τις συγκεκριμένες εργασίες είναι 20. Οι εν λόγω εργαζόμενοι απασχολούνται με τις συγκεκριμένες εργασίες για 8 ώρες την ημέρα. Κάθε υπάλληλος εργάζεται σε πενθήμερη βάση, δικαιούμενος ετήσια άδεια διάρκειας ενός μηνός το χρόνο. Δεδομένου ότι οι εργασίες συντήρησης πραγματοποιούνται κάθε ημερολογιακή μέρα, ο διαθέσιμος αριθμός ωρών «καθαρής» απασχόλησης την ημέρα είναι $20 \cdot 8 \cdot (5/7) \cdot 11/12 = 104.76$ ώρες.
- Το κόστος όλων των εργασιών που προέρχεται από τις πληρωμές των συνεργείων, τον εξοπλισμό και τα υλικά που απαιτούνται για την επισκευή των αστοχιών σε ένα μήνα δεν πρέπει να υπερβαίνει τον προϋπολογισμό που προορίζεται γι' αυτά εντός του συγκεκριμένου χρονικού ορίζοντα (περιορισμός 3.3).
- Σε κάθε τμήμα δεν επιτρέπεται να γίνει πάνω από μία εργασία συνολικά (περιορισμός 3.4), καθώς θεωρούμε ότι κάθε τμήμα θα χρειάζεται μόνον μία διαδικασία επισκευής.
- Σε κάθε ημέρα δεν επιτρέπεται να γίνουν πάνω από δύο εργασίες συνολικά (περιορισμός 3.5), καθώς θεωρούμε ότι κάθε ημέρα μπορούν να υλοποιηθούν μέχρι δύο εργασίες επισκευής, με βάση την δυναμική που θεωρούμε ότι έχει η εταιρία σύμφωνα με το προσωπικό που θεωρούμε ότι διαθέτει.
- Όταν η βλάβη του τμήματος ξεπερνά το 70% του μήκους του, η επισκευή θα γίνεται σε όλο το μήκος του τμήματος για οικονομικούς λόγους ως προς την μελλοντική απόδοση. Τα παραπάνω συνοψίζονται στον περιορισμό (3.6).
- Όταν η κατάσταση του οδοστρώματος είναι ≤ 40 σύμφωνα με τον δείκτη PCI που μας δηλώνει την κατάσταση του οδοστρώματος θα γίνεται οπωσδήποτε η επισκευή. Τα παραπάνω συνοψίζονται στον περιορισμό (3.7).

- Οι μεταβλητές απόφασης X_{ijk} στα δεδομένα, αλλά και στα ζητούμενα πρέπει να είναι δυαδικές (binary) «0, 1» ή αλλιώς ακέραιες (integer) και $\geq 0, \leq 1$ (περιορισμός 3.8).

4.4 ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΒΗΜΑΤΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

Αρχικά, από τον πίνακα των τρεχουσών αστοχιών που δημιουργήθηκε υποθετικά, συμπληρώνεται πίνακας με τα δεδομένα που έχουμε για να πραγματοποιήσουμε την επίλυση του προβλήματος, δηλαδή να δημιουργήσουμε την βέλτιστη λύση ώστε να υπάρξει το ελάχιστο κόστος συντήρησης με τη βέλτιστη κατάσταση οδοστρώματος. Συμπληρώνεται ο πίνακας όπου στον οριζόντιο άξονα του βρίσκονται οι εξής στήλες: 1) ο φόρτος κυκλοφορίας των τμημάτων, 2) το μήκος του κάθε τμήματος, 3) το ποσοστό του μήκους με βλάβη, 4) ο δείκτης κατάστασης του κάθε τμήματος και 5) το μήκος του κάθε τμήματος που χρήζει επισκευής. Στον κατακόρυφο άξονα οι στήλες αντιστοιχούν στα πενήντα τμήματα οδοστρώματος. Κάθε κελί συμπληρώνεται με τιμές που έχουν συλλεχθεί ή δημιουργηθεί.

Έπειτα δημιουργούνται οι πίνακες των μεταβλητών απόφασης και συγκεκριμένα, τέσσερις πίνακες, όπου έκαστος αντιπροσωπεύει και μία συγκεκριμένη εργασία. Οι διαστάσεις κάθε πίνακα είναι 30x50, εφόσον μας ενδιαφέρει ο μηνιαίος προγραμματισμός των ενεργειών συντήρησης σε καθημερινή βάση (γίνεται η παραδοχή ότι όλοι οι μήνες έχουν 30 μέρες) για τα 50 τμήματα του οδοστρώματος. Στο τέλος της διαδικασίας αυτόματα δημιουργείται συγκεντρωτικός πίνακας με την επίλυση του προβλήματος, και δείχνει ποιά εργασία θα πρέπει να πραγματοποιηθεί σε κάθε τμήμα οδοστρώματος. Στον οριζόντιο άξονα του πίνακα βρίσκονται οι τέσσερις κατηγορίες των εργασιών ενώ στον κατακόρυφο τα πενήντα τμήματα οδοστρώματος. Κάθε κελί συμπληρώνεται με 0 αν δεν απαιτείται στο συγκεκριμένο τμήμα να πραγματοποιηθεί η συγκεκριμένη εργασία και με 1 αν χρειάζεται.

Ακολουθεί η δημιουργία των εγγραφών στο υπολογιστικό φύλλο που είναι απαραίτητες για την έκφραση της αντικειμενικής συνάρτησης και των περιορισμών. Για τη διατύπωση της αντικειμενικής συνάρτησης δημιουργούνται ξεχωριστά οι τρεις όροι της. Υπολογίζεται πρώτα το κόστος επισκευής των τμημάτων και δημιουργούνται 4 πίνακες για τον όρο του κόστους. Επίσης υπολογίζεται ο φόρτος κυκλοφορίας ανάλογα με το ποιά

μέρα του μήνα θα γίνει η επισκευή και δημιουργούνται 4 πίνακες για τον όρο του φόρτου κυκλοφορίας, και τέλος άλλοι 4 πίνακες για τους όρους της βελτίωσης, κάθε ένας από τους οποίους είναι επίσης διαστάσεων 30x50.

Για τον περιορισμό (3.2) των εργατωρών χρειάζεται ο υπολογισμός για καθεμία από τις 30 ημέρες του μήνα του συνόλου των γινομένων των ωρών απασχόλησης της κάθε εργασίας με τον αριθμό όσων από την κάθε κατηγορία πραγματοποιήθηκαν σε μία μέρα καθώς και των εργατών που δούλεψαν για αυτές. Οι συνολικές διαθέσιμες εργατώρες υπολογίστηκαν σε ξεχωριστό κελί ως εξής: $8 \cdot 20 \cdot (5/7) \cdot (11/12) = 104,76$ ώρες, όπως αναλύθηκε και παραπάνω, εφόσον 20 είναι οι εργάτες οι οποίοι προορίζονται για τις εργασίες που έχουν επιλεγεί για τις ανάγκες της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, καθένας από τους οποίους εργάζεται στο πεδίο οκτώ ώρες τις μέρες της εβδομάδος εκτός σαββατοκύριακου και δικαιούται συνολικά ένα μήνα άδεια το χρόνο.

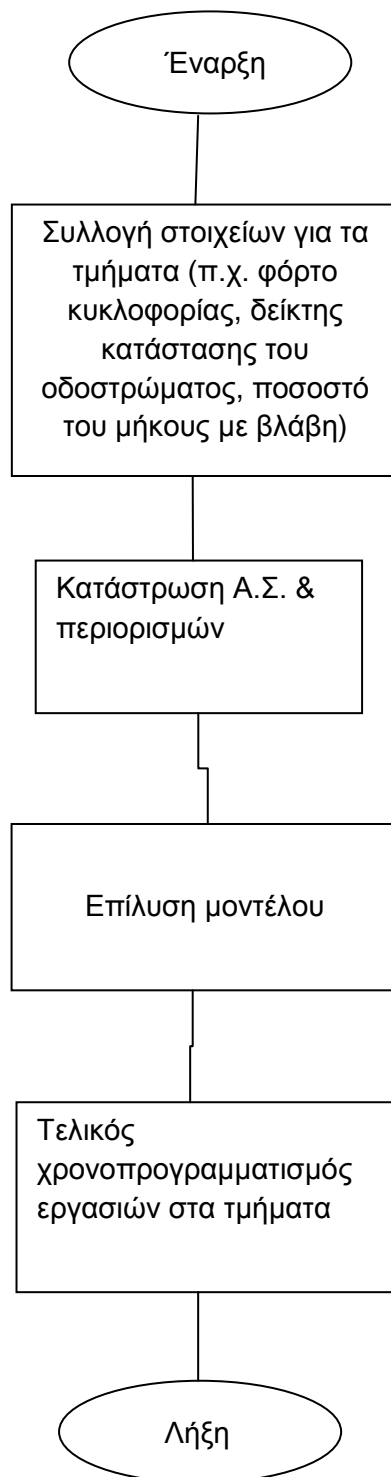
Έπειτα διαμορφώνονται οι περιορισμοί. Για τη διαμόρφωση του αριστερού μέλους του περιορισμού (3.3) χρησιμοποιείται το κόστος κάθε ενέργειας συντήρησης για το σύνολο των τεσσάρων εργασιών που πραγματοποιούνται σε ένα μήνα και το μέγεθος της ζημιάς κάθε τμήματος. Το δεξί του μέλος είναι ο μέγιστος διαθέσιμος προϋπολογισμός που διατίθεται για την επισκευή.

Για τον περιορισμό (3.4) δημιουργείται πίνακας 30x50 σε κάθε κελί του οποίου περιέχεται το άθροισμα του πλήθους των εργασιών που έχουν πραγματοποιηθεί τη συγκεκριμένη μέρα στο κάθε τμήμα.

Για τον περιορισμό (3.5) δημιουργείται πίνακας 30x1 σε κάθε κελί του οποίου περιέχεται το άθροισμα του πλήθους των εργασιών που έχουν πραγματοποιηθεί τη συγκεκριμένη μέρα του μήνα, και αυτό δεν πρέπει να ξεπερνάει τις δύο εργασίες για κάθε ημέρα.

Για τον περιορισμό (3.6) χρειάζεται να δοθούν στο μοντέλο οι τιμές του μήκους με βλάβη, ώστε με τη δημιουργία των κατάλληλων ανισοτήτων να ληφθεί υπόψη ότι ορισμένες εργασίες θα πρέπει να πραγματοποιηθούν σε ολόκληρο το τμήμα της οδού και όχι μόνον στο αναγραφόμενο ποσοστό.

Για τον περιορισμό (3.7) χρειάζεται να δοθούν στο μοντέλο οι τιμές του δείκτη κατάστασης PCI του οδοστρώματος, ώστε με τη δημιουργία των κατάλληλων ανισοτήτων να ληφθεί υπόψη η κατάσταση του οδοστρώματος και να επισκευάζεται οπωσδήποτε το τμήμα εάν έχει τιμή ο δείκτης μικρότερη από 40.

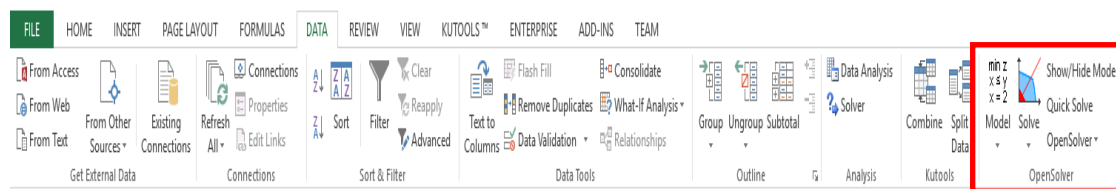


Διάγραμμα 4.7: Διάγραμμα ροής αναπτυσσόμενου μοντέλου

4.5 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕΣΩ EXCEL

Το μοντέλο βελτιστοποίησης και η μεγιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης βρίσκουν εφαρμογή μέσω εργαλείου προγραμματισμού σχεδιασμένο για το Microsoft Excel. Το εργαλείο αυτό ονομάζεται Open Solver είναι βασισμένο στη γλώσσα προγραμματισμού C++ και είναι σχεδιασμένο για την επίλυση μεγάλων γραμμικών προβλημάτων βελτιστοποίησης και προβλημάτων ακέραιου προγραμματισμού.

Το εργαλείο Open Solver εισάγεται στο Microsoft Excel ως προσθήκη κάτω από το Data Section. Η προσθήκη του εργαλείου φαίνεται στο παρακάτω εικονίδιο:

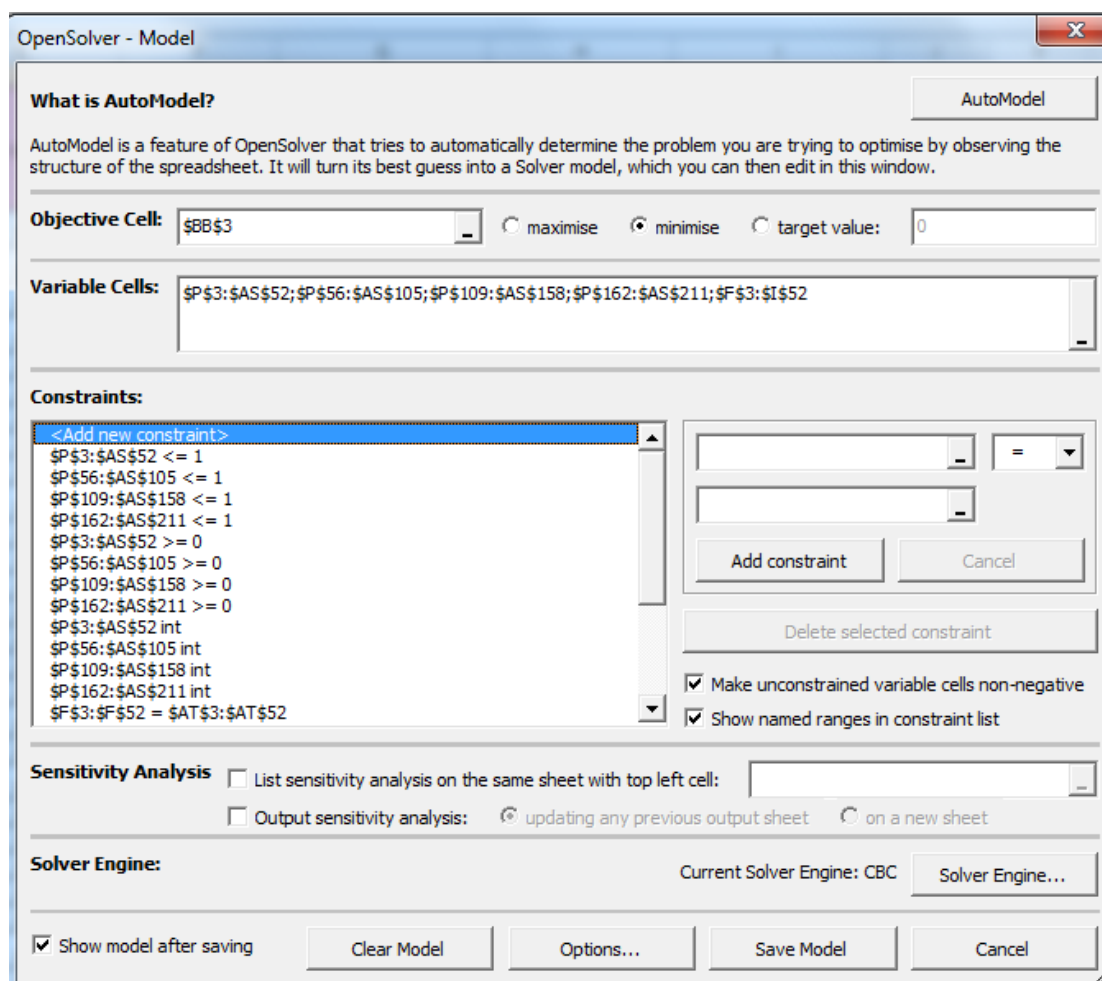


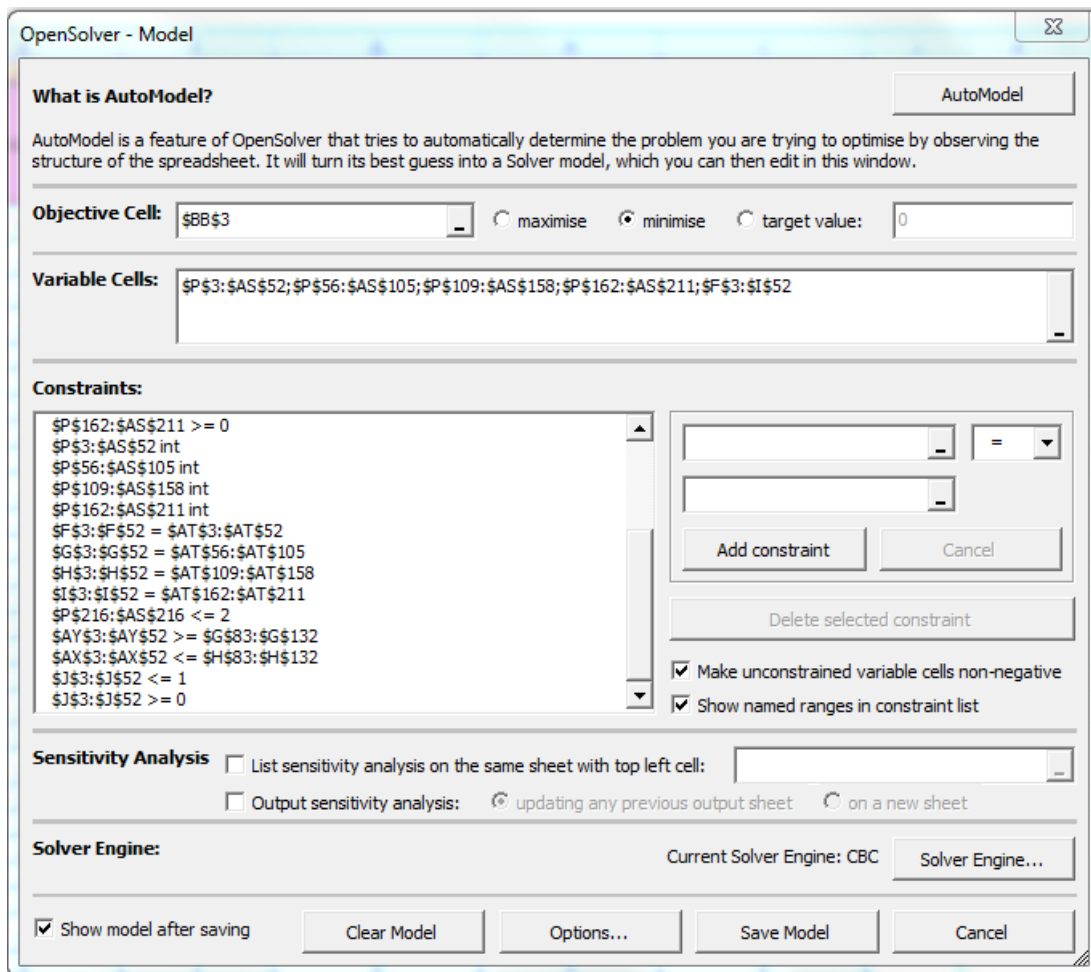
Εικόνα 4.5: Προσθήκη Open Solver στο Microsoft Excel

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται το μοντέλο βελτιστοποίησης έτσι όπως εμφανίζεται στο Open Solver. Το Open Solver επιτρέπει την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης, μεγιστοποιώντας, ελαχιστοποιώντας ή ορίζοντας μια συγκεκριμένη τιμή την οποία είναι επιθυμητό να πάρει η αντικειμενική συνάρτηση. Οπότε, το objective cell αντιστοιχεί στο κελί εκείνο που περιέχει τον τύπο της αντικειμενικής συνάρτησης. Δίπλα από το objective cell εμφανίζονται τρεις επιλογές μεγιστοποίησης, ελαχιστοποίησης και ορισμού συγκεκριμένης τιμής.

Κάτω από το objective cell υπάρχουν τα variable cells. Τα variable cells σε αντίθεση με το objective cell που αντιστοιχεί σε ένα κελί και μπορεί να πάρει μόνο μία τιμή (μέγιστη, ελάχιστη ή καθορισμένη) αντιστοιχούν σε όλα εκείνα τα κελιά στο excel τα οποία περιέχουν τις μεταβλητές του προβλήματος των οποίων οι τιμές μεταβάλλονται ανάλογα με την επίλυση του μοντέλου, δηλαδή τα X_{ijk} . Στο πρόβλημά μας έχουμε 6200 μεταβλητές απόφασης (4 είδη εργασιών*50 τμήματα οδοστρώματος*30 μέρες του μήνα). Στα προβλήματα ακέραιου προγραμματισμού μετά την επίλυση του μοντέλου οι μεταβλητές αυτές παίρνουν τιμές 0 ή 1.

Τέλος στο μοντέλο εισάγονται οι περιορισμοί κάτω από την υπόδειξη constraints. Οι περιορισμοί αντιστοιχούν στα κελιά των μεταβλητών Xijk για τα οποία είναι επιθυμητός ο ορισμός μίας διαφορετικής συνθήκης από εκείνη που ισχύει για όλα τα υπόλοιπα. Για παράδειγμα είναι επιθυμητό να γίνεται μόνον μέχρι μία εργασία ανά τμήμα οδοστρώματος, επίσης να πραγματοποιούνται μέχρι δύο εργασίες ανά ημέρα, ακόμη θα πρέπει να επισκευάζεται οπωσδήποτε κάθε τμήμα οδοστρώματος που έχει τον δείκτη κατάστασης του μικρότερο από 40% όπως και όταν το μήκος επισκευής είναι μεγαλύτερο από 70%. Παρακάτω φαίνεται πώς στήνεται πρακτικά το μοντέλο στο Open Solver για το συγκεκριμένο πρόβλημα βελτιστοποίησης. Όπως έχει ήδη αναφερθεί επιδιώκεται ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης καθώς σε αυτή εισάγονται το κόστος της κάθε εργασίας, ο φόρτος κυκλοφορίας και η βελτίωση που επιφέρει η κάθε ενέργεια επισκευής. Έτσι το objective cell πρέπει να λάβει μετά την επίλυση του excel solver την ελάχιστη δυνατή τιμή.





Εικόνα 4.6: Μοντέλο Βελτιστοποίησης του συγκεκριμένου προβλήματος στο Open Solver

Μετά την εισαγωγή των απαραίτητων πληροφοριών και πατώντας αρχικά την επιλογή Save Model, ώστε να αποθηκευτεί το δημιουργηθέν μοντέλο κι έπειτα την επιλογή Solve, με τη βοήθεια του OpenSolver επιλύθηκε το πρόβλημα εφαρμόζοντας μία επαναληπτική μαθηματική διαδικασία ώστε τα κελιά που αντιστοιχούν στα X_{ijk} να παίρνουν τις βέλτιστες τιμές. Μετά την ενεργοποίηση της εντολής Solve οι πίνακες με τις μεταβλητές απόφασης συμπληρώνονται με 0 ή 1 και το κελί της αντικειμενικής συνάρτησης λαμβάνει τη βέλτιστη τιμή ελαχιστοποίησης.

4.6 ΕΠΙΛΥΣΗ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Προκειμένου να εξαχθούν κάποια χρήσιμα συμπεράσματα με την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας, το μοντέλο βελτιστοποίησης στο OpenSolver επιλύεται για διάφορα σενάρια με σκοπό αφενός ναδειχθεί ότι το μοντέλο που κατασκευάστηκε δουλεύει αποτελεσματικά και αφετέρου να εξεταστεί η επίδραση που έχουν στον τελικό βέλτιστο προγραμματισμό των εργασιών συντήρησης αλλά και στην βελτίωση των οδοστρωμάτων.

Εφαρμόστηκαν τρία διαφορετικά σενάρια, όπου στο πρώτο έγινε επίλυση για την εύρεση της καλύτερης λύσης της Αντικειμενικής Συνάρτησης και των τριών όρων της με ίσα βάρη, επίσης στο ίδιο σενάριο έγινε και δεύτερη επίλυση με ορισμένες τις εργασίες επισκευής στα τμήματα. Στο δεύτερο σενάριο έγινε επίλυση ορίζοντας μέγιστο κόστος επισκευής για κάθε επίλυση, ορίστηκαν τρεις διαφορετικοί μέγιστοι προϋπολογισμοί. Τέλος στο τρίτο σενάριο έγινε επίλυση με δοκιμές διαφορετικών βαρών στους συντελεστές της αντικειμενικής συνάρτησης. Για κάθε ένα από αυτά τα τρία σενάρια, το πρόβλημα επιλύθηκε με τη βοήθεια του OpenSolver.

Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε έχοντας ως βάση μοντέλο με ίση βαρύτητα 1/1/1 στους τρεις όρους της αντικειμενικής συνάρτησης.

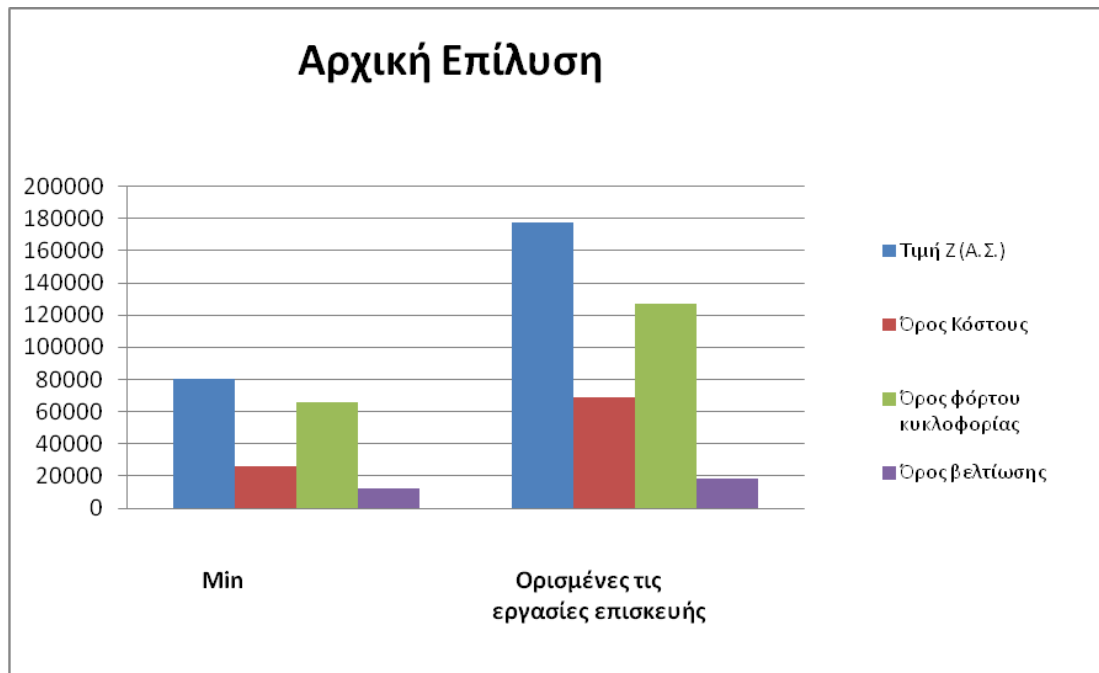
Αυτές οι επιλύσεις καθιστούν εφικτή τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των διαφορετικών σεναρίων και την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων, όπως για παράδειγμα πιο σενάριο ή ποια λύση είναι πιο αποδοτική. Ο στόχος είναι να επιδιώκεται όσο το δυνατόν η ελαχιστοποίηση του κόστους επισκευής το οποίο οφείλεται, τόσο στην κατάσταση του οδοστρώματος δείκτης (PCI), όσο και στο μήκος που εκτείνεται η φθορά, γεγονός το οποίο υπαγορεύει και τον βέλτιστο προγραμματισμό των εργασιών επισκευής.

4.6.1 Αρχική επίλυση Αντικειμενικής Συνάρτησης, ελαχιστοποιώντας την και με ορισμένες τις εργασίες επισκευής

Στο πρώτο σενάριο επιχειρήθηκε η επίλυση του μοντέλου βελτιστοποίησης των τμημάτων με δύο διαφορετικούς τρόπους, με τον πρώτο τρόπο επιχειρήθηκε η Minimum βέλτιστη λύση της Αντικειμενικής Συνάρτησης (Α.Σ.) που θα μας ορίζει ποιες εργασίες θα πραγματοποιηθούν, σε ποία τμήματα θα γίνει επιδιόρθωση και πότε. Στον δεύτερο τρόπο οι εργασίες που πρέπει να πραγματοποιηθούν είναι ορισμένες καθώς και στα τμήματα που πρέπει να γίνει η κάθε εργασία επιδιορθωτικής συντήρησης. Στην δεύτερη λύση οι εργασίες επισκευής και τα τμήματα που θα επισκευαστούν επιλέγονται με τυχαίο τρόπο, με τον τρόπο αυτό επιχειρήθηκε η Minimum βέλτιστη λύση της Αντικειμενικής Συνάρτησης (Α.Σ.) που θα μας ορίσει πότε θα πραγματοποιηθούν οι εργασίες μέσα στο ορισμένο διάστημα του ενός μηνός.

Πίνακας 4.3: Τιμές Α.Σ., όρου κόστους, όρου φόρτου κυκλοφορίας, όρου βελτίωσης και αριθμός πραγματοποιούμενων εργασιών.

	Αρχική Επίλυση	
	Min	Ορισμένες τις εργασίες επισκευής
Τιμή Z (Α.Σ.)	80070.21	177388.78
Όρος κόστους	26163.46	68773.15
Όρος φόρτου κυκλοφορίας	66091.75	126958.63
Όρος βελτίωσης	12185	18343
Αριθμός εργασιών	32	43



Διάγραμμα 4.8: Διαγραμματική απεικόνιση των: τιμή (Α.Σ.), όρος κόστους, όρος φόρτου κυκλοφορίας και όρος βελτίωσης

Παρατηρούμε της διαφορές που έχει η επίλυση της (Α.Σ.), όταν την ελαχιστοποιούμε και όταν ορίζουμε εμείς τις εργασίες επισκευής των τμημάτων. Αυτό που παρατηρούμε είναι ότι η min λύση έχει όλες της τιμές των όρων χαμηλές, όπως χαμηλή είναι και η τιμή της (Α.Σ.). Η min λύση επιλέγει να επιδιωρθωθούν 32 τμήματα με δύο είδη εργασιών, την (1) Cape Seal και την (3) In Place Recycling & Overlay. Αυτό συμβαίνει διότι ο προβληματισμός της επίλυσης θεωρεί πιο αποδοτική επιλογή αυτές τις δύο εργασίες σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουμε ορίσει, έναντι της δεύτερης λύσης όπου έχουμε ορίσει να επισκευαστούν 43 τμήματα και έχουμε επιλέξει να χρησιμοποιήσουμε και τις τέσσερις εργασίες επισκευής. Τα χρήματα που απαιτούνται για την επιδιόρθωση στην πρώτη περίπτωση είναι 26.163,46€ ενώ στην δεύτερη 68.773,15€. Όπως είναι λογικό είναι σαφώς πιο ακριβή η επιδιόρθωση στη δεύτερη περίπτωση όπου έχουμε περισσότερες και πιο ακριβές εργασίες. Επίσης παρατηρούμε ότι το μοντέλο προγραμματισμού συντήρησης μας δίνει λογικά αποτελέσματα.

Παρακάτω παρουσιάζονται ο Πίνακας 4.4 και 4.5, όπου φαίνονται τα αποτελέσματα του προγραμματισμού συντήρησης των 50 τμημάτων της παρούσας εργασίας, στους πίνακες αυτούς αποτυπώνονται στον οριζόντιο άξονα οι 30 ημέρες του μήνα, στον κατακόρυφο άξονα είναι τα 50 τμήματα του οδοστρώματος. Σε αυτούς τους πίνακες βλέπουμε ποια τμήματα θα επισκευαστούν, ποια ημέρα και με ποια εργασία επισκευής.

Πίνακας 4.4: Υπολογισμός εργασιών στα τμήματα και ο προγραμματισμός επισκευής τους τις ημέρες του μήνα για Min λύση.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
8	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
11	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
13	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
15	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
20	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
21	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
27	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
31	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
35	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Στον Πίνακα 4.4 παρατηρούμε ότι οι εργασίες επιλέγονται να πραγματοποιηθούν στο πρώτο δεκαπενθήμερο του μήνα και επίσης οι εργασίες που επιλέγονται για επισκευή είναι οι δύο από τις τρεις, πιο συγκεκριμένα επιλέγεται η 1. *Cape Seal* και η 3. *In Place Recycling & Overlay*. Αυτό συμβαίνει γιατί από τα δεδομένα (κόστος επισκευής και βελτίωση σε έτη) των εργασιών επισκευής, θεωρείται βέλτιστη λύση να χρησιμοποιηθούν μόνο οι δύο εργασίες επισκευής.

Πίνακας 4.5: Προγραμματισμός εργασιών στα τμήματα και τις ημέρες του μήνα με ορισμένες τις εργασίες επισκευής *Min* λύση.

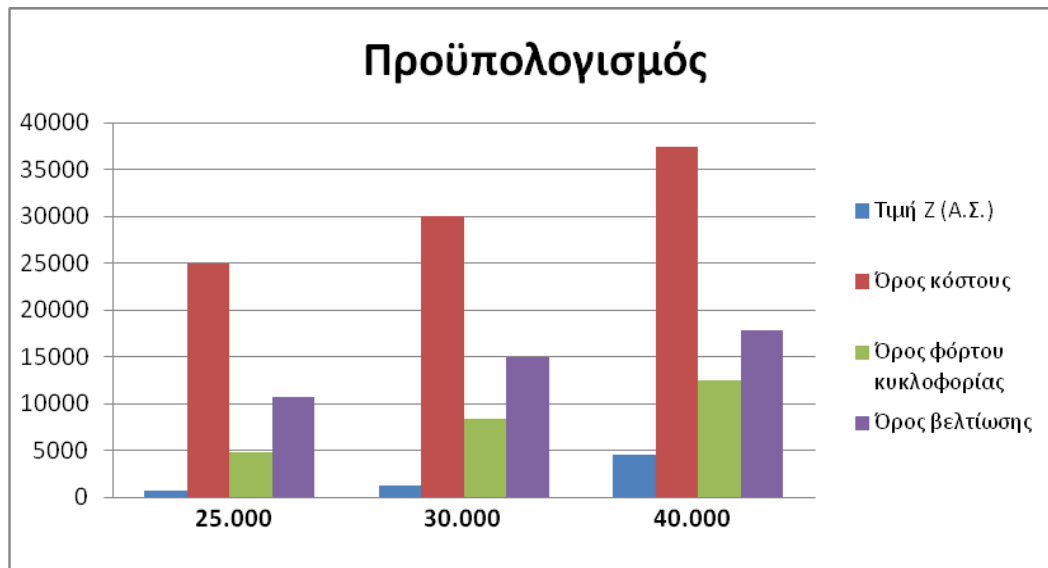
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-

4.6.2 Μεταβολή του προϋπολογισμού του έργου

Στο σενάριο αυτό, γίνεται η επίλυση του προβλήματος με τρία διαφορετικά Budget. Επίσης έχει γίνει ισοστάθμιση στους όρους της (Α.Σ.) για να είναι στην ίδια τάξη μεγέθους. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίστηκαν οι μέγιστες τιμές για κάθε ένα από τους τρεις όρους, με την μικρότερη τιμή από τις τρεις διαιρέθηκαν οι υπόλοιποι δύο όροι και έτσι βρέθηκε το κατάλληλο βάρος για κάθε όρο, ώστε να είναι στην ίδια τάξη μεγέθους. Οι τιμές που δόθηκαν για τα τρία διαφορετικά Budget είναι τυχαία μεγέθη. Δημιουργήθηκαν έτσι τρία σενάρια με Χαμηλό, Μεσαίο και Υψηλό προϋπολογισμό και οι τιμές που δόθηκαν είναι: 1) 25.000€, 2) 30.000€ και 3) 40.000€ αντίστοιχα. Θα δούμε και θα σχολιάσουμε τις μεταβολές της (Α.Σ.) και των όρων της, σε σχέση με τον διαθέσιμο προϋπολογισμό.

Πίνακας 4.6: Τιμές Α.Σ., όρου κόστους, όρου φόρτου κυκλοφορίας, όρου βελτίωσης και αριθμός πραγματοποιούμενων εργασιών.

	Προϋπολογισμός		
	25.000 €	30.000 €	40.000 €
Τιμή Z (Α.Σ)	727.49	1321.87	4566.86
Όρος κόστους	24993.93	29982.96	37340.1
Όρος φόρτου κυκλοφορίας	4798.44	8340.41	12483.5
Όρος βελτίωσης	10736	15014	17874
Αριθμός εργασιών	29	39	44



Διάγραμμα 4.9: Διαγραμματική απεικόνιση των: τιμή (Α.Σ.), όρος κόστους, όρος φόρτου κυκλοφορίας και όρος βελτίωσης

Στην πρώτη περίπτωση όπου ο προϋπολογισμός είναι χαμηλός επιλέγονται να πραγματοποιηθούν 29 εργασίες συντήρησης και ο όρος της βελτίωσης είναι χαμηλός. Όταν ο προϋπολογισμός αυξάνεται στην δεύτερη περίπτωση με το μεσαίο προϋπολογισμό, επιλέγονται 39 εργασίες συντήρησης, σημαντικά αυξημένες σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση, ενώ ο όρος της βελτίωσης αυξάνεται αισθητά. Όταν ο προϋπολογισμός γίνει υψηλός, στην τρίτη περίπτωση δηλαδή, βλέπουμε ότι επιλέγονται 44 εργασίες συντήρησης, σημαντικά αυξημένες σε σχέση με τις προηγούμενες περιπτώσεις, ενώ καλύτερη τιμή έχει και ο όρος της βελτίωσης. Άρα όσο αυξάνεται ο όρος του κόστους έχουμε και μία ανάλογη αύξηση και των υπολοίπων δύο όρων της Αντικειμενικής Συνάρτησης.

Παρακάτω παρουσιάζονται ο Πίνακας 4.7, 4.8 και 4.9, όπου φαίνονται τα αποτελέσματα του προγραμματισμού συντήρησης των 50 τμημάτων της παρούσας εργασίας. Στους πίνακες αυτούς αντιστοιχίζονται στον οριζόντιο άξονα οι 30 ημέρες του μήνα και στον κατακόρυφο άξονα τα 50 τμήματα του οδοστρώματος. Σε αυτούς τους πίνακες βλέπουμε ποια τμήματα θα επισκευαστούν, ποια ημέρα και με ποια εργασία επισκευής.

Πίνακας 4.7: Υπολογισμός εργασιών στα τμήματα και ο προγραμματισμός επίσκεψής τους τις ημέρες του μήνα για Budget 25.000€.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	0
1	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
11	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
13	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
20	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
21	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
30	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
35	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
38	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
39	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
45	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
47	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
48	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Πίνακας 4.8: Υπολογισμός εργασιών στα τμήματα και ο προγραμματισμός επίσκευής τους τις ημέρες του μήνα για Budget 30.000€.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	3
1	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
49	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Πίνακας 4.9: Υπολογισμός εργασιών στα τμήματα και ο προγραμματισμός επισκευής τους τις ημέρες του μήνα για Budget 40.000€

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	0
1	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

4.6.3 Μεταβολή συντελεστών βαρύτητας των όρων της αντικειμενικής συνάρτησης

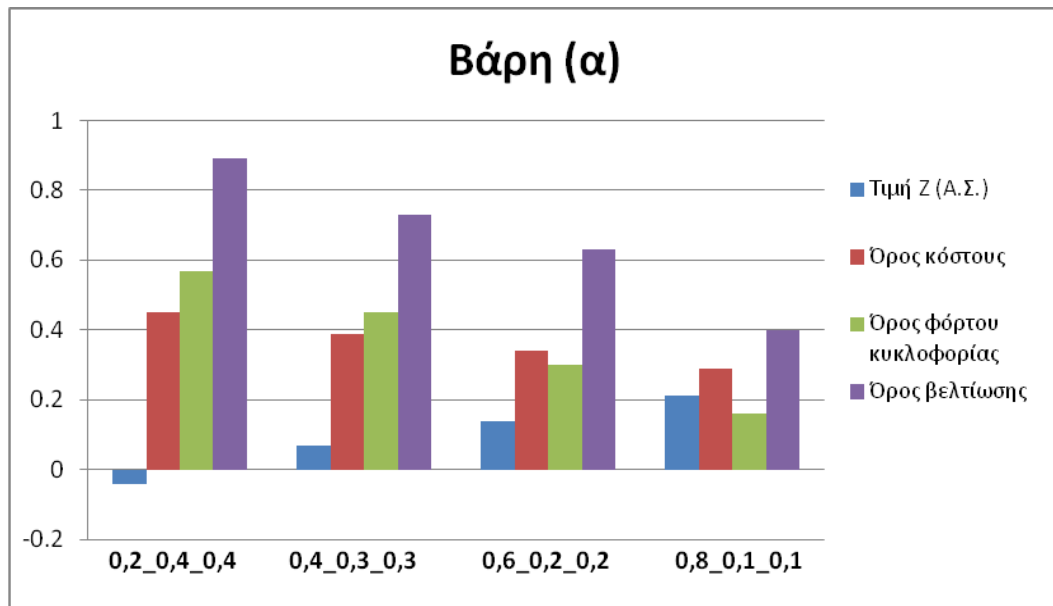
Στο τρίτο σενάριο επιχειρήθηκε η επίλυση του μοντέλου με διαφορετικούς πιθανούς συνδυασμούς στα βάρη των συντελεστών των όρων της αντικειμενικής συνάρτησης (Α.Σ.). Προηγουμένως έχει προηγηθεί κανονικοποίηση των όρων της (Α.Σ.), δηλαδή κάθε όρος της έχει διαιρεθεί με τη ρεαλιστική μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει. Αναλυτικά ο όρος του κόστους έχει διαιρεθεί με την max τιμή 83.450,87, ο όρος του φόρτου κυκλοφορίας έχει διαιρεθεί με την max τιμή 246.474,65 και ο όρος της βελτίωσης έχει διαιρεθεί με την max τιμή 22.231. Οι συνδυασμοί με τα βάρη πραγματοποιήθηκαν με τρεις τρόπους ως εξής: αρχικά δόθηκαν τιμές στον συντελεστή α , μετά στον β και τέλος στον γ , έχοντας συνολικό άθροισμα τη μονάδα. Για κάθε ένα συνδυασμό συντελεστών, ακολουθούν οι τιμές της Α.Σ., των τριών όρων της και οι επισκευές που πρέπει να πραγματοποιηθούν.

Βάρος (α)

Ο πρώτος συνδυασμός έγινε ως εξής, δόθηκαν οι τιμές (0,2-0,4-0,6-0,8) στον συντελεστή α , και συμπληρώθηκε το άθροισμα μέχρι την μονάδα με τους άλλους δύο συντελεστές. Τα αποτελέσματα και οι τιμές φαίνονται με λεπτομέρεια στον Πίνακα 4.10 και στο Διάγραμμα 4.10.

Πίνακας 4.10: Τιμές Α.Σ., όρου κόστους, όρου φόρτου κυκλοφορίας, όρου βελτίωσης και αριθμός πραγματοποιούμενων εργασιών.

	Βάρη (α)			
	0,2_0,4_0,4	0,4_0,3_0,3	0,6_0,2_0,2	0,8_0,1_0,1
Τιμή Z (Α.Σ.)	-0.04	0.07	0.14	0.21
Όρος κόστους	0.45	0.39	0.34	0.29
Όρος φόρτου κυκλοφορίας	0.57	0.45	0.3	0.16
Όρος βελτίωσης	0.89	0.73	0.63	0.4
Αριθμός εργασιών	49	41	37	23



Διάγραμμα 4.10: Διαγραμματική απεικόνιση των: τιμή (Α.Σ.), όρος κόστους, όρος φόρτου κυκλοφορίας και όρος βελτίωσης

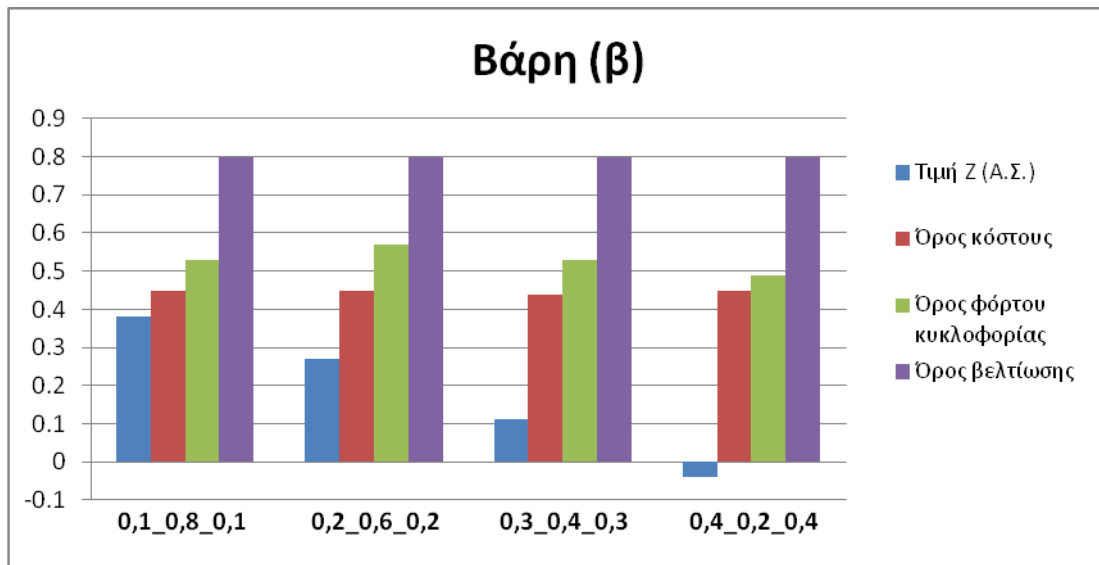
Παρατηρούμε ότι όταν το βάρος του συντελεστή του κόστους (α) παίρνει μικρές τιμές π.χ. 0,2 η τιμή της (Α.Σ.) είναι αρνητική, και ο όρος της βελτίωσης έχει μεγάλη τιμή. Ακόμη, όσο αυξάνεται το βάρος του συντελεστή του κόστους (α), τόσο αυξάνονται οι τιμές της (Α.Σ.) και του όρου της βελτίωσης. Άρα το συμπέρασμα είναι ότι όταν δίνουμε μικρή βαρύτητα στον όρο του κόστους, θα έχουμε υψηλή τιμή στο κόστος επισκευής και υψηλή τιμή στον όρο της βελτίωσης, ενώ όσο αυξάνεται η βαρύτητα στον όρο του κόστους παρατηρούμε μια γραμμική μείωση της βελτίωσης και μία γραμμική αύξηση της (Α.Σ.).

Παρακάτω παρουσιάζονται ο Πίνακας 4.11, 4.12, 4.13 και 4.14, όπου φαίνονται τα αποτελέσματα του προγραμματισμού συντήρησης των 50 τμημάτων της παρούσας εργασίας, στους πίνακες αυτούς αποτυπώνονται στον οριζόντιο άξονα οι 30 ημέρες του μήνα, στον κατακόρυφο άξονα είναι τα 50 τμήματα του οδοστρώματος. Σε αυτούς τους πίνακες βλέπουμε ποια τμήματα θα επισκευαστούν, ποία ημέρα και με ποια εργασία επισκευής.

42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
49	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Πίνακας 4.13: Υπολογισμός εργασιών στα τμήματα και ο προγραμματισμός επισκευής τους τις ημέρες του μήνα για Βάρη συντελεστών (0.6_0.2_0.2).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
8	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
11	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
15	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



Διάγραμμα 4.11: Διαγραμματική απεικόνιση των: τιμή (Α.Σ.), όρος κόστους, όρος φόρτου κυκλοφορίας και όρος βελτίωσης

Παρατηρούμε ότι όταν το βάρος του συντελεστή του φόρτου κυκλοφορίας (β) παίρνει τις τιμές (0,2-0,4-0,6-0,8), η μόνη αλλαγή που υπάρχει είναι η μεταβολή της τιμής της (Α.Σ.), ενώ όλοι οι υπόλοιποι όροι παραμένουν σταθεροί (β). Συγκεκριμένα, ο αριθμός των πραγματοποιούμενων εργασιών παραμένει ίδιος (44 εργασίες) ανεξάρτητα από την τιμή του βάρους (β). Το ίδιο συμβαίνει και για τις τιμές του όρου του κόστους και του όρου της βελτίωσης. Επίσης όσο αυξάνεται η βαρύτητα στον όρο του φόρτου κυκλοφορίας παρατηρούμε μια γραμμική αύξηση της (Α.Σ.). Άρα το συμπέρασμα είναι ότι οι τιμές του βάρους του όρου του φόρτου κυκλοφορίας δεν επηρεάζουν το κόστος της επισκευής και το μέγεθος της βελτίωσης του οδοστρώματος.

Παρακάτω παρουσιάζονται ο Πίνακας 4.16, 4.17, 4.18 και 4.19, όπου φαίνονται τα αποτελέσματα του προγραμματισμού συντήρησης των 50 τμημάτων της παρούσας εργασίας, στους πίνακες αυτούς αποτυπώνονται στον οριζόντιο άξονα οι 30 ημέρες του μήνα, στον κατακόρυφο άξονα είναι τα 50 τμήματα του οδοστρώματος. Σε αυτούς τους πίνακες βλέπουμε ποια τμήματα θα επισκευαστούν, ποία ημέρα και με ποια εργασία επισκευής.

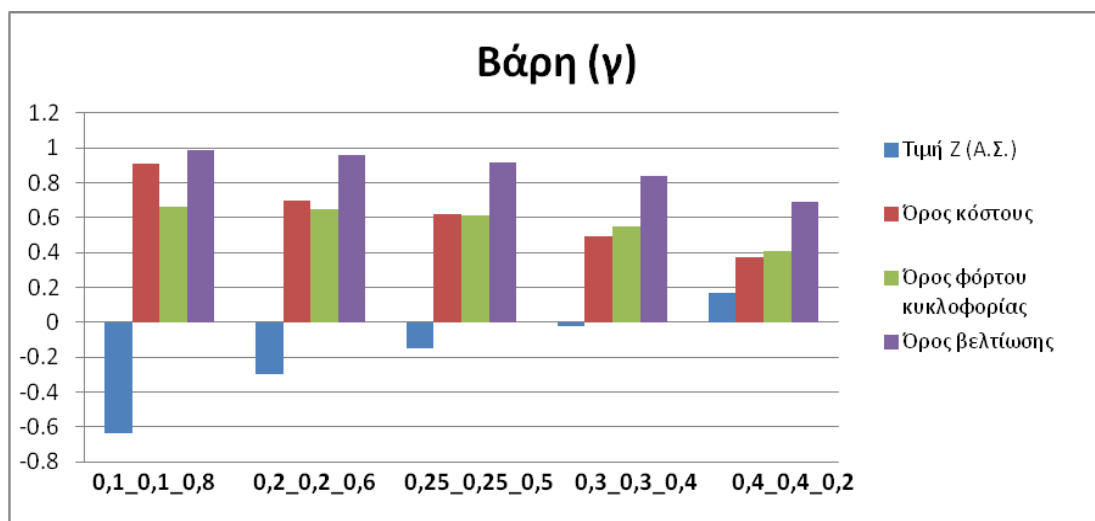
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
49	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Βάρος (γ)

Ο τρίτος συνδυασμός έγινε ως εξής, δόθηκαν οι τιμές (0,2-0,4-0,5-0,6-0,8) στον συντελεστή γ , και συμπληρώθηκε το άθροισμα μέχρι την μονάδα με τους άλλους δύο συντελεστές. Τα αποτελέσματα και οι τιμές φαίνονται με λεπτομέρεια στον Πίνακα 4.20 και στο Διάγραμμα 4.12.

Πίνακας 4.20: Τιμές Α.Σ., όρου κόστους, όρου φόρτου κυκλοφορίας, όρου βελτίωσης και αριθμός πραγματοποιούμενων εργασιών.

	Βάρη (γ)				
	0,1_0,1_0,8	0,2_0,2_0,6	0,25_0,25_0,5	0,3_0,3_0,4	0,4_0,4_0,2
Τιμή Z (Α.Σ.)	-0.64	-0.3	-0.15	-0.024	0.17
Όρος κόστους	0.91	0.7	0.62	0.49	0.37
Όρος φόρτου κυκλοφορίας	0.66	0.65	0.61	0.55	0.41
Όρος βελτίωσης	0.99	0.96	0.92	0.84	0.69
Αριθμός εργασιών	50	50	49	45	40



Διάγραμμα 4.12: Διαγραμματική απεικόνιση των: τιμή (Α.Σ.), όρος κόστους, όρος φόρτου κυκλοφορίας και όρος βελτίωσης

Παρατηρούμε ότι όταν το βάρος του συντελεστή της βελτίωσης (γ) παίρνει μεγάλες τιμές π.χ. 0,8 η τιμή της (Α.Σ.) είναι αρνητική, και ο όρος του κόστους έχει μεγάλη τιμή. Ακόμη, όσο μειώνεται το βάρος του συντελεστή της βελτίωσης (γ), τόσο αυξάνονται οι τιμές της (Α.Σ.) και μειώνεται ο όρος του κόστους. Όσο μεγαλύτερη βαρύτητα δίνουμε στον όρο της βελτίωσης τόσο περισσότερα τμήματα επιλέγονται για να γίνουν οι επισκευές, π.χ. όταν η τιμή του βάρους είναι 0,8 τα τμήματα που επιλέγονται είναι 50, και όταν η τιμή του βάρους είναι 0,2 τα τμήματα που επιλέγονται είναι 40. Άρα το συμπέρασμα είναι ότι όταν δίνουμε μεγάλη βαρύτητα στον όρο της βελτίωσης αυξάνεται ο όρος του κόστους και τα τμήματα που πραγματοποιούνται οι εργασίες και μειώνεται η τιμή της (Α.Σ.).

Παρακάτω παρουσιάζονται ο Πίνακας 4.21, 4.22, 4.23, 4.24, 4.25, όπου φαίνονται τα αποτελέσματα του προγραμματισμού συντήρησης των 50 τμημάτων της παρούσας εργασίας, στους πίνακες αυτούς αποτυπώνονται στον οριζόντιο άξονα οι 30 ημέρες του μήνα, στον κατακόρυφο άξονα είναι τα 50 τμήματα του οδοστρώματος. Σε αυτούς τους πίνακες βλέπουμε ποια τμήματα θα επισκευαστούν, ποία ημέρα και με ποια εργασία επισκευής.

Πίνακας 4.21: Υπολογισμός εργασιών στα τμήματα και ο προγραμματισμός επισκευής τους τις ημέρες του μήνα για Βάρη συντελεστών (0.1_0.1_0.8).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3		
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0		
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-		
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-		
3	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-
7	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
8	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
11	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-
34	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-
45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Πίνακας 4.22: Υπολογισμός εργασιών στα τμήματα και ο προγραμματισμός επισκευής τους τις ημέρες του μήνα για Βάρη συντελεστών (0.2_0.2_0.6).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-
45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
49	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Πίνακας 4.23: Υπολογισμός εργασιών στα τμήματα και ο προγραμματισμός επισκευής τους τις ημέρες του μήνα για Βάρη συντελεστών (0.3_0.3_0.4).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36				
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
5	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
6	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
9	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
10	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
21	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
23	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
28	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
32	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
35	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

30	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
31	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
38	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
41	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
47	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
48	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Πίνακας 4.25: Υπολογισμός εργασιών στα τμήματα και ο προγραμματισμός επισκευής τους τις ημέρες του μήνα για Βάρη συντελεστών (0.25_0.25_0.5).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-
7	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-

4.7 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

- Οι συντελεστές σχετικής βαρύτητας που δίνονται στους όρους της αντικειμενικής συνάρτησης, η ζήτηση ή αλλιώς οι ανάγκες επισκευής που δίνονται από τα δεδομένα, ο φόρτος κυκλοφορίας, ο δείκτης κατάστασης οδοστρώματος (PCI), καθώς και οι περιορισμοί που επιβάλλονται ή χρησιμοποιούνται κάθε φορά για τα τμήματα συντήρησης, είναι παράγοντες που επηρεάζουν το βέλτιστο προγραμματισμό της συντήρησης σε οδικά τμήματα, όπως στην παρούσα εργασία.
- Διαπιστώθηκε ότι όσο αυξάνεται ο όρος του κόστους έχουμε και μία ανάλογη αύξηση και των υπολοίπων δύο όρων της Αντικειμενικής Συνάρτησης.
- Όταν αυξάνεται ο προϋπολογισμός έχουμε αύξηση του όρου της βελτίωσης ενώ αυξάνονται και τα τμήματα που επιλέγονται για επισκευή.
- Διαπιστώθηκε ότι όσο αυξάνεται το βάρος του συντελεστή του κόστους (α), τόσο αυξάνονται οι τιμές της (Α.Σ.) και του όρου της βελτίωσης.
- Όταν δίνουμε μικρή βαρύτητα στον όρο του κόστους, θα έχουμε υψηλή τιμή στο κόστος επισκευής και υψηλή τιμή στον όρο της βελτίωσης. Επίσης όσο αυξάνεται η βαρύτητα στον όρο του κόστους παρατηρούμε μια γραμμική μείωση της βελτίωσης και μία γραμμική αύξηση της (Α.Σ.).
- Διαπιστώθηκε ότι όταν το βάρος του συντελεστή του φόρτου κυκλοφορίας (β) παίρνει διάφορες τιμές, η μόνη αλλαγή που υπάρχει είναι η μεταβολή της τιμής της (Α.Σ.).
- Διαπιστώθηκε ότι οι τιμές του βάρους του όρου του φόρτου κυκλοφορίας είναι ανεξάρτητες με το κόστος της επισκευής και με το μέγεθος της βελτίωσης του οδοστρώματος.
- Όταν το βάρος του συντελεστή της βελτίωσης (γ) παίρνει μεγάλες τιμές ο όρος του κόστους έχει μεγάλη τιμή. Δηλαδή όταν θέλουμε να έχουμε μεγάλη βελτίωση θα κοστίσουν περισσότερο οι επισκευές, γιατί θα επισκευαστούν περισσότερα τμήματα.
- Με τον τρόπο που είναι διατυπωμένο το πρόβλημα, στις περιπτώσεις που πραγματοποιείται συνδυασμός αλλαγών στις παραμέτρους του μοντέλου, επιφέρουν κάθε φορά και τα ανάλογα αποτελέσματα.
- Συνολικά, επιδιώκεται ο βέλτιστος προγραμματισμός των εργασιών με τρόπο που να ελαχιστοποιείται το κόστος επισκευής, με την βέλτιστη κατάσταση του οδοστρώματος και με προτεραιότητα επισκευής στα τμήματα με τον μεγαλύτερο φόρτο κυκλοφορίας.

Δημιουργήθηκε ένα μοντέλο προγραμματισμού συντήρησης οδοστρωμάτων, το οποίο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην πράξη, αυτούσιο ή με αλλαγές, από εταιρείες που κάνουν συντήρηση οδοστρωμάτων ή από δήμους που θέλουν να κάνουν συντήρηση οδοστρωμάτων στην περιοχή τους, καθώς σε ελάχιστο χρόνο και με μεγάλη ευκολία, δίνοντας στον πίνακα τα δεδομένα, προκύπτει βελτιστοποιημένο πρόγραμμα επιλογής εργασιών και διεξαγωγής τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε ο βέλτιστος προγραμματισμός της συντήρησης του οδοστρώματος. Αρχικά αναφέρθηκαν οι κυριότερες αρχές συντήρησης των οδοστρωμάτων, ενώ ακολούθησε εκτενής ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με το βέλτιστο προγραμματισμό της συντήρησης. Στην παρούσα εργασία αναπτύσσεται μοντέλο βελτιστοποίησης του προγραμματισμού της επιδιορθωτικής συντήρησης, ώστε να ελαχιστοποιείται το κόστος επισκευής.

Έπειτα από παρουσίαση της μεθόδου βελτιστοποίησης (δυαδικός ακέραιος προγραμματισμός) ακολούθησε η διατύπωση του προτύπου αλλά και η εφαρμογή του βασισμένη σε στοιχεία που συλλέχθηκαν. Η βελτιστοποίηση επικεντρώθηκε στην προσπάθεια ελαχιστοποίησης του κόστους επισκευής με τα βέλτιστα αποτελέσματα, στο συντομότερο χρονικά δυνατό στα τμήματα με τον μεγαλύτερο φόρτο κυκλοφορίας. Λαμβανομένων περιορισμών που επιβλήθηκαν για τον προγραμματισμό στις 30 μέρες ενός τυπικού μήνα, οι επιλεγμένες εργασίες συντήρησης που χρειάζεται να γίνουν στα 50 τμήματα.

Η μέθοδος του δυαδικού ακέραιου προγραμματισμού που χρησιμοποιήθηκε με στόχο την επίλυση του προβλήματος της αντικειμενικής συνάρτησης που αναπτύχθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία αποδείχθηκε κατάλληλη για τέτοιου είδους πρόβλημα, ώστε να ληφθούν υπόψη διάφορες πιθανές στρατηγικές διαχείρισης των υποδομών αλλά και να καθοριστούν οι επιδράσεις των μεταβολών των διάφορων παραμέτρων του προβλήματος.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη βέλτιστη κατανομή των πόρων σε έργα συντήρησης και αναβάθμισης είναι το μέγεθος του προϋπολογισμού, το κόστος των έργων, η κλιμάκωση των επενδύσεων στο χρόνο και οι συντελεστές της (Α.Σ.).

Το μοντέλο, που αναπτύχθηκε, επιλύθηκε για διαφορετικούς διαθέσιμους προϋπολογισμούς, και διαφορετικούς συντελεστές όρων αντικειμενικής

συνάρτησης, κόστους, φόρτος κυκλοφορίας, και βελτίωσης. Ακολούθησε η ανάλυση των αποτελεσμάτων των αναφερθέντων σεναρίων. Δείχθηκε η επιρροή που έχει στον προγραμματισμό της επιδιορθωτικής συντήρησης του οδοστρώματος η επιλογή της βαρύτητας που θα δοθεί στον κάθε όρο της αντικειμενικής συνάρτησης, καθώς και πώς επιδρά σε αυτόν η αλλαγή του κόστους (αναγκαίες εργασίες), η μείωση της βελτίωσης και η αύξηση του φόρτου κυκλοφορίας.

5.2. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η επίλυση του προβλήματος της παρούσας εργασίας βασίστηκε σε συγκεκριμένες λογικές θεωρήσεις και παραδοχές. Στο εξής, παρατίθενται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα για να βελτιώσουν και να επεκτείνουν το πρόβλημα που θα παρουσίαζαν ενδιαφέρον.

- Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιλέχθηκαν ενδεικτικά τέσσερις εργασίες συντήρησης ενώ στην πράξη είναι πολύ περισσότερες οι εργασίες που θα μπορούσαν να προγραμματιστούν με βέλτιστο τρόπο.
- Η φθορά του οδοστρώματος ως αναγκαία παράμετρος για τον ορθολογικό προγραμματισμό των εργασιών συντήρησής της λήφθηκε υπόψη απλουστευτικά και υποθετικά. Πιο δόκιμη θα ήταν η θεώρηση περισσοτέρων δεικτών ποιότητας του οδοστρώματος, ενώ θα μπορούσε να γίνει χρήση μιας καμπύλης φθοράς που θα απεικονίζει την εξέλιξη της φθοράς του οδοστρώματος με το χρόνο βασισμένη σε στοιχεία που έχουν συλλεχθεί και τα οποία έχουν παρασταθεί με κάποια κατανομή. Η χειροτέρευση εξάλλου της κατάστασης είναι στοχαστική, γεγονός που καθιστά επίσης ενδιαφέρουσα τη μελλοντική εισαγωγή στο πρόβλημα της μεθόδου της αλυσίδας Μαρκόφ.
- Το πλάτος του οδοστρώματος θεωρήθηκε σε όλα τα τμήματα ίδιο και ίσο με 3,5μ, επίσης θεωρήθηκε ότι όλα τα τμήματα έχουν μόνον μια λωρίδα ανά κατεύθυνση, ενώ οι υπολογισμοί έγιναν μόνον για το ένα ρεύμα κυκλοφορίας. Θα μπορούσε να διεξαχθεί ακριβής μέτρηση των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος, ώστε να υπάρχει ρεαλιστική αναπαράσταση των τμημάτων.
- Το έτος κατασκευής των τμημάτων θεωρήθηκε σε όλα τα τμήματα ίδιο, δηλαδή θεωρήθηκε ότι έχουν την ίδια παλαιότητα. Θα μπορούσε να είναι γνωστό το έτος κατασκευής του κάθε τμήματος και να προστεθεί στην Αντικειμενική Συνάρτηση ως επιπλέον όρος.
- Στη συγκεκριμένη εργασία εξετάζονται τρία σενάρια διατιθέμενου προϋπολογισμού και βάσει αυτών εξάγεται το συμπέρασμα ότι η απόδοση των οδοστρωμάτων αυξάνεται ανάλογα με την αύξηση του διαθέσιμου προϋπολογισμού. Μία ενδιαφέρουσα προσέγγιση θα μπορούσε να ήταν η πραγματοποίηση ανάλυσης ευαισθησίας ώστε να

εντοπιστεί το σημείο στο οποίο σταματά η αναλογική αύξηση της απόδοσης σε σχέση με τον προϋπολογισμό.

- Επίσης ενδιαφέρον έχει να λαμβάνεται υπόψη η γεωγραφική θέση του οδικού δικτύου για το οποίο θα πραγματοποιηθεί ο προγραμματισμός συντήρησης, και να προστίθενται επιπλέον στοιχεία στην Αντικειμενική Συνάρτηση που να προσεγγίζουν όσο το δυνατόν καλύτερα το πρόβλημα. Τα δεδομένα που μπορεί να είναι διαφορετικά από πρόβλημα σε πρόβλημα θα μπορούσε να είναι: βροχοπτώσεις, χιόνι, παγετός, θερμοκρασία περιβάλλοντος, ταχύτητα, κτλ..
- Κατά τη διαμόρφωση του συγκεκριμένου μοντέλου λήφθηκαν υπόψη ως παράγοντες κόστους μόνον όσοι αφορούν το κόστος της επισκευής. Στην πραγματικότητα όμως οι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν το κόστος είναι πολύ περισσότεροι, όπως, το κόστος της βενζίνης, το κόστος της φθοράς των οχημάτων, το κόστος ατυχημάτων, περιβαλλοντικές επιπτώσεις κλπ..
- Η διαδικασία του βέλτιστου προγραμματισμού της συντήρησης οδοστρωμάτων θα μπορούσε να μοντελοποιηθεί με μεταεριστικούς αλγόριθμους για πολύ μεγάλα οδικά δίκτυα, όπως στην περίπτωση των τμημάτων μιας ολόκληρης πόλης.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Abaza K.A., Ashur S.A., Al-Khatib I., An integrated pavement management system with a markovian prediction model, *Journal of Transportation Engineering*, ASCE 130 24-33, 2004

American Association of State Highways Officials, AASHO (1962), The AASHO Road Test Report 5, Pavement Research. Special Report 61 E. HRB, National Research Council, Washington, D.C., 1962.

Ahmed, N. G., Kadhim, A. J., & Ferman, A. A. Prediction the Effect of Maintenance Alternative on Pavement Performance Indicators.

ASTM International. Standard Test Method for Measurement of Retroreflective Pavement Marking Materials with CEN-Prescribed Geometry Using a Portable Retroreflectometer. Designation E1710-

ASTM International. Standard Practice for Evaluating Retroreflective Pavement Markings Using Portable Hand-Operated Instruments. Designation D7585-10. West Conshohocken, Pa., 2010.

ASTM International. Standard Test Method for Measuring the Coefficient of Reflected Luminance of Pavement Markings in a Standard Condition of Wetness. Designation E2177-11 & E2176-08. West Conshohocken, Pa., 2011 & Pa., 2008.

Bosurgi G., F. Trifiro, A model based on artificial neural networks and genetic algorithms for pavement maintenance management, *Int. J. Pavement Eng.* 6 (2005) 201–209.

Carlson, P. J., J. D. Miles, A. M. Pike, and E. S. Park. Evaluation of Wet-Weather and Contrast Pavement Markings. Final Report. FHWA/TX-05/5008-2. Texas Transportation Institute, College Station, March 2007

Chikezie C., S. Abejide, A. Taiwo, A. Kolo, Multiobjective optimization for pavement maintenance and rehabilitation programming using genetic algorithms, *World Scholars Res.Libr.* 5 (2013) 76–83.

Choo J. and T. Le (2011), "Reliability-based performance simulation for optimized pavement maintenance", *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 96, pp. 1402-1410.

Chootinan P., A. Chen, A multi-year pavement maintenance program using a stochastic simulation-based genetic algorithm approach, *Transp. Res. Part A* 40 (2006)

Dong, Q., Huang, B., Richards, S. H., & Yan, X. (2013). Cost-effectiveness analyses of maintenance treatments for low-and moderate-traffic asphalt pavements in Tennessee. *Journal of Transportation Engineering*, 139(8), 797-803.

McDaniel, R. S., and K. J. Kowalski, (2012): "Investigating the Feasibility of Integrating Pavement Friction and Texture Depth Data in Modeling for INDOT PMS", Transportation Research Program, Indiana Department of Transportation and Purdue University, West Lafayette, Indiana

EAPA (European Asphalt Pavement Association), 2010, Asphalt Applications. [online] Available at: <<http://www.eapa.org/promo.php?c=176>> [Accessed 2 September 2014]

Elhadidy A.A., E.E Elbeltagi and M.A. Ammar (2013), "Optimum analysis of pavement maintenance using multi – objective genetic algorithms", Egypt, HBRC Journal.

Farhan, J., and T. F. Fwa. "A decentralized multidistrict optimization framework for system-wide pavement maintenance resource allocation." *International Journal of Pavement Research and Technology* 9.3 (2016): 214-221.

FHWA (1989), "Federal-Aid Highway Program Manual", Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington D.C.

Gao, L., Xie, C., Zhang, Z., & Waller, S. T. (2012). Network-Level Road Pavement Maintenance and Rehabilitation Scheduling for Optimal Performance Improvement and Budget Utilization. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 27(4), 278-287.

Gibbons, R. B., C. Andersen, and J. Hankey. The Wet Night Visibility of Pavement Markings: A Static Experiment. In *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1911, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2005, pp. 113–122.

Gibbons, R. B., and B. M. Williams. The Refinement of Drivers' Visibility Needs During Wet-Night Conditions. FHWA/VCTIR11-R20. Virginia Tech Traffic Institute, Blacksburg, June 2011.

Golroo A. and S.L. Tighe (2012), "Optimum Genetic Algorithm Structure Selection in Pavement Management", *Asian Journal of Applied Sciences*, Vol. 5, No. 6, pp. 327-341.

Haas R., W.R. Hudson and J. Zaniewski (1994), "Modern Pavement Management", Krieger Publishing, Malabar Florida

Jian J.W., J.K. Yong, F. Zhi, Multi-objective optimization for pavement maintenance and rehabilitation strategies, *Int. Conf. Transp. Eng.* 4 (2009) 2919–2924.

Johanns M. and Craig J., (2002). "Pavement Maintenance, Manual", Nebraska Department of Roads (NDOR).

Krainyukov A., V. Kutev V. and E. Andreeva (2013), "Solving of radar pavement monitoring inverse problem by using of bees algorithms", 13th International Conference: Reliability and Statistics in Transportation and Communication, 16-19 October 2013, Riga, Latvia.

Konak A., W. David, E. Smith, Multi-Objective Optimization using genetic algorithms, *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 91 (2006) 992–1007

Κόλλαρως Α.Γ., Δ.Α. Αθανασοπούλου και Ε.Σ. Παπακωνσταντίνου (2006), "Φθορές και συντήρηση οδοστρωμάτων", 5ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, Ξάνθη

Lee S., S. Mun S. and H. Moon (2013), "Determination of Pavement Rehabilitation Activities through a Permutation Algorithm", Seoul University, Republic of Korea, Journal of Applied Mathematics, Article ID 252808, Vol. 2013.

Lukas K. and A. Borrmann (2013), "Network-Level Infrastructure Management Based on Metaheuristics", Metaheuristics Applications in Structures and Infrastructures, pp. 497-518.

Λεβέντης Α., 2011 [pdf] Εκτίμηση παραμέτρων σύνθεσης ασφαλτομιγμάτων στο εργαστήριο μέσω γεωφυσικών μεθόδων. Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π. Available at: <dspace.lib.ntua.gr/bitstream/handle/123456789/4924/leventisa_dielectric.pdf?sequence=3>[Accessed 5 September 2014]

Maintenance Management 2012 Presentations from the 2012 AASHTO–TRB Maintenance Management Conference Seattle, Washington July 15–19, 2012

Mamlouk MS, ZaniewskiJP.,(1999)."Pavement Preventive Maintenance Description, Effectiveness, and Treatments", Symposium on Flexible Pavement Rehabilitation and Maintenance, ASTM STP 1349121-135.

Μακρίδου Π. και Γ. Πανιώρας (2009), "Σύγχρονα υλικά στην κατασκευή και συντήρηση των έργων οδοποιίας", Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Έργων Υποδομής, Α.Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Μέγας Ν & Παπαδόπουλος Μ, 2005 [pdf] Κατασκευή οδοστρωμάτων – Ιστορική εξέλιξη των μεθόδων: Ιστορία της ασφάλτου. Πτυχιακή εργασία. Α.Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης Available at: <http://195.251.240.254:8080/handle/10184/732> [Accessed 5 September 2014]

Minesota Department of Transportation (Mn.DOT) (2006), State Target Formula, available at <URL:<http://www.dot.state.mn.us/planning/program/targetformula.html>>

Morcous G., Z. Lounis, Maintenance optimization of infrastructure networks using genetic algorithms, Autom. Constr. 14 (2004) 129–142.

Panagopoulou M. and A.P. Chassiakos (2012), "Optimization model for pavement maintenance planning and resource allocation", Transportation Research E-Circular, E-C163, pp. 25-38

Πάνος Γ., Χασιακός Α., Θεοδωρακόπουλος Δ., Βαγιώτας Π. (2002), "Ανάπτυξη έμπειρου συστήματος για τη διαχείριση οδοστρωμάτων", 3ο Διεθνές Συνέδριο «Ασφαλτικά Μίγματα και Οδοστρώματα», Θεσσαλονίκη

Πέρρου Θ. (2014), "Ανάπτυξη εφαρμογής διαχείρισης οδικού δικτύου με την αξιοποίηση των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών", Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.

Robinson R. and Roberts P., (1982). "The Cost Effectiveness of Road Maintenance", Addis Ababa: UN Economic Commission for Africa.

Patenaude D. (2013), "Pavement Preservation – Your key to pavement management success", Sealcoating Incorporation

Sarsam, Saad Issa. "Pavement Maintenance Management System: A Review." *Trends in Transport Engineering and Applications* (2016).

Shahin, M.Y., (2005): "Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots. Second edition. Springer Science Business Media, Inc., New York. NY. U.S.A. Smith, R.E

Schnell, T., Y. C. Lee, and F. Aktan. Wet-Weather Visibility of Pavement Markings. Draft Final Report. FHWA, U.S. Department of Transportation, 2002.

Schnell, T., and F. Aktan. Performance Evaluations of Pavement Markings Under Dry, Wet, and Rainy Conditions in the Field. 3M, 2002.

Schnell, T., F. Aktan, and Y. C. Lee. Nighttime Visibility and retroreflectance of Pavement Markings under Dry, Wet, and Rainy Conditions. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board No. 2107, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2009, pp. 69–75.

Transport Canada (2000), "Towards Sustainable Transportation", Available at <URL:<http://www.tc.gc.ca/programs/environment/SD/discussion00/menu.htm>>

Terzi S. and S. Serin (2013), "Planning maintenance works on pavements through ant colony optimization", Neural Computation & Application, Vol. 25, pp. 143-153.

U.S. Army Corps of Engineers-USACE, (2012): "New Dimensions in Pavement Maintenance Management", About File

West Conshohocken, Pa., 2011

Yamada A., (1999). "Asphalt Seal Coat Treatments", 9977 1201. San Dimas, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, San Dimas Technology and Development Center. 25 p.

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

<http://bca.transportationeconomics.org/benefits/vehicle-operating-cost>

<http://www.fhwa.dot.gov>

<http://www.pavetest.gr/odostrwmata.html>

<http://www.stpaul.gov/index.aspx?NID=3864>

<http://www.teed.ee>

<http://www.wolfpaving.com/>

<http://www.wsdot.wa.gov/Regions/Eastern/ChipSeal/>

<http://www.worldhighways.com>

<http://www.publicworkstraining.com>

<http://www.pavementinteractive.org>

<http://beaumonttexas.gov>