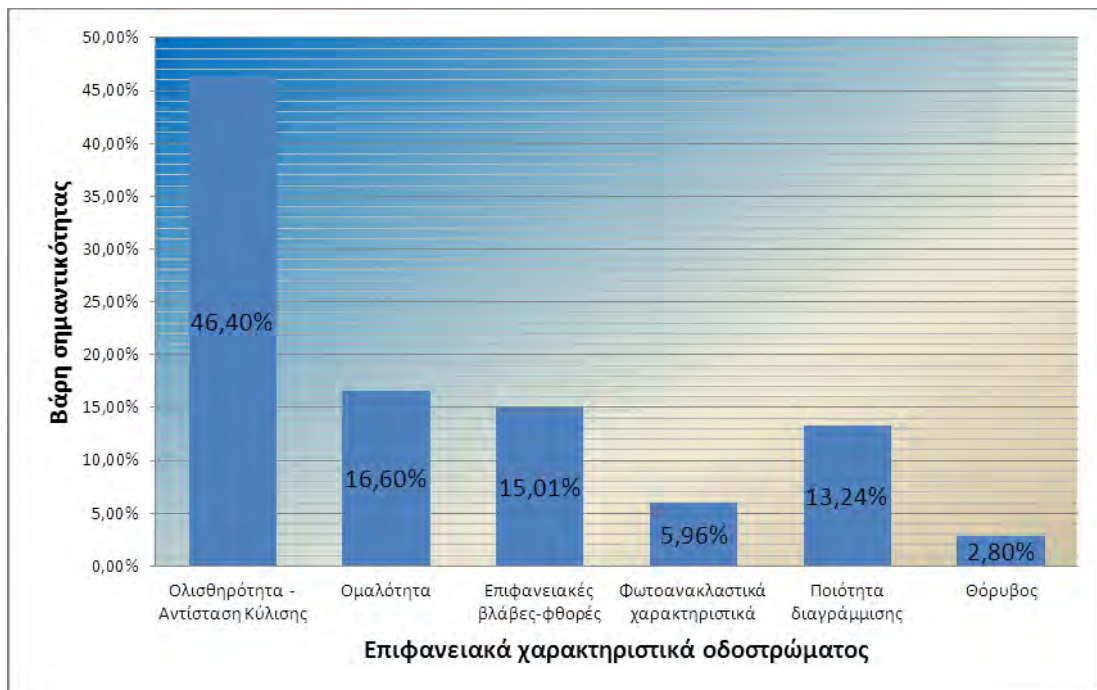




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ



ΚΑΡΛΑΥΤΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΟΠΕΛΙΑΣ ΠΑΝΤΕΛΕΗΜΩΝ

ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, Π.Θ.

ΒΟΛΟΣ 2016

© 2016 Καρλαύτης Παναγιώτης

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος εξεταστής : Κοπελιάς Παντελεήμων

(Επιβλέπων) Επίκουρος καθηγητής, Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών
Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Δεύτερος εξεταστής: Ναθαναήλ Ευτυχία

Αναπληρωτής καθηγητής, Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών,
Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Τρίτος εξεταστής: Καρακασίδης Θεόδωρος

Αναπληρωτής καθηγητής, Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών,
Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Παντελεήμων Κοπελιά για τη συνεχή και καθοριστική συνεργασία καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επίσης, ευχαριστώ τους μηχανικούς των τμημάτων διαχείρισης οδοστρωμάτων στις εταιρίες όπου στάλθηκαν τα ερωτηματολόγια για την άμεση και πρόθυμη ανταπόκρισή τους. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή του ΕΜΠ κ. Κωνσταντίνο Κεπαπτσόγλου για τη σημαντική βοήθεια του στην κατανόηση και σωστή εφαρμογή της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα. Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου για την αμέριστη συμπαράσταση τους σε όλη τη διάρκεια ενασχόλησης μου με την παρούσα διπλωματική εργασία και συγκεκριμένα την αδερφή μου για τη συνεισφορά της στη λεπτομερή διόρθωση του κειμένου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κατασκευή οδικών δικτύων για τις περισσότερες χώρες έχει ολοκληρωθεί σε μεγάλο βαθμό με αποτέλεσμα οι φορείς της οδοποιίας να έχουν στρέψει την προσοχή τους στη διαχείριση των υφιστάμενων οδικών κατασκευών. Στον ελλαδικό χώρο, ειδικότερα όπου η οικονομική κατάσταση δυσχεραίνει την κατασκευή νέων οδικών τμημάτων, καθίσταται μεγάλη ανάγκη, η σωστή συντήρηση και λειτουργία των υφιστάμενων οδών με το όσο δυνατόν χαμηλότερο κόστος. Τα Συστήματα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (ΣΔΟ) έχουν αποτελέσει την καθοριστική απάντηση στην παραπάνω ανάγκη εντοπίζοντας τη βέλτιστη και αποδοτικότερη λύση που ελαχιστοποιεί το κόστος συντήρησης.

Στο πλαίσιο της διαχείρισης των οδοστρωμάτων η παρούσα εργασία αποσκοπεί στη δημιουργία ενός δείκτη όπου αξιολογεί τμήματα του οδικού δικτύου με γνώμονα βασικές απαιτήσεις και επιφανειακά χαρακτηριστικά του οδοστρώματος. Στο συγκεκριμένο σύγγραμμα παρουσιάζεται ένα μοντέλο βαθμολόγησης ενός τμήματος μιας οδού συναξιολογώντας κριτήρια και υποκριτήρια που αφορούν τη λειτουργία ενός οδοστρώματος. Το μοντέλο αυτό βασίζεται στις απόψεις ειδικών που υπηρετούν σε θέσεις ευθύνης στα τμήματα διαχείρισης οδοστρωμάτων μεγάλων αυτοκινητοδρόμων του εθνικού δικτύου. Με τη βοήθεια της πολυκριτηριακής μεθόδου Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) γίνεται μια προσπάθεια μαθηματικής ανάλυσης των απόψεων αυτών μειώνοντας την αβεβαιότητα και την υποκειμενικότητα που συμπεριλαμβάνουν. Τα βάρη σημαντικότητας που προκύπτουν από τη μέθοδο αυτή αποτελούν συντελεστές που μαζί με τις μεταβλητές που προέρχονται από τακτικές μετρήσεις επιφανειακών χαρακτηριστικών του οδοστρώματος συνθέτουν ένα δείκτη που χαρακτηρίζει το οδόστρωμα βάσει της λειτουργικής του κατάστασης. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται με αυτά της απλής πολυκριτηριακής AHP δηλώνοντας ότι για κάποιες επιλογές η αβεβαιότητα θα επηρέαζε σημαντικά ορισμένους από τους συντελεστές του δείκτη. Επιπλέον, επαληθεύεται η καταλληλότητα και η ευκολία προσαρμογής της μεθόδου FAHP σε ζητήματα διαχείρισης οδοστρωμάτων.

Τέλος, στην εργασία παρουσιάζονται στοιχεία σχετικά με τους ελέγχους των επιφανειακών χαρακτηριστικών στο δίκτυο αυτοκινητοδρόμων της χώρας, ενώ προτείνεται η εφαρμογή του δείκτη με δεδομένα που προκύπτουν από εθνικούς οδικούς άξονες ή η σύγκριση του συγκεκριμένου δείκτη με άλλους δείκτες που αφορούν τη διαχείριση των οδοστρωμάτων.

ABSTRACT

For the most countries, the construction of road network is completed to a great extent. As a result, the road operators have focused on the management of the current road constructions. Especially in Greece, there is even greater need for the correct maintenance and operation of the current roads at the lowest possible cost as the economic crisis obstructs the construction of new road sections. The Pavement Management Systems (PMS) have been the determinative answer to the above need finding the optimal and more efficient solution which minimizes the maintenance cost.

In the context of pavement management, the present thesis aims at the development of an index which assesses sections of road network based both on the pavement essential demands and surface characteristics. This project presents a model for the rating of highway sections taking into consideration criteria and sub-criteria related to the pavement function. This model has been formed based on the opinion of a group of experts who have responsible positions in the Department of Pavement Management of the main national highways. The technique of Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) has been taken advantage of in order to mathematically analyze the above opinions in an effort to capture the parameters of uncertainty and subjectivity. This method ends up to calculate the weights of significance which are the factors of the index equation. The index is finally composed in combination with the variables which have come up from the regular measurements of pavement characteristics assessing the pavement functional condition. Results are compared to those of regular AHP highlighting the degree of influence by the uncertainty of experts' judgements in some factors of index. Furthermore, the suitability and the ease in fitting of FAHP method is verified in pavement management problems.

Finally, in this project data related with the checks on surface characteristics in the National Highway Network is displayed. Moreover, suggestions for further research such as the application of index with data derived from national main roads or the comparison of index with other pavement management indexes are recommended as well.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	6
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	10
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	11
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	12
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ	13
1. Εισαγωγή	14
1.1. Περιγραφή του προβλήματος	14
1.2. Στόχοι της διπλωματικής εργασίας	15
1.3. Μεθοδολογία ανάλυσης.....	15
1.4. Δομή εργασίας.....	16
2. Βασικές έννοιες στη διαχείριση οδοστρωμάτων	18
2.1. Οδικό δίκτυο	18
2.1.1. Ορισμός οδικού δικτύου.....	18
2.1.2. Κατηγορίες οδών.....	19
2.2. Οδόστρωμα	20
2.2.1 Δομή οδοστρώματος	20
2.2.2 Κατηγορίες οδοστρωμάτων.....	21
2.3. Διαχείριση οδοστρωμάτων	23
2.3.1 Ορισμός διαχείρισης οδοστρωμάτων	23
2.3.2 Συστήματα διαχείρισης οδοστρωμάτων	24
2.3.3 Υπολογιστικά προγράμματα διαχείρισης οδοστρωμάτων	25
3. Χαρακτηριστικά οδοστρωμάτων	26
3.1. Βασικές απαιτήσεις οδοστρωμάτων	26
3.1.1 Οδική ασφάλεια.....	26
3.1.2 Κυκλοφοριακή άνεση.....	27

3.1.3	Επιπτώσεις στο περιβάλλον.....	27
3.1.4	Οικονομία.....	28
3.1.4.1.	<i>Κόστος παρεμβάσεων συντήρησης</i>	28
3.1.4.2.	<i>Κόστος χρήση</i>	29
3.1.4.3.	<i>Κόστος προς το περιβάλλον</i>	29
3.2.	Επιφανειακά χαρακτηριστικά οδοστρωμάτων	30
3.2.1	Ολισθηρότητα- Αντίσταση κύλισης.....	30
3.2.2	Ομαλότητα.....	32
3.2.3	Επιφανειακές φθορές.....	32
3.2.4	Θόρυβος επαφής	35
3.2.5	Φωτοανακλαστικά χαρακτηριστικά.....	37
3.2.6	Ποιότητα διαγράμμισης	38
3.3.	Δείκτες κατάστασης οδοστρωμάτων.....	39
3.3.1	Δείκτης κατάστασης οδοστρώματος (PCI).....	40
3.3.2	Δείκτης άνεσης οδήγησης (RCI).....	40
3.3.3	Δείκτης παρούσας λειτουργικότητας (PSI)	41
3.3.4	Δείκτης αντίστασης σε ολίσθηση (SRI).....	41
3.3.5	Δείκτης λειτουργικής κατάστασης οδοστρωμάτων (PFCI).....	42
4.	Συστήματα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (ΣΔΟ) στην Ελλάδα	43
4.1.	Υπολογιστικά προγράμματα ΣΔΟ που χρησιμοποιούνται στο εθνικό οδικό δίκτυο	43
4.1.1	Πρόγραμμα PAVMAIN	43
4.1.2	Πρόγραμμα ROADMAN	46
4.1.3	Πρόγραμμα ROSY ROAD SYSTEMS.....	47
4.2.	ΣΔΟ των βασικών εθνικών οδικών αξόνων.....	48
4.2.1	Συχνότητα των ελέγχων των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος στα εθνικά οδικά δίκτυα	48
4.2.2	Ενδεικτικά κόστη λειτουργίας και συντήρησης στους ελληνικούς αυτοκινητόδρομους	49
5.	Ανάλυση της πολυκριτηριακής μεθόδου Analytic Hierarchy Process (AHP).....	50

5.1.	Ιστορική αναδρομή της μεθόδου.....	51
5.2.	Σημαντικές εφαρμογές της AHP	52
5.2.1	Αξιοσημείωτες χρήσεις της μεθόδου	52
5.2.2	Εφαρμογές της AHP σε συγκοινωνιακά ζητήματα.....	53
5.3.	Βασική δομή της AHP.....	53
5.3.1	Μοντελοποίηση του προβλήματος	54
5.3.2	Σχετικές συγκρίσεις Pairwise Comparison Matrix.....	55
5.3.3	Κλίμακα συγκρίσεων (Κλίμακα Saaty).....	56
5.3.4	Υπολογισμός βαρών- προτεραιοτήτων	57
5.3.5	Διερεύνηση της συνέπειας των αποφάσεων	59
5.4.	Επέκταση της μεθόδου AHP με τη χρήση της Fuzzy AHP	59
5.4.1	Η λογική της FAHP.....	59
5.4.2	Η βασική δομή της FAHP	60
5.4.3	Υπολογισμός των βαρών με τη χρήση της μεθόδου	62
6.	Εφαρμογή της μεθόδου FAHP και AHP στη διαχείριση οδοστρωμάτων.....	64
6.1.	Στόχοι της ανάλυσης	64
6.2.	Συλλογή δεδομένων	66
6.3.	Υλοποίηση της μεθόδου	71
6.4.	Αποτελέσματα της μεθόδου.....	73
6.5.	Ανάλυση των αποτελεσμάτων	76
7.	Συμπεράσματα – Προτάσεις.....	84
7.1.	Συμπεράσματα	84
7.2.	Προτάσεις.....	86
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	88
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	89

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

- Εικόνα 2.1:** Διατομή τυπικού οδοστρώματος (Πηγή: ΕΑΡΑ 2010)
- Εικόνα 2.2:** Διατομή τυπικού εύκαμπτου οδοστρώματος (Πηγή: Νικολαΐδης, 2011)
- Εικόνα 2.3:** Διατομές δύσκαμπτων οδοστρωμάτων (Πηγή: Νικολαΐδης, 2011)
- Εικόνα 3.1:** Επίδραση επιφανειακών χαρακτηριστικών στην ασφάλεια, άνεση, περιβάλλον και οικονομία (OECD 1984)
- Εικόνα 3.2:** Κύριες συνιστώσες δύναμης τριβής (Πηγή: Oliven & Halligan, 2006)
- Εικόνα 3.3:** Ρωγμές τύπου αλιγάτορα (Πηγή: διαδίκτυο)
- Εικόνα 3.4:** Ανάδυση ασφάλτου (Πηγή: διαδίκτυο)
- Εικόνα 3.5:** Αποκόλληση αδρανών (Πηγή: διαδίκτυο)
- Εικόνα 3.6:** Καμπύλη κατάστασης οδοστρώματος βάσει του δείκτη PCI (Πηγή: MicroPaver, 2013)
- Εικόνα 4.1:** Λογικό διάγραμμα του προγράμματος PAVMAIN (Πηγή: Νικολαΐδης; Ευαγγελίδης 1992)
- Εικόνα 4.2:** Λογικό διάγραμμα του προγράμματος ROADMAN (Πηγή: Νικολαΐδης, 1996)

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1: Οριακές τιμές θορύβου ελαστικών (Κανονισμός ΕΚ αριθ. 661/2009), (Πηγή: ΕΚ, 2009)

Πίνακας 3.2: Χαρακτηριστικά διαγράμμισης και αντίστοιχα επίπεδα απόδοσης (Πηγή: EN 1436)

Πίνακας 4.1: Πίνακας συχνότητας ελέγχων του οδοστρώματος βασικών οδικών αξόνων

Πίνακας 5.1: Πίνακας συγκρίσεων ανά ζεύγη, PCM

Πίνακας 5.2: Θεμελιώδης κλίμακα απολύτων αριθμών (Πηγή: Saaty, 1980)

Πίνακας 5.3: Τυχαίος δείκτης R.I. (Πηγή: Saaty, 1996)

Πίνακας 5.4: Κλίμακα AHP σε συνάρτηση με τις τιμές των TFN

Πίνακας 5.5: Πίνακας ανά ζεύγη συγκρίσεων PCM για τη μέθοδο Fuzzy

Πίνακας 6.1: Πίνακας συγκρίσεων ανά ζεύγη κριτηρίων

Πίνακας 6.2: Πίνακας συγκρίσεων ανά ζεύγη υποκριτηρίων με βάση το κριτήριο οδική ασφάλεια

Πίνακας 6.3: Πίνακας συγκρίσεων ανά ζεύγη υποκριτηρίων με βάση το κριτήριο κυκλοφοριακή άνεση

Πίνακας 6.4: Πίνακας συγκρίσεων ανά ζεύγη υποκριτηρίων με βάση το κριτήριο περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Πίνακας 6.5: Πίνακας συγκρίσεων ανά ζεύγη υποκριτηρίων με βάση το κριτήριο κόστος λειτουργού.

Πίνακας 6.6: Πίνακας βαρών σημαντικότητας των στοιχείων με τη μέθοδο AHP.

Πίνακας 6.7: Πίνακας του δείκτη συνέπειας CR των στοιχείων.

Πίνακας 6.8: Πίνακας συγκρίσεων ανά ζεύγη κριτηρίων με τη χρήση ασαφών αριθμών.

Πίνακας 6.9: Συγκεντρωτικός πίνακας των βαρών σημαντικότητας των στοιχείων με τη μέθοδο FAHP

Πίνακας 6.10: Πίνακας των βαρών σημαντικότητας των χρησιμότητων u_n .

Πίνακας 6.11: Πίνακας των βαρών σημαντικότητας του PFCI

Πίνακας 6.12: Πίνακας απεικόνισης της επίδρασης των επιφανειακών χαρακτηριστικών στις βασικές απαιτήσεις

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 5.1: Σχηματική απεικόνιση ιεράρχησης του προβλήματος με τη μορφή δέντρου

Διάγραμμα 5.2: Απεικόνιση των TFN στο επίπεδο x,y

Διάγραμμα 6.1: Σχηματική απεικόνιση της ιεραρχίας του δείκτη λειτουργικής κατάστασης οδοστρωμάτων με τη μορφή δέντρου

Διάγραμμα 6.2: Διάγραμμα απεικόνισης των βαρών επιρροής των βασικών απαιτήσεων των οδοστρωμάτων

Διάγραμμα 6.3: Διάγραμμα απεικόνισης των βαρών σημαντικότητας των επιφανειακών χαρακτηριστικών των οδοστρωμάτων

Διάγραμμα 6.4: Διάγραμμα απεικόνισης της συμμετοχής των επιφανειακών χαρακτηριστικών στο δείκτη PFCI

Διάγραμμα 6.5: Διάγραμμα απεικόνισης των διαφορών ανάμεσα στην FAHP και την AHP συναρτήσει της απόστασης δ για τα κριτήρια

Διάγραμμα 6.6: Διάγραμμα απεικόνισης των διαφορών των δύο μεθόδων συναρτήσει των κριτηρίων για τις διάφορες τιμές του δ

Διάγραμμα 6.7: Διάγραμμα απεικόνισης των διαφορών των μεθόδων για τα επιφανειακά χαρακτηριστικά συναρτήσει του δ

Διάγραμμα 6.8: Διάγραμμα απεικόνισης των διαφορών της FAHP με την AHP συναρτήσει των υποκριτηρίων για τις διάφορες τιμές του δ

Διάγραμμα 6.9: Διάγραμμα απεικόνισης της ευαισθησίας των βαρών των βασικών απαιτήσεων σε συνάρτηση με το δ

Διάγραμμα 6.10: Διάγραμμα απεικόνισης της ευαισθησίας των βαρών των επιφανειακών χαρακτηριστικών σε συνάρτηση με την απόσταση δ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ

Εξίσωση 3.1: Εξίσωση υπολογισμού του δείκτη παρούσας λειτουργικότητας PSI

Εξίσωση 3.2: Εξίσωση που προσδιορίζει το δείκτη αντίστασης σε ολίσθηση SRI

Εξίσωση 5.1: Εξίσωση που υπολογίζει τα αθροίσματα γραμμών ενός πίνακα

Εξίσωση 5.2: Εξίσωση που υπολογίζει τα βάρη σημαντικότητας για τη μέθοδο AHP

Εξίσωση 5.3: Εξίσωση για τον υπολογισμό της μέγιστης ιδιοτιμής λ_{max} .

Εξίσωση 5.4: Εξίσωση ορισμού τριγωνικών ασαφών αριθμών (Πηγή: Zimmerman, 2001)

Εξίσωση 5.5: Εξίσωση που υπολογίζει τα βάρη σημαντικότητας για τη μέθοδο Fuzzy AHP (Πηγή: Buckley, 2001)

Εξίσωση 5.6: Εξίσωση για τον υπολογισμό του γεωμετρικού μέσου των γραμμών ενός πίνακα PCM

Εξίσωση 5.7: Εξίσωση που υπολογίζει τα crisp weights τις μεθόδου Fuzzy AHP

Εξίσωση 6.1: Βασική γραμμική συνάρτηση χρησιμότητας της θεωρίας MAUT

Εξίσωση 6.2: Βασική εξίσωση δείκτη λειτουργικής κατάστασης οδοστρωμάτων

1. Εισαγωγή

1.1. Περιγραφή του προβλήματος

Ιστορικά, τα οδικά δίκτυα αποτέλεσαν έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες ανάπτυξης μίας χώρας συμβάλλοντας ριζικά στην οικονομία της. Η ανακατασκευή ενός οδικού τμήματος όμως αποτελεί μια δαπανηρή διαδικασία. Οι διαθέσιμοι πόροι που διατίθενται για τη διαδικασία αυτή είναι περιορισμένοι με αποτέλεσμα να οδηγούμαστε σε μια πιο συστηματική αντιμετώπιση των φθορών που δημιουργούνται τόσο στο οδόστρωμα όσο και γενικά στην οδό. Η συστηματική αυτή αντιμετώπιση που έχει ως κύριο στόχο τη μείωση του κόστους αλλά και την παράταση του χρόνου ζωής του οδοστρώματος ώθησε στη δημιουργία Συστημάτων Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (ΣΔΟ).

Τα ΣΔΟ λοιπόν αποτελούν ένα πολύτιμο εργαλείο για τους φορείς οδοποιίας ή για τους οργανισμούς που ασχολούνται με τη συντήρηση μεγάλων οδικών τμημάτων διότι μέσα από τη χρήση τους εξοικονομούνται ικανοποιητικά ποσά μέχρι την αναπόφευκτη βαριά συντήρηση. Για τη σωστή όμως διοχέτευση των διαθέσιμων πόρων στη συντήρηση ενός οδοστρώματος γεννήθηκε η ανάγκη αξιολόγησης των οδοστρωμάτων βάσει της λειτουργικής τους κατάστασης. Οι ήδη υπάρχοντες δείκτες βαθμολογούν την κατάσταση των οδοστρωμάτων συμπεριλαμβάνοντας μεμονωμένα κάθε φορά τα χαρακτηριστικά του οδοστρώματος (επιφανειακές φθορές, επιπεδότητα κλπ) χωρίς πάντα να συνυπολογίζουν τις επιρροές των χαρακτηριστικών αυτών στις βασικές λειτουργικές απαιτήσεις μιας οδού. Ένα επιφανειακό χαρακτηριστικό ενός οδοστρώματος επιδρά ταυτόχρονα σε πολλές από τις βασικές απαιτήσεις του, όπως η ασφάλεια και η άνεση με αποτέλεσμα να χρειάζεται να συμπεριληφθούν όλες αυτές οι παράμετροι για την αξιολόγηση ενός τμήματος μιας οδού. Μία τέτοια σφαιρική σύγκριση θα μπορούσε να αποτελέσει το πρώτο στάδιο για την αναγκαιότητα επέμβασης σε ένα οδικό τμήμα.

Ένα επιπλέον ζήτημα που καθίσταται απαραίτητο είναι η ιεράρχηση των επιφανειακών χαρακτηριστικών ενός οδοστρώματος βάσει της σημαντικότητάς τους και πώς κάτι τέτοιο θα αποτελέσει εργαλείο για τη σωστή αξιολόγηση της λειτουργικής κατάστασης.

1.2. Στόχοι της διπλωματικής εργασίας

Το οδικά δίκτυα εξελίσσονται συνεχώς παγκοσμίως, αναζητούνται νέοι τρόποι μελέτης τους, νέα υλικά και τρόποι κατασκευής με σκοπό να αυξηθεί η ασφάλεια και η άνεση των οδηγών, να εξοικονομηθούν όχι μόνο καύσιμα αλλά και πρώτες ύλες που αφορούν τη συντήρησή τους και να συμβάλλουν όσο το δυνατόν στην προστασία του περιβάλλοντος. Για να επιτευχθεί ωστόσο μια τέτοια διαρκής βελτίωση είναι αναγκαίο να υπάρχει μία μέθοδος αξιολόγησης, ένα μέτρο σύγκρισης για κάθε οδικό τμήμα όπου κλιμακωτά θα ορίζει το ελάχιστο επιτρεπτό όριο και την άριστη κατάσταση.

Ο βασικός λοιπόν στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να παρέχει στο μηχανικό που ασχολείται με τα θέματα συντήρησης και λειτουργίας ενός οδικού άξονα ένα μέτρο σύγκρισης των τμημάτων της οδού ως προς τα λειτουργικά- επιφανειακά χαρακτηριστικά του οδοστρώματος. Με λίγα λόγια μία κλίμακα όπου θα βαθμολογεί το οδικό τμήμα και θα το κατατάσσει ανεκτό ή θα επισημαίνει την ανάγκη βελτίωσής του. Ο δείκτης λοιπόν αυτός σε συνδυασμό με το υπολογιστικό πρόγραμμα του ΣΔΟ που διαθέτει βάσεις δεδομένων θα υποδεικνύει ποιο ή ποια επιφανειακά χαρακτηριστικά κάθε φορά πρέπει να επιδιορθωθούν ώστε η γενική βαθμολογία του οδοστρώματος να καλύπτει την ελάχιστη βάση που έχει οριστεί για τον δείκτη. Η αξιολόγηση αυτή θα αποτελεί μία πρώτη ματιά της λειτουργικής κατάστασης του οδοστρώματος συνυπολογίζοντας τις τέσσερις βασικές απαιτήσεις αλλά και τα έξι επιφανειακά χαρακτηριστικά του οδοστρώματος με την εκάστοτε βαρύτητα όπως ορίστηκε από ειδικούς του τομέα της διαχείρισης οδικών δικτύων.

1.3. Μεθοδολογία ανάλυσης

Η διαχείριση οδοστρωμάτων έχει ως κύριο μέλημα να παρέχει την καλύτερη λύση στην αρμόδια υπηρεσία με απώτερο σκοπό να πετύχει το βέλτιστο επίπεδο εξυπηρέτησης των χρηστών της οδού με τους λιγότερους δυνατούς πόρους. Στη διαδικασία εύρεσης αυτής της βέλτιστης λύσης τα ΣΔΟ χρησιμοποιούν διάφορους δείκτες αξιολόγησης των οδοστρωμάτων. Στο παρών σύγγραμμα γίνεται προσπάθεια δημιουργίας ενός δείκτη αξιολόγησης που βασίζεται στην πολυκριτηριακή μέθοδο FAHP. Οι παράμετροι που λαμβάνει υπόψη του ο συγκεκριμένος δείκτης είναι η οδική ασφάλεια, η άνεση των χρηστών, το κόστος λειτουργίας, το περιβάλλον και τα επιφανειακά χαρακτηριστικά του οδοστρώματος. Σε αντίθεση με άλλους δείκτες το μοντέλο αυτό προσπαθεί να αξιολογήσει τη λειτουργική κατάσταση των οδοστρωμάτων συνδυάζοντας όλα μαζί τα επιφανειακά χαρακτηριστικά.

Η μεθοδολογία αποτελείται από τρία μέρη: τον καθορισμό των παραμέτρων και την συλλογή δεδομένων, την επεξεργασία των δεδομένων με την πολυκριτηριακή ανάλυση FAHP και την ένταξη των μεταβλητών στο δείκτη που ορίζονται από τις εκάστοτε μετρήσεις των επιφανειακών χαρακτηριστικών του οδοστρώματος.

Πιο αναλυτικά, η επιλογή των παραμέτρων έγινε βάσει βιβλιογραφίας που ορίζει τις βασικές απαιτήσεις του οδοστρώματος, αλλά και τα λειτουργικά-επιφανειακά χαρακτηριστικά του. Η σημαντική διαφορά της παρούσας εργασίας είναι ότι εξετάζει στο κριτήριο της οικονομίας συγκεκριμένα το κόστος του λειτουργού δηλαδή τις εργατοώρες επιθεώρησης, τις μετρήσεις, τις επιδιορθώσεις κ.α. Η συλλογή των δεδομένων έγινε με τη βοήθεια ερωτηματολογίων απεσταλμένα σε ειδικούς που ασχολούνται πολλά έτη σε θέσεις ευθύνης εταιριών διαχείρισης οδικών δικτύων. Τους ζητήθηκε η ιεράρχηση των παραμέτρων αυτών και η σύγκριση μεταξύ τους καθώς και ο ορισμός του βαθμού υπεροχής της μίας παραμέτρου έναντι της άλλης.

Στο δεύτερο μέρος, επεξεργάστηκαν τα δεδομένα αυτά με τη μέθοδο FAHP και δημιουργήθηκαν τα βάρη σημαντικότητας των παραμέτρων- κριτηρίων τα οποία αποτελούν συντελεστές του δείκτη. Επιπλέον, έγινε σύγκριση με την απλή μέθοδο AHP για να διερευνηθεί η επίδραση της αβεβαιότητας και υποκειμενικότητας που ελλοχεύει στις απαντήσεις των ειδικών.

Στο τρίτο μέρος, έγινε η επεξεργασία των μεταβλητών των επιφανειακών χαρακτηριστικών και η προσαρμογή τους στον δείκτη με αποτέλεσμα να κατασκευαστεί η βασική εξίσωση του δείκτη και να οριστούν οι περιορισμοί που τον ικανοποιούν.

1.4. Δομή εργασίας

Το κεφάλαιο 1 είναι η εισαγωγή της εργασίας. Στη συνέχεια, στο κεφάλαιο 2 δίνονται οι γενικοί ορισμοί που αφορούν τα οδικά δίκτυα, τα οδοστρώματα και τη διαχείριση οδοστρωμάτων. Γίνεται μία αναλυτική ανασκόπηση πάνω στα ΣΔΟ και παρουσιάζονται υπολογιστικά προγράμματα που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως.

Στο κεφάλαιο 3 εξετάζονται τα χαρακτηριστικά των οδοστρωμάτων, τα κριτήρια και υποκριτήρια που επιλέχθηκαν για την κατασκευή του δείκτη. Επιπλέον, παρουσιάζονται υφιστάμενοι δείκτες που αφορούν την αξιολόγηση του οδοστρώματος και χρησιμοποιούνται στα εθνικά αλλά και διεθνή ΣΔΟ.

Στο κεφάλαιο 4 αναφέρονται τα συστήματα των ΣΔΟ που χρησιμοποιούνται στον ελλαδικό χώρο από τους φορείς της οδοποιίας. Επίσης, παρουσιάζονται στοιχεία, από εταιρίες που ασχολούνται με τη διαχείριση

κύριων εθνικών οδικών αξόνων, που αφορούν τη συχνότητα μετρήσεων ενός οδικού άξονα.

Στο κεφάλαιο 5 περιγράφεται λεπτομερώς η πολυκριτηριακή μέθοδος ΑΗΡ που χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία του δείκτη. Επίσης, γίνεται αναφορά στην ιστορική αναδρομή της και επισημαίνονται εφαρμογές της σε άλλα ζητήματα συγκοινωνιακού τομέα. Παρουσιάζεται η βασική δομή της ΑΗΡ, καθώς και η επέκταση της μεθόδου αυτής με τη μέθοδο FAHP που συνυπολογίζει την αβεβαιότητα και την υποκειμενικότητα στα δεδομένα της μεθόδου.

Στο κεφάλαιο 6 περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία κατασκευής της εξίσωσης του δείκτη με την εφαρμογή της μεθόδου. Αναφέρεται πως δημιουργήθηκαν οι συγκριτικοί πίνακες, πως έγινε ο έλεγχος συνοχής, πως προέκυψαν τα βάρη σημαντικότητας και όλες εκείνες οι διαδικασίες που αφορούν την εκτέλεση της μεθόδου στο συγκεκριμένο σύγγραμμα. Τέλος, παρουσιάζεται η τελική εξίσωση του δείκτη.

Στο κεφάλαιο 7 συνοψίζονται τα κυριότερα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας και παρατίθενται οι προτάσεις για περαιτέρω ανάλυση του αντικειμένου αυτής.

Κλείνοντας, ακολουθούν οι βιβλιογραφικές αναφορές και το παράρτημα της εργασίας όπου παρατίθεται το σχετικό ερωτηματολόγιο.

2. Βασικές έννοιες στη διαχείριση οδοστρωμάτων

2.1. Οδικό δίκτυο

Μια σημαντική κατηγορία δικτύων μεταφορών είναι τα χερσαία δίκτυα μεταφορών, τα οποία περιλαμβάνουν τις οδικές και τις σιδηροδρομικές μεταφορές. Κυρίαρχο ρόλο κατέχουν οι οδικές μεταφορές αφού η οικονομία και η κοινωνία βασίζονται σε αυτές. Ενδεικτικό της σημασίας των οδικών μεταφορών είναι το γεγονός ότι στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 44% όλων των αγαθών μετακινούνται με φορτηγά και το 79% όλων των ανθρώπων μετακινούνται με αυτοκίνητα και λεωφορεία, μέσω οδικών δικτύων. (Μουρατίδης, 2008)

2.1.1. Ορισμός οδικού δικτύου

Οδικό δίκτυο μιας χώρας ονομάζεται το σύνολο των οδών που υπάρχουν σε αυτήν και ικανοποιούν τις ανάγκες μεταφοράς της. Το οδικό δίκτυο μιας χώρας αποτελεί συνάρτηση της οικονομικής της κατάστασης και του τεχνολογικού επιπέδου της. (UK Department of Transport)

Η πρώτη μορφή δρόμου ήταν το μονοπάτι και στη συνέχεια ο ενισχυμένος με λιθόστρωση δρόμος. (Καλτσούνης, 2007) Με την επανειλημμένη χρησιμοποίησή του ο δρόμος σύντομα ξεχώρισε σαφώς από το περιβάλλον, και απέκτησε εννοιολογική αλλά και ουσιαστική οντότητα. Έτσι, σήμερα ο δρόμος είναι μία αναγνωρίσιμη λωρίδα εδάφους ανάμεσα σε δύο μέρη, που με ανθρώπινη παρέμβαση έχει ομαλοποιηθεί ή έχει υποστεί κάποια άλλη προετοιμασία ώστε να καθιστά ευκολότερη την προσπέλαση της από ανθρώπους, ποδήλατα ή μηχανοκίνητα τροχοφόρα οχήματα. Σε αστικές περιοχές, ένας δρόμος που διέρχεται μέσα από μία πόλη ή χωριό ονομάζεται οδός και αποκτά διπλή λειτουργία, ως κοινόχρηστος αστικός χώρος και διαδρομή. Στη σύγχρονη εποχή και παρά τις επικρίσεις ή αντιρρήσεις για τη σκοπιμότητα κατασκευής νέων οδικών αρτηριών, η πυκνότητα και η ποιότητα του οδικού δικτύου μιας χώρας αποτελεί κριτήριο και βασικό χαρακτηριστικό της οικονομικής κατάστασης και της αναπτυξιακής πορείας της. Η κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη που παρατηρήθηκε στις χώρες τη Ευρώπης και της Β. Αμερικής κατά το δεύτερο μισό του 20ού αιώνα, συνοδεύτηκε από την εντυπωσιακή ανάπτυξη των οδικών μεταφορών και την ανάλογη αναβάθμιση των οδικών υποδομών. Η επικράτηση των οδικών μεταφορών δεν οφείλεται, αποκλειστικά και μόνο, στα αναμφισβήτητα πλεονεκτήματά τους (π.χ. μεταφορά «από πόρτα σε πόρτα», δυνατότητα των ανθρώπων να προγραμματίζουν τις μετακινήσεις τους κ.α.), αλλά και στη σημαντικότερη

ανάπτυξη του κλάδου των οδικών κατασκευών ως βασικού συστατικού της οικονομίας σε εθνικό και διεθνές περιβάλλον.

2.1.2. Κατηγορίες οδών

Το δίκτυο μιας χώρας χαρακτηρίζεται κυρίως από την ιεράρχησή του, δηλαδή την κατάταξή του σε οδούς διαφόρων κατηγοριών. Η κατάταξη αυτή είναι απαραίτητη από άποψη διευκόλυνσης και συνεννόησης μεταξύ όλων αυτών που χρησιμοποιούν ή έχουν σχέση με τις οδούς. Υπάρχουν διάφορα συστήματα κατάταξης των οδών:

- 1) Διοικητική κατάταξη, όπως αυτή γίνεται από τις αρμόδιες και υπεύθυνες κρατικές υπηρεσίες. Στην Ελλάδα διακρίνονται σε: Εθνικές, Επαρχιακές, Κοινοτικές οδοί.
- 2) Αριθμητική κατάταξη. Στην Ελλάδα όλοι οι δρόμοι του κύριου εθνικού δικτύου, αλλά και αρκετές επαρχιακοί οδοί, έχουν ιδιαίτερη αρίθμηση.
- 3) Κατάταξη των οδών ανά τύπο, δηλαδή ανάλογα με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους.
- 4) Λειτουργική κατάταξη, δηλαδή κατάταξη ανάλογη με το λειτουργικό σκοπό που εξυπηρετεί κάθε οδός. Διακρίνονται σχετικά: ταχείες λεωφόροι, ελεύθεροι λεωφόροι, συλλεκτήριοι οδοί, αρτηρίες, τοπικοί δρόμοι.

Η λειτουργική ιεράρχηση ενός δικτύου έχει σκοπό να δώσει σε κάθε τμήμα του δικτύου ένα χαρακτήρα, ο οποίος προσδιορίζεται από το είδος της εξυπηρέτησης που καλείται να προσφέρει. Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα χρησιμοποιηθεί η διοικητική κατάταξη των οδών επικεντρώνοντας το ενδιαφέρον στις εθνικές οδούς όπου χρησιμοποιούνται κυρίως τα ΣΔΟ. Οι εθνικοί οδοί είναι συνήθως αυτοκινητόδρομοι δύο, τριών ή τεσσάρων λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση. Μπορούν ακόμα να είναι οδοί μεταξύ νομών και επαρχιών, μιας λωρίδας κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση.

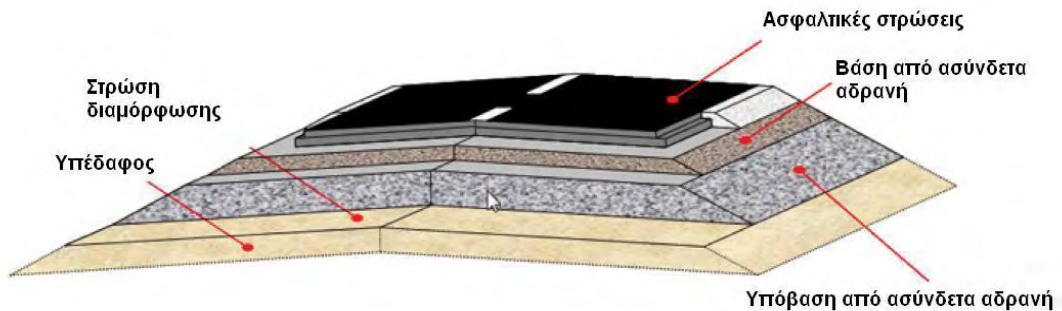
Ο αυτοκινητόδρομος είναι δρόμος ειδικής κατηγορίας σχεδιασμένος έτσι ώστε να διακινεί το μεγαλύτερο φόρτο της οδικής κυκλοφορίας οχημάτων συνήθως μεταξύ πόλεων και να επιτρέπει την οδήγηση με σταθερά υψηλή ταχύτητα. Το κύριο χαρακτηριστικό του, το οποίο τον διακρίνει από άλλα είδη δρόμων, είναι η έλλειψη ισόπεδων διασταυρώσεων. Ο αυτοκινητόδρομος είναι κλειστός, συνήθως περιφραγμένος και η διασταύρωση με άλλους δρόμους, όπως η είσοδος και η έξοδος οχημάτων από αυτόν γίνεται μόνο μέσω ανισόπεδων διασταυρώσεων. Στους αυτοκινητόδρομους, επιβάλλεται η κατασκευή, πέραν των λωρίδων κυκλοφορίας και μιας λωρίδας Έκτακτης Ανάγκης ανά κατεύθυνση. (Ματσούκης Ε., 2007; ΟΜΟΕ- ΛΚΟΔ, 2001)

2.2. Οδόστρωμα

2.2.1 Δομή οδοστρώματος

Με τον όρο οδόστρωμα εννοούμε το κομμάτι της οδού που κατασκευάζεται για την κυκλοφορία των οχημάτων και αποτελείται από ένα σύνολο επάλληλων στρώσεων πάνω από το φυσικό έδαφος για τη δημιουργία της οδού. Ο αντικειμενικός σκοπός του οδοστρώματος είναι να παραλάβει τα φορτία κυκλοφορίας και να τα καταλείψει στο υπέδαφος. Η χαρακτηριστική δομή του οδοστρώματος έχει τέσσερις στρώσεις:

- Στρώση έδρασης
- Στρώση υπόβασης
- Στρώση βάσης
- Ασφαλτικές στρώσεις



Εικόνα 2.1: Διατομή τυπικού οδοστρώματος
(Πηγή: ΕΑΡΑ 2010)

Η *στρώση έδρασης* είναι η στρώση διαμόρφωσης του φυσικού εδάφους όπου εδράζεται το οδόστρωμα και αναλόγως τις εδαφικές συνθήκες έχει πάχος 50-70 εκ. επιλεγμένου εδαφικού υλικού ή μεταφερόμενου αμμοχάλικου και μία ή δύο στρώσεις από σταθεροποιημένο εδαφικό υλικό συνολικού πάχους 40-60 εκ.

Η *υπόβαση* είναι η στρώση πάνω από τη στρώση έδρασης και αποτελείται από 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).

Η *βάση* κατασκευάζεται μεταξύ της υπόβασης και των ασφαλτικών στρώσεων. Στη στρώση αυτή 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 (ΕΑΡΑ, 2010). Το πάχος της υπόβασης και της βάσης διαφέρει ανάλογα την κατηγορία του οδοστρώματος, όπως θα αναλυθεί παρακάτω.

Οι *ασφαλτικές στρώσεις* ακολουθούν έπειτα από την βάση και έχουν συνολικό πάχος που κυμαίνεται ανάλογα με την κυκλοφορία από 4 έως 35 εκ. 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 αντιστοιχηρή σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές των έργων οδοστρωσίας (ΕΑΡΑ, 2010). Η ασφαλτική στρώση αποτελεί το ανώτερο στρώμα του οδοστρώματος και πρέπει να αντέχει στον υψηλό κυκλοφοριακό φόρτο χωρίς να εμφανίζει μη ικανοποιητικές ρηγματώσεις και αυλακώσεις προκειμένου να παρέχει άνεση στο χρήστη και συγχρόνως να εξασφαλίζει επαρκή αντίσταση έναντι ολίσθησης. Τα βασικά συστατικά μέρη της στρώσης αυτής είναι η άσφαλτος και τα αδρανή υλικά, μεταξύ των οποίων δημιουργούνται και κενά αέρα. Προκειμένου να συνδεθούν τα αδρανή σε ένα συνεκτικό μίγμα χρησιμοποιείται ως συνδετικό υλικό η άσφαλτος. (Λεβέντης, 2011, Yoder & Witczak, 1987)

2.2.2 Κατηγορίες οδοστρωμάτων

Το οδόστρωμα όπως φάνηκε και από τη δομή του είναι σύνθεση πολλών υλικών τα οποία ποικίλουν ανάλογα με τις ιδιότητες που χρειάζεται να διαθέτει αυτό κάθε φορά. Η βασική κατηγοριοποίηση ωστόσο των οδοστρωμάτων (Μουρατίδης, 2008) γίνεται βάσει της ελαστικότητάς τους σε:

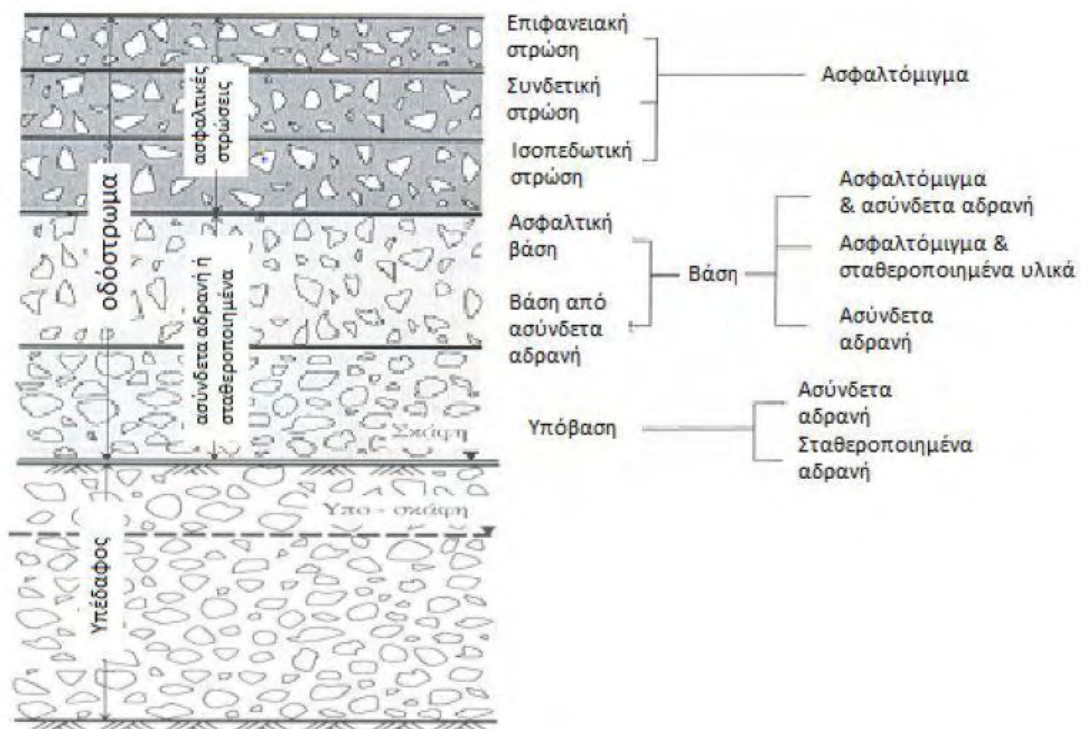
- Εύκαμπτα
- Ημιάκαμπτα
- Δύσκαμπτα

Τα *εύκαμπτα οδοστρώματα* (*flexible pavements*) αποτελούνται από επάλληλες στρώσεις φυσικών εδαφικών και θραυστών αδρανών υλικών που συνήθως καλύπτονται επιφανειακά από ασφαλτοτάπητες (Εικόνα 2.2). Για την ανάλυση της μηχανικής τους συμπεριφοράς θεωρούνται ως πολυστρωματικά ελαστικά μέσα, ομοιογενή και ισότροπα (Μουρατίδης, 2008).

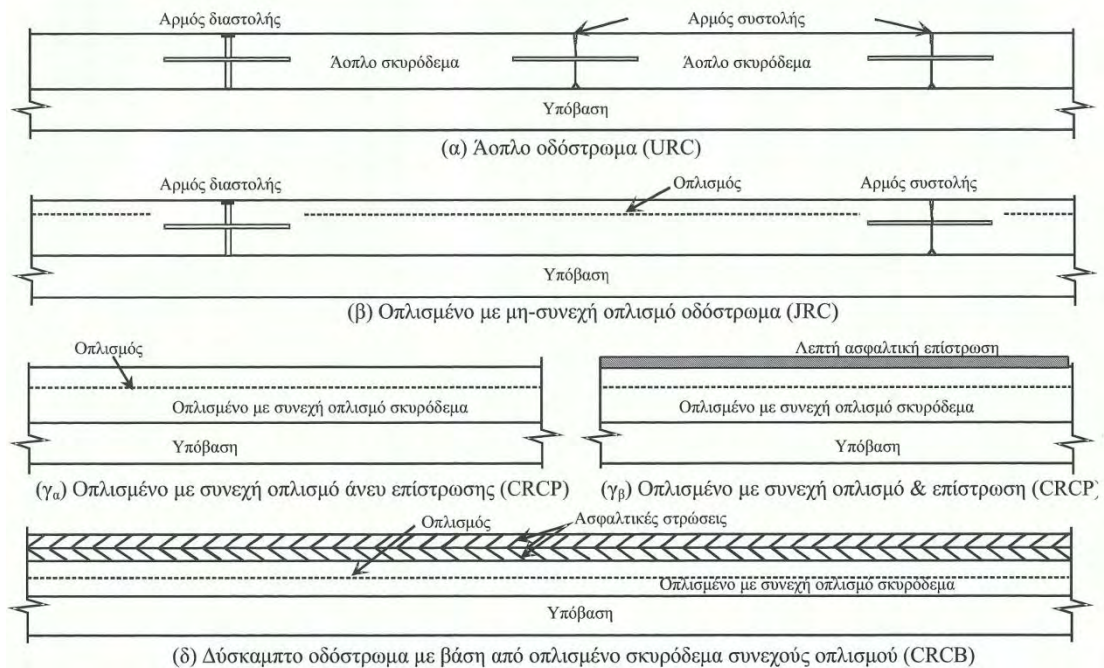
Ως *ημιάκαμπτα οδοστρώματα* (semi-rigid) ορίζονται τα ασφαλτικά οδοστρώματα τα οποία έχουν σταθεροποιημένη βάση που αποτελείται από αδρανή και υδραυλικές κονίες (Μουρατίδης, 2008).

Τα *δύσκαμπτα οδοστρώματα* (rigid pavements) φέρουν πλάκα εκ σκυροδέματος τσιμέντου που αποτελεί και το βασικό στοιχείο τόσο από πλευράς δομικής λειτουργίας όσο και από πλευράς χαρακτηριστικών επιφάνειας κυκλοφορίας. Η πλάκα αυτή παίζει συχνά ρόλο βάσης και επιφάνειας κυκλοφορίας ενώ εδράζεται πάνω σε υπόβαση από φυσικό ή θραυστό αμμοχάλικο. Ο έλεγχος της δομικής λειτουργίας γίνεται με τη θεωρία των πλακών (Μουρατίδης, 2008). Τέλος, τα δύσκαμπτα οδοστρώματα χωρίζονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες όπως παρουσιάζονται παρακάτω (Εικόνα 2.3.).(Νικολαΐδης, 2011):

- άοπλο οδόστρωμα
- οπλισμένο οδόστρωμα με μη συνεχή οπλισμό
- οπλισμένο οδόστρωμα με συνεχή οπλισμό με ή χωρίς ασφαλτική επίστρωση
- οδόστρωμα με ασφαλτική επίστρωση και οπλισμένο σκυρόδεμα συνεχούς οπλισμού στη βάση.



Εικόνα 2.2: Διατομή τυπικού εύκαμπτου οδοστρώματος (Πηγή: Νικολαΐδης, 2011)



Εικόνα 2.3: Διατομές δύσκαμπτων οδοστρωμάτων (Πηγή: Νικολαΐδης, 2011)

2.3. Διαχείριση οδοστρωμάτων

2.3.1 Ορισμός διαχείρισης οδοστρωμάτων

Ως *Διαχείριση Οδοστρωμάτων* (ΔΟ) ορίζεται η αποτελεσματική και αποδοτική διαχείριση των δραστηριοτήτων που εμπλέκονται στο να διατηρούν τα οδοστρώματα σε ανεκτή κατάσταση για τους χρήστες, με το λιγότερο δυνατό κόστος (AASHTO, 1985).

Η ΔΟ ασχολείται με το να εφαρμόζεται η ορθότερη λύση, την κατάλληλη στιγμή, χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα υλικά τις ορθότερες μεθόδους και τις τεχνικές συντήρησης με σκοπό το μικρότερο δυνατό κόστος συντήρησης και τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των οδοστρωμάτων. Για να ικανοποιηθούν αυτές οι απαιτήσεις είναι απαραίτητες οι σωστές και επαρκείς πληροφορίες ώστε να ληφθούν οι αντίστοιχες αποφάσεις με βάση τις αρχές της μηχανικής και της διαχείρισης. Η ΔΟ έχει να κάνει με το δευτερογενές κεφάλαιο μετά την κατασκευή που απαιτείται για τη συντήρηση των οδοστρωμάτων. Οι μηχανικοί στις εταιρίες, στους οργανισμούς, στις κρατικές υπηρεσίες συνήθως δεν έχουν την απαραίτητη εκπαίδευση και εμπειρία καθώς και τον απαιτούμενο χρόνο και δεδομένα για να λάβουν τις βέλτιστες αποφάσεις για τη συντήρηση των οδοστρωμάτων. Η ΔΟ προσπαθεί να επιλύσει το παραπάνω πρόβλημα απευθυνόμενη σε φορείς οδοποιίας που θέλουν να διατηρούν πλήρη στοιχεία της κατάστασης των οδοστρωμάτων του οδικού

τους δικτύου ώστε να είναι σε θέση να επεμβαίνουν άμεσα και με μειωμένο κόστος για να το διατηρούν σε καλή κατάσταση.

2.3.2 Συστήματα διαχείρισης οδοστρωμάτων

Ως *Σύστημα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (ΣΔΟ)* ή με την αγγλική ορολογία *Pavement Management System (PMS)* ορίζεται το σύνολο των εργαλείων ή μεθόδων που βοηθούν αυτούς τους οποίους λαμβάνουν αποφάσεις στο να βρουν βέλτιστη στρατηγική για παροχή, αξιολόγηση και διατήρηση οδοστρωμάτων σε λειτουργική κατάσταση για κάποια χρονική περίοδο. (AASHTO, 1993)

Το οδικό δίκτυο αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που συμβάλλουν στην οικονομική, κοινωνική και πολιτισμική ανάπτυξη κάθε χώρας. Τα τελευταία χρόνια, ο αριθμός των οχημάτων που κινούνται σε αυτό, καθώς και οι απαιτήσεις των χρηστών για ένα ικανοποιητικό επίπεδο λειτουργικότητας του δικτύου αυξάνουν συνεχώς. Κατανοείται λοιπόν η ανάγκη για συστηματική και αποδοτική συντήρηση του οδικού δικτύου λαμβάνοντας υπόψη τα περιορισμένα κονδύλια από τους κρατικούς μηχανισμούς. Με βάση την παραπάνω ανάγκη κατασκευάζονται συστήματα σε πολλές χώρες παγκοσμίως για να εξασφαλίσουν τη βέλτιστη οικονομική διαχείριση των πόρων συντήρησης ενός οδικού άξονα. Ένα ΣΔΟ χειρίζεται τις διαδικασίες για την εύρεση μιας λύσης που θα ικανοποιεί τις απαιτήσεις του χρήστη, ωστόσο δεν είναι ικανό να λάβει τελικές αποφάσεις. Παρόλα αυτά μπορεί να παρέχει τη βάση για την κατανόηση των πιθανών συνεπειών από τις εναλλακτικές αποφάσεις.

Τα σύγχρονα ολοκληρωμένα ΣΔΟ αναπτύσσονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να δύναται να λειτουργούν τόσο σε επίπεδο δικτύου όσο και σε επίπεδο έργου, ανάλογα με τις απαιτήσεις.

Ένα ΣΔΟ ανεξαρτήτως επιπέδου αναφοράς συνίσταται από τα παρακάτω στάδια: (Νικολαΐδης, 2011)

- i. Απογραφή χαρακτηριστικών οδοστρώματος
- ii. Επισκόπηση κατάστασης οδοστρώματος
- iii. Βάση δεδομένων
- iv. Πρόβλεψη κατάστασης οδοστρώματος
- v. Ανάλυση κατάστασης οδοστρώματος
- vi. Προγραμματισμός εργασιών

2.3.3 Υπολογιστικά προγράμματα διαχείρισης οδοστρωμάτων

Σε πολλές χώρες του εξωτερικού αλλά και σε εγχώριο επίπεδο έχει αναπτυχθεί ένας μεγάλος αριθμός λογισμικών για ΣΔΟ. Παρόλο που η αναφορά όλων των υπολογιστικών προγραμμάτων είναι αδύνατη και ανούσια, διότι το καθένα από αυτά δημιουργήθηκε για να καλύψει ειδικές απαιτήσεις και ανάγκες του εκάστοτε οργανισμού, θα αναφερθούν κάποια από αυτά ενδεικτικά. Τέτοια λογισμικά για συστήματα διαχείρισης οδοστρωμάτων είναι το Micro PAVER (MicroPaver, Shahin), το HAPMS (HAPMS-NMM) και το HDM-4 (Robinson & Thagensen, TRL Software). Το καθένα ωστόσο από αυτά τα προγράμματα για την αξιολόγηση της κατάστασης του οδοστρώματος απαιτεί τη χρήση συγκεκριμένων συσκευών. Γι' αυτό το λόγο, η απόκτηση των παραπάνω λογισμικών προϋποθέτει τη διαθεσιμότητα των συσκευών αυτών κάνοντας δύσκολη την απόφαση επένδυσης σε αυτά.

3. Χαρακτηριστικά οδοστρωμάτων

3.1. Βασικές απαιτήσεις οδοστρωμάτων

Η δομή των οδοστρωμάτων είναι τέτοια που επιτρέπει την πρόβλεψη μιας επικείμενης αστοχίας. Οι ερευνητές που στελεχώνουν φορείς της οδοποιίας και ασχολούνται με τη συντήρηση έχουν πολλές φορές τα στοιχεία που χρειάζονται για να καθορίσουν με αρκετή ακρίβεια μια επικείμενη αστοχία. Δεν μπορούν να ορίσουν απόλυτα το μέγεθος και το χρόνο της αστοχίας αυτής αλλά να αρκεστούν σε μια καλή εκτίμηση που θα επιφέρει τις βέλτιστες επεμβάσεις συντήρησης. Η παρούσα αυξημένη χρήση του οδικού δικτύου και η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας έχουν δημιουργήσει πέρα από την απαίτηση της ανθεκτικότητας και της μακροζωίας του οδοστρώματος και άλλες βασικές απαιτήσεις που είναι απαραίτητο να καλύπτονται.

Οι βασικές απαιτήσεις που πρέπει να τηρούνται είναι οι εξής τέσσερις:

- Οδική ασφάλεια (road safety)
- Κυκλοφορική άνεση (ride comfort)
- Επιπτώσεις στο περιβάλλον (environment impact)
- Οικονομία (economy)

Είναι προφανές ότι οι ποιοτικές αυτές απαιτήσεις δεν αφορούν μόνο τους χρήστες μιας οδού, αλλά γενικά το κοινωνικό σύνολο ειδικά όσων αφορά την προστασία του περιβάλλοντος.

3.1.1 Οδική ασφάλεια

Η οδική ασφάλεια αποτελεί ουσιώδη συνιστώσα της ποιότητας ζωής και του πολιτισμού ενός κράτους. Θεωρείται πρωτεύουσα απαίτηση σε ότι αφορά την οδό, καθώς συνδέεται άμεσα με την ανθρώπινη ζωή. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας και η εξέλιξη της συγκοινωνιακής επιστήμης έχουν συνεισφέρει σε μεγάλο βαθμό στον περιορισμό των οδικών ατυχημάτων και τη δημιουργία ασφαλέστερων οδικών τμημάτων. Τα οδικά ατυχήματα ειδικά στον ελλαδικό χώρο είναι υπεύθυνα για ένα μεγάλο ποσοστό θανάτων ξεπερνώντας πολλές φορές συνηθέστερες αιτίες. Ένα τέτοιο φαινόμενο οδήγησε τους φορείς οδοποιίας να ασχοληθούν με την οδική ασφάλεια, όχι μόνο κατά την κατασκευή ενός οδικού άξονα αλλά με την ίδια βαρύτητα και κατά τη συντήρηση. Τα ΣΔΟ προσπαθούν να συλλέξουν και να αναλύσουν όλες εκείνες τις συνιστώσες που επιδρούν στην οδική ασφάλεια με σκοπό να διαθέσουν όσο το δυνατόν ασφαλέστερες διαδρομές.

3.1.2 Κυκλοφοριακή άνεση

Η άνεση οδήγησης αποτελεί εξίσου ένα σημαντικό κριτήριο που λαμβάνει ο χρήστης της οδού για την επιλογή ενός οδικού δικτύου. Η διαπίστωση αυτή είναι γνωστή στις εταιρίες που εργάζονται πάνω σε συγκοινωνιακά έργα γι' αυτό το λόγο φροντίζουν να κατασκευάζουν και να διατηρούν τα οδικά τους τμήματα σε υψηλά επίπεδα κυκλοφοριακής άνεσης. Η βελτίωση των οχημάτων σε συνδυασμό με καλύτερης ποιότητας και ανθεκτικότητας οδοστρώματα που μειώνουν τις επιφανειακές βλάβες και άλλες ανεπιθύμητες αλλαγές του γεωμετρικού προφίλ του οδοστρώματος χαρίζουν στο επιβατικό κοινό ένα άνετο και ασφαλές τρόπο μετακίνησης.

Τα τελευταία χρόνια έχει μειωθεί σημαντικά ο χρόνος των μετακινήσεων λόγω πολλών παραγόντων όπως η μείωση των αποστάσεων, η αύξηση του ορίου ταχύτητας έχοντας ως αποτέλεσμα να μειωθεί και η καταπόνηση που υφίστανται οι οδηγοί κατά τη χρήση των οδικών τμημάτων. Η διαχείριση οδοστρωμάτων έχει λοιπόν ως στόχο, με βελτιώσεις και συντηρήσεις των χαρακτηριστικών μιας οδού, να διατηρήσει τα υψηλά επίπεδα της άνετης εξυπηρέτησης διερευνώντας ωστόσο και προτάσεις αύξησης των επιπέδων αυτών.

3.1.3 Επιπτώσεις στο περιβάλλον

Ενώ οι κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις από την ανάπτυξη των οδικών δικτύων καταγράφονται γενικά ως θετικές, ειδικά σε οικονομίες που το γενικότερο επίπεδο των υποδομών κρίνεται χαμηλό στα ζητήματα του περιβάλλοντος οι έρευνες δείχνουν ότι οι επιπτώσεις είναι κατά βάση αρνητικές. Γι' αυτό το λόγο, γίνεται προσπάθεια η οποία αποσκοπεί στον περιορισμό ή τον έλεγχο των επιπτώσεων αυτών, μέσα από το νομοθετικό πλαίσιο και τις οδηγίες παγκόσμιων επιτροπών.

Ειδικότερα, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των οδικών μεταφορικών υποδομών εντοπίζονται γενικά σε δύο επίπεδα (ΕΜΧΑ – ΕΣΤ, 2004). Το πρώτο έχει να κάνει με τη χωροθέτησή τους και το δεύτερο με τη χρήση τους. Αναφορικά με τη χωροθέτησή τους, οι προβληματισμοί εστιάζονται στην αλλαγή των υπαίθριων χρήσεων γης και στις πιθανές μεταβολές και επιπτώσεις στα φυσικά οικοσυστήματα, καθώς και στην αισθητική υποβάθμιση του τοπίου. Αναφορικά με τη χρήση τους, οι προβληματισμοί εστιάζονται στην έκλυση ρυπογόνων ουσιών στην ατμόσφαιρα, στο νερό και στο έδαφος από την κίνηση των οχημάτων, καθώς και στην αύξηση των επιπέδων θορύβου στις περιοχές που αυτά διέρχονται. Επιπλέον, οι πρόσφατες οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης που έχουν ενταχθεί στη

νομοθεσία της χώρας (πχ. Ευρωπαϊκή Οδηγία 2002/49/ΕΚ, ΚΥΑ 13586/724, ΦΕΚ Β' 384 28.3.2006) αυστηροποιούν τις διατάξεις για το θόρυβο και την ατμοσφαιρική ρύπανση και απαιτούν λήψη μέτρων, κατάρτιση και υλοποίηση σχεδίων δράσης για την προστασία των κατοίκων από την οδική κυκλοφορία.

Η ανάγκη λοιπόν της προστασίας του περιβάλλοντος έχει αποτελέσει σημαντικό μέλημα για τους οργανισμούς που ασχολούνται με την κατασκευή και συντήρηση των οδικών δικτύων. Μέσα από τα ΣΔΟ αρχειοθετούνται δεδομένα του οδικού άξονα που αφορούν το περιβάλλον, όπως η μέτρηση ατμοσφαιρικών ρύπων και κυκλοφοριακού θορύβου προσφέροντας προτάσεις για την ελαχιστοποίησή τους.

3.1.4 Οικονομία

Είναι πλέον αποδεκτό ότι υπάρχει σημαντικό οικονομικό όφελος από τη βελτιστοποίηση των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τη Συντήρηση Οδοστρωμάτων. Κάθε οικονομική επέκταση της διάρκειας ζωής ενός οδοστρώματος έχει σημαντικό όφελος στο μακροπρόθεσμο κόστος του κύκλου ζωής του. Οι προληπτικές εργασίες συντήρησης μπορεί να παρατείνουν σημαντικά τη διάρκεια ζωής του οδοστρώματος (ή να το προφυλάξουν από την πρόωρη αστοχία).

Το κόστος συντήρησης των οδοστρωμάτων εξαρτάται από την κατάσταση του οδοστρώματος και συγκεκριμένα αυξάνεται όσο η κατάστασή του επιδεινώνεται. Για να είναι εφικτή η συντήρηση οδοστρωμάτων με περιορισμένους πόρους και ταυτόχρονα η διατήρησή τους σε τέτοιο επίπεδο ώστε να ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις στους χρήστες και στο περιβάλλον, είναι απαραίτητη η ανάλυση κόστους συντήρησης αυτών. Οι κύριες συνιστώσες του κόστους συντήρησης των οδοστρωμάτων είναι το κόστος των παρεμβάσεων συντήρησης ή αλλιώς το κόστος του φορέα που αναλαμβάνει τη συντήρησή τους, το κόστος των χρηστών και το κόστος προς το περιβάλλον.

3.1.4.1. *Κόστος παρεμβάσεων συντήρησης*

Η διατήρηση του οδοστρώματος σε κατάσταση παρόμοια με αυτήν που είχε κατά το χρόνο της κατασκευής του είναι πρακτικά αδύνατη. Παράγοντες όπως η κυκλοφορία, οι καιρικές συνθήκες και η γήρανση των υλικών μειώνουν την ποιότητα και την αντοχή του οδοστρώματος. Έτσι, έπειτα από ορισμένο χρονικό διάστημα απαιτείται η αποκατάσταση του οδοστρώματος, δηλαδή η επαναφορά της κατάστασής του στο αρχικό επίπεδο ή σε ένα νέο αποδεκτό επίπεδο λειτουργικότητας που θα καθορίζεται με συγκεκριμένη

διαδικασία. Συγχρόνως, οι χρηματοδοτήσεις για τη διατήρηση των οδοστρωμάτων στα επιθυμητά επίπεδα είναι μειωμένες. Έτσι, οι φορείς οδοποιίας είναι υποχρεωμένοι να βρουν τη βέλτιστη λύση για τη συντήρηση του οδοστρώματος που θα απαιτεί το μικρότερο κόστος.

Στο παραπάνω κόστος εντάσσεται και το κόστος των φορέων διαχείρισης της οδού όπως το κόστος λειτουργού που αποτελεί όλα τα έξοδα για τη λήψη μετρήσεων, οπτικών επιθεωρήσεων και εργατωρών για την επεξεργασία των δεδομένων. Επιπλέον, το κόστος αυτό περιλαμβάνει όλες εκείνες τις ενέργειες που είναι απαραίτητες για τη συντήρηση ενός επιφανειακού χαρακτηριστικού όπως καθαρισμός, επιδιορθώσεις, αντικατάσταση.

3.1.4.2. Κόστος χρήση

Ο καλύτερος τρόπος για τη μείωση του κόστους του χρήστη είναι η διατήρηση του οδοστρώματος σε υψηλότερα επίπεδα κατάστασης. Τα ΣΔΟ διεθνώς έχουν δώσει έμφαση στη βελτιστοποίηση του κόστους συντήρησης και δε λαμβάνουν υπόψη το κόστος των χρηστών επειδή το τελευταίο είναι δύσκολο να εκτιμηθεί. Το κόστος των χρηστών αποτελείται από τέσσερις κύριες συνιστώσες. Οι συνιστώσες αυτές είναι το κόστος λειτουργίας του οχήματος, το κόστος των ατυχημάτων, το κόστος του χρόνου μετακίνησης και το κόστος δυσφορίας. Οι συνιστώσες του κόστους χρήστη συνδέονται με την επιφανειακή κατάσταση του οδοστρώματος που απεικονίζεται, σε ικανοποιητικό βαθμό, από την επιπεδότητα του οδοστρώματος επειδή εμπεριέχει το σύνολο των φθορών του και της ολισθηρότητας λόγω των οδικών ατυχημάτων.

3.1.4.3. Κόστος προς το περιβάλλον

Τα οδικά δίκτυα, ως τεχνικά έργα, επιβαρύνουν το περιβάλλον με τη λειτουργία τους. Η επιδείνωση της κατάστασης των οδοστρωμάτων έχει ως συνέπεια την αύξηση του θορύβου, τη ρύπανση της ατμόσφαιρας και την επίδραση στην κοινωνική, πολιτική και οικονομική ζωή μιας περιοχής. Επομένως, το κόστος προς το περιβάλλον εξαιτίας της κατάστασης του οδοστρώματος αποτελείται από το κόστος των επιπλέον ρύπων στην ατμόσφαιρα, το κόστος του επιπλέον θορύβου εξαιτίας της κατάστασης του οδοστρώματος και το κόστος στην κοινωνική, πολιτική και οικονομική ζωή.

3.2. Επιφανειακά χαρακτηριστικά οδοστρωμάτων

Τα επιφανειακά χαρακτηριστικά του οδοστρώματος έχουν άμεση σχέση με τη λειτουργικότητά του και επηρεάζουν όπως φαίνεται στην εικόνα 3.1 τις βασικές απαιτήσεις. Επιπλέον, σχετίζονται με το γεωμετρικό προφίλ του οδοστρώματος και την ποιότητα επιφάνειάς του.

Ως βασικά επιφανειακά χαρακτηριστικά θεωρούνται:

- Ολισθηρότητα- Αντίσταση κύλισης (slipperiness- rolling resistance)
- Ομαλότητα (roughness)
- Επιφανειακές φθορές (surface distress)
- Θόρυβος επαφής (tire- pavement noise)
- Φωτοανακλαστικά χαρακτηριστικά (reflectance characteristics)
- Ποιότητα διαγράμμισης (road marking quality)

		Απαιτήσεις				
		Ασφάλεια	Άνεση	Περιβάλλον	Οικονομία	
Παράμετροι που επηρεάζουν τις απαιτήσεις για ασφάλεια, άνεση, προστασία περιβάλλοντος, οικονομία κατά την οδήγηση	Ολισθηρότητα	●	○	○	○	
	Επιπόλωση	Διαμήκης	◐	●	○	◐
		Εγκάρσια	◐	◐	○	○
	Αντίσταση κατά την κύλιση	○	○	○	◐	
	Θόρυβος ελαστικού / δρόμου	○	◐	●	○	
	Φωτο-ανακλαστικά χαρακτηριστικά	◐	◐	○	◐	

● Μεγάλη επίδραση ◐ Έντονη επίδραση ◑ Μέση επίδραση ◒ Μικρή επίδραση ○ Καμία επίδραση

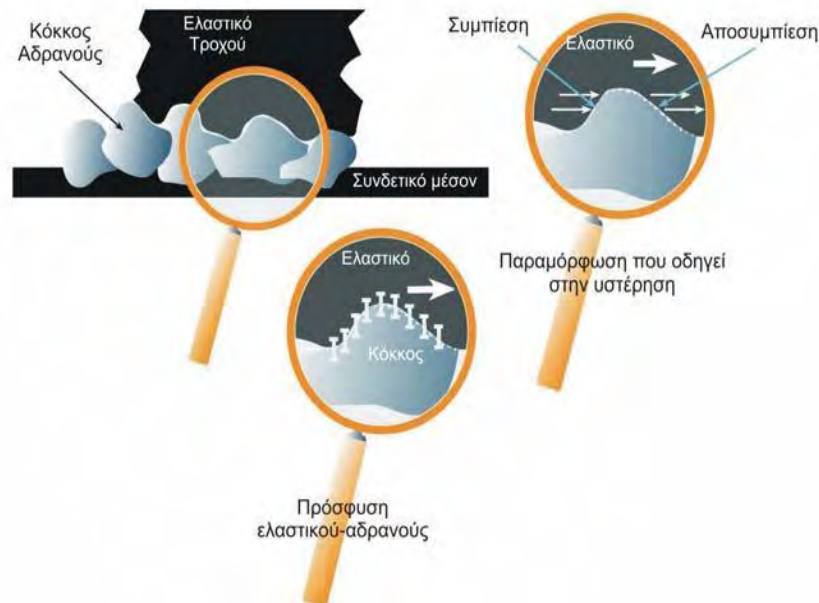
Εικόνα 3.1: Επίδραση επιφανειακών χαρακτηριστικών στην ασφάλεια, άνεση, περιβάλλον και οικονομία (OECD 1984)

Από τα επιφανειακά χαρακτηριστικά των οδοστρωμάτων, τα τρία πρώτα, ολισθηρότητα, ομαλότητα, φθορές, ανήκουν στα κύρια ενώ τα υπόλοιπα ανήκουν στα δευτερεύοντα χαρακτηριστικά.

3.2.1 Ολισθηρότητα- Αντίσταση κύλισης

Με τον όρο ολισθηρότητα εκφράζεται η ικανότητα ανάπτυξης εφαπτομενικών δυνάμεων τριβής στην επιφάνεια ελαστικού- οδοστρώματος προς αποφυγή πλευρικής ή κατά μήκος απρόσμενης μετατόπισης του οχήματος. Πολλές φορές χρησιμοποιείται ο όρος αντίσταση της επιφάνειας του οδοστρώματος σε ολίσθηση που υποδεικνύει την οριζόντια δύναμη που αναπτύσσεται όταν το ελαστικό ενός τροχού ολισθαίνει στην επιφάνεια του οδοστρώματος κατά

την πέδηση του οχήματος. Οι δύο όροι παρέχουν αντίθετη εικόνα του ίδιου φαινομένου, σε οδοστρώματα δηλαδή με μεγάλη ολισθηρότητα η αντίσταση σε ολίσθηση είναι μικρή και αντιστρόφως.



Εικόνα 3.2: Κύριες συνιστώσες δύναμης τριβής (Πηγή: Oliven & Halligan, 2006)

Ο πραγματικός στόχος στον έλεγχο της ολισθηρότητας είναι ο προσδιορισμός της συνεισφοράς του οδοστρώματος στην ανάπτυξη της τριβής μεταξύ αυτού και του ελαστικού (Hegmon, 1973).

Η αντίσταση σε ολίσθηση ενός οδοστρώματος μεταβάλλεται με το χρόνο: στα πρώτα δύο χρόνια της ζωής του οδοστρώματος μετά την κατασκευή του, η ολισθηρότητα αυξάνεται καθώς το οδόστρωμα φθείρεται από τον κυκλοφοριακό φόρτο και εκτίθενται τραχείς επιφάνειες αδρανών. Εν συνεχεία, η αντίσταση σε ολίσθηση μειώνεται καθώς τα εκτεθειμένα αδρανή υφίστανται λείανση.

Μία από τις πρώτες συσκευές μέτρησης της ολισθηρότητας της επιφάνειας του οδοστρώματος είναι το ολισθηρόμετρο ASTM το οποίο αναπτύχθηκε στην Αμερική, γνωστό ως ASTM Skid trailer. Οι μετρήσεις λαμβάνονται από τους τροχούς μεμονωμένα ή ταυτόχρονα με τον τροχό μπλοκαρισμένο για σύντομο χρονικό διάστημα (συνήθως 2 δευτερόλεπτα). Επιπλέον, οι μετρήσεις γίνονται σε τακτές αποστάσεις (ανά 200m) με πρότυπη ταχύτητα 65km/h. Το ASTM δίνει αποτελέσματα που εκφράζονται ως Αριθμός Ολίσθησης (SN), ο οποίος λαμβάνει τιμές από 1 έως 100, όπου η τιμή 100 εκφράζει τη βέλτιστη αντιολισθηρή ικανότητα της επιφάνειας. Προτεινόμενες

τιμές του αριθμού ολίσθησης για τα ελληνικά δεδομένα έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία (Νικολαΐδης, 1996) όπου για όριο προειδοποίησης προτείνεται η τιμή $SN=40$, ενώ ως κατώτατο αποδεκτό όριο (όριο άμεσης δράσης αποκατάστασης προτείνεται η τιμή $SN=35$ για τις επικίνδυνες θέσεις και η τιμή $SN=30$ για τις υπόλοιπες θέσεις.

3.2.2 Ομαλότητα

Η ομαλότητα (smoothness) ορίζεται ως οι διαμήκεις αποκλίσεις μιας επιφάνειας οδοστρώματος από μία απόλυτα επίπεδη επιφάνεια, που έχουν επιπτώσεις στη δυναμική των οχημάτων, την ποιότητα τροχοδρόμησης και τον κυκλοφορικό φόρτο (Janoff, 1975).

Η αρχική ομαλότητα επιδεινώνεται γενικά όταν εκτίθεται το οδόστρωμα σε κυκλοφορικά και κλιματικά φορτία που προκαλούν την ανάπτυξη φθορών και άλλων ατελειών στην επιφάνειά του. Μερικοί παράγοντες που προκαλούν την απώλεια ομαλότητας είναι οι εξής (Sayers & Karamihias, 1996; Janoff, 1975):

- Κακοτεχνίες κατά την κατασκευή
- Τοπικές φθορές οδοστρωμάτων (λακκούβες, ρηγματώσεις κτλ)
- Κυκλοφορία (τροχοαυλακώσεις)
- Περιβαλλοντικές διαδικασίες, με τις υλικές ιδιότητες του ασφαλτοτάπητα, όπως η φτωχή απορροή των όμβριων υδάτων

Η ομαλότητα ήταν από τα πρώτα λειτουργικά χαρακτηριστικά που κατηγοριοποιήθηκαν και άρχισαν να συλλέγονται τακτικά δεδομένα προκειμένου να αξιολογηθεί η κατάσταση υφιστάμενων οδοστρωμάτων. Για την ενιαία και σαφή έκφραση της επιπεδότητας του οδοστρώματος, ανεξάρτητα από τη μέθοδο μέτρησης, έχει αναπτυχθεί σε παγκόσμιο επίπεδο ο Διεθνής Δείκτης Επιπεδότητας (τραχύτητας) IRI (International Roughness Index) με μονάδες m/km . Ο δείκτης καθορίστηκε μετά από μαθηματική προσομοίωση ενός τροχού με ελατήρια γνωστών μηχανικών χαρακτηριστικών και βάρους ίσου με ένα τυπικό άξονα επιβατικού οχήματος, ο οποίος κινείται πάνω σε επιφάνειες με διαφορετικό βαθμό ομαλότητας με ταχύτητα $80 km/h$. Ο δείκτης IRI λαμβάνει τιμές από 0 έως 20 μονάδες.

3.2.3 Επιφανειακές φθορές

Ως φθορές ορίζονται οι ατέλειες ή καταπονήσεις του οδοστρώματος που γίνονται αντιληπτές με απλή παρατήρηση και εκτιμώνται και σχετίζονται με τον κύκλο ζωής για κάθε τύπο οδοστρώματος για δεδομένες κυκλοφοριακές και καιρικές συνθήκες. Κάθε είδος καταπόνησης σχετίζεται με συγκεκριμένες

ιδιότητες του οδοστρώματος όπως, γήρανση, τριβές, εξασθένηση ή τα υλικά κατασκευής.

Σύμφωνα με το Strategic Highway Research Program (1993) υπάρχουν 15 τύποι φθορών για εύκαμπτα οδοστρώματα που μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις κατηγορίες, τις ρηγματώσεις, τις παραμορφώσεις της επιφάνειας, τις αποσαθρώσεις και τη λείανση της επιφάνειας κύλισης. Ρηγμάτωση είναι η διακοπή της συνέχειας σε μια επιφάνεια. Παραμόρφωση ή στρέβλωση της επιφάνειας του οδοστρώματος είναι η φθορά εκείνη που χαρακτηρίζει το οδόστρωμα ως μη επίπεδο. Αποσάθρωση είναι η θρυμματίση του οδοστρώματος σε μικρά ασύνδετα κομμάτια. Η λείανση της επιφάνειας κύλισης, σε αντίθεση με τους άλλους τύπους φθορών, δεν επιδρά στην επιδείνωση της δομικής κατάστασης του οδοστρώματος, αλλά στο επίπεδο ασφάλειας και εξυπηρέτησης αυτού. Είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ολισθηρότητα του οδοστρώματος, λόγω μείωσης της μικροϋφής και μακροϋφής της επιφάνειας του και κατά συνέπεια και της μείωσης του συντελεστή τριβής μεταξύ ελαστικών και επιφάνειας.

Παρακάτω αναφέρονται επιγραμματικά κάποια βασικά είδη φθορών εύκαμπτων οδοστρωμάτων:

- Ρωγμές τύπου αλιγάτορα (alligator cracks)
- Ρωγμές στα άκρα του οδοστρώματος (edge cracks)
- Ρωγμές ανάκλασης (reflection cracks)
- Ρωγμές από ολίσθηση ταπήτων (slippage cracks)
- Εγκάρσιες ρωγμές (transverse cracking)
- Διαμήκειες ρωγμές ή ρωγμές στην τροχιά των τροχών (wheel path cracks/ longitudinal cracks)
- Ρωγμές μεταξύ λωρίδων διάστρωσης ή διαπλάτυνσης
- Ρωγμές συστολής ή συρρίκνωσης (shrinkage cracks/ block cracks)
- Ελικοειδείς ρωγμές ή ρωγμές τύπου D (D-cracking)
- Αυλακώσεις στις τροχιές των τροχών- κατά μήκος αυλακώσεις (channels or ruts)
- Κατά πλάτος αυλακώσεις- κυματώσεις (corrugations- waves)
- Τοπικές καθιζήσεις (local depressions/ bird baths)
- Τοπικές διογκώσεις (local upheavals/ bumps)
- Τοπικές επισκευές-μπαλώματα του οδοστρώματος (patch)
- Λακκούβες (potholes/ chuckholes)
- Αποκόλληση αδρανών (raveling/ weathering)
- Ανάδυση ασφάλτου (asphalt bleeding/ flushing)
- Λείανση αδρανών (polished aggregate)

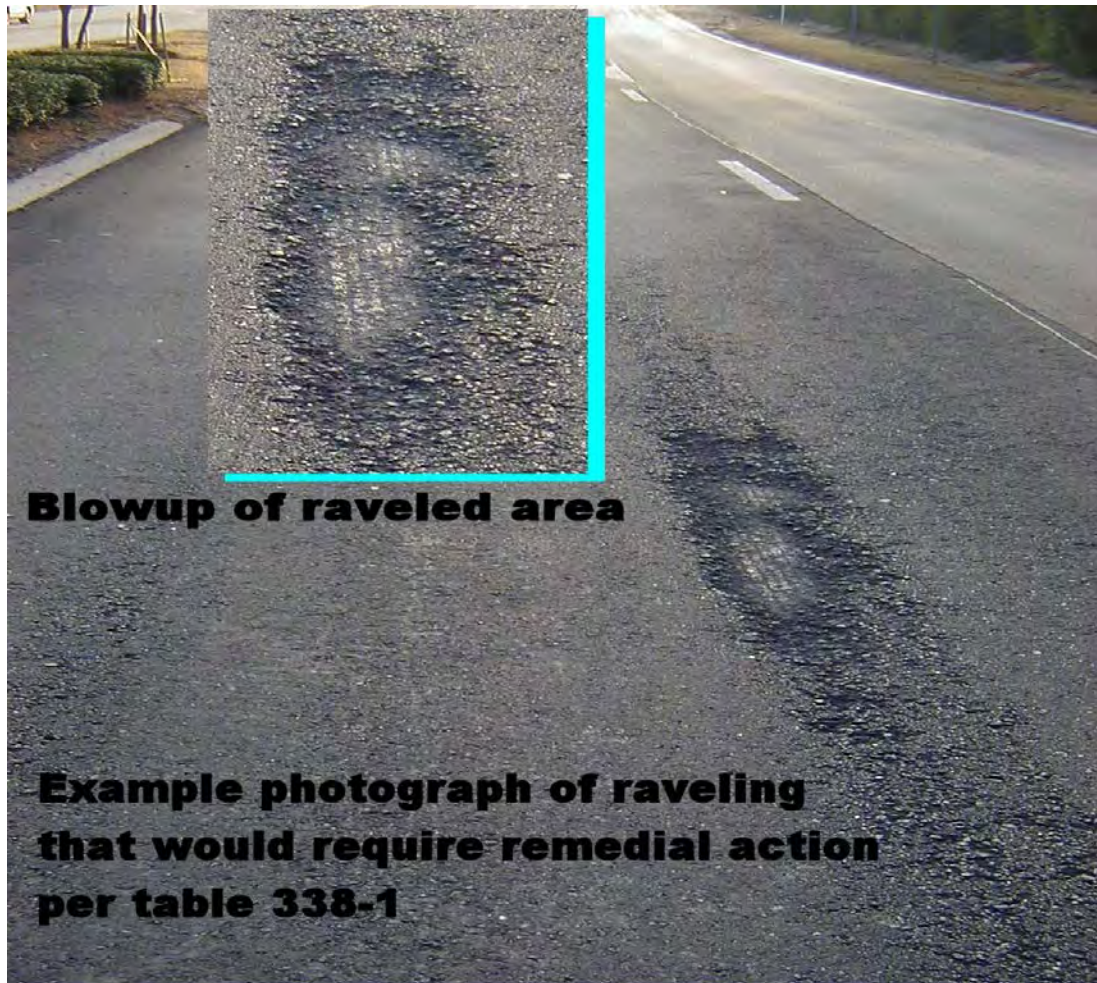
Ακολουθούν εικόνες ενδεικτικά για κάποιες από τις παραπάνω φθορές:



Εικόνα 3.3: Ρωγμές τύπου αλιγάτορα (Πηγή: διαδίκτυο)



Εικόνα 3.4: Ανάδυση ασφάλτου (Πηγή: διαδίκτυο)



Εικόνα 3.5: Αποκόλληση αδρανών (Πηγή: διαδίκτυο)

Η μέτρηση των επιφανειακών φθορών γίνεται είτε με την οπτική επαφή και τη βιντεοσκόπηση, είτε με τη βοήθεια παρατηρητή, είτε πλέον μέσα από κλειστά κυκλώματα παρακολούθησης και αισθητήρων. Με αυτό τον τρόπο συλλέγονται τα απαραίτητα στοιχεία σε όλο το μήκος της οδού με σκοπό την αξιολόγησή της, και την κατασκευή ειδικών δεικτών που θα αναφερθούν στη συνέχεια της παρούσας εργασίας.

3.2.4 Θόρυβος επαφής

Η άνοδος της κυκλοφορίας καθιστά την οδό ως μια όλο και αυξανόμενη πηγή ηχητικών ρύπων για το περιβάλλον. Ο άνθρωπος δε μπορεί να προσαρμοστεί σε αυτήν την αυξημένη όχληση, αντιθέτως αντιδρά αρνητικά με μεγάλη ευαισθησία σε αυτό το φαινόμενο. Ο περιβαλλοντικός αυτός θόρυβος από την κυκλοφορία προκαλείται από πολλούς παράγοντες όπως ο κινητήρας του οχήματος, η εξάτμιση, η μετάδοση του εξαερισμού, η

αεροδυναμική κίνησης και η επαφή ελαστικού με το οδόστρωμα. Στο συγκεκριμένο σύγγραμμα αναλύεται η τελευταία πηγή θορύβου, καθώς οι παράγοντες που την επηρεάζουν οφείλονται στην κατάσταση του οδοστρώματος. Πιο αναλυτικά, ο κυκλοφοριακός θόρυβος στην κατηγορία αυτή δημιουργείται λόγω των δονήσεων του ελαστικού από τις κατακόρυφες μετατοπίσεις που οφείλονται στις αλλαγές της μακροϋφής του οδοστρώματος.

Επιπλέον, η παραμόρφωση του ελαστικού από την εναλλαγή πρόσφυσης-ολίσθησης και η συμπίεση-εκτόνωση των θυλάκων αέρα μεταξύ των ραβδώσεων του ελαστικού και των κενών του ασφαλτοτάπητα αποτελούν πηγές θορύβου επαφής. Τέλος, έχει παρατηρηθεί ότι τα χαρακτηριστικά της οδού στο σημείο μέτρησης (ανωφέρεια, κραδασμοί λόγω φθορών στην επιφάνεια οδοστρώματος) σε συνδυασμό με την κυκλοφοριακή ροή (είδη οχημάτων, αναπτυσσόμενες ταχύτητες) συνεισφέρουν στην αύξηση της όχλησης λόγω επαφής.

Διαπιστώνεται λοιπόν ότι το είδος της επιφάνειας κυκλοφορίας αποτελεί σημαντικό παράγοντα του θορύβου επαφής, για παράδειγμα οδόστρωμα με μεγάλη μακροϋφή θεωρείται ως τραχεία επιφάνεια που προκαλεί αυξημένο κυκλοφοριακό θόρυβο σε σχέση με μία πιο λεία επιφάνεια.

Η στάθμη του θορύβου μετριέται με ειδικό όργανο, το ηχώμετρο, σε ντεσιμπέλ (dB) και τα όρια στάθμης ορίζονται από προδιαγραφές και νομοθεσίες και διαφοροποιούνται ανάλογα με τον τόπο (κατοικημένες περιοχές, νοσοκομεία) και το χρόνο (μέρα, νύχτα). (Βογιατζής, 2012)

Ενδεικτικά παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα οι οριακές τιμές θορύβου ανάλογα με τον τύπο του ελαστικού.

Πίνακας 3.1: Οριακές τιμές θορύβου ελαστικών (Κανονισμός ΕΚ αριθ. 661/2009), (Πηγή: ΕΚ, 2009)

Κατηγορία ελαστικών	Ονομαστικό πλάτος διατομής (mm)	Οριακές τιμές σε dB*
C1a	≤185	70
C1b	>185 ≤ 215	71
C1c	>215 ≤ 245	71
C1d	>245 ≤ 275	72
C1e	>275	74

* Για ελαστικά χιονιού, ελαστικά Extra Load και ενισχυμένα ελαστικά ή για κάθε συνδυασμό των ταξινόμησεων αυτών, οι ανωτέρω οριακές τιμές αυξάνονται κατά 1 dB(A).

Κατηγορία ελαστικών	Κατηγορία Χρήσης	Οριακές τιμές σε dB**
C2	Συνήθη ελαστικά	72
	Ελαστικά έλξης	73
C3	Συνήθη ελαστικά	73
	Ελαστικά έλξης	75

** Για ειδικού τύπου ελαστικά οι ανωτέρω οριακές τιμές αυξάνονται κατά 2 dB(A). Οι τιμές αυτές αυξάνονται κατά ακόμη 2 dB(A) για τα ελαστικά χιονιού στην κατηγορία ελαστικών έλξης C2. Για όλες τις άλλες κατηγορίες ελαστικών C2 και C3 επιτρέπεται η αύξηση του ορίου κατά 1 dB(A) επιπλέον για τα ελαστικά χιονιού.

3.2.5 Φωτοανακλαστικά χαρακτηριστικά

Η φωτοανακλαστική ικανότητα του οδοστρώματος αποτελεί ένα πολύ σημαντικό παράγοντα στην οπτική προσαρμογή του οδηγού και στην ικανότητα να διακρίνει κατά τη διάρκεια της νύχτας αντικείμενα επί της οδού (πεζούς, διάφορα εμπόδια).

Η ανάκλαση σε επιφάνειες οδοστρωμάτων καθορίζεται από το συντελεστή ανακλαστικής αποδοτικότητας χ_r ή από το συντελεστή λαμπρότητας q που προσδιορίζεται από το λόγο L της λαμπρότητας προς το φωτισμό. Μια επιφάνεια που αντανακλά τη φωτεινότητα που προσπίπτει επάνω σε αυτή σε μεγάλο βαθμό προς όλες τις κατευθύνσεις χαρακτηρίζεται από ένα μικρό συντελεστή χ_r . Τέτοια οδοστρώματα είναι αυτά που εμφανίζουν τραχείες επιφάνειες, ενώ αντίθετα οι λείες επιφάνειες αντανακλούν τον προσπίπτοντα φωτισμό σε μία συγκεκριμένη κατεύθυνση με αποτέλεσμα να μειώνεται η οπτική αντίθεση για τον οδηγό του οχήματος σε σχέση με εμπόδια που βρίσκονται στην επιφάνεια του οδοστρώματος.

Οι ξηρές επιφάνειες κατατάσσονται ανάλογα με τη συμπεριφορά τους ως προς το είδος αντανάκλασης που τις χαρακτηρίζει σε τέσσερις κατηγορίες (R1-R4). Για υγρές επιφάνειες οδοστρωμάτων δεν υπάρχουν διεθνώς σταθερές και αυτό διότι η συμπεριφορά αντανάκλασης του οδοστρώματος ποικίλει σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με το πάχος και τη θέση του υδάτινου υμένα επί της επιφάνειας του οδοστρώματος σε συνάρτηση με τη γωνία πρόσπτωσης του εκάστοτε φωτισμού.

3.2.6 Ποιότητα διαγράμμισης

Οι διαγραμμίσεις συναντώνται σχεδόν σε οποιοδήποτε οδικό περιβάλλον, σε αστικές ή υπεραστικές οδούς και διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη λειτουργικότητα και ασφάλεια της κίνησης. Τα πλεονεκτήματα της διαγράμμισης για την οπτική καθοδήγηση γίνονται ιδιαίτερα σημαντικά όταν οι καιρικές συνθήκες δεν είναι καλές ή τη νύχτα, όταν το μάτι δε μπορεί να διακρίνει τα στοιχεία που περιβάλλουν την οδό. Οι διαγραμμίσεις βοηθούν με ποικίλους τρόπους στην ομαλή και ασφαλή διέλευση της κυκλοφορίας ρυθμίζοντας την κυκλοφοριακή ροή με οριζόντιες σημάνσεις, γραμμές επιταχύνσεως- επιβραδύνσεως, διευθετώντας την κυκλοφορία, διευκολύνοντας τη λήψη κρίσιμων αποφάσεων. Για αυτό το λόγο, η σημασία για τον ορθό σχεδιασμό και τη συστηματική τους συντήρηση είναι μεγάλη.

Τα βασικά χαρακτηριστικά στοιχεία μίας διαγράμμισης είναι το χρώμα, η λαμπρότητα, η οπισθανάκλαση, η αντίσταση σε ολίσθηση και η διάρκεια ζωής. Η εγκατάσταση και συντήρηση της διαγράμμισης κοστίζει και διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη λειτουργικότητα και ασφάλεια του οδικού περιβάλλοντος. Οι διαγραμμίσεις οφείλουν να πληρούν τις προδιαγραφόμενες ιδιότητες, οι δε προδιαγραφές να αναβαθμίζονται στο πέρασμα του χρόνου, ανταποκρινόμενες στις εκάστοτε απαιτήσεις και συνθήκες.

Οι βασικές ιδιότητες που συνήθως σχετίζονται με τις διαγραμμίσεις των οδοστρωμάτων είναι οι ακόλουθες:

- Χαρακτηριστικά ορατότητας, το βασικότερο πεδίο ιδιοτήτων, αφού οι διαγραμμίσεις λειτουργούν για τον οδηγό κυρίως βλέποντάς τις.
- Ανθεκτικότητα, καθώς οι διαγραμμίσεις έχουν συνήθως πολύ περιορισμένο χρόνο ζωής σε σχέση με τα υπόλοιπα στοιχεία της οδού.
- Ολισθηρότητα κατά τη διέλευση των οχημάτων από επάνω τους.

- Ενόχληση κατά την τοποθέτηση, καθώς ο περιορισμένος χρόνος ζωής τους επιβάλλει συχνή συντήρηση με αναγκαστική παρενόχληση της κυκλοφορίας.
- Ευκολία αφαίρεσης, καθώς πολλές φορές απαιτείται επαναδιευθέτηση της κυκλοφορίας σε μία οδό ή εφαρμογή προσωρινής διαγράμμισης.

Στον παρακάτω πίνακα 3.2 δίνονται ενδεικτικά ορισμένα χαρακτηριστικά των διαγραμμίσεων και οι απαιτούμενες τιμές για κάθε επίπεδο ποιότητας.

Πίνακας 3.2: Χαρακτηριστικά διαγράμμισης και αντίστοιχα επίπεδα απόδοσης (Πηγή: EN 1436)

Οπισθανάκλαση (ξηρές συνθήκες)		Οπισθανάκλαση (υγρές συνθήκες)		Λαμπρότητα		Αντίσταση σε ολίσθηση	
Επίπεδο ποιότητας	Απαιτ. τιμή (med)	Επίπεδο ποιότητας	Απαιτ. τιμή (med)	Επίπεδο ποιότητας	Απαιτ. τιμή	Επίπεδο ποιότητας	Απαιτ. τιμή (SRV)
R0	-	RW0	-	B0	-	S0	-
R2	100	RW1	25	B2	30	S1	45
R4	200	RW2	35	B3	40	S2	50
R5	300	RW3	50	B4	50	S3	55
				B5	60	S4	60
						S5	65

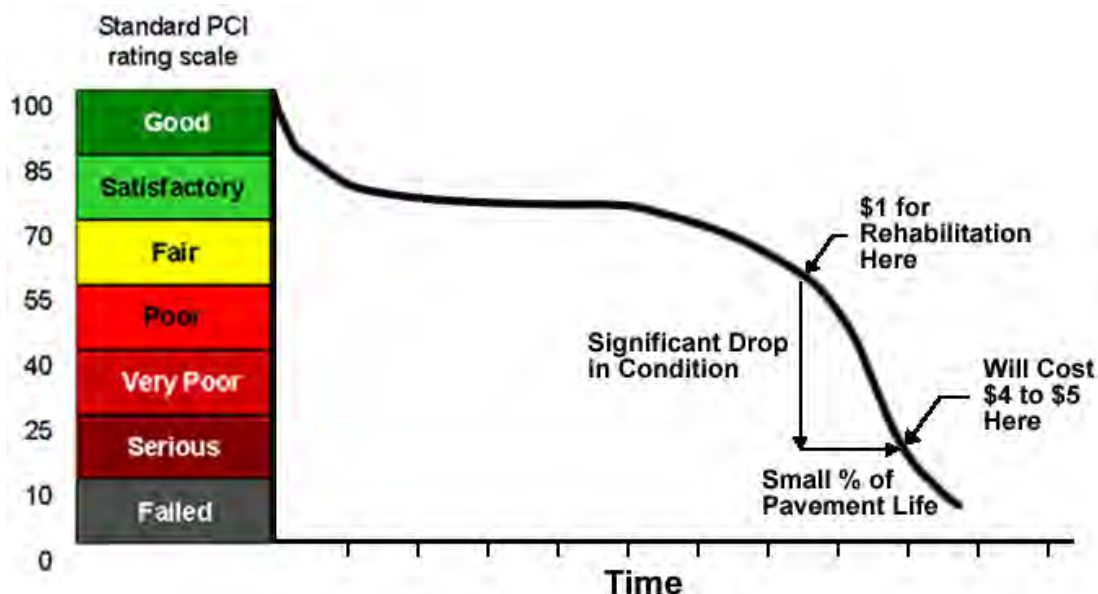
3.3. Δείκτες κατάστασης οδοστρωμάτων

Η αξιολόγηση της κατάστασης του οδοστρώματος για λόγους διαχείρισης της συντήρησης αλλά και γενικότερων αποφάσεων κατασκευής οδών μπορεί να γίνει αποτελεσματικά με τη χρήση αριθμητικών δεικτών που αποδίδουν μια ποσοτική αποτίμηση των χαρακτηριστικών της κατάστασης του οδοστρώματος. Στα ΣΔΟ χρησιμοποιούνται δύο είδη δεικτών, οι μεμονωμένοι δείκτες κατάστασης που δείχνουν τις μεταβολές μιας συγκεκριμένης φθοράς και οι σύνθετοι δείκτες που δείχνουν τις μεταβολές της γενικής κατάστασης υπολογίζοντας όλες τις φθορές του οδοστρώματος συναρτήσει των παραγόντων επιρροής. Οι δείκτες κατάστασης μπορούν να έχουν οποιαδήποτε κλίμακα τιμών, οι πιο συνήθεις είναι από 0 έως 5, 0 έως 10 και από 0 έως 100 με 0 την καλύτερη ή χειρότερη κατάσταση.

Στις επόμενες υποενότητες παρουσιάζονται χαρακτηριστικοί δείκτες που χρησιμοποιούνται συχνά για την αξιολόγηση της κατάστασης των οδοστρωμάτων.

3.3.1 Δείκτης κατάστασης οδοστρώματος (PCI)

Ο Δείκτης Κατάστασης Οδοστρώματος PCI παρέχει τη δυνατότητα εκτίμησης της κατάστασης του οδοστρώματος βασιζόμενος στις φθορές που παρατηρούνται στην επιφάνεια του και έχει υιοθετηθεί από τα πρότυπα της ASTM για την αξιολόγηση της κατάστασης οδοστρωμάτων αεροδρομίων. Παρέχει μια υποκειμενική βάση για τον προσδιορισμό των αναγκών συντήρησης και εκτίμησης προτεραιοτήτων. Ο δείκτης δε μετρά τη δομική ανεπάρκεια του οδοστρώματος ούτε παρέχει άμεση εκτίμηση της επιπεδότητας ή της ολίσθησης. Ο δείκτης λαμβάνει υπόψη 16 είδη φθορών για εύκαμπτα οδοστρώματα και η τιμή του κυμαίνεται από 0 (απαράδεκτη κατάσταση) έως 100 (άριστη κατάσταση). Η εξαγωγή του PCI 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)



Εικόνα 3.6: Καμπύλη κατάστασης οδοστρώματος βάσει του δείκτη PCI (Πηγή: MicroPaver, 2013)

3.3.2 Δείκτης άνεσης οδήγησης (RCI)

Ο Δείκτης Άνεσης Οδήγησης RCI, παλιότερα γνωστός ως Βαθμολόγηση Παρούσας Εξυπηρετικότητας PPR (Present Performance Rating), προέκυψε από τη βαθμολόγηση της ποιότητας οδήγησης που έγινε εμπειρικά από ομάδα ειδικών για οδοστρώματα διαφόρων καταστάσεων με εξαγωγή του μέσου όρου των βαθμολογιών. Αναπτύχθηκε στα τέλη της δεκαετίας του '50 και στις αρχές της δεκαετίας του '60 στον Καναδά. Ο δείκτης RCI προτάθηκε

με σκοπό να περιγράψει τη συνολική κατάσταση του οδοστρώματος, κατέληξε ωστόσο να αποτελεί μέτρο της επιπεδότητας του οδοστρώματος.

3.3.3 Δείκτης παρούσας λειτουργικότητας (PSI)

Ο Δείκτης Παρούσας Λειτουργικότητας PSI συνδέει τη λειτουργική κατάσταση του οδοστρώματος με την ποιότητα οδήγησης. Πρόκειται για το αποτέλεσμα της εμπειρίας που προέκυψε στα πλαίσια του οδικού πειράματος AASHO και βασίζεται σε αντικειμενικές μετρήσεις ορισμένων φυσικών παραμέτρων της επιφάνειας του οδοστρώματος όπως η διακύμανση της εγκάρσιας κλίσης, οι ρηγματώσεις (ποσοστό ρηγματωμένης επιφάνειας), το βάθος αυλακώσεων και το ποσοστό επιφάνειας με τοπικές επισκευές. Ο δείκτης λαμβάνει τιμές από 0 (απαραδέκτη ποιότητα οδήγησης) έως 5 (άριστη ποιότητα οδήγησης). Το κατώτατο παραδεκτό επίπεδο λειτουργικότητας ορίζεται συνήθως εκείνο που αντιστοιχεί στην τιμή 2. Η τιμή του δείκτη μειώνεται σταδιακά με το χρόνο.

Ο δείκτης PSI μπορεί να υπολογιστεί για εύκαμπτα οδοστρώματα από την παρακάτω εξίσωση: (Μουρατίδης, 2008)

$$PSI = 5,03 - \log(1 + SV) - 1,38 RD^2 - 0,01 (C + P)^{0,5} \quad (3.1)$$

όπου: SV η μέση τιμή διακύμανσης της εγκάρσιας κλίσης και στα δύο ίχνη των τροχών (επιπεδότητα, 10^{-6} rad)

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)

P είναι το ποσοστό της επιφάνειας που παρουσιάζει τοπικές φθορές (ft²/1000 ft²)

3.3.4 Δείκτης αντίστασης σε ολίσθηση (SRI)

Η αντίσταση της επιφάνειας του οδοστρώματος σε ολίσθηση μπορεί να μετρηθεί με έναν αρκετά μεγάλο αριθμό συσκευών. Το γεγονός αυτό καθιστά την άμεση σύγκριση των αποτελεσμάτων σχεδόν αδύνατη. Για τον εναρμονισμό όλων των διαθέσιμων συσκευών μέτρησης αντίστασης σε ολίσθηση με την τεχνική ολίσθησης του τροχού επινοήθηκε ο Δείκτης Αντίστασης σε Ολίσθηση (SRI). Έτσι, η αντίσταση που παρέχεται από την επιφάνεια σε ολίσθηση εκφράζεται από όλες τις συσκευές, αφού βαθμονομηθούν, σε μία ενιαία κλίμακα. Για τον προσδιορισμό του SRI είναι απαραίτητη προϋπόθεση η μέτρηση του προφίλ του βάθους υψής της

επιφάνειας. Ο δείκτης αντίστασης σε ολίσθηση προσδιορίζεται από την παρακάτω εξίσωση: (Νικολαΐδης, 2011)

$$SRI = B * F * e^{[(S-30)/S_0]} \quad (3.2)$$

όπου:

$$S_0 = a * MPD^b$$

a, b, B: παράμετροι της συσκευής μέτρησης τριβής που χρησιμοποιήθηκε

F: τιμή συντελεστή τριβής με σταθερή ολίσθηση τροχού

S: ταχύτητα μέτρησης (km/h)

MPD: μέσο βάθος υφής οδοστρώματος από μετρήσεις του προφίλ βάθους υφής της επιφάνειας.

3.3.5 Δείκτης λειτουργικής κατάστασης οδοστρωμάτων (PFCI)

Ο δείκτης λειτουργικής κατάστασης οδοστρωμάτων που κατασκευάστηκε πιλοτικά στην παρούσα εργασία συνδέει τις βασικές απαιτήσεις του οδοστρώματος με τα επιφανειακά χαρακτηριστικά του. Πιο συγκεκριμένα βασίζεται στις μετρήσεις των επιφανειακών χαρακτηριστικών για να αξιολογήσει τη λειτουργική κατάσταση του οδοστρώματος. Ο βαθμός που επηρεάζουν οι μετρήσεις την τελική τιμή του δείκτη ορίστηκε από μία ομάδα ειδικών που ασχολούνται πάνω στη λειτουργία και συντήρηση των οδοστρωμάτων ύστερα από μαθηματική ανάλυση. Ο δείκτης λαμβάνει τις τιμές 0 έως 100 και το πλεονέκτημα του σε σχέση με τους παραπάνω αλλά και άλλους δείκτες είναι ότι συμπεριλαμβάνει όλα μαζί τα επιφανειακά χαρακτηριστικά του οδοστρώματος και δεν τα εξετάζει μεμονωμένα. Επιπλέον, συσχετίζει για τον τελικό βαθμό αξιολόγησης του οδοστρώματος ενός οδικού τμήματος ποσοτικές και ποιοτικές μετρήσεις που προκύπτουν από τις επιθεωρήσεις των επιφανειακών χαρακτηριστικών του οδικού άξονα.

4. Συστήματα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων (ΣΔΟ) στην Ελλάδα

Οι πρώτες προσπάθειες, σχετικά με την ανάπτυξη και τη λειτουργία ΣΔΟ στην Ελλάδα, ξεκίνησαν πριν από περίπου είκοσι χρόνια (Μουρατίδης, 1996). Η πιο αξιόλογη προσπάθεια που έγινε από την πλευρά της Πολιτείας είναι η έκδοση του «Εγχειριδίου Ελέγχων και Ταξινόμησης Φθορών των Οδοστρωμάτων», το οποίο συντάχθηκε από τη Γενική Γραμματεία Επενδύσεων και Ανάπτυξης του Υπουργείου Οικονομίας και Οικονομικών και τη Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. Στο εγχειρίδιο αυτό αναφέρεται ότι είναι σκόπιμο να αναπτυχθεί ένα Σύστημα Διαχείρισης Οδοστρωμάτων για κάθε Περιφέρεια (ΥΠ.ΟΙ.Ο. – Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., 2002). Σε γενικές γραμμές, έχουν γίνει σημαντικά βήματα, όπως συλλογή δεδομένων για την αξιολόγηση της ομαλότητας σε οδοστρώματα υφιστάμενων αυτοκινητοδρόμων, δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης της επιδείνωσης των φθορών και μετρήσεις για την κατάσταση των οδοστρωμάτων. Όλες οι προσπάθειες για την ανάπτυξη ΣΔΟ έχουν γίνει σε μεγαλύτερο βαθμό από ομάδες ερευνητών σε πανεπιστημιακά ιδρύματα και εν μέρει από την πλευρά της Πολιτείας.

4.1. Υπολογιστικά προγράμματα ΣΔΟ που χρησιμοποιούνται στο εθνικό οδικό δίκτυο

Ο τρόπος κατασκευής και συντήρησης των οδοστρωμάτων, όπως επίσης οι περιβαλλοντικές συνθήκες και η σύσταση του εδάφους, διαφέρουν από χώρα σε χώρα. Επομένως, είναι αδύνατον να αναπτυχθεί μια μεθοδολογία για τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου ΣΔΟ που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί και να είναι κοινά αποδεκτή από όλες τις χώρες. Παρ' όλα αυτά σε πολλές χώρες έχουν δημιουργηθεί ΣΔΟ ή βρίσκονται υπό μελέτη. Στην παρούσα ενότητα θα αναφερθούν οι πιο σημαντικές προσπάθειες ανάπτυξης λογισμικών που αφορούν τα ΣΔΟ σε εθνικό επίπεδο. Τα υπολογιστικά αυτά προγράμματα αναλύονται παρακάτω σύμφωνα με τη χρονολογική σειρά που δημιουργήθηκαν.

4.1.1 Πρόγραμμα PAVMAIN

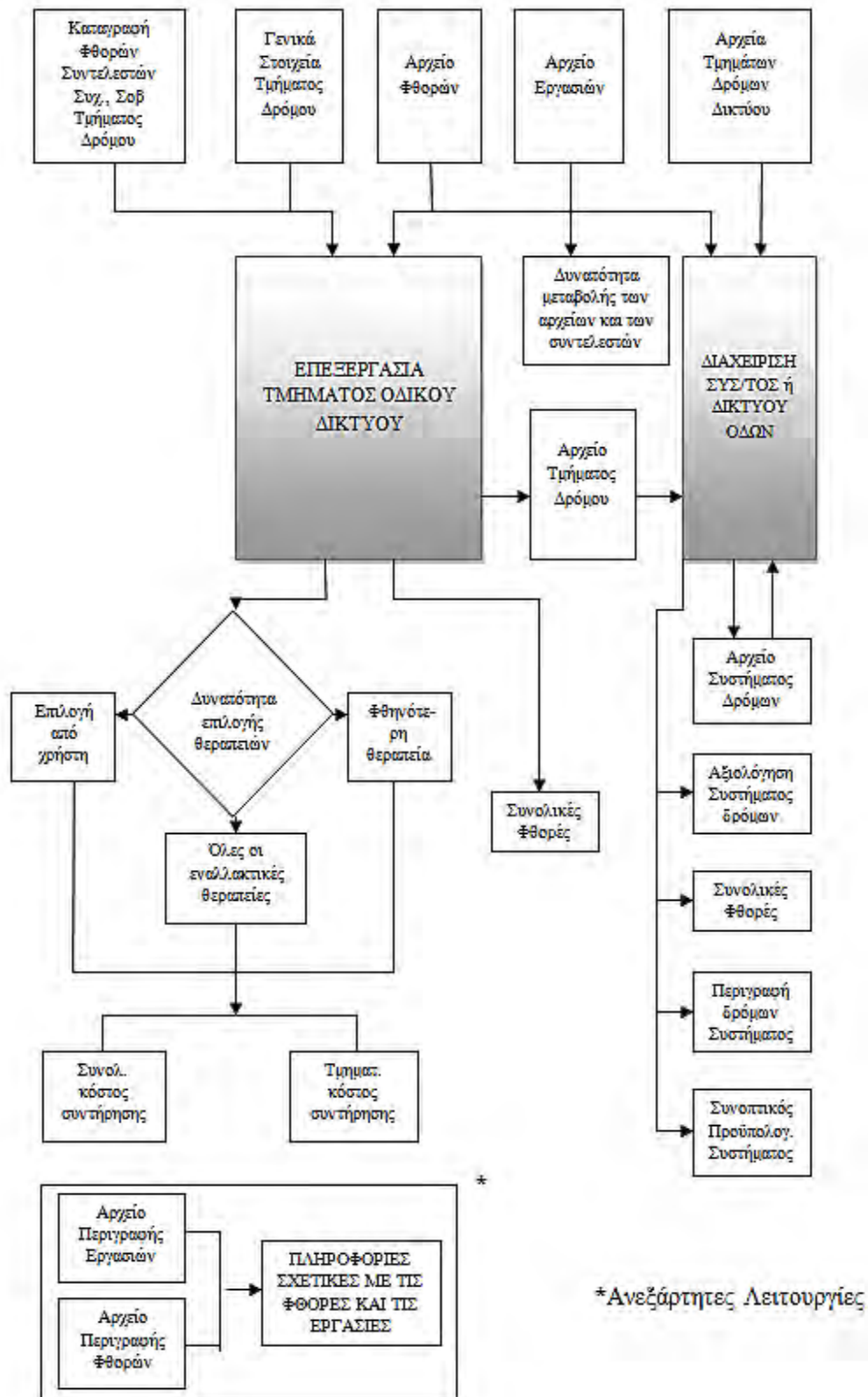
Ένα από τα πρώτα βήματα δημιουργίας ΣΔΟ στην Ελλάδα έγινε το 1992 με την ανάπτυξη του προγράμματος *PAVMAIN*. Το Εργαστήριο Οδοποιίας του Α.Π.Θ. ανέπτυξε το συγκεκριμένο πρόγραμμα για τη διαχείριση της συντήρησης των εύκαμπτων οδοστρωμάτων με σκοπό την εφαρμογή του στην Ελλάδα.

Το πρόγραμμα επιλέγει την καταλληλότερη και οικονομικότερη μέθοδο συντήρησης ανάλογα με την έκταση των φθορών που παρουσιάζονται στο προς εξέταση δίκτυο ή τμήμα του οδικού δικτύου. Επιπλέον, έχει τη δυνατότητα να αξιολογεί τη σειρά προτεραιότητας των επεμβάσεων συντήρησης ενώ παράλληλα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως εγχειρίδιο για την ενημέρωση του χρήστη σχετικά με τις αιτίες και τους τρόπους αποκατάστασης όλων των φθορών που παρουσιάζονται στα εύκαμπτα οδοστρώματα. Επιπρόσθετα, στο κάτω μέρος της οθόνης του Η/Υ και σε όλα τα πεδία εισαγωγής ή επεξεργασίας δεδομένων εμφανίζονται μηνύματα με σκοπό την καλύτερη ενημέρωση του χρήστη. Ένα ακόμη πλεονέκτημα του προγράμματος είναι ότι αντιμετωπίζει το πρόβλημα της συντήρησης του οδικού δικτύου με επιστημονικό, αποτελεσματικό και οικονομικό τρόπο.

Συνοπτικά αναπτύσσονται ο τρόπος λειτουργίας και οι βασικές ιδιότητες του προγράμματος. Αφού γίνει η επί τόπου εξέταση της οδού, καταγράφονται όλες οι φθορές που έχουν παρατηρηθεί. Το επόμενο βήμα είναι η εισαγωγή των στοιχείων τους στο πρόγραμμα, όπου ανάλογα με το είδος της φθοράς, προτείνεται η κατάλληλη θεραπεία συντήρησης και το ανάλογο κόστος της. Λόγω του ότι είναι πιθανόν να υπάρχουν διάφοροι τρόποι συντήρησης, το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει είτε τη φθηνότερη, είτε τη δαπανηρότερη, είτε αυτήν που ο ίδιος νομίζει ότι είναι πιο συμφέρουσα. Επίσης, το πρόγραμμα υπολογίζει τις συνολικές ποσότητες των εργασιών που πρόκειται να εκτελεσθούν, το κόστος της κάθε μίας καθώς και το συνολικό κόστος της συντήρησης του δρόμου. Όταν για ένα οδικό δίκτυο υπάρχει περιορισμός στη διάθεση των κονδυλίων, το πρόγραμμα επιλέγει τα τμήματα που είναι αναγκαίο να συντηρηθούν και τα κατατάσσει κατά σειρά προτεραιότητας υπολογίζοντας παράλληλα τις συνολικές ποσότητες της κάθε φθοράς. Τέλος, παρουσιάζονται το λογικό διάγραμμα του προγράμματος εικόνα 4.1 και κάποια από τα βασικότερα μέρη του. (Νικολαΐδης, 1992)

Τα βασικά μέρη του προγράμματος PAVMAIN:

- Εισαγωγή δεδομένων
- Καταγραφή φθορών
- Αρχεία προγράμματος (αρχεία φθορών, αρχεία εργασιών, αρχεία περιγραφής φθορών και θεραπειών κ.α.)
- Επεξεργασία δεδομένων- Εξαγωγή αποτελεσμάτων
- Σύστημα οδικού άξονα- δικτύου



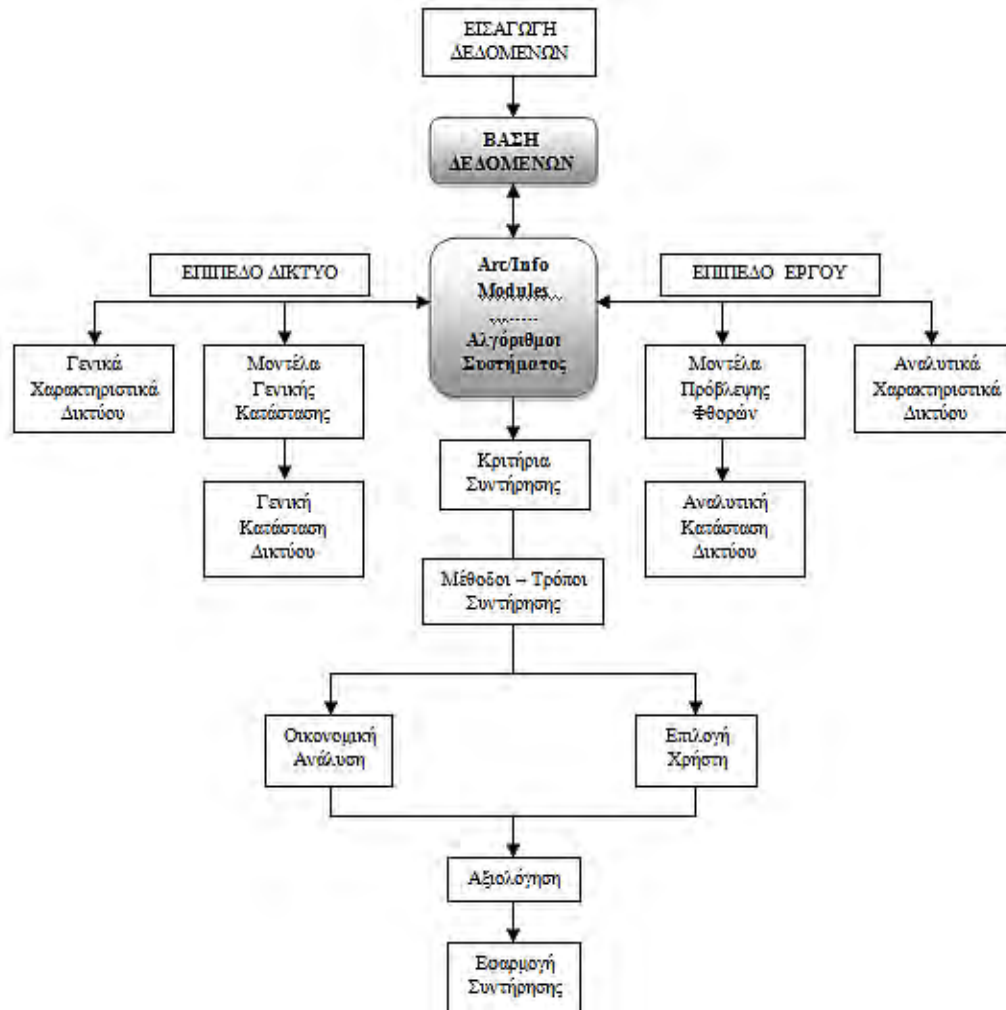
Εικόνα 4.1: Λογικό διάγραμμα του προγράμματος PAVMAIN (Πηγή: Νικολαΐδης; Ευαγγελίδης 1992)

4.1.2 Πρόγραμμα ROADMAN

Το πρόγραμμα *ROADMAN* αποτελεί την πρώτη εφαρμογή Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (ΓΣΠ) στην Ελλάδα, στον τομέα της διαχείρισης ενός οδικού δικτύου και των οδοστρωμάτων του (Νικολαΐδης και Ευαγγελίδης, 1995). Το ΓΣΠ είναι ένα σύστημα το οποίο αποτελείται από ηλεκτρονικούς υπολογιστές, λογισμικό, προσωπικό και υπηρεσίες ή οργανισμούς. Τα συστήματα σχεδιάστηκαν για να υποστηρίξουν τη συλλογή, την ανάλυση, την παρουσίαση των δεδομένων και την αναφορά της θέσης αυτών στο χώρο. Ο σκοπός τους είναι να επιλυθούν σύνθετα προβλήματα σχεδιασμού και διαχείρισης (Lewis S.; Sutton J., 1993).

Το πρόγραμμα αποτελείται από μία βάση δεδομένων, η οποία είναι χωρισμένη σε δύο τμήματα, τη βάση δεδομένων του χρήστη και τη βάση δεδομένων των χαρτών. Η βάση δεδομένων του χρήστη περιλαμβάνει τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του οδικού δικτύου, τα τεχνικά βοηθητικά έργα, τον εξοπλισμό του δρόμου, τα χαρακτηριστικά των οδοστρωμάτων, τις μετρήσεις επί των οδοστρωμάτων, τις φθορές κ.ά. Επίσης, το πρόγραμμα ενσωματώνει το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών Arc/Info, το οποίο για να λειτουργήσει χρειάζεται ένα χαρτογραφικό υπόβαθρο. Ο χάρτης εισάγεται σε ψηφιακή μορφή και μετά από επεξεργασία, το Arc/Info δημιουργεί τη βάση δεδομένων των χαρτών. Σ' αυτήν περιλαμβάνονται όλα τα απαραίτητα δεδομένα για τον προσδιορισμό του κάθε γεωγραφικού χαρακτηριστικού (π.χ. συντεταγμένες x, y κάθε σημείου, μήκη τμημάτων, εμβαδά επιφανειών κ.λπ.).

Προσδιορίζεται μέσω του *ROADMAN* με τη βοήθεια μοντέλων πρόβλεψης, τόσο η υφιστάμενη όσο και η μελλοντική κατάσταση των οδοστρωμάτων. Τα μοντέλα που έχουν εισαχθεί στο πρόγραμμα, δεν έχουν υποστεί προσαρμογή στις ελληνικές συνθήκες. Η κύρια αιτία είναι η έλλειψη δεδομένων σχετικά με τη δομική και λειτουργική κατάσταση των οδοστρωμάτων, με συνέπεια τα αποτελέσματα της πρόβλεψης τους να μην είναι ακριβή και έγκυρα. Το πρόγραμμα τέλος έχει τη δυνατότητα της οικονομικής ανάλυσης όλων των ενδεδειγμένων τρόπων συντήρησης ή αποκατάστασης των οδοστρωμάτων, με αποτέλεσμα την καλύτερη κατανομή του διαθέσιμου κεφαλαίου. Παρακάτω παρουσιάζεται το λογικό διάγραμμα του προγράμματος.



Εικόνα 4.2: Λογικό διάγραμμα του προγράμματος ROADMAN (Πηγή: Νικολαϊδης, 1996)

4.1.3 Πρόγραμμα ROSY ROAD SYSTEMS

Έπειτα από τις προσπάθειες για την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου ΣΔΟ, το πρώτο βήμα για την εφαρμογή και τη λειτουργία ΣΔΟ στην Ελλάδα έγινε από την ιδιωτική εταιρεία PAVETEST. Οι δραστηριότητές της επικεντρώνονται κυρίως στην προμήθεια εργαστηριακού εξοπλισμού καθώς και στην παροχή υπηρεσιών για τη διαχείριση και αξιολόγηση της κατάστασης των οδοστρωμάτων. Η PAVETEST, σε συνεργασία με το δανέζικο οίκο Grontmij, χρησιμοποιεί το λογισμικό Rosy-Road Systems, το οποίο σύμφωνα με την εταιρεία αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για τη στρατηγική διαχείριση και συντήρηση ενός οδικού δικτύου. Η βασική δομή του προγράμματος αποτελείται από τα εξής επιμέρους τμήματα Rosy Base, Rosy Plan, Rosy Map, Rosy Memo που αναλύονται εν συντομία παρακάτω.

Το Rosy BASE είναι η βάση δεδομένων στην οποία αποθηκεύονται πληροφορίες που αφορούν τόσο το οδόστρωμα όσο και τον παράπλευρο εξοπλισμό του οδοστρώματος (λίστα οδών, πλάτος οδοστρώματος, κυκλοφοριακός φόρτος, στρώσεις, βλάβες, λειτουργικά χαρακτηριστικά, σημειώσεις κτλ).

Το Rosy PLAN αναλαμβάνει τον τεχνικό και οικονομικό προγραμματισμό των επεμβάσεων συντήρησης. Ο σκοπός του είναι να βελτιώσει τον τρόπο εκτέλεσης άμεσων αλλά και μακροπρόθεσμων επεμβάσεων, είτε για το σύνολο του δικτύου είτε για επιλεγμένα τμήματά του.

Το Rosy MAP ενσωματώνει ένα ΓΣΠ λογισμικό που με τη χρήση των εφαρμογών του είναι δυνατή η απεικόνιση των δεδομένων του Rosy BASE σε διαδραστικούς χάρτες με την ακριβή τους θέση.

Το Rosy MEMO είναι υπεύθυνο για την καταγραφή, την οργάνωση και τον προγραμματισμό των επεμβάσεων συντήρησης που είναι απαραίτητες για να γίνουν σε ένα οδικό δίκτυο.

4.2. ΣΔΟ των βασικών εθνικών οδικών αξόνων

Στα ερωτηματολόγια που στάλθηκαν για τη συλλογή των δεδομένων της μεθόδου AHP έγιναν και κάποιες επιπλέον ερωτήσεις για τη διαχείριση των οδοστρωμάτων. Πιο συγκεκριμένα ανάμεσα σε άλλες πληροφορίες που αφορούσαν την εγκυρότητα της έρευνας ρωτήθηκαν οι παραλήπτες αν στις εταιρίες που εργάζονται υπάρχει ΣΔΟ. Η απάντηση στο ερώτημα ήταν θετική καθώς και οι τέσσερις εταιρίες που έλαβαν τα ερωτηματολόγια διαθέτουν ξεχωριστά τμήματα που αφορούν τη λειτουργία και τη συντήρηση του οδικού άξονα που διαχειρίζονται. Οι τέσσερις αυτές εταιρίες ΑΤΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΡΟΜΕΣ Α.Ε., ΕΓΝΑΤΙΑ Α.Ε., ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΣ ΑΙΓΑΙΟΥ Α.Ε., και ΜΟΡΕΑΣ Α.Ε. αποτελούν τους φορείς που διαχειρίζονται τους βασικότερους άξονες του εθνικού μας οδικού δικτύου διαπιστώνοντας έτσι ότι τα ΣΔΟ έχουν αποτελέσει ένα αυξανόμενης σημασίας εργαλείο και στη χώρα μας.

4.2.1 Συχνότητα των ελέγχων των χαρακτηριστικών του οδοστρώματος στα εθνικά οδικά δίκτυα

Στα πλαίσια της έρευνας που πραγματοποιήθηκε σε συνεργασία με τις προαναφερθείσες εταιρίες συλλέχθηκαν κάποια στοιχεία που αφορούν τη συχνότητα των ελέγχων που πραγματοποιούνται σχετικά με τις μετρήσεις χαρακτηριστικών του οδοστρώματος. Η παρουσίαση των παραπάνω πληροφοριών γίνεται στο πίνακα 4.1 αναφέροντας συνοπτικά τα είδη των μετρήσεων και τη συχνότητά τους.

Πίνακας 4.1: Πίνακας συχνότητας ελέγχων του οδοστρώματος βασικών οδικών αξόνων.

ΕΙΔΗ ΕΛΕΓΧΩΝ	ΦΟΡΕΙΣ ΟΔΟΠΟΙΙΑΣ			
	Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου	Εγνατία	Μορέας	Αττική οδός
Αντιολισθηρότητας	1 ανά 3 έτη	2 ανά έτος**	2 ανά έτος	3 ανά έτος
Επιφανειακής υφής			2 ανά έτος	-
Ομαλότητας			1 ανά έτος	-
Τροχαυλάκωσης	1 ανά 3 έτη	-	1 ανά έτος	1 ανά έτος
Ποιότητας διαγράμμισης	μεταβλητό*	2 ανά έτος**	-	-
Φωτοαντανεκλαστικότητα	μεταβλητό*	-	-	1 ανά έτος
Δομικοί	1 ανά 5 έτη	2 ανά έτος**	1 ανά έτος	1 ανά έτος
Οπτικοί	-	2 ανά έτος**	-	-

*καθορίζεται με βάση το πρόγραμμα συντήρησης

**πιλοτικά για να εξαχθεί μια βάση δεδομένων

4.2.2 Ενδεικτικά κόστη λειτουργίας και συντήρησης στους ελληνικούς αυτοκινητόδρομους

Έπειτα από το κόστος κατασκευής ενός κυκλοφοριακού έργου ακολουθεί το κόστος συντήρησης και λειτουργίας που αφορά τις δαπάνες ετήσιες ή περιοδικές μιας ανάδοχου εταιρίας για τη σωστή διαχείριση του έργου που έχει αναλάβει. Στο κόστος αυτό περιλαμβάνονται οι εξής χαρακτηριστικές δαπάνες:

- Συντήρηση οδοστρώματος
- Συντήρηση τεχνικών έργων
- Συντήρηση ερεισμάτων, στηθαίων ασφαλείας, αποχέτευσης, φωτισμού
- Λειτουργία (σήμανση, σηματοδότηση, ηλεκτροφωτισμός και αστυνόμευση).
- Καθαρισμός από χιονοπτώσεις

5. Ανάλυση της πολυκριτηριακής μεθόδου Analytic Hierarchy Process (AHP)

Η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (AHP) σκοπεύει πρωτίστως στην κατασκευή ρεαλιστικών μοντέλων για τη λήψη μιας απόφασης, ωστόσο η χρήση του έχει βοηθήσει αρκετά και στο να δώσει λύση σε προβλήματα που χαρακτηρίζονται από την πολυπλοκότητα των παραγόντων τους. Ένα μοντέλο είναι απαραίτητο να προσμετρά όλους τους παράγοντες– κριτήρια που συμμετέχουν στη λήψη της απόφασης, είτε έχουν υλική είτε άυλη μορφή. Η AHP μέσω της ιεραρχικής δόμησης του προβλήματος και των σχετικών συγκρίσεων ανάμεσα στους παράγοντες του προβλήματος, τείνει ουσιαστικά να απλοποιεί πολύπλοκα προβλήματα, βοηθώντας τον αποφασίζοντα να ξεχωρίσει τα σημαντικά σημεία του προβλήματος ώστε να οδηγηθεί κατά την εφαρμογή της μεθόδου στον τελικό του στόχο.

Το σκεπτικό πίσω από την AHP είναι αρκετά απλό και θα μπορούσαμε να το συνοψίσουμε σε τρία απλά σημεία τα οποία παρουσιάζουν και τις προϋποθέσεις για την εφαρμογή της μεθόδου. Η AHP λοιπόν, υποθέτει ότι:

- Το πρόβλημα μπορεί να περιγραφεί.
- Μπορούν να προσδιοριστούν οι σχέσεις και οι αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα μέρη του.
- Μπορούν να πραγματοποιηθούν συγκρίσεις ανάμεσα στα μέρη του προβλήματος σύμφωνα με έναν τελικό στόχο ή σκοπό που ο αποφασίζων έχει κατά νου.

Η AHP συγκαταλέγεται στις μεθόδους λήψης αποφάσεων πολυσταδιακών ως προς τα κριτήρια προβλημάτων, γνωστές ως Multi- Attribute Decision Methods (M.A.D.M's). Ο καθηγητής J.E. Steiguer του πανεπιστημίου της Αριζόνα ανέφερε σε μια δημοσίευση του ότι, η AHP είναι ίσως η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη από τις μεθόδους M.A.D.M. διότι ως μέθοδος έχει μια σειρά από επιθυμητές ιδιότητες:

- Είναι μια δομημένη μέθοδος λήψης αποφάσεων η οποία μπορεί να τεκμηριωθεί και να αναπαραχθεί.
- Πέραν της εφαρμογής της σε πολυκριτηριακά προβλήματα αποφάσεων, είναι εφαρμόσιμη και σε περιπτώσεις αποφάσεων όπου εμπλέκεται η υποκειμενική κρίση.
- Χρησιμοποιεί τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά δεδομένα.
- Προβλέπονται τρόποι για τη μέτρηση της συνέπειας των κρίσεων από την ίδια τη διαδικασία.

- Υπάρχει πληθώρα στοιχείων για τις εφαρμογές της AHP στην ακαδημαϊκή βιβλιογραφία, γεγονός που την καθιστά ιδιαίτερα προσιτή στο χρήστη.
- Είναι κατάλληλη για περιπτώσεις όπου ο αποφασίζων είναι μια ομάδα.

5.1. Ιστορική αναδρομή της μεθόδου

Η μέθοδος αναλυτικής ιεράρχησης (Analytic Hierarchy Process) για τη λήψη αποφάσεων πρωτοπαρουσιάστηκε το 1977 από τον Thomas L. Saaty και κύριο χαρακτηριστικό είναι ότι μπορεί να διαχειριστεί και να εξετάσει ταυτόχρονα, ποσοτικά και ποιοτικά κριτήρια. Ο Thomas L. Saaty, πρωτοπόρος στην επιχειρησιακή έρευνα, ηγούνταν διαφόρων ερευνητικών προγραμμάτων στην υπηρεσία του ελέγχου όπλων και αφοπλισμού του υπουργείου εξωτερικών των ΗΠΑ. Λόγω της ερευνητικής του δικαιοδοσίας και λόγω του γενναιόδωρου προϋπολογισμού των προγραμμάτων αυτών, είχε τη δυνατότητα να προσλάβει μερικούς από τους καλύτερους και παγκοσμίου φήμης επιστήμονες στη θεωρία των παιγνίων, καθώς και τους καλύτερους οικονομολόγους. Μερικοί από τους ταλαντούχους επιστήμονες ήταν οι Gerard Debreu, John Harsanyi και Reinhard Selten, οι οποίοι και κέρδισαν βραβείο Nobel εκείνη την περίοδο. Παρά όμως την άκρως επιστημονική κατάρτιση της ομάδας του Saaty, ο τελευταίος δήλωνε απογοητευμένος από τα αποτελέσματα των προσπαθειών της ομάδας. Τα επιχειρήματά του βασίζονταν στο γεγονός ότι τα μοντέλα τα οποία πρότειναν οι επιστήμονες ήταν πολύ γενικά και αφηρημένα, αδυνατώντας να προσαρμοστούν στο πρόβλημα που έπρεπε να επιλυθεί και επιπλέον κανείς από την ομάδα δεν ήταν σε θέση να αξιολογήσει τα οπλικά συστήματα πάνω στα οποία γινόταν η έρευνα.

Χρόνια μετά και κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας του στο Wharton Business School, ο Saaty εξακολουθούσε να προβληματίζεται με την εμφανή έλλειψη μιας συστηματικής και πρακτικής προσέγγισης για τον καθορισμό προτεραιοτήτων και την λήψη αποφάσεων. Έτσι, παρακινούμενος ανέπτυξε έναν απλό τρόπο για να μπορέσει να βοηθήσει τους λήπτες αποφάσεων κατά τη λήψη σύνθετων αποφάσεων. Το αποτέλεσμα αυτής της προσπάθειας ήταν η επινόηση της μεθόδου της αναλυτικής ιεράρχησης.

Παρόλα αυτά το 2007 επισημάνθηκε από τους Eskabari και Rabelo ότι η AHP δεν περιέχει την υποκειμενική αβεβαιότητα του αποφασίζοντα στις ανά ζεύγη συγκρίσεις. Όπως είναι φυσικό τα δεδομένα για τη λήψη αποφάσεων δε μπορούν να εκτιμούνται πάντα με ακρίβεια και ως εκ τούτου θα υπάρχουν ασάφειες στην επιλογή των προτιμήσεων. Κάτι τέτοιο όμως οδηγεί

αναπόφευκτα στην ανακριβή ιεράρχηση των διαθέσιμων επιλογών και στην ασυνέχεια των προτιμήσεων. (Leung & Chao, 2000)

Στο πλαίσιο εργασίας της ασαφούς αυτής λογικής, οι Van Laarhoven και Pedrycz πρότειναν το 1983 τις τριγωνικές σχεσιακές λειτουργίες για το ανακριβές συμπέρασμα των ανά ζεύγη συγκρίσεων και του υπολογισμού των αλληλεπιδράσεων των ασαφών βαρών. Τα αποτελέσματα αυτά τα επέκτειναν οι Buckley (1985) και Boender (1989) δίνοντας τη λογαριθμική μέθοδο ελάχιστων τετραγώνων για τον υπολογισμό των προτεραιοτήτων. Με τον τρόπο αυτό έγινε η πρώτη εισήγηση της Fuzzy AHP που αποτελεί επέκταση της απλής πολυκριτηριακής ανάλυσης AHP και έχει το πλεονέκτημα να επιτρέπει και να συνυπολογίζει την ανακρίβεια στα αποτελέσματα της.

5.2. Σημαντικές εφαρμογές της AHP

Η μέθοδος AHP έχει εφαρμοστεί σε πληθώρα επιστημονικών ερευνών αλλά και για τη λήψη αποφάσεων στη καθημερινότητα. Η απλότητα και ευκολία κατανόησης της μεθόδου την καθιστά ένα χρήσιμο και συχνό εργαλείο αντιμετώπισης περίπλοκων προβλημάτων. Επιπλέον, η ευκολία προσαρμογής της AHP σε ποικίλα ζητήματα οικονομικά, κοινωνικά, πολιτικά στρατιωτικά προβάλλεται στην πληθώρα των εφαρμογών που έχουν σημειωθεί από την πρωτοεμφάνισή της. Μέσα στη μεγάλη αυτή γκάμα χρήσεων της μεθόδου έχουν παρατηρηθεί έρευνες που αφορούν τον κλάδο του πολιτικού μηχανικού και ιδιαίτερα τον τομέα των συγκοινωνιών.

5.2.1 Αξιοσημείωτες χρήσεις της μεθόδου

Το 1986 το Ινστιτούτο Στρατηγικών και Αμυντικών Μελετών στην Πρετόρια, το οποίο είναι ένας κυβερνητικός οργανισμός, χρησιμοποίησε τη μέθοδο AHP για να αναλύσει την αστάθεια και τις συγκρούσεις στη Νότιο Αφρική και να προτείνει δράσεις για την εξομάλυνση της κατάστασης. Οι δράσεις που προτάθηκαν μέσα από την ανάλυση, κυμαίνονταν από την απελευθέρωση του Νέλσον Μαντέλα, την κατάργηση του Απαρτχάιντ έως και τη χορήγηση ίσων δικαιωμάτων στην έγχρωμη πλειοψηφία.

Το 1987 μια εταιρεία χρησιμοποίησε την AHP για να επιλέξει τον τύπο πλατφόρμας που θα κατασκεύαζε για την εξόρυξη πετρελαίου στο Βόρειο Ατλαντικό. Το κόστος της πλατφόρμας ανέρχονταν στα τρία δισεκατομμύρια δολάρια για να χτιστεί, αλλά το κόστος για την κατεδάφιση της ήταν ακόμη σημαντικότερος παράγοντας στην απόφαση.

Η εταιρεία Xerox εφάρμοσε την AHP το 1999 σε απόφαση που έπρεπε να λάβει, για την ανάθεση ποσού κοντά στο ένα δισεκατομμύριο δολάρια σε κάποιο ερευνητικό της πρόγραμμα. Την ίδια χρονιά η Ford χρησιμοποίησε τη μέθοδο, ώστε να καθορίσει τις προτεραιότητες για τα κριτήρια που βελτιώνουν την ικανοποίηση των πελατών.

5.2.2 Εφαρμογές της AHP σε συγκοινωνιακά ζητήματα

Το 1999 οι Bonifica, Doxiadis Associate και TECNIC εφάρμοσαν τη Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης για την πολυκριτηριακή αξιολόγηση συγκοινωνιακών έργων στη Βουλγαρία. Πιο συγκεκριμένα, με την εφαρμογή της υπόψη μεθόδου αξιολογήθηκαν τρία συγκοινωνιακά έργα που εντάσσονται στην προσπάθεια βελτίωσης του σιδηροδρομικού δικτύου της γειτονικής αυτής χώρας. Τα αξιολογούμενα έργα ήταν τα εξής: η ηλεκτροδότηση και ανακατασκευή του τμήματος Dupnitsa- Kulata, ο εκσυγχρονισμός ορισμένων τμημάτων της γραμμής Vidin- Sofia -Kulata και η κατασκευή του τμήματος από Gyueshevo μέχρι σύνορα Βουλγαρίας-Σκοπίων με κριτήρια αξιολόγησης τη χρηματική αποδοτικότητα του έργου για τον ιδιώτη επενδυτή, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και την ποιότητα προσφερομένων συγκοινωνιακών υπηρεσιών.

Το 2013 έγινε η χρήση της μεθόδου Fuzzy AHP από τον καθηγητή Κ. Κεπαπτσόγλου με σκοπό την εκτίμηση της κατάστασης των σταθμών του μετρό της Αθήνας. Η έρευνα έγινε για πέντε συνολικά σταθμούς (Σύνταγμα, Ομόνοια, Μοναστηράκι, Αττική και Κεραμικός) με κριτήρια αρχιτεκτονικά-κτιριακά, ηλεκτρομηχανολογικά, τηλεπικοινωνιακά και παροχής ηλεκτρικού ρεύματος.

Το 1999 η Fulcrum Ingenieria Ltd. στη Χιλή χρησιμοποίησε τη μέθοδο AHP για να αξιολογήσει την περιβαλλοντική επίδραση των έργων αυτοκινητοδρόμου, καθώς και για την κατάταξη και επιλογή έργων σύμφωνα με το ποσοστό ρύπανσης που αυτά τα έργα προκαλούν. Σε ένα έργο κατασκευής αυτοκινητόδρομου, η Fulcrum χώρισε το έργο σε τομείς των 100 μέτρων και για τον κάθε ένα τομέα ξεχωριστά αξιολόγησε την επίδραση στο φυσικό περιβάλλον μαζί με τις επιπτώσεις του κάθε τομέα του έργου στον άνθρωπο, ώστε να μπορέσει να χαράξει τη βέλτιστη διαδρομή.

5.3. Βασική δομή της AHP

Η δομή της μεθόδου ξεκινά διαχωρίζοντας το πρόβλημα σε μικρότερα κομμάτια και στη συνέχεια χρησιμοποιεί δυαδικές συγκρίσεις ώστε να καθορίσει τις προτεραιότητες σε κάθε ιεραρχία. Η AHP βασίζεται ουσιαστικά

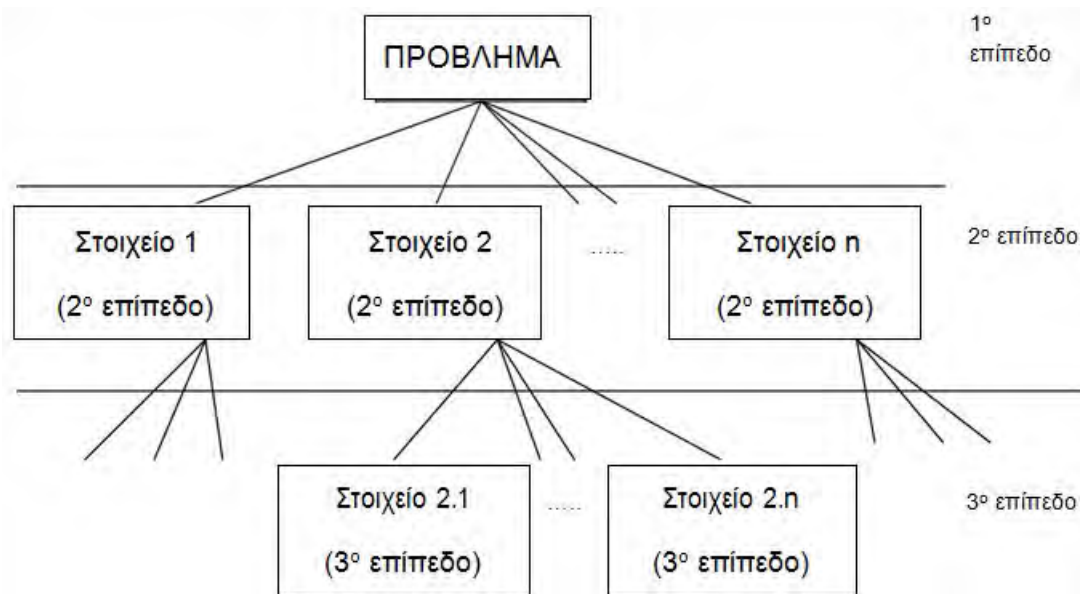
σε τρεις αρχές: αποσύνθεση, σχετικές συγκρίσεις και σύνθεση των προτεραιοτήτων. (Saaty, 1986)

Για την κατανόηση των αρχών αυτών γίνεται η ανάλυσή τους παρακάτω:

- **Αποσύνθεση:** Σύμφωνα με την αρχή της αποσύνθεσης για να κατασκευαστεί μια ιεραρχία, η οποία αποτελεί βασικό συστατικό της μεθόδου, πρέπει να εντοπιστούν τα βασικά στοιχεία του προβλήματος. Τα βασικά στοιχεία εντοπίζονται κατακερματίζοντας το πρόβλημα στα βασικά του κριτήρια και το κάθε κριτήριο σε υποκριτήρια κατασκευάζοντας πολλαπλά επίπεδα.
- **Σχετικές συγκρίσεις:** Οι συγκρίσεις κατά ζεύγη που ακολουθούν την αποσύνθεση του προβλήματος, ποσοτικοποιούν τη σημασία του κάθε κριτηρίου (ή υποκριτηρίου) στο εκάστοτε επίπεδο σε σχέση με το κάθε στοιχείο που συνδέεται στο ανώτερο ακριβώς επίπεδο. Μέσω των συγκρίσεων αυτών προκύπτουν οι πίνακες προτιμήσεων, οι οποίοι παρέχουν στη συνέχεια την εκτίμηση των σχετικών βαρών για κάθε κριτήριο (ή υποκριτήριο) και για κάθε εναλλακτική.
- **Σύνθεση των προτεραιοτήτων:** Τα σχετικά βάρη που υπολογίζονται μέσω των πινάκων προτιμήσεων υποδεικνύουν τη σύνθεση των προτεραιοτήτων, η οποία οδηγεί εν συνεχεία στην κατασκευή της ιεραρχίας.

5.3.1 Μοντελοποίηση του προβλήματος

Όπως προαναφέρθηκε για την εφαρμογή της μεθόδου είναι απαραίτητη η αποσύνθεση του προβλήματος, που καλείται να δώσει λύση η μέθοδος. Η αποσύνθεση πραγματοποιείται με το διαχωρισμό του προβλήματος σε επίπεδα με τη μορφή δέντρου (διάγραμμα 5.1). Στο πρώτο επίπεδο του δέντρου βρίσκεται ο τελικός στόχος – απόφαση. Ακολουθείται από τα βασικά κριτήρια που επηρεάζουν την απόφαση στο δεύτερο επίπεδο, τα υποκριτήρια αυτών στο τρίτο και συνεχίζεται με ανάλογο τρόπο. Κάθε επίπεδο λοιπόν, είναι η αποσύνθεση του ακριβώς προηγούμενου. Με τον τρόπο αυτό το πρόβλημα, χωρίζεται σε επιμέρους κομμάτια κάνοντας γενικές έννοιες, οι οποίες είναι αβέβαιες, πιο ειδικές και σαφείς. Στο τελευταίο επίπεδο του δέντρου παρατίθενται οι εναλλακτικές αποφάσεις. Η ιεράρχηση αυτή δεν είναι απόλυτη και τα στοιχεία της μπορούν να συσχετιστούν με οποιαδήποτε διάσταση του προβλήματος. Επιπλέον, τα στοιχεία που βρίσκονται σε κάθε επίπεδο θεωρούνται ως ανεξάρτητα, σε περίπτωση εξάρτησης ανάμεσα στα επίπεδα εξετάζονται χωριστά τα στοιχεία που εξαρτώνται μεταξύ τους με τα στοιχεία που είναι ανεξάρτητα και συνδυάζονται στη συνέχεια.



Διάγραμμα 5.1: Σχηματική απεικόνιση ιεράρχησης του προβλήματος με τη μορφή δέντρου

5.3.2 Σχετικές συγκρίσεις Pairwise Comparison Matrix

Στο επόμενο βήμα ακολουθούν οι σχετικές συγκρίσεις των στοιχείων που προέκυψαν από τη μοντελοποίηση του προβλήματος. Ο εκάστοτε λήπτης της απόφασης καλείται να συγκρίνει ανά ζεύγη τα στοιχεία κάθε επιπέδου της ιεραρχίας, με βάση τη συμβολή τους στο στόχο ή την κάλυψη του κριτηρίου που βρίσκεται στο αμέσως υψηλότερο επίπεδο και συνδέεται με τα στοιχεία αυτά. Τα αποτελέσματα των συγκρίσεων με βάση το γενικό στόχο, τα κριτήρια ή τα υποκριτήρια δηλαδή με το εκάστοτε επίπεδο που μελετάται κάθε φορά οδηγεί στη δημιουργία ενός πίνακα συγκρίσεων γνωστό και ως Pairwise Comparison Matrix (PCM). Η μορφή του απεικονίζεται στον πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1: Πίνακας συγκρίσεων ανά ζεύγη, PCM

Στοιχείο βάσης	C_1	C_2	...	C_n
C_1	1	α_{12}	...	α_{1n}
C_2	α_{12}^{-1}	1	...	α_{2n}
...
C_n	α_{1n}^{-1}	α_{2n}^{-1}	...	1

Για κάθε στοιχείο του πίνακα συγκρίσεων ισχύουν οι παρακάτω ιδιότητες:

- $\alpha_{ii} = 1$, αφού γίνεται σύγκριση με το ίδιο στοιχείο
- $\alpha_{ij} > 1$, όταν το στοιχείο i είναι σημαντικότερο από το στοιχείο j , για το στοιχείο βάσης
- $\alpha_{ij} < 1$, όταν το στοιχείο j είναι σημαντικότερο από το στοιχείο i , για το στοιχείο βάσης
- $\alpha_{ij} = 1 / \alpha_{ji}$

Αν τα στοιχεία που συγκρίνονται ανά ζεύγη είναι n τότε εύλογα για κάθε πίνακα συγκρίσεων απαιτούνται $(n - 1)/2$ συγκρίσεις (Saaty, 1994). Οι συγκρίσεις αυτές για να πραγματοποιηθούν πρέπει να ορίζονται από μία κλίμακα που θα επισημαίνει το βαθμό σημαντικότητας ενός στοιχείου από το άλλο, η κλίμακα αυτή κατασκευάστηκε από τον Saaty το 1980 και περιγράφεται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

5.3.3 Κλίμακα συγκρίσεων (Κλίμακα Saaty)

Όπως έχει προαναφερθεί, ένα πολύ σημαντικό κομμάτι για την Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία είναι οι δυαδικές συγκρίσεις που πραγματοποιούνται ανάμεσα στα κριτήρια (ή υποκριτήρια) και τα βάρη που εξάγονται από αυτές. Οι συγκρίσεις βασίζονται ωστόσο, στην κρίση του χρήστη της μεθόδου και πολλές φορές σε κριτήρια τα οποία είναι ακαθόριστα. Ο Saaty, λοιπόν, πρότεινε αντί να χρησιμοποιούνται δύο αριθμοί N_i και N_j , ένας για κάθε στοιχείο, (ή κατ' επέκταση η ερμηνεία του λόγου τους N_i/N_j) από μία κλίμακα κατά την πραγματοποίηση των συγκρίσεων, να καθορίζεται η σύγκριση από έναν αριθμό από μια θεμελιώδη κλίμακα απόλυτων αριθμών, ο οποίος θα αντιπροσωπεύει το λόγο N_i/N_j . Ο αριθμός αυτός αποτελεί μια αρκετά καλή ακέραια προσέγγιση του λόγου N_i/N_j και η παραγόμενη κλίμακα θα παρέχει πληροφορίες για τους αριθμούς N_i και N_j , θα αποκαλύπτει ουσιαστικά τα βάρη για τα συγκρινόμενα μέρη. Χρήσιμο θα ήταν στο σημείο αυτό να παρουσιαστεί επακριβώς η θεμελιώδης κλίμακα απολύτων αριθμών του Saaty.

Πίνακας 5.2: Θεμελιώδης κλίμακα απολύτων αριθμών (Πηγή: Saaty, 1980)

Ένταση της Σχετικής Σημασίας	Ορισμός	Ερμηνεία
1	Ίση βαρύτητα	Δυο δραστηριότητες συνεισφέρουν εξίσου στο στόχο.
3	Μέτρια βαρύτητα του ενός στοιχείου ως προς ένα άλλο	Η εμπειρία και η κρίση ευνοούν ελαφρώς μια δραστηριότητα έναντι της άλλης.
5	Σημαντική βαρύτητα του ενός στοιχείου ως προς ένα άλλο	Η εμπειρία και η κρίση ευνοούν σημαντικά μια δραστηριότητα έναντι της άλλης.
7	Εκδηλωμένη βαρύτητα	Μια δραστηριότητα ευνοείται ισχυρά και η κυριαρχία της εκδηλώνεται στην πράξη.
9	Μέγιστη βαρύτητα	Οι λόγοι που ευνοούν τη μια δραστηριότητα έναντι της άλλης είναι του υψηλότερου δυνατού βαθμού επιβεβαίωσης.
2, 4, 6, 8	Ενδιάμεσες τιμές ανάμεσα σε δύο παρακείμενες κρίσεις	Όταν απαιτείται συμβιβασμός.
Αντίστροφοι των παραπάνω μη-μηδενικών αριθμών		Αν σε μια δραστηριότητα αντιστοιχίζεται ένας από τους παραπάνω αριθμούς, όταν αυτή συγκρίνεται με μια δεύτερη δραστηριότητα, τότε η δεύτερη έχει την αντίστροφη τιμή όταν συγκρίνεται με την πρώτη.
Ρητοί αριθμοί	Αναλογίες που προκύπτουν από την κλίμακα.	Αν επιβαλλόταν η συνέπεια λαμβάνοντας η αριθμητικές τιμές για το σχηματισμό του πίνακα.

Η παραπάνω κλίμακα απόλυτων αριθμών η οποία χρησιμοποιείται στις δυαδικές συγκρίσεις, όπως σημειώνει ο Saaty, μπορεί να προκύψει από μαθηματική άποψη από το νόμο των Weber- Fechner (Fechner, 1966).

5.3.4 Υπολογισμός βαρών- προτεραιοτήτων

Μια ιεραρχία περιλαμβάνει τα πιο σημαντικά στοιχεία ενός προβλήματος και τις σχέσεις που υπάρχουν μεταξύ τους. Αυτό που υπάρχει ανάγκη να προσδιοριστεί είναι η ισχύς με την οποία τα στοιχεία του ενός επιπέδου επιδρούν στα στοιχεία του αμέσως ανώτερου στην ιεραρχία. Ξεκινώντας από

το χαμηλότερο επίπεδο της ιεραρχίας υπολογίζεται η προτεραιότητα- τα βάρη των στοιχείων σε σχέση με την ισχύ της επιρροής τους στο στοιχείο του επόμενου επιπέδου, σταδιακά μέσα από τις συγκρίσεις υπολογίζονται οι προτεραιότητες μέχρι την κορυφή της ιεραρχίας. Για τον υπολογισμό των προτεραιοτήτων χρησιμοποιούνται πίνακες και οι πολύτιμες ιδιότητές τους.

Τα βάρη ή αλλιώς η κατάταξη προτεραιότητας υπολογίζεται μέσω του ιδιοδιανύσματος του πίνακα συγκρίσεων, ενώ μέσω της ιδιοτιμής του πίνακα υπολογίζεται η συνέπεια της κρίσης όπως θα αναλυθεί παρακάτω διεξοδικότερα.

Ο υπολογισμός του ιδιοδιανύσματος \hat{w} από τον πίνακα των ανά ζεύγη συγκρίσεων γίνεται με την εξής επαναληπτική διαδικασία:

1. Αθροίζονται τα στοιχεία του πίνακα κατά γραμμή:

$$s_i = \sum_j \alpha_{ij} \quad \text{για κάθε } i. \quad (5.1)$$

2. Για κάθε γραμμή του πίνακα, γίνεται προσέγγιση του βάρους του αντίστοιχου στοιχείου υπολογίζοντας το πηλίκο του s_i δια του αθροίσματος των στοιχείων όλου του πίνακα:

$$w_i = \frac{s_i}{\sum_i \sum_j \alpha_{ij}} \quad \text{για κάθε } i. \quad (5.2)$$

Λαμβάνεται έτσι το \hat{w} , του οποίου οι συνιστώσες είναι κανονικοποιημένες, δηλαδή έχουν άθροισμα τη μονάδα.

3. Υψώνεται ο πίνακας στο τετράγωνο και η διαδικασία επαναλαμβάνεται από το βήμα 1. Η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν δύο διαδοχικές προσεγγίσεις του \hat{w} δε διαφέρουν σημαντικά στα πλαίσια μιας επιθυμητής ακρίβειας.

Με αυτό τον τρόπο υπολογίστηκαν τα τοπικά βάρη (local weights) για κάθε πίνακα. Τα βάρη αυτά υποδηλώνουν κατά πόσο υπερισχύει το κάθε στοιχείο του πίνακα έναντι των υπολοίπων σε σχέση με το υπό εξέταση κριτήριο του προηγούμενου επιπέδου της ιεραρχίας. Για τον υπολογισμό των συνολικών βαρών κριτηρίων (global weights) γίνεται ο πολλαπλασιασμός του τοπικού βάρους του κάθε στοιχείου με το τοπικό βάρος του κριτηρίου του ανώτερου επιπέδου. Τα συνολικά βάρη κριτηρίων αφορούν τη σπουδαιότητα του κάθε κριτηρίου σε σχέση με το γενικό στόχο.

5.3.5 Διερεύνηση της συνέπειας των αποφάσεων

Είναι πλέον εμφανές ότι η συνέπεια των κρίσεων και των αποφάσεων κατά την εφαρμογή της AHP σχετίζεται άμεσα με τη συνέπεια του πίνακα. Για να είναι συνεπής (consistent) ένας πίνακας ζευγαρωτών συγκρίσεων θα πρέπει να ισχύει ότι $\alpha_{ij} = w_i / w_j$. Σε αυτή την περίπτωση ισχύει ακόμη πως $\alpha_{ij} = \alpha_{ik} * \alpha_{kj}$ για κάθε $i, j, k=1,2,3,\dots,n$. Με πολύ απλά λόγια μία σύγκριση είναι συνεπής εάν για παράδειγμα: υποθέτουμε πως το αντικείμενο A είναι πέντε φορές πιο σημαντικό από το B και το B δύο φορές από το Γ, τότε το A θα πρέπει να είναι δέκα φορές πιο σημαντικό από το Γ. Ένας πίνακας στον οποίο όλες οι συγκρίσεις υπακούουν στον κανόνα αυτό είναι συνεπής. Για τον έλεγχο της συνέπειας χρησιμοποιείται ο δείκτης CI (Consistency index) ο οποίος είναι ίσος με $CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$ όπου λ_{max} είναι η μέγιστη ιδιοτιμή του πίνακα. Ο δείκτης αυτός διαιρείται με το δείκτη RI (Random index) (πίνακας 5.3.) που είναι ο αντίστοιχος δείκτης για έναν πίνακα που έχει παραχθεί με τυχαίο τρόπο, για να μας δώσει το CR (Consistency ratio). Ο δείκτης CR σύμφωνα με τη βιβλιογραφία δε θα πρέπει να ξεπερνά το 0,10.

Η μέγιστη ιδιοτιμή λ_{max} υπολογίζεται ως εξής:

$$\lambda_{max} = AVERAGE \left(\frac{\{\alpha_{ij}\} * \hat{w}}{\hat{w}} \right) \quad (5.3)$$

Πίνακας 5.3: Τυχαίος δείκτης R.I. (Πηγή: Saaty, 1996)

Μέγεθος Πίνακα	1	2	3	4	5	6	7	8
R.I.	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41
Μέγεθος Πίνακα	9	10	11	12	13	14	15	
R.I.	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59	

5.4. Επέκταση της μεθόδου AHP με τη χρήση της Fuzzy AHP

5.4.1 Η λογική της FAHP

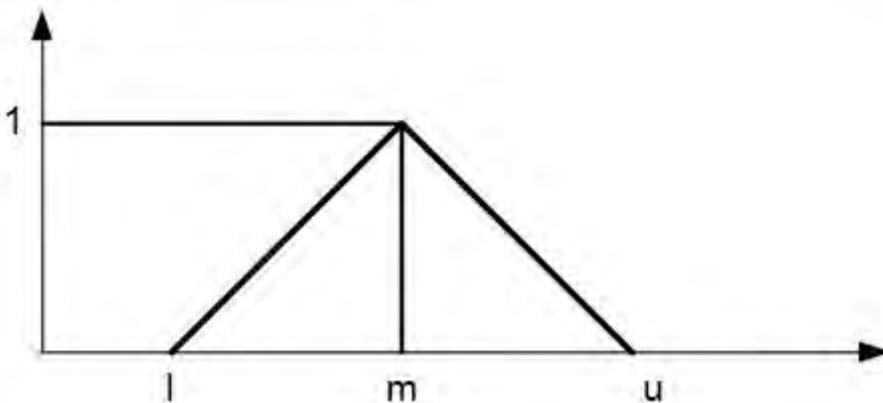
Η υποκειμενικότητα στις δυαδικές συγκρίσεις και η ασάφεια στη διερεύνηση της σημαντικότητας μεταξύ των στοιχείων της AHP αποτέλεσε το έναυσμα για τη δημιουργία μίας βελτιωμένης έκδοσης της, την Fuzzy AHP. Παρόλα αυτά, διατηρήθηκε η βασική φιλοσοφία και μεθοδολογία της AHP και η ευκολία που τη χαρακτηρίζει.

Η βασική διαφορά που επισημαίνεται στη Fuzzy AHP και τη ξεχωρίζει από την προηγούμενη είναι η αλλαγή των αριθμών της κλίμακας Saaty. Η αλλαγή αυτή έγινε με σκοπό να περιορίσει την ασάφεια που μπορεί να εμπεριέχεται στην επιλογή και στο βαθμό σύγκρισης των κριτηρίων και υποκριτηρίων. Αντικαθιστώντας τους θετικούς αριθμούς της κλίμακας με τριγωνικούς ασαφείς αριθμούς. Η παραπάνω αλλαγή δίνει ένα εύρος στην απάντηση της σημαντικότητας μεταξύ των στοιχείων του προβλήματος συνυπολογίζοντας την υποκειμενικότητα των κρίσεων.

Μια επιπλέον προσθήκη σε σύγκριση με την AHP είναι το γεγονός ότι εφαρμόζεται μια συγκεντρωτική αρχή στη διαχείριση των κριτηρίων, τα οποία χωρίζονται σε υποκριτήρια. Τα επίπεδα των κριτηρίων και τα υποκριτηρίων συγκεντρώνονται σε ένα μοναδικό επίπεδο αξιολόγησης.

5.4.2 Η βασική δομή της FAHP

Όπως προαναφέρθηκε η διαφορά της Fuzzy έγκειται στη χρήση τριγωνικών ασαφών αριθμών όπως προτάθηκε από τον Zimmerman το 2001 συνυπολογίζοντας στην ανάλυση την αβεβαιότητα των κρίσεων. Ένας τριγωνικός ασαφής αριθμός γνωστός και ως Triangular Fuzzy Number (TFN) ορίζεται από μία τριάδα αριθμών (l, m, u) όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα 5.2., όπου l η μικρότερη τιμή, m η μεσαία και u η υψηλότερη.



Διάγραμμα 5.2: Απεικόνιση των TFN στο επίπεδο x, y

Η συνάρτηση που ορίζει τους TFN παρουσιάζεται στην παρακάτω μαθηματική σχέση (5.4) και έχει πεδίου ορισμού το διάστημα $[l, u]$ και σύνολο τιμών το διάστημα $[0, 1]$.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < l \\ \frac{x-l}{m-l}, & x \in [l, m] \\ \frac{u-x}{u-m}, & x \in [m, u] \\ 0, & x > u \end{cases} \quad (5.4)$$

Από πρακτικής άποψης η $\mu(x)$ ανταποκρίνεται στην πιθανότητα εμφάνισης της μεταβλητής x .

Ανάμεσα στους τριγωνικούς ασαφείς αριθμούς ισχύουν βασικές αλγεβρικές ιδιότητες (Tag and Beynon, 2005). Έστω δύο τριγωνικοί ασαφείς αριθμοί A , B όπου $A=(l_1, m_1, u_1)$ και $B=(l_2, m_2, u_2)$ τότε:

- $A + B = (l_1+l_2, m_1+m_2, u_1+u_2)$
- $A \cdot B = (l_1 \cdot l_2, m_1 \cdot m_2, u_1 \cdot u_2)$
- $A^{-1} \cong (1/u_1, 1/m_1, 1/l_1)$

Μία από τις περιπτώσεις της Fuzzy AHP είναι η θεώρηση των TFN ως συμμετρικά τριγωνικούς υποθέτοντας μία απόσταση δ , η λεγόμενη και ασαφής απόσταση, για τον υπολογισμό των τριγωνικών ασαφών αριθμών.

Για το δ ισχύει:

- $m_{ij} - l_{ij} = u_{ij} - m_{ij} = \delta \quad \forall i, j, i \neq j$
- $\alpha_{ij} = (m_{ij} - \delta, m, m + \delta)$

Η συνηθισμένη τιμή του δ σύμφωνα με τη βιβλιογραφία είναι 1.

Εισάγοντας τους TFN η κλίμακα του Saaty μετατρέπεται ως εξής:

Πίνακας 5.4: Κλίμακα AHP σε συνάρτηση με τις τιμές των TFN.

AHP Scale	Associates TFN value
m=1	(1,1,1+ δ)
m=2-8	(m- δ , m, m+ δ), m- δ >1, m+ δ <9
m=9	(9- δ ,9,9)

Συμπεριλαμβάνοντας τις παραπάνω πληροφορίες οι ανά ζεύγη συγκριτικοί πίνακες που χρησιμοποιούνται για τη βαθμολόγηση των κριτηρίων και υποκριτηρίων αποτελούνται από τριγωνικούς ασαφείς αριθμούς και είναι της μορφής του πίνακα 5.5.

Πίνακα 5.5: Πίνακας ανά ζεύγη συγκρίσεων PCM για τη μέθοδο Fuzzy

$$A = \{\alpha_{ij}\} = \begin{array}{|cccc|} \hline & 1 & (l_{12}, m_{12}, u_{12}) & \dots & (l_{1n}, m_{1n}, u_{1n}) \\ \hline (u_{12}^{-1}, m_{12}^{-1}, l_{12}^{-1}) & & 1 & \dots & (l_{2n}, m_{2n}, u_{2n}) \\ \hline & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hline (u_{1n}^{-1}, m_{1n}^{-1}, l_{1n}^{-1}) & (u_{2n}^{-1}, m_{2n}^{-1}, l_{2n}^{-1}) & & \dots & 1 \\ \hline \end{array}$$

5.4.3 Υπολογισμός των βαρών με τη χρήση της μεθόδου

Εισάγονται οι αριθμοί των συγκρίσεων στους ανά ζεύγη πίνακες και με τη βοήθεια της εξίσωσης 5.5 που προτάθηκε από τον Buckley το 2001 βασιζόμενη στη θεωρία του γεωμετρικού μέσου όρου υπολογίζονται τα βάρη.

$$w_i = r_i \times \left(\sum_{i=1}^n r_i \right)^{-1} \quad (5.5)$$

όπου: w_i το βάρος ενός στοιχείου i

$$r_i = \left(\prod_{j=1}^n \alpha_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (5.6)$$

α_{ij} τα στοιχεία του πίνακα των ανά ζεύγη συγκρίσεων για $i, j = \{1 \dots n\}$

Τα βάρη που αναφέρονται παραπάνω ονομάζονται ασαφή βάρη (fuzzy weights) καθώς προέρχονται από την επεξεργασία των τριγωνικών ασαφών αριθμών. Τα βάρη αυτά παίρνουν για το κάθε στοιχείο μία χαμηλή τιμή w_{li} , μία μεσαία τιμή w_{mi} και μία υψηλή τιμή w_{ui} .

$$w_i = (w_{li}, w_{mi}, w_{ui})$$

Το επόμενο βήμα είναι η δημιουργία βαρών απαλλαγμένα από την ασαφοποίηση (fuzzification) των TFN γνωστά και ως crisp weights με την εξίσωση 5.7 που εισήγαγε το 2008 ο Chang.

$$w_i^{\alpha, \lambda} = \lambda * (w_{li} + \alpha * (w_{mi} - w_{li})) + (1 - \lambda) * (w_{ui} - \alpha * (w_{ui} - w_{mi})) \quad (5.7)$$

Όπου το α αντιπροσωπεύει μία προτίμηση του λήπτη των αποφάσεων του προβλήματος και το λ ορίζει το επιτρεπόμενο επίπεδο κινδύνου των αποφάσεων. Οι δύο αυτοί παράμετροι λαμβάνουν συνήθως σύμφωνα με τη βιβλιογραφία την τιμή 0,5.

Στη συνέχεια γίνεται η κανονικοποίηση των σαφών βαρών (crisp weights) και υπολογίζονται τα συνολικά βάρη για το πρόβλημα πολλαπλασιάζοντας κάθε φορά τα βάρη του κάθε στοιχείου ενός επιπέδου με τα βάρη του στοιχείου του προηγούμενου επιπέδου τηρώντας την ιεραρχία.

6. Εφαρμογή της μεθόδου FAHP και AHP στη διαχείριση οδοστρωμάτων

Η πολυκριτηριακή μέθοδος AHP όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως αποτέλεσε πολλές φορές ένα μέσο για τη λύση προβλημάτων σε έρευνες κάθε είδους. Η ευκολία προσαρμογής της την έκανε ένα χρήσιμο εργαλείο και σε πολλά θέματα που αφορούν τον κλάδο των πολιτικών μηχανικών. Στο παρών σύγγραμμα θα γίνει μια προσπάθεια εφαρμογής της στην διαχείριση οδοστρωμάτων και ιδιαίτερα στην αξιολόγηση των οδοστρωμάτων βάσει των επιφανειακών τους χαρακτηριστικών.

6.1. Στόχοι της ανάλυσης

Ο δείκτης της λειτουργικής κατάστασης των οδοστρωμάτων ή με την αγγλική ορολογία Pavement Functional Condition Index (PFCI) που δημιουργήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία και αποτελεί το βασικό της στόχο, κατασκευάστηκε βάσει της Πολυπαραμετρικής Θεωρίας Χρησιμότητας ή αλλιώς Multi-attribute utility theory (MAUT) (Dyer, 2005). Η MAUT στοχεύει στην αναπαράσταση ενός συστήματος αξιών (value system) που ακολουθεί ο λήπτης των αποφάσεων. Το σύστημα αξιών προκύπτει από τη σύνθεση των προτιμήσεων των ληπτών των αποφάσεων σε ότι αφορά τα κριτήρια που έχουν οριστεί και αποτελούν τις παραμέτρους για τη λύση του προβλήματος. Μέσω του συστήματος αξιών παρέχεται ένα ποσοτικό μέτρο που οδηγεί τον εκάστοτε αποφασίζοντα στην τελική απόφαση, στην περίπτωση της παρούσας έρευνας σε ένα βαθμό αξιολόγησης. Με τη βοήθεια της μεθόδου χρησιμότητας καταλήγουμε σε ένα πλήρως ορισμένο μαθηματικά πρόβλημα καθώς η μέθοδος αποτελεί μία συναρτησιακή μέθοδο σύνθεσης κριτηρίων. Για τη σύνδεση των κριτηρίων γίνεται χρήση μιας συνάρτησης πολλαπλών μεταβλητών $U = U(C)$, όπου $C = \{C_1, \dots, C_n\}$ ένα σύνολο κριτηρίων, που ονομάζεται και συνάρτηση χρησιμότητας (utility function). Η συνολική συνάρτηση χρησιμότητας αναπαριστά τις προτιμήσεις του λήπτη αποφάσεων ως προς μια εναλλακτική, στη συγκεκριμένη περίπτωση τη λειτουργική κατάσταση ενός οδοστρώματος. Τα δύο βασικά προβλήματα που προκύπτουν από τη χρήση της πολυπαραμετρικής θεωρίας χρησιμότητας είναι η επιλογή της συναρτησιακής σχέσης και η εκτίμηση των παραμέτρων. Στην παρούσα έρευνα θα γίνει η χρήση της βασικής γραμμικής συνάρτησης χρησιμότητας της θεωρίας η οποία έχει τη μορφή της εξίσωσης 6.1. και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του μέτρου του δείκτη PFCI.

$$PFCl = \sum_n w_n u_n(C_n) \quad (6.1)$$

όπου, u_n αποτελεί τη συνάρτηση χρησιμότητας για την εκτίμηση ενός οδοστρώματος ως προς ένα συγκεκριμένο επιφανειακό χαρακτηριστικό

w_n αποτελεί το βάρος κάθε κριτηρίου- υποκριτηρίου για τον προσδιορισμό του γενικού δείκτη

n ο αριθμός των κριτηρίων- υποκριτηρίων που ορίζονται για το συγκεκριμένο πρόβλημα.

Τα βήματα ώστε το παραπάνω μοντέλο που ορίστηκε να γίνει λειτουργικό είναι τα εξής:

- Ορίζονται οι υποψήφιοι εναλλακτικές και τα κριτήρια απόφασης (με μια ιεραρχία) που τις χαρακτηρίζουν
- Πραγματοποιείται αξιολόγηση κάθε εναλλακτικής, ξεχωριστά ως προς κάθε κριτήριο
- Καθορίζονται τα βάρη των κριτηρίων, ανάλογα με τη σημαντικότητα που τα χαρακτηρίζει σε κάθε περίπτωση
- Το άθροισμα των βαρών των κριτηρίων ισούται με τη μονάδα
- Το συνολικό μέτρο του βαθμού κάθε εναλλακτικής προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους γινομένων των αξιολογήσεων των εναλλακτικών ως προς κάθε κριτήριο, με το βάρος του αντίστοιχου κριτηρίου

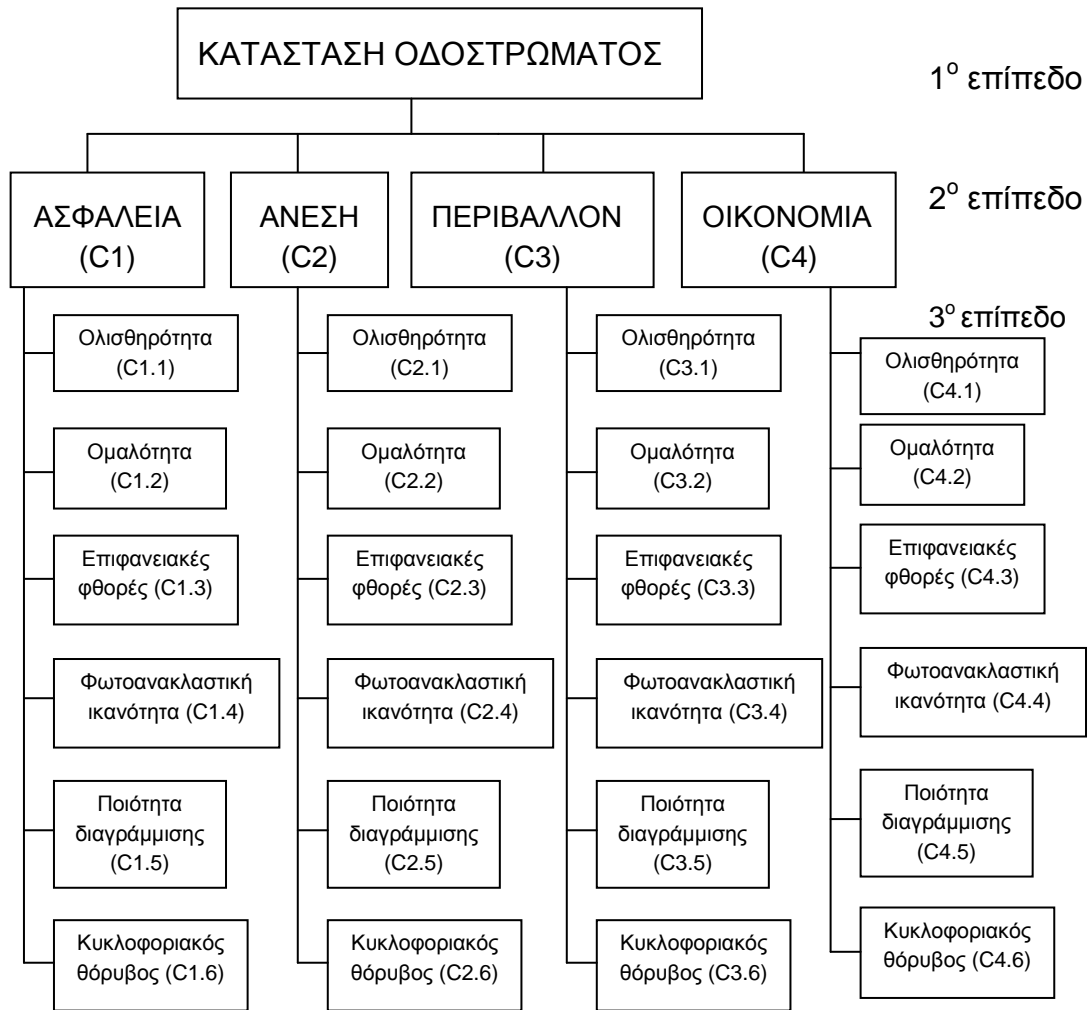
Η βασική ωστόσο υπόθεση πάνω στην οποία βασίζεται το παραπάνω μοντέλο είναι το γεγονός ότι ο λήπτης των αποφάσεων και χρήστης της μεθόδου έχει κατανοήσει πλήρως τα κριτήρια, τις χρησιμότητες και τα βάρη που έχει ορίσει. Ελλιπείς γνώσεις και απορίες πάνω στην ανάπτυξη των βαρών και των συναρτήσεων χρησιμότητας μπορεί να οδηγήσουν σε αβεβαιότητες για τις εκτιμήσεις των βαρών των κριτηρίων κατά τον προσδιορισμό του βαθμού αξιολόγησης του οδοστρώματος.

Η πολυκριτηριακή ανάλυση AHP εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία με σκοπό να υπολογιστούν τα βάρη σημαντικότητας w_n της εξίσωσης 5.1 για τον υπολογισμό του δείκτη. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος αυτή επειδή αποτελεί από τα πιο διαδεδομένα και κατάλληλα μοντέλα για τη μαθηματική ανάλυση απόψεων. Σκοπός της χρήσης της μεθόδου είναι να ιεραρχήσει τα επιφανειακά χαρακτηριστικά με γνώμονα τις βασικές απαιτήσεις του οδοστρώματος που επηρεάζουν κάθε φορά και να αποδώσει το βαθμό που συνεισφέρει η ποιότητα του κάθε χαρακτηριστικού στην αξιολόγηση του οδικού τμήματος. Στην ουσία αποδίδουν πόσο σημαντική είναι κάθε μέτρηση

για το συνολικό βαθμό του δείκτη. Οι απόψεις που αναλύονται για την κατασκευή των βαρών του δείκτη προέρχονται από μία ομάδα ειδικών όπως θα αναλυθεί αργότερα που όπως είναι φυσικό συμπεριλαμβάνεται η υποκειμενικότητά τους. Για το λόγο αυτό γίνεται χρήση της μεθόδου Fuzzy AHP με σκοπό τη δημιουργία σαφών βαρών (crisp weights) που συνυπολογίζουν την αβεβαιότητα για τη σύνθεση του δείκτη.

6.2. Συλλογή δεδομένων

Η συλλογή των απόψεων όπως έχει αναφερθεί έγινε με τη βοήθεια ερωτηματολογίων. Για τη σύνταξη των ερωτηματολογίων ήταν απαραίτητο να οριστούν βάσει ιεραρχίας τα κριτήρια και υποκριτήρια που αφορούν το παρών πρόβλημα που είναι η αξιολόγηση του οδοστρώματος. Ως κριτήρια, δηλαδή στοιχεία δεύτερου επιπέδου του δέντρου ιεράρχησης, ορίστηκαν οι βασικές απαιτήσεις του οδοστρώματος, ενώ ως υποκριτήρια δηλαδή στοιχεία τρίτου επιπέδου ορίστηκαν τα επιφανειακά χαρακτηριστικά του οδοστρώματος. Στην παρούσα φάση αναφέρεται ότι τα επιφανειακά χαρακτηριστικά αποτελούν υποκριτήρια για κάθε μια από τις βασικές απαιτήσεις του οδοστρώματος όπως παρουσιάζεται και στο παρακάτω διάγραμμα 6.1.



Διάγραμμα 6.1: Σχηματική απεικόνιση της ιεραρχίας του δείκτη λειτουργικής κατάστασης οδοστρωμάτων με τη μορφή δέντρου

Τα ερωτηματολόγια που δημιουργήθηκαν στάλθηκαν σε έμπειρους μηχανικούς που ασχολούνται με τη συντήρηση των οδοστρωμάτων, εταιριών που διαχειρίζονται βασικούς οδικούς άξονες του εθνικού δικτύου. Για την εγκυρότητα της έρευνας αναφέρεται ότι οι θέσεις των ειδικών που ερωτήθηκαν για τη συλλογή των δεδομένων θεωρούνται θέσεις ευθύνης για τις εταιρίες, όπως ενδεικτικά η θέση του προϊστάμενου λειτουργίας και συντήρησης, του προϊστάμενου της τεχνικής διεύθυνσης, του διευθυντή οδικής λειτουργίας με κατά μέσο όρο 15ετή εμπειρία πάνω στη συντήρηση και κατασκευή των οδοστρωμάτων.

Πιο αναλυτικά, συλλέχθηκαν 11 ερωτηματολόγια από τις τέσσερις εταιρίες που συμμετείχαν στην έρευνα. Τα 4 προήλθαν από την εταιρία Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου που διαχειρίζεται την εθνική οδό ΠΑΘΕ (Πειραιά-

Αθηνών- Θεσσαλονίκης- Ευζώνων) όπου απάντησαν ο προϊστάμενος οδικής λειτουργίας της εταιρίας με 8 χρόνια εμπειρία στη συντήρηση, ο διευθυντής λειτουργίας και συντήρησης Νότιου Τομέα με 16 έτη εμπειρία, ο προϊστάμενος της λειτουργίας και συντήρησης της εταιρίας με 8ετή εμπειρία στη συντήρηση και ένας πολιτικός μηχανικός στη τεχνική διεύθυνση με συνολική 25ετή εμπειρία.

Ένα ερωτηματολόγιο συλλέχθηκε από την εταιρία Αττικές Διαδρομές που διαχειρίζεται την Αττική Οδό και απαντήθηκε από το διευθυντή στρατηγικής και οργάνωσης της εταιρίας με πάνω από 20 χρόνια εμπειρίας στη συντήρηση και λειτουργία αυτοκινητόδρομου. Από την εταιρία Εγνατία συλλέχθηκαν 3 ερωτηματολόγια τα οποία απαντήθηκαν από το διευθυντή λειτουργίας και συντήρησης με 11 χρόνια εμπειρίας στον τομέα αυτόν, από τον προϊστάμενο κεντρικού εργαστηρίου της εταιρίας με συνολική 25ετή εμπειρία και από ένα μηχανικό στο τμήμα λειτουργίας και εκμετάλλευσης. Τα υπόλοιπα 3 συλλέχθηκαν από την εταιρία Μορέας που διαχειρίζεται τον αυτοκινητόδρομο Κόρινθος- Τρίπολη- Καλαμάτα και απαντήθηκαν από το διευθυντή λειτουργίας της εταιρίας με 16 έτη πάνω στο αντικείμενο και από δύο μηχανικούς που εργάζονται στο τμήμα αυτό με 7ετή και 8ετή εμπειρία.

Πάνω στη βαθμολόγηση σημαντικότητας βασικών απαιτήσεων και επιφανειακών χαρακτηριστικών απάντησαν και οι 11 παραλήπτες, ενώ όπως περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο συλλέχθηκαν από τις τέσσερις εταιρίες πληροφορίες σχετικά με τη συχνότητα των ελέγχων των επιφανειακών χαρακτηριστικών. Οι πληροφορίες αυτές αντλήθηκαν από τον ιεραρχικά ανώτερο της κάθε εταιρίας.

Ζητήθηκε λοιπόν από την ομάδα των ειδικών η ανά δύο σύγκριση των βασικών απαιτήσεων και των επιφανειακών χαρακτηριστικών των οδοστρωμάτων λαμβάνοντας υπόψη τις εξής παραδοχές:

- Η δομική κατάσταση και η μηχανική συμπεριφορά του οδοστρώματος θεωρείται σταθερή και δε συμπεριλαμβάνεται στη σύγκριση.
- Η βαθμολόγηση θα γίνει για μία περίοδο στο μέσο της περιόδου λειτουργίας ανάμεσα στην παραλαβή του έργου και στις προγραμματισμένες επεμβάσεις βαριάς συντήρησης.
- Η σύγκριση γίνεται για τις μέσες τιμές ποιότητας/ πληρότητας του επιφανειακού χαρακτηριστικού χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι εκάστοτε τιμές των δύο εν συγκρίσει κριτηρίων για τον καθορισμό της σημαντικότητας.

- Στην οικονομία ως βασική απαίτηση του οδοστρώματος διερευνάται κυρίως το κόστος λειτουργού που αποτελεί τις εργατώρες οπτικής ή ψηφιακής παρακολούθησης, το κόστος των λειτουργιών των οργάνων μέτρησης, ο καθαρισμός του οδοστρώματος, οι επιδιορθώσεις μικρής και μεγάλης κλίμακας κ.α.
- Η ολισθηρότητα και η αντίσταση κύλισης εξετάζονται από κοινού διότι βασίζονται κυρίως στα ίδια χαρακτηριστικά του οδοστρώματος (μακροϋφή- μικροϋφή).
- Στην ομαλότητα συνυπολογίζεται ταυτόχρονα και η εγκάρσια και η διαμήκης.
- Στις επιφανειακές φθορές συμπεριλαμβάνονται όλες οι ρηγματώσεις, αποφλοιώσεις, αυλακώσεις ή μπαλώματα που προκύπτουν από τη λειτουργία και όχι λόγω δομικής αστοχίας.

Η σύγκριση της σημαντικότητας των κριτηρίων και υποκριτηρίων έγινε με την κλίμακα Saaty βαθμολογώντας από το 1-9 με το 1 να δηλώνει ίση βαρύτητα μεταξύ των συγκρινόμενων στοιχείων και το 9 τη μέγιστη βαρύτητα του ενός ως προς το άλλο.

Οι απαντήσεις των ειδικών ταξινομήθηκαν σε πίνακες συγκρίσεων ανά ζεύγη τους γνωστούς Pairwise Comparison Matrix για την ευκολότερη εφαρμογή της μεθόδου AHP. Κατασκευάστηκαν πίνακες κριτηρίων και υποκριτηρίων με βάση το κάθε κριτήριο για κάθε ερωτηματολόγιο και συμπύχθηκαν σε συγκεντρωτικούς πίνακες με τη βοήθεια του γεωμετρικού μέσου. Παρακάτω παρουσιάζονται οι συγκεντρωτικοί πίνακες συγκρίσεων ανά ζεύγη ύστερα από την εφαρμογή του μέσου όρου:

Πίνακας 6.1: Πίνακας συγκρίσεων ανά ζεύγη κριτηρίων

AHP Pairwise Comparison matrix				
	C1	C2	C3	C4
C1	1	8	6	7
C2	0,13	1	1	2
C3	0,17	1	1	4
C4	0,14	0,50	0,25	1

όπου:

Ασφάλεια	C1
Άνεση	C2
Περιβάλλον	C3
Κόστος Λειτουργού	C4

Πίνακας 6.2: Πίνακας συγκρίσεων ανά ζεύγη υποκριτηρίων με βάση το κριτήριο οδική ασφάλεια

AHP Pairwise Comparison matrix						
C1	C1.1	C1.2	C1.3	C1.4	C1.5	C1.6
C1.1	1	3	4	5	4	8
C1.2	0,33	1	2	3	1	6
C1.3	0,25	0,5	1	2	0,5	5
C1.4	0,20	0,33	0,50	1	0,33	4
C1.5	0,25	1	2	3	1	7
C1.6	0,13	0,17	0,20	0,25	0,14	1

όπου: Ολισθηρότητα - Αντίσταση Κύλισης Ci.1
Ομαλότητα Ci.2
Επιφανειακές βλάβες-φθορές Ci.3
Φωτοανακλαστικά χαρακτηριστικά Ci.4
Ποιότητα διαγράμμισης Ci.5
Θόρυβος Ci.6

για i: 1-4

Πίνακας 6.3: Πίνακας συγκρίσεων ανά ζεύγη υποκριτηρίων με βάση το κριτήριο κυκλοφοριακή άνεση.

AHP Pairwise Comparison matrix						
C2	C2.1	C2.2	C2.3	C2.4	C2.5	C2.6
C2.1	1	0,25	0,20	0,33	0,50	0,17
C2.2	4	1	1	3	2	0,50
C2.3	5	1	1	3	4	0,33
C2.4	3	0,33	0,33	1	1	0,33
C2.5	2	0,50	0,25	1	1	0,50
C2.6	6	2	3	3	2	1

Πίνακας 6.4: Πίνακας συγκρίσεων ανά ζεύγη υποκριτηρίων με βάση το κριτήριο περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

AHP Pairwise Comparison matrix						
C3	C3.1	C3.2	C3.3	C3.4	C3.5	C3.6
C3.1	1	0,33	1	1	1	0,14
C3.2	3	1	3	2	3	0,20
C3.3	1	0,33	1	1	1	0,17
C3.4	1	0,5	1	1	1	0,14
C3.5	1	0,33	1	1	1	0,14
C3.6	7	5	6	7	7	1

Πίνακας 6.5: Πίνακας συγκρίσεων ανά ζεύγη υποκριτηρίων με βάση το κριτήριο κόστος λειτουργού.

AHP Pairwise Comparison matrix						
C4	C4.1	C4.2	C4.3	C4.4	C4.5	C4.6
C4.1	1	2	3	4	3	6
C4.2	0,5	1	2	3	3	4
C4.3	0,33	0,50	1	2	1	3
C4.4	0,25	0,33	0,50	1	0,50	3
C4.5	0,33	0,33	1	2	1	3
C4.6	0,17	0,25	0,33	0,33	0,33	1

Τα παραπάνω στοιχεία θα αποτελέσουν τη βάση δεδομένων για την εξαγωγή των βαρών σημαντικότητας όπως έχει αναφερθεί με τη χρήση της μεθόδου AHP. Όπως μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί η σύγκριση των επιφανειακών χαρακτηριστικών δεν παραμένει ίδια αλλά διαφέρει ανάλογα με τη βασική απαίτηση του οδοστρώματος που εξετάζεται κάθε φορά. Επιπλέον η διαγώνιος του πίνακα βάσει ορισμού λαμβάνει την τιμή 1, καθώς κατά τη σύγκριση ίδιων στοιχείων υπάρχει ίση σημαντικότητα του ενός έναντι του άλλου.

6.3. Υλοποίηση της μεθόδου

Με βάση τη θεωρία της AHP όπως αναπτύχθηκε στο κεφάλαιο 5 θα γίνει η επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν από τα ερωτηματολόγια. Τα βάρη σημαντικότητας όπως έχει ειπωθεί υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του ιδιοδιανύσματος του πίνακα. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα βάρη σημαντικότητας κριτηρίων και υποκριτηρίων που προκύπτουν από τους PCM ύστερα από 4 επαναλήψεις της μεθόδου του ιδιοδιανύσματος για την προσέγγιση των βαρών με ακρίβεια της τάξεως του 3^{ου} δεκαδικού.

Τα βάρη σημαντικότητας με τη μέθοδο AHP κατασκευάστηκαν για τη μετέπειτα σύγκριση των μεθόδων FAHP και AHP.

Πίνακας 6.6: Πίνακας βαρών σημαντικότητας των στοιχείων με τη μέθοδο AHP.

	Weights	C1	Weights	C2	Weights	C3	Weights	C4	Weights
		C1.1	0,426335	C2.1	0,044539	C3.1	0,070121	C4.1	0,3644754
		C1.2	0,179119	C2.2	0,198627	C3.2	0,176321	C4.2	0,2430248
C1	0,6844	C1.3	0,112595	C2.3	0,228505	C3.3	0,072331	C4.3	0,1325448
C2	0,1103	C1.4	0,074459	C2.4	0,094531	C3.4	0,073824	C4.4	0,0872934
C3	0,1457	C1.5	0,17806	C2.5	0,099462	C3.5	0,070121	C4.5	0,1262555
C4	0,0596	C1.6	0,029432	C2.6	0,334335	C3.6	0,537283	C4.6	0,046406

όπου:

Ασφάλεια	C1	Ολισθηρότητα - Αντίσταση Κύλισης	Ci.1
Άνεση	C2	Ομαλότητα	Ci.2
Περιβάλλον	C3	Επιφανειακές βλάβες-φθορές	Ci.3
Κόστος Λειτουργού	C4	Φωτοανακλαστικά χαρακτηριστικά	Ci.4
		Ποιότητα διαγράμμισης	Ci.5
		Θόρυβος	Ci.6

για i: 1-4

Εξετάστηκε επιπλέον και η συνέπεια των αποφάσεων με τη μέθοδο που αναλύθηκε στην παράγραφο 5.3.5 υπολογίζοντας το δείκτη συνέπειας CR για κάθε πίνακα των κριτηρίων λαμβάνοντας τα αποτελέσματα του πίνακα 6.7. Διαπιστώθηκε ότι ο δείκτης ήταν εντός ορίων κάτω από το 0,1 για κάθε πίνακα που εξετάστηκε.

Πίνακας 6.7: Πίνακας του δείκτη συνέπειας CR των στοιχείων.

	CR
κριτήρια	0,042349
υποκριτήρια με κριτήριο την ασφάλεια	0,034997
υποκριτήρια με κριτήριο την άνεση	0,042459
υποκριτήρια με κριτήριο το περιβάλλον	0,012335
υποκριτήρια με κριτήριο το κόστος λειτουργού	0,023446

Τα παραπάνω βάρη περιέχουν την υποκειμενικότητα και την αβεβαιότητα των απόψεων των ειδικών. Κάνοντας χρήση των τριγωνικών ασαφών αριθμών με τη μέθοδο FAHP γίνεται προσπάθεια περιορισμού του παραπάνω φαινομένου. Κατασκευάζονται λοιπόν πίνακες συγκρίσεων ανά ζεύγη με τους τριγωνικούς ασαφείς αριθμούς σύμφωνα με τη θεωρία της FAHP έχοντας τη μορφή του πίνακα 6.8.

Πίνακας 6.8: Πίνακας συγκρίσεων ανά ζεύγη κριτηρίων με τη χρήση ασαφών αριθμών

Fuzzy AHP Pairwise Comparison Matrix												
	C1			C2			C3			C4		
	l	m	u	l	m	u	l	m	u	l	m	u
C1	1	1	1	7	8	9	5	6	7	6	7	8
C2	0,111	0,125	0,143	1	1	1	1	1	2	1	2	3
C3	0,143	0,167	0,200	0,5	1	1	1	1	1	3	4	5
C4	0,125	0,143	0,167	0,333	0,5	1	0,2	0,25	0,333	1	1	1

Ομοίως με το Fuzzy PCM των κριτηρίων κατασκευάστηκαν οι πίνακες των υποκριτηρίων για κάθε βασική απαίτηση του οδοστρώματος. Όπως φαίνεται στον πίνακα 6.8 η κατασκευή του Fuzzy PCM προέκυψε από τους πίνακες συγκρίσεων της AHP ορίζοντας την ασαφή απόσταση δ με τη συνηθέστερη τιμή 1 σύμφωνα με τη βιβλιογραφία. Τηρώντας τους περιορισμούς που έχουν οριστεί στη θεωρία των τριγωνικών ασαφών αριθμών για την κλίμακα Saaty:

- $m - \delta > 1$
- $m + \delta < 9$
- για $m = 1$, $u = 1 + \delta$
- για $m = 9$, $l = 9 - \delta$

Ύστερα από τη δημιουργία των πινάκων συγκρίσεων τριγωνικών ασαφών αριθμών γίνεται ο υπολογισμός των ασαφών βαρών των στοιχείων κάνοντας χρήση της εξίσωσης 5.5 (Buckley, 2001). Για τον υπολογισμό των βαρών του δείκτη επιλέγονται τα σαφή βάρη (crisp weights) απαλλαγμένα από την ασαφοποίηση των TFN με τη χρήση της εξίσωσης 5.7 (Chang, 2008) όπως αναλύθηκε στο κεφάλαιο 5.4.3, ενώ για τις τιμές των παραμέτρων α , λ επιλέχθηκε η τιμή 0,5 όπως ορίζει η βιβλιογραφία. Στη συνέχεια γίνεται η κανονικοποίηση των σαφών βαρών και υπολογίζονται τα συνολικά βάρη w_n των συναρτήσεων χρησιμότητας ύστερα από τον πολλαπλασιασμό των σαφών βαρών των κριτηρίων με των υποκριτηρίων. Κατασκευάζονται έτσι οι συντελεστές του δείκτη PFCI που καθορίζουν τη σημαντικότητα της κάθε μέτρησης του επιφανειακού χαρακτηριστικού για το γενικό βαθμό του δείκτη.

6.4. Αποτελέσματα της μεθόδου

Η εκτέλεση των εξισώσεων της πολυκριτηριακής ανάλυσης FAHP οδήγησε στη δημιουργία των βαρών σημαντικότητας του κάθε στοιχείου των οποίων τα αποτελέσματα αναγράφονται στον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα 6.9. Στο συγκεκριμένο πίνακα παρουσιάζονται τα ασαφή βάρη του κάθε στοιχείου

στη στήλη 2, τα βάρη που προκύπτουν απαλλαγμένα από την ασαφοποίηση στη στήλη 3 και τα βάρη έπειτα από την κανονικοποίηση τους στη στήλη 4.

Πίνακας 6.9: Συγκεντρωτικός πίνακας των βαρών σημαντικότητας των στοιχείων με τη μέθοδο FAHP.

Στοιχεία	Ασαφή βάρη			Σαφή βάρη	Κανονικοποιημένα Σαφή Βάρη
	L	m	u		
C1	0,529759	0,684185	0,882891	0,695254707	0,680651371
C2	0,080346	0,112999	0,179293	0,121408965	0,118858856
C3	0,094683	0,144399	0,186337	0,142454755	0,139462593
C4	0,042046	0,058417	0,090465	0,062336515	0,06102718
C1.1	0,268516	0,426381	0,659271	0,445137038	0,418131027
C1.2	0,110889	0,182997	0,329391	0,20156849	0,189339535
C1.3	0,063588	0,111831	0,212173	0,124855472	0,117280617
C1.4	0,044482	0,071981	0,12966	0,079526017	0,074701255
C1.5	0,098121	0,178969	0,280451	0,184127649	0,172956812
C1.6	0,019141	0,027841	0,042668	0,029372771	0,027590754
C2.1	0,027578	0,045479	0,085006	0,050885454	0,046316244
C2.2	0,101733	0,206013	0,373542	0,221825298	0,201906712
C2.3	0,137137	0,224321	0,419287	0,251266301	0,228704089
C2.4	0,050867	0,094404	0,168194	0,101967058	0,092811025
C2.5	0,053942	0,096276	0,211911	0,11460093	0,104310451
C2.6	0,167611	0,333508	0,597802	0,358107379	0,325951478
C3.1	0,047758	0,069872	0,118568	0,076517453	0,0735467
C3.2	0,100207	0,172548	0,271454	0,179189019	0,172232092
C3.3	0,054813	0,07169	0,137195	0,083846967	0,080591649
C3.4	0,044637	0,074757	0,118568	0,078179751	0,07514446
C3.5	0,037905	0,069872	0,094108	0,067939197	0,065301491
C3.6	0,385469	0,541262	0,750889	0,554720358	0,533183609
C4.1	0,197078	0,368011	0,643361	0,394115215	0,357703684
C4.2	0,125494	0,243219	0,465163	0,269273638	0,244395975
C4.3	0,07389	0,133848	0,282336	0,155980909	0,141570139
C4.4	0,047051	0,084319	0,174403	0,0975233	0,088513314
C4.5	0,062747	0,125102	0,224091	0,13426046	0,1218564
C4.6	0,027536	0,045501	0,084018	0,05063892	0,04596049

Λαμβάνοντας υπόψη τη βασική εξίσωση 5.1 της συνάρτησης χρησιμότητας της MAUT για τον υπολογισμό των τελικών βαρών σημαντικότητας θα πρέπει να πολλαπλασιαστούν τα κανονικοποιημένα σαφή βάρη των

κριτηρίων με αυτά των υποκριτηρίων. Τα αποτελέσματα της διαδικασίας αυτής παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 6.10.

Πίνακας 6.10: Πίνακας των βαρών σημαντικότητας των χρησιμοτήτων u_n .

Βάρη σημαντικότητας χρησιμοτήτων			
$w_{u_{C1.1}}$	0,284601	$w_{u_{C2.1}}$	0,005505
$w_{u_{C1.2}}$	0,128874	$w_{u_{C2.2}}$	0,023998
$w_{u_{C1.3}}$	0,079827	$w_{u_{C2.3}}$	0,027184
$w_{u_{C1.4}}$	0,050846	$w_{u_{C2.4}}$	0,011031
$w_{u_{C1.5}}$	0,117723	$w_{u_{C2.5}}$	0,012398
$w_{u_{C1.6}}$	0,01878	$w_{u_{C2.6}}$	0,038742
$w_{u_{C3.1}}$	0,010257	$w_{u_{C4.1}}$	0,02183
$w_{u_{C3.2}}$	0,02402	$w_{u_{C4.2}}$	0,014915
$w_{u_{C3.3}}$	0,01124	$w_{u_{C4.3}}$	0,00864
$w_{u_{C3.4}}$	0,01048	$w_{u_{C4.4}}$	0,005402
$w_{u_{C3.5}}$	0,009107	$w_{u_{C4.5}}$	0,007437
$w_{u_{C3.6}}$	0,074359	$w_{u_{C4.6}}$	0,002805

Η τελική εξίσωση του δείκτη PFCI βάσει της εξίσωσης 6.1 είναι η εξής:

$$PFCI = \sum_n w_n u_n(C_n) \Rightarrow$$

$$PFCI = w_{C1} * \sum_{k=1}^6 w_{C1.k} u_{C1.k} + w_{C2} * \sum_{k=1}^6 w_{C2.k} u_{C2.k} + w_{C3} * \sum_{k=1}^6 w_{C3.k} u_{C3.k} + w_{C4} * \sum_{k=1}^6 w_{C4.k} u_{C4.k}$$

Εξ' ορισμού όμως $u_{C1.1} = u_{C2.1} = u_{C3.1} = u_{C4.1} = u_1$ ομοίως και για $u_{C1.i}$, $u_{C2.i}$, $u_{C3.i}$, $u_{C4.i}$ για κάθε $i = 2-6$, καθώς η συνάρτηση χρησιμότητας αναφέρεται στο ίδιο επιφανειακό χαρακτηριστικό, αφορά δηλαδή την ίδια μέτρηση οπότε η εξίσωση μετασχηματίζεται στην τελική της μορφή ως εξής:

$$PFCI = w_{u_1} * u_1 + w_{u_2} * u_2 + w_{u_3} * u_3 + w_{u_4} * u_4 + w_{u_5} * u_5 + w_{u_6} * u_6$$

όπου

$$w_{u_k} = \sum_{i=1}^4 w_{u_{Ci.k}}$$

Οι τιμές των βαρών σημαντικότητας των μετρήσεων w_{u_k} του δείκτη PFCI αναφέρονται στο πίνακα 6.11.

Πίνακας 6.11: Πίνακας των βαρών σημαντικότητας του PFCI

Βάρη σημαντικότητας του PFCI					
w_{u_1}	w_{u_2}	w_{u_3}	w_{u_4}	w_{u_5}	w_{u_6}
0,322193	0,191807	0,12689	0,077758	0,146665	0,134686

Τέλος, οι συναρτήσεις χρησιμότητας αποτελούν την ένταξη των μετρήσεων των επιφανειακών χαρακτηριστικών στην εξίσωση του δείκτη ως εξής:

$$u_i = X_i / X_i^{lim} \quad , \text{ για } i= 1-6$$

όπου X_i : η τιμή της μέτρησης του επιφανειακού χαρακτηριστικού

X_i^{lim} : η ακραία επιτρεπτή τιμή που μπορεί να πάρει η μέτρηση.

Οπότε η εξίσωση του δείκτη είναι η εξής:

$$PFCI = \sum_{i=1}^6 w_{u_i} u_i \quad (6.2)$$

Ο δείκτης δίνει τιμές από το 1 έως το 100 σαν ποσοστό όπου τη μέγιστη τιμή την παίρνει όταν $X_i = X_i^{lim}$

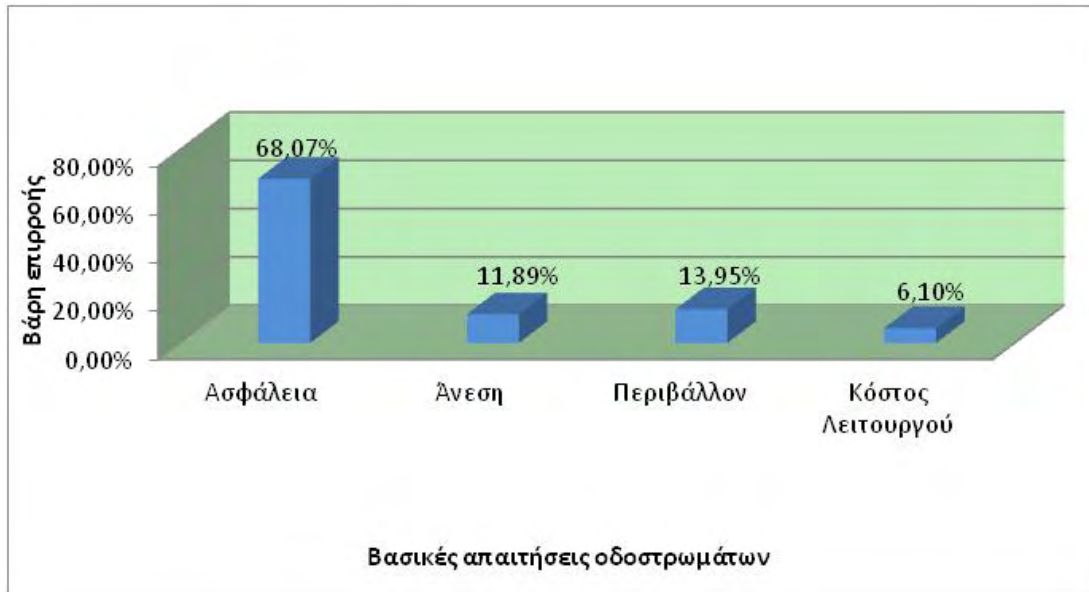
Περιγραφικά ο δείκτης αποδίδεται ως εξής:

Δείκτης Λειτουργικής Κατάστασης Οδοστρωμάτων= (0,32 x ολισθηρότητα + 0,19 x ομαλότητα + 0,13 x επιφανειακές φθορές + 0,08 x φωτοανακλαστικά χαρακτηριστικά + 0,15 x ποιότητα διαγράμμισης + 0,13 x θόρυβος επαφής ελαστικού- οδοστρώματος) x 100%

6.5. Ανάλυση των αποτελεσμάτων

Στην παρούσα ενότητα περιγράφονται τα αποτελέσματα τόσο της μεθόδου AHP όσο και της μεθόδου FAHP καθώς επίσης και η μεταξύ τους σύγκριση αναλύοντας τις τιμές των βαρών που προκύπτουν μετά την εκτέλεση των μεθόδων για κάθε επίπεδο της ιεραρχίας που ορίστηκε.

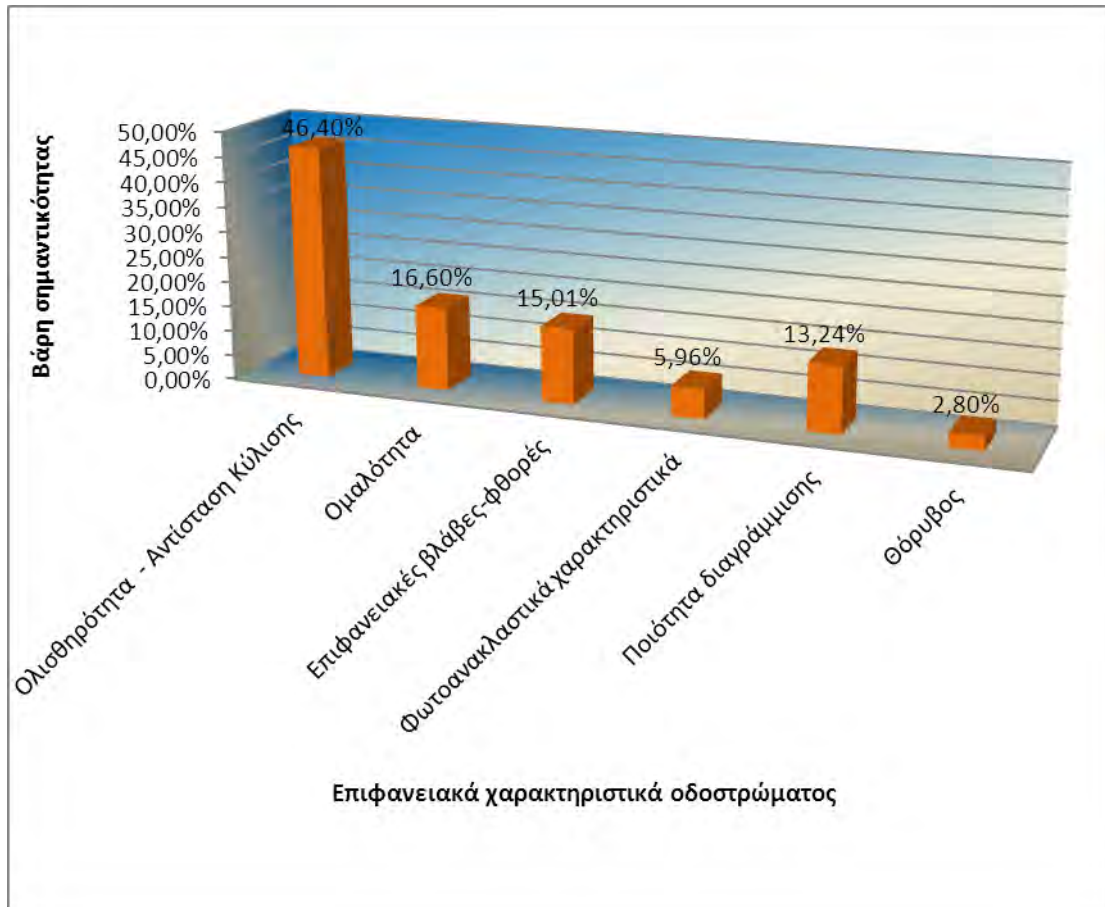
Στο επίπεδο των βασικών απαιτήσεων του οδοστρώματος που παρουσιάζεται στο διάγραμμα 6.2. η κατάταξη της προτεραιότητας όπως ήταν αναμενόμενο ανέδειξε ως πιο βασική απαίτηση την οδική ασφάλεια.



Διάγραμμα 6.2: Διάγραμμα απεικόνισης των βαρών επιρροής των βασικών απαιτήσεων των οδοστρωμάτων

Η οδική ασφάλεια θεωρείται ένας σημαντικός παράγοντας για την αξιολόγηση του οδοστρώματος καταλαμβάνοντας τα δύο τρίτα της συνολικής επιρροής διότι είναι άρτια συνυφασμένη με την ανθρώπινη ζωή. Τα υπόλοιπα τρία κριτήρια ακολουθούν με μικρές διαφορές μεταξύ τους σύμφωνα με τις απόψεις των ειδικών, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι το περιβάλλον έχει αποτελέσει μια όλο και αυξανόμενης σημασίας απαίτηση για τη συντήρηση του οδοστρώματος λαμβάνοντας τη δεύτερη θέση. Η διαπίστωση αυτή θεωρείται λογική καθώς η προστασία του περιβάλλοντος έχει αποτελέσει ένα από τα κύρια μελήματα των σύγχρονων κρατών δίνοντας μεγάλη βάση στη μέτρηση και στον περιορισμό των επιπτώσεων του κυκλοφοριακού δικτύου.

Ένα επιπλέον αντικείμενο το οποίο διερευνάται στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι η ποιοτική σύγκριση των επιφανειακών χαρακτηριστικών του οδοστρώματος. Το διάγραμμα 6.3. που ακολουθεί δείχνει το βαθμό σημαντικότητας του κάθε λειτουργικού χαρακτηριστικού έναντι του άλλου ανεξάρτητα από το κριτήριο που επηρεάζει.



Διάγραμμα 6.3: Διάγραμμα απεικόνισης των βαρών σημαντικότητας των επιφανειακών χαρακτηριστικών των οδοστρωμάτων

Σύμφωνα με το διάγραμμα σημαντικότερο επιφανειακό χαρακτηριστικό για την αξιολόγηση ενός οδοστρώματος θεωρείται η ολισθηρότητα και αντίσταση κύλισης που αποτελούν δύο αντίθετες περιγραφές του ίδιου φαινομένου και είναι συνδεδεμένες με την υφή του ασφαλτοτάπητα (μακρο-μικροϋφή). Η μεγάλη βαρύτητα που δίνεται σε αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να δικαιολογηθεί αν σκεφτεί κανείς ότι η ολισθηρότητα αποτελεί έναν από τους βασικούς παράγοντες για τη δημιουργία οδικών ατυχημάτων. Στην ταξινόμηση της σημαντικότητας των χαρακτηριστικών ακολουθούν η ομαλότητα, οι επιφανειακές φθορές και η ποιότητα διαγράμμισης χωρίς μεγάλες διαφορές μεταξύ τους. Τέλος, επιβεβαιώνεται ότι τα φωτοανακλαστικά χαρακτηριστικά και ο κυκλοφοριακός θόρυβος λόγω επαφής ελαστικού- οδοστρώματος αποτελούν χαμηλή προτεραιότητα για τη βαθμολόγηση της λειτουργικής κατάστασης του οδοστρώματος.

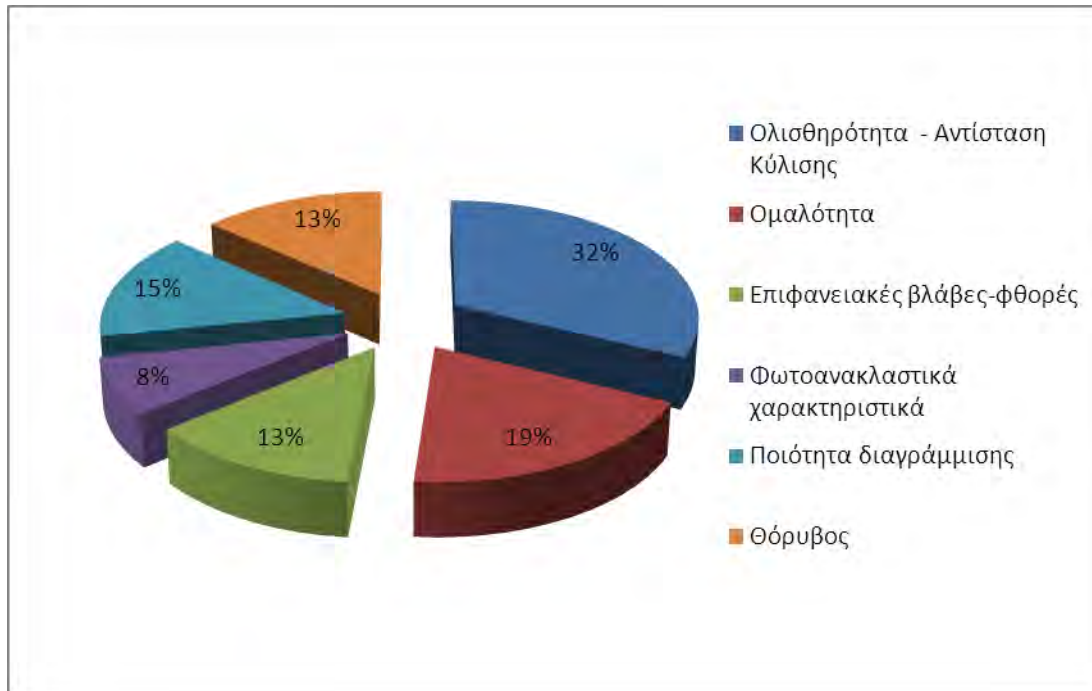
Με βάση τη βιβλιογραφία έχει γίνει μια ποιοτική αναπαράσταση της επίδρασης των επιφανειακών χαρακτηριστικών στις βασικές απαιτήσεις του οδοστρώματος όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα (εικόνα 3.1). Παρόλα αυτά στο παρόν σύγγραμμα θα γίνει μία προσπάθεια ποσοτικής αποτύπωσης της επίδρασης αυτής μέσα από την οπτική γωνία των λειτουργιών και συντηρητών του εθνικού μας δικτύου. Μετά από επεξεργασία των απόψεων που συλλέχθηκαν από τα ερωτηματολόγια για το συγκεκριμένο ζήτημα κατασκευάστηκε ο επόμενος πίνακας που παρουσιάζει την επιρροή αυτή.

Πίνακας 6.12: Πίνακας απεικόνισης της επίδρασης των επιφανειακών χαρακτηριστικών στις βασικές απαιτήσεις.

	Ασφάλεια	Άνεση	Περιβάλλον	Κόστος λειτουργού
Ολισθηρότητα - Αντίσταση Κύλισης	5	2	1	4
Ομαλότητα	4	4	2	4
Επιφανειακές βλάβες-φθορές	3	4	1	3
Φωτοανακλαστικά χαρακτηριστικά	3	3	1	3
Ποιότητα διαγράμμισης	4	3	1	3
Θόρυβος	1	4	4	2

Για την ποσοτική απεικόνιση χρησιμοποιήθηκε μία κλίμακα προτίμησης από το 1 έως το 5, όπου το 1 δηλώνει ότι το χαρακτηριστικό δεν επιδρά στη βασική απαίτηση ενώ το 5 ότι επιδρά απόλυτα.

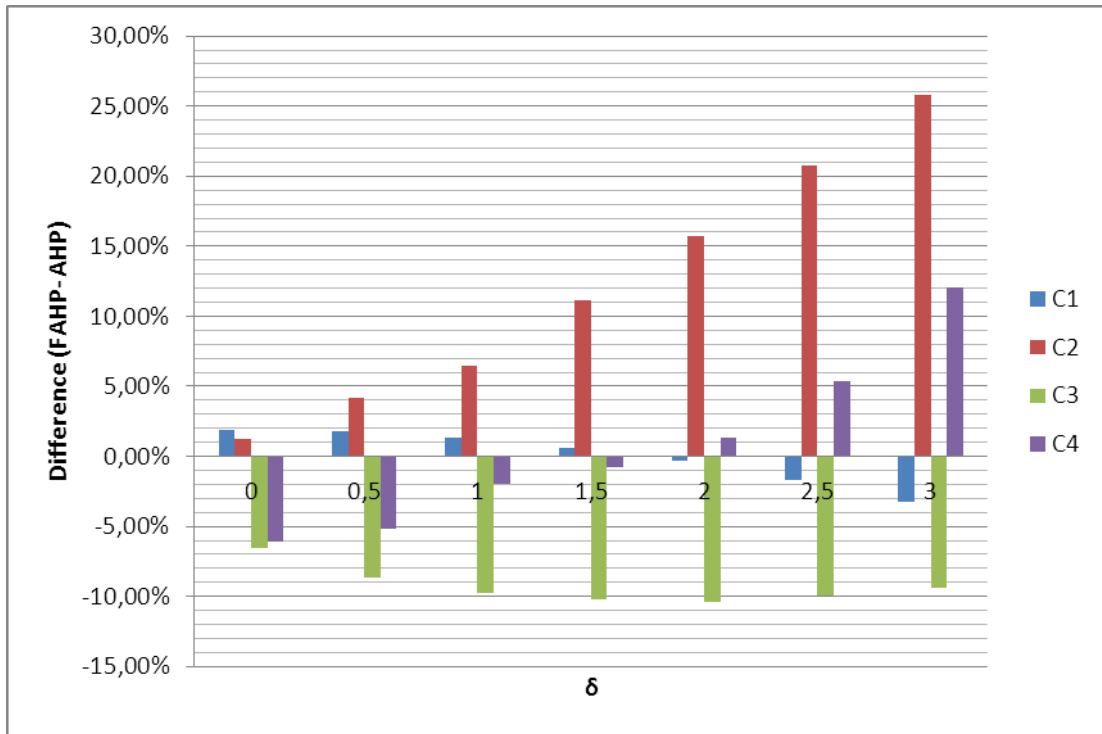
Σχεδιάστηκε επίσης και μία σχηματική αναπαράσταση της συμμετοχής του κάθε επιφανειακού χαρακτηριστικού στο βαθμό του δείκτη PFCI όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα 6.4.



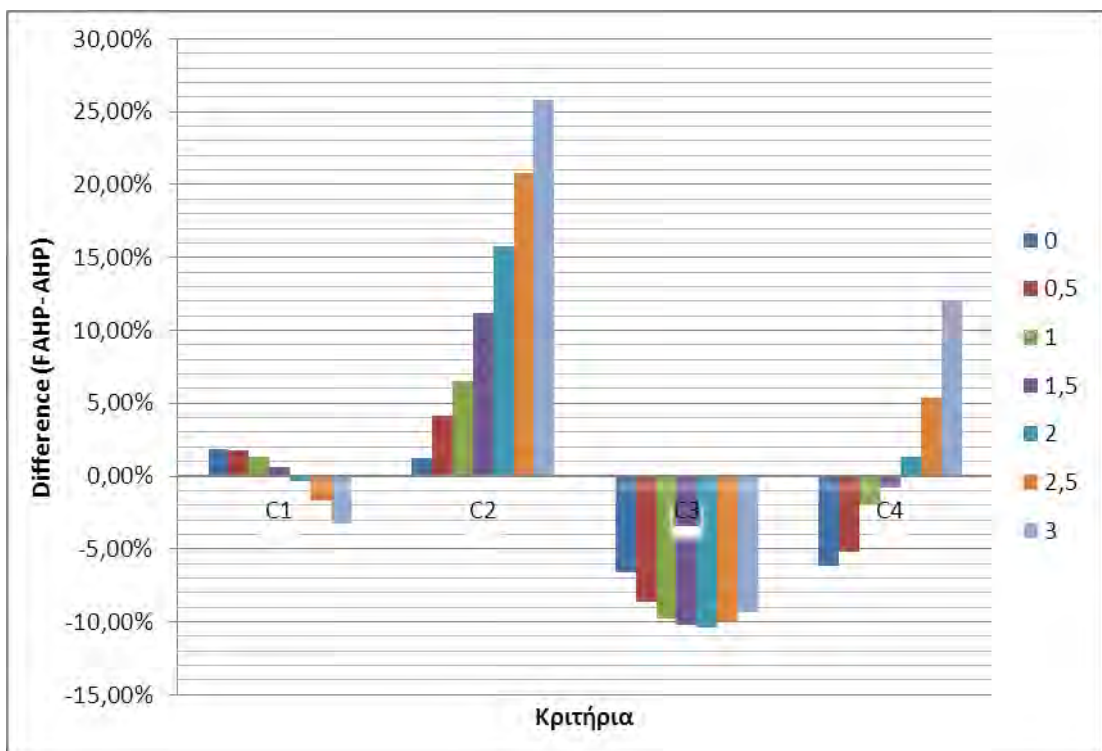
Διάγραμμα 6.4: Διάγραμμα απεικόνισης της συμμετοχής των επιφανειακών χαρακτηριστικών στο δείκτη PFCI

Από το παραπάνω διάγραμμα εξάγεται εύκολα το συμπέρασμα ότι τα χαρακτηριστικά ολισθηρότητα και ομαλότητα επηρεάζουν τόσο τον τελικό βαθμό του δείκτη όσο τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά μαζί. Επίσης, διαπιστώνεται εκτός από την υψηλή τιμή της ολισθηρότητας και τη χαμηλή των φωτοανακλαστικών χαρακτηριστικών οι υπόλοιπες τιμές των επιφανειακών χαρακτηριστικών κυμαίνονται στον ίδιο περρίπου βαθμό.

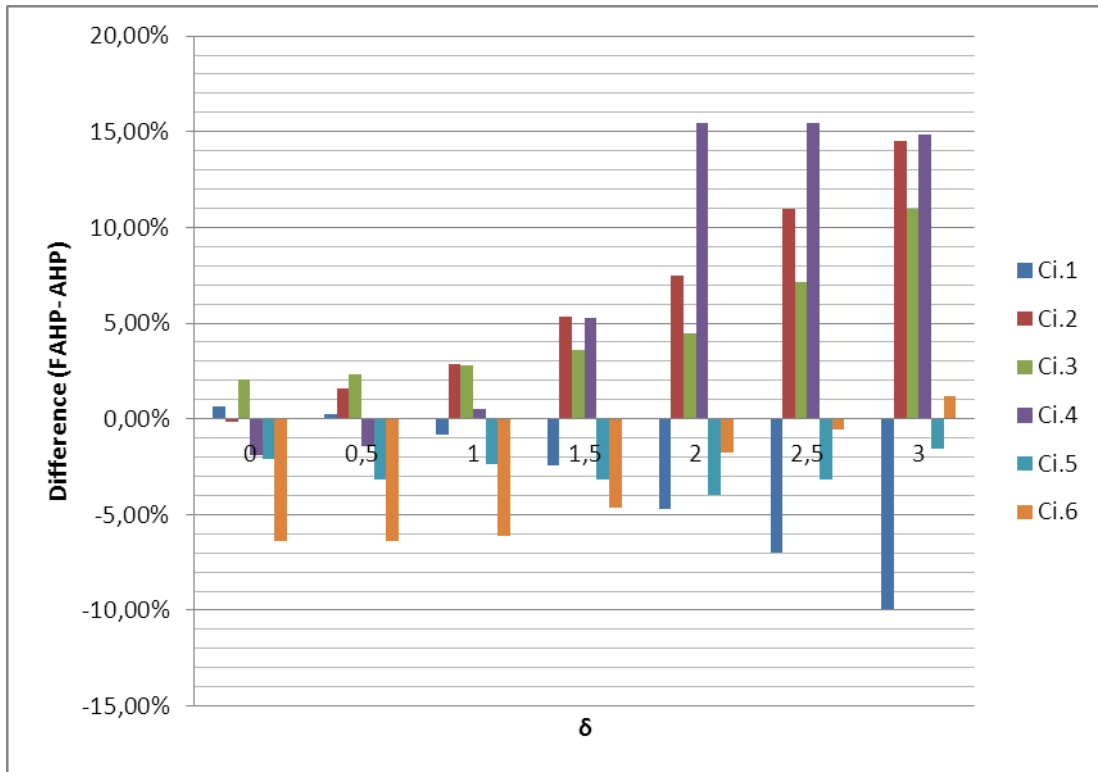
Γνωρίζοντας ότι η μέθοδος AHP δε συμπεριλαμβάνει την υποκειμενικότητα των αποφάσεων των ειδικών έγινε η σύγκριση της μεθόδου FAHP με την AHP για τις διάφορες τιμές της ασαφούς απόστασης δ με σκοπό να παρατηρηθεί σε ποια στοιχεία της ιεραρχίας επιδρά περισσότερο η αβεβαιότητα των απαντήσεων. Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η διαφορά των δύο μεθόδων συναρτήσει της απόστασης δ για τα κριτήρια και τα υποκριτήρια που επιλέχθηκαν. Από το διάγραμμα 6.5- 6.6 συμπεραίνουμε ότι τα στοιχεία με μεγάλα βάρη σημαντικότητας επηρεάζονται λιγότερο από την αβεβαιότητα όπως επίσης οι μεγαλύτερες διαφορές παρατηρούνται στις υψηλές τιμές της ασαφούς απόστασης δ κυρίως για τις βασικές απαιτήσεις, άνεση και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.



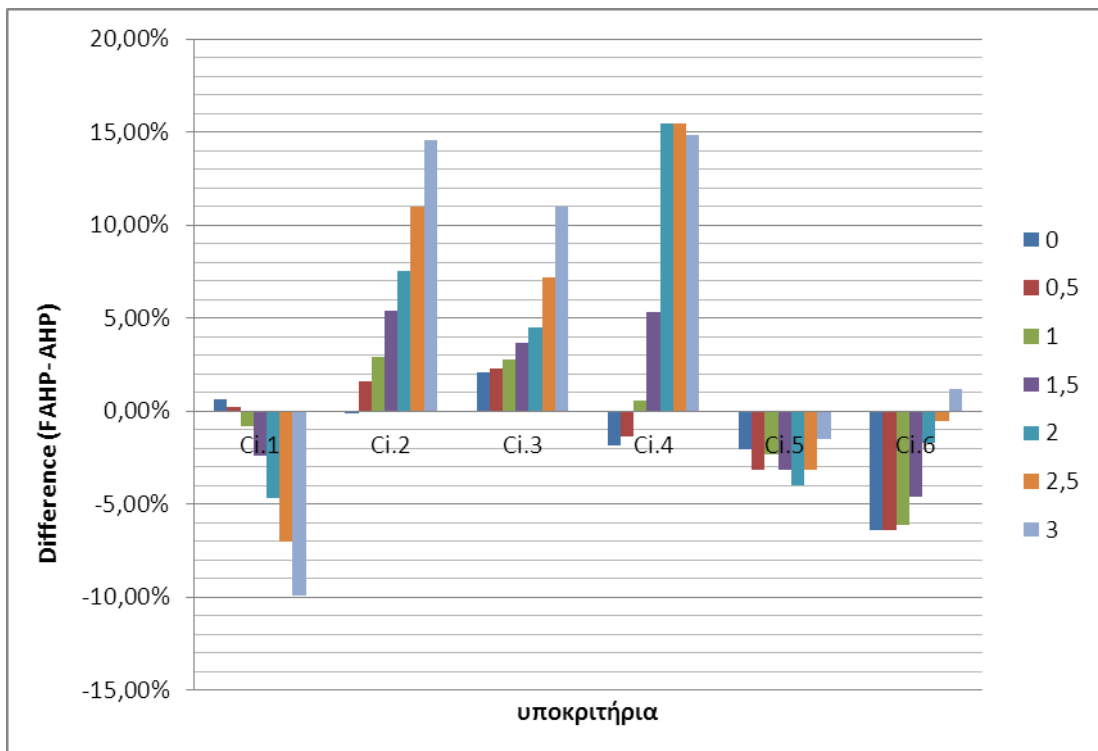
Διάγραμμα 6.5: Διάγραμμα απεικόνισης των διαφορών ανάμεσα στην FAHP και την AHP συναρτήσει της απόστασης δ για τα κριτήρια.



Διάγραμμα 6.6: Διάγραμμα απεικόνισης των διαφορών των δύο μεθόδων συναρτήσει των κριτηρίων για τις διάφορες τιμές του δ .

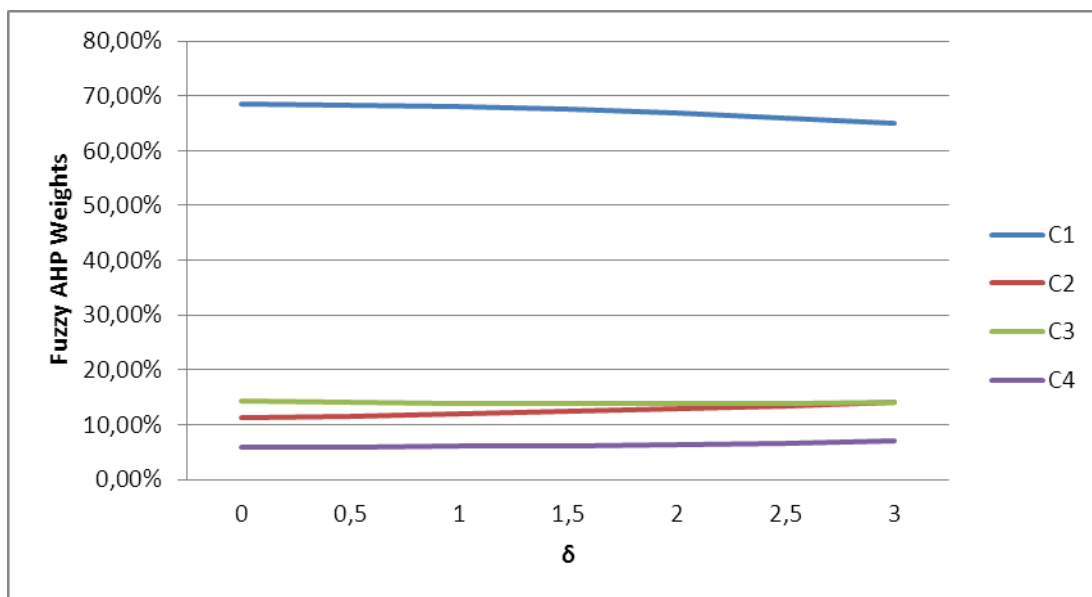


Διάγραμμα 6.7: Διάγραμμα απεικόνισης των διαφορών των μεθόδων για τα επιφανειακά χαρακτηριστικά συναρτήσει του δ .

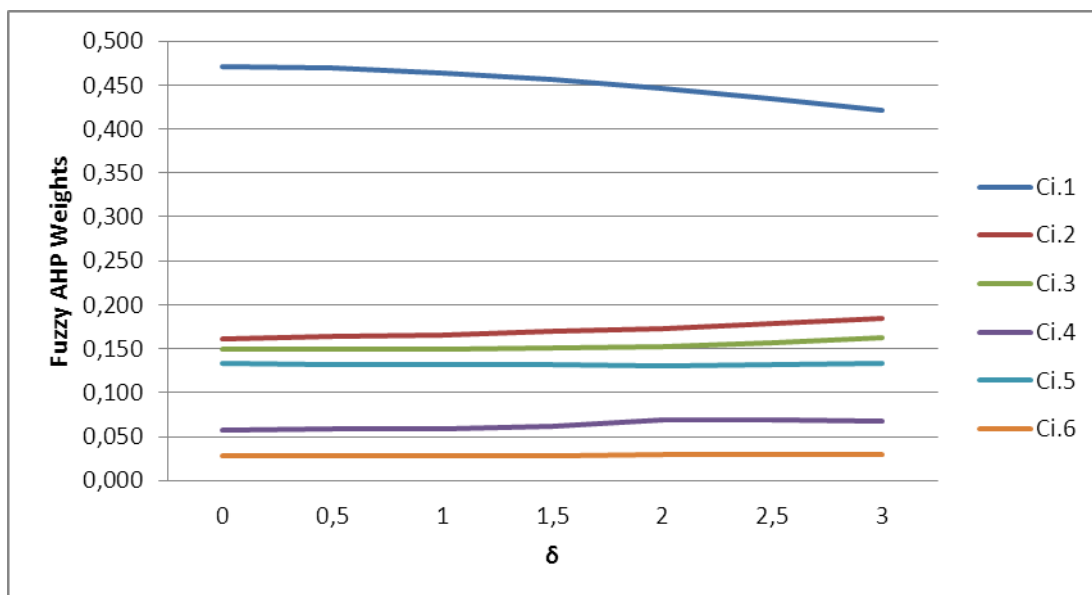


Διάγραμμα 6.8: Διάγραμμα απεικόνισης των διαφορών της FAHP με την AHP συναρτήσει των υποκριτηρίων για τις διάφορες τιμές του δ .

Ομοίως από τα διαγράμματα των υποκριτηρίων εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι τιμές των διαφορών αυξάνονται καθώς αυξάνεται η τιμή δ ενώ σε γενική διαπίστωση παρατηρούμε ότι οι μεσαίες τιμές των βαρών σημαντικότητας των στοιχείων φαίνεται να επηρεάζονται περισσότερο από την αβεβαιότητα. Στα διαγράμματα που ακολουθούν γίνεται η ανάλυση της ευαισθησίας των βαρών των στοιχείων ανάλογα με το εύρος των τριγωνικών ασαφών αριθμών δ . Σε γενικό συμπέρασμα αναφέρεται η σύγκλιση των βαρών όσο αυξάνεται η ασαφής απόσταση δ .



Διάγραμμα 6.9: Διάγραμμα απεικόνισης της ευαισθησίας των βαρών των βασικών απαιτήσεων σε συνάρτηση με το δ .



Διάγραμμα 6.10: Διάγραμμα απεικόνισης της ευαισθησίας των βαρών των επιφανειακών χαρακτηριστικών σε συνάρτηση με την απόσταση δ .

7. Συμπεράσματα – Προτάσεις

7.1. Συμπεράσματα

Τα συγκοινωνιακά έργα και ιδιαίτερα οι οδικές υποδομές είναι πολύ απαραίτητες στην καλή λειτουργία μιας κοινωνίας. Η συντήρηση του οδικού δικτύου είναι σημαντική αφενός για την εξασφάλιση της ασφαλούς και ακώλυτης κυκλοφορίας και αφετέρου για την αποτελεσματική διαχείριση της κυκλοφορίας και την παροχή των αναγκαίων υπηρεσιών στους χρήστες. Γι' αυτό το λόγο τα οδικά δίκτυα και ιδίως τα οδοστρώματα πρέπει να βρίσκονται σε καλή κατάσταση για να επιτρέπουν τη σωστή λειτουργία των οδικών δικτύων.

Τα οδοστρώματα για να πληρούν ένα ικανοποιητικό επίπεδο κατάστασης λειτουργίας θα πρέπει να συντηρούνται συστηματικά, για να επιδιορθώνονται οι φθορές που όπως είναι φυσικό έχουν υποστεί κατά τη διάρκεια ζωής τους. Οι περιορισμοί ωστόσο στους διαθέσιμους πόρους και κονδύλια δημιουργούν την ανάγκη ιεράρχησης των παραπάνω φθορών. Έτσι κρίθηκε απαραίτητο να κατασκευαστούν δείκτες που θα αξιολογούσαν την κατάσταση του οδοστρώματος και θα την ιεραρχούσαν θέτοντας σειρά προτεραιότητας στη συντήρησή τους.

Η σωστή διαχείριση των οδικών τμημάτων και ιδιαίτερα της κατάστασης του οδοστρώματος είναι κάτι που αποτελεί παγκοσμίως μείζονος σημασίας θέμα και γίνονται πολλές προσπάθειες για τη βελτίωση και εξέλιξή της. Οι εταιρίες ακόμα και στον ελλαδικό χώρο έχουν διαπιστώσει τη σημασία αυτή καταβάλλοντας ικανοποιητικά ποσά για το συστηματικό έλεγχο και τη συντήρηση των οδοστρωμάτων. Τα ΣΔΟ εφαρμόζονται όλο και περισσότερο στα εθνικά οδικά δίκτυα από τις εταιρίες που έχουν αναλάβει τη λειτουργία τους. Αξιοποιώντας πληθώρα εργατικού δυναμικού, οργάνων μέτρησης και λογισμικών προγραμμάτων για να μπορούν να διατηρούν σε αποδεκτό επίπεδο το οδικό τμήμα με τις οικονομικότερες λύσεις.

Το παρόν σύγγραμμα συντέλεσε στην κατασκευή ενός δείκτη που θα αποτελεί εργαλείο για την αξιολόγηση των οδοστρωμάτων, αξιοποιώντας τις βάσεις δεδομένων που έχουν κατασκευαστεί από τις μετρήσεις των επιφανειακών χαρακτηριστικών. Ο δείκτης αξιολόγησης της λειτουργικής κατάστασης των οδοστρωμάτων (PFCI) θα μπορούσε να συμπεριληφθεί σε ένα ΣΔΟ ορίζοντας ένα γενικό βαθμό στο οδικό τμήμα ανάλογα με τις μετρήσεις που προέκυψαν για τα λειτουργικά- επιφανειακά χαρακτηριστικά. Ο PFCI αποτελεί μία γραμμική συνάρτηση δύο μελών των

κανονικοποιημένων μετρήσεων των χαρακτηριστικών και των βαρών σημαντικότητας του κάθε χαρακτηριστικού.

Τα βάρη σημαντικότητας προήλθαν από την εφαρμογή της μεθόδου FAHP στη διαχείριση οδοστρωμάτων. Η μέθοδος κατάφερε μέσα από τις απόψεις ειδικών πάνω στη λειτουργία και συντήρηση να δημιουργήσει μία ιεραρχία σημαντικότητας στα κριτήρια αξιολόγησης του οδοστρώματος. Το επίτευγμα της μεθόδου ήταν ότι συμπεριέλαβε ποιοτικά και ποσοτικά κριτήρια υπολογίζοντας τη βαρύτητα τους για το γενικό μέτρο του δείκτη. Η μέθοδος αποδείχθηκε κατάλληλη για το σκοπό της εργασίας και παρουσίασε κάποια ενδιαφέροντα αποτελέσματα στις προτεραιότητες των επιφανειακών χαρακτηριστικών αλλά και των βασικών απαιτήσεων του οδοστρώματος.

Ενδεικτικά, παρατηρήθηκε ότι η ασφάλεια αποτέλεσε τη βασικότερη απαίτηση για την κατάσταση του οδοστρώματος αγγίζοντας το 68%, ενώ δεύτερη σημαντικότερη ήταν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις με ποσοστό 14%. Όσον αφορά τα επιφανειακά χαρακτηριστικά σημαντική προτεραιότητα για τα οδοστρώματα δίνεται στο χαρακτηριστικό αντιολισθηρότητα με ποσοστό 46% όταν τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά κυμαίνονται κάτω από το 17%.

Καθώς όμως οι απόψεις μιας ομάδας ανθρώπων πάντα επιφυλάσσουν μια υποκειμενικότητα και αβεβαιότητα δόθηκε μεγάλη βαρύτητα στον περιορισμό και την προσέγγιση των παραπάνω επιρροών. Η ασάφεια που θα μπορούσε να προκύψει από τις κρίσεις των ειδικών μετριάστηκε από τη χρήση των ασαφή τριγωνικών αριθμών της μεθόδου FAHP δίνοντας βάρη σημαντικότητας για τα κριτήρια που συμπεριλαμβάνουν την αβεβαιότητα.

Επιπλέον, για την περαιτέρω ανάλυση της ασάφειας στον τελικό σκοπό και για το βαθμό που επηρεάζει τις παραμέτρους του δείκτη έγινε μία σύγκριση της απλής AHP και της FAHP, όπου η διαφορά που παρατηρήθηκε βασιζόμενη στο βαθμό ασάφειας έφτασε έως το 25%.

Για τη σωστή ένταξη των μετρήσεων των επιφανειακών χαρακτηριστικών στο δείκτη PFCI προτάθηκε η κανονικοποίηση των τιμών με την καλύτερη δυνατή τιμή του εκάστοτε χαρακτηριστικού, καταλήγοντας έπειτα από τον πολλαπλασιασμό των βαρών σημαντικότητας σε ένα δείκτη κλίμακας 0-100.

Περιγραφικά η εξίσωση του δείκτη δίνεται ως εξής:

$$PFCI = (0,32 \times \text{ολισθηρότητα} + 0,19 \times \text{ομαλότητα} + 0,13 \times \text{επιφανειακές φθορές} + 0,08 \times \text{φωτοανακλαστικά χαρακτηριστικά} + 0,15 \times \text{ποιότητα διαγράμμισης} + 0,13 \times \text{θόρυβος επαφής ελαστικού- οδοστρώματος}) \times 100\%$$

Στις θέσεις των επιφανειακών χαρακτηριστικών τοποθετούνται οι τιμές των μετρήσεων ύστερα από την κανονικοποίησή τους όπως προαναφέρθηκε. Ο δείκτης αυτός είναι σε θέση να αξιολογήσει ποσοσιαία τη λειτουργική κατάσταση του οδοστρώματος και να κατατάξει το οδικό τμήμα από που προήλθαν οι μετρήσεις, με στόχο μια σειρά προτεραιότητας στη συντήρηση και επιδιόρθωση του οδικού άξονα. Το πλεονέκτημα του δείκτη είναι ότι συνυπολογίζει όλα μαζί τα χαρακτηριστικά δίνοντας μία γρήγορη και γενική εικόνα για το οδόστρωμα που αποτελεί αρχή της περαιτέρω μελέτης του. Επιπλέον, στην παρούσα εργασία έγινε μια επιπρόσθετη έρευνα για τη συχνότητα των μετρήσεων των επιφανειακών χαρακτηριστικών και του κόστους συντήρησης των οδοστρωμάτων για τις εταιρίες που στάλθηκαν τα ερωτηματολόγια.

Συνοψίζοντας, στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε μία προσπάθεια απεικόνισης της διαχείρισης των οδοστρωμάτων μέσα από την ελληνική πραγματικότητα. Παρουσιάστηκε η λειτουργική κατάσταση του οδοστρώματος μέσα από τη σκοπιά λειτουργιών που δουλεύουν στα εθνικά οδικά δίκτυα και αντιμετωπίζουν καθημερινά το πρόβλημα της λειτουργίας και συντήρησης μεγάλων αυτοκινητοδρόμων. Επιπλέον, αναφέρθηκαν τα σημαντικά βήματα εξέλιξης των συστημάτων διαχείρισης οδοστρωμάτων στην Ελλάδα και η βαρύτητα που έχουν δώσει οι ελληνικές εταιρίες τα τελευταία χρόνια στη σωστή λειτουργία των οδικών τμημάτων που έχουν αναλάβει.

7.2. Προτάσεις

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας κατέστη δυνατό να δημιουργηθεί ένας δείκτης αξιολόγησης της λειτουργικής κατάστασης του οδοστρώματος με βάση τις γνώμες ειδικών πάνω στη συντήρηση. Παρόλα αυτά, υπάρχουν προτάσεις για περαιτέρω έρευνα οι οποίες συνοψίζονται ως εξής:

- Εφαρμογή του δείκτη σε ελληνικούς αυτοκινητόδρομους με σκοπό την βαθμολόγηση των οδοστρωμάτων τους επιτυγχάνοντας την αξιοπιστία του δείκτη.
- Καθορισμός των επιπέδων της κλίμακας του δείκτη και η επιλογή ενός ορίου που θα δηλώνει μέχρι ποια τιμή του δείκτη δεν είναι

αναγκαία η επέμβαση στα επιφανειακά χαρακτηριστικά του οδοστρώματος. Η παραπάνω ανάλυση προϋποθέτει μία μεγάλη γκάμα εφαρμογών του δείκτη.

- Σύγκριση του δείκτη με άλλους δείκτες που αφορούν την κατάσταση των οδοστρωμάτων.
- Ανάλυση των απόψεων των ειδικών για τις βασικές απαιτήσεις και τα επιφανειακά χαρακτηριστικά με μεθόδους διαφορετικές της AHP και της FAHP.
- Συλλογή δεδομένων από μια μεγαλύτερη ομάδα ειδικών συμπεριλαμβάνοντας και άλλες ειδικότητες για τον καθορισμό και επιπρόσθετων παραμέτρων που θα επηρεάζουν τον δείκτη. Επιπλέον θα μπορούσε να γίνει μία σύγκριση των απόψεων για τη λειτουργική κατάσταση του οδοστρώματος λαμβάνοντας απόψεις και από ακαδημαϊκούς μηχανικούς.
- Ένταξη των μετρήσεων των επιφανειακών χαρακτηριστικών με διαφορετικές συναρτήσεις χρησιμότητας από αυτή της κανονικοποίησης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία:

Μουρατίδης Α. (2008) “Οδοποιία. Η διαχείριση των οδικών έργων” Κεφ: 2,12 σελ. 23,209- 219. Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Νικολαΐδης, Α. (1996). “Οδοποιία Οδοστρώματα – Υλικά Έλεγχος Ποιότητας.” Εκδόσεις Μ. Τριανταφύλλου & Σία, Πρώτη έκδοση, Θεσσαλονίκη

Νικολαΐδης Α. (2011) “Οδοποιία. Οδοστρώματα- Υλικά, Έλεγχος ποιότητας”. Κεφ: 15,16 σελ 876- 964. Εκδόσεις Τριανταφύλλου & Σία, Θεσσαλονίκη.

Βογιατζής Κ. (2012) “Περιβαλλοντική τεχνική & Θεσμικό πλαίσιο εφαρμογής”. Κεφ. 2.4.7.5 σελ 241-255. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.

Ματσούκης Ε. (2008) “Τεχνική της κυκλοφορίας”, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα

Ζήσιμος Ι. (2005) “Αξιολόγηση ηχητικής συμπεριφοράς οδικών κατασκευών”, 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας, Βόλος.

Λεβέντης Α. (2011) “Εκτίμηση παραμέτρων σύνθεσης ασφαλτομιγμάτων στο εργαστήριο μέσω γεωφυσικών μεθόδων.” Διπλωματική εργασία Ε.Μ.Π, Αθήνα.

Παναγοπούλου Μ (2011) “Συστήματα οικονομικής και περιβαλλοντικής διαχείρισης οδοστρωμάτων με χρήση γενετικών αλγόριθμων”, διδακτορική διατριβή Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.

Λουκέρη Ε. (2004) “Ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης φθορών εύκαμπτων οδοστρωμάτων με τη χρήση ασαφών συστημάτων”, Διατριβή διπλώματος ειδίκευσης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών.

Καλτσούνης Α. (2007) “Οδοποιία. Ιστορική αναδρομή” ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ
Μάιος- Ιούνιος 2007

Μαναριώτης Ι. Δ., Θεοδωρακόπουλος Δ. Δ.,Χασιακός Α. Π. (2002) “Ένα
Σύστημα Στήριξης Αποφάσεων για τη βέλτιστη Διαχείριση των Πόρων
Συντήρησης Οδοστρωμάτων”, 3ο Διεθνές Συνέδριο, Ασφαλτικά Μίγματα και
Οδοστρώματα, Θεσσαλονίκη, Νοέμβριος 21-22.

Ευαγγελίδης Δ.(2008) “Οδηγίες για τη Συντήρηση και Λειτουργία της
Εγνατίας Οδού” 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας, Βόλος, Μάιος 18- 20.

Λοΐζος Α., Πλατή Χ., Κανελλαΐδης Γ (2002) “Αξιολόγηση της ομαλότητας
υφιστάμενων ασφαλικών οδοστρωμάτων” 3ο Διεθνές Συνέδριο, Ασφαλτικά
Μίγματα και Οδοστρώματα, Θεσσαλονίκη, Νοέμβριος 21-22.

ΥΠΕΧΩΔΕ (2002) “Οδηγός Επίβλεψης, Μελετών και Κατασκευών (ΟΕΜΚ Β-
9). Εγχειρίδιο Ελέγχων και Ταξινόμησης Φθορών Οδοστρωμάτων”

Ξένη Βιβλιογραφία:

Alias, M. A., Hashim, S. Z. M., and Samsudin, S. (2009) “Using fuzzy analytic
hierarchy process for southern johor river ranking.” Int. J. Soft. Comp. App.,
Vol. 1, No. 1, pp. 62-76.

Kepaptsoglou K., Karlaftis M., and Gkountis J. (2012) “A Fuzzy AHP Model
for Assessing the Condition of Metro Stations.” KSCE Journal of Civil
Engineering (2013).

Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Ministerie van Verkeer en Waterstaat,
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat (2005) Final Technical Report of
project: “Fully Optimised Road Maintenance”. Project funded by the
European Community under the ‘Competitive and Sustainable Growth
Programme (1998-2002), pp. 9-32.

Arliansyah J., Maruyama T. and Takahashi O. (2003) "A development of fuzzy pavement condition assessment", J. Materials, Conc. Struct. Pavements JSCE.

Norlela Ismail, Amiruddin Ismail, Riza Atiq (2009) "An Overview of Expert Systems in Pavement Management" European Journal of Scientific Research.

ASTM (1997) "Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys." ASTM D 5340-93, Vol. 04, section 04.03, PA.

Shahin M. (1998) "Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots." 3rd Printing, Kluwer Academic Publishers, MA.

Robert Otto Rasmussen, Richard Sohaney, Paul Wiegand (2011) "Measuring and Reporting Tire-Pavement Noise Using On-Board Sound Intensity (OBSI)" Concrete Pavement Surface Characteristics Program.

Dyer J., Fishburn P., Steuer R., Wallenius J, Zionts S (1992) "Multiple Criteria Decision Making, Multiattribute Utility Theory: The Next Ten Years" Vol. 38, No. 5. (May, 1992), pp. 645-654, Published by INFORMS.

Oliver, J., Halligan, S. (2006) "A targeted approach to the measurement of skid resistance", ARRB Conference, 22nd, Canberra

Meixner O (2009) "Fuzzy AHP group decision analysis and its application for the evaluation of energy sources." Proc 10th International Symposium on the Analytic Hierarchy/Network Process Multicriteria Decision Making. University of Pittsburgh Pittsburgh, Pennsylvania, USA.

Chassiakos A., Panos G. and Theodorakopoulos D (2006) "A knowledge-based System for Pavement Management", Proceedings of the Fifth International Conference on Engineering Computational Technology.

Fereira A., Picado-Santos L., Antunes A. (2002) "A segment – linked optimization model for deterministic pavement management systems", The International Journal of Pavement Engineering, Vol. 3 (2), pp. 95-105.

Hudson W., Hudson S. (1994) "Pavement Management Systems lead the way for infrastructure management systems", 3rd International Conference on Managing Pavements, Vol. 2, pp. 99-112.

Li J., Simha K. C. (2004) "A Methodology for Multicriteria Decision Making in Highway Asset Management", 83rd Annual TRB Meeting Washington, DC

Sayers M., Karamihas S. (1996) "Interpretation of road roughness profile data", Report prepared for Federal Highway Administration Contract

OECD (1984) "Road Surface Characteristics – Their Interaction and their Optimization." OECD Scientific Expert Group, Road Transport Research, Paris, France

EAPA (European Asphalt Pavement Association). (2010) "What is Asphalt." (Online)

Reza F., Boriboonsomsin K., Bazlamit S. (2006) "Development of a Pavement Quality Index for the State of Ohio." Paper for 85th Annual Meeting of The Transportation Research Board, Washington, D.C., TRB 2006 Annual Meeting

Luhr D., Kinne Ch., Uhlmeyer J., Mahoney J. (2010) What We Don't Know About Pavement Preservation In: First International Conference on Pavement Preservation, Newport Beach CA, April 13-15

Hegmon R., Gillespie D., Meyer E., (1973) "Measurement Principles Applied to Skid Testing, Skid Resistance of Highway Pavements", American Society for Testing and Materials, pp. 78-90

Harker P., Vargas L. (1987) "The theory of ratioscale estimation: Saaty's analytic hierarchy process", *Management Science*, Vol. 33, No. 11, pp. 1383-1403.

Lewis S., Sutton J. (1993) "Demonstration Project No. 85: GIS/Video Imagery Applications", Federal Highway Administration, Washington, D.C.

Saaty T. (1977) "A scaling method for priorities in hierarchical structures." *J. Math. Psychol.*, 15 (3), 234-281

Leung L., Chao D. (2000) "On consistency and ranking of alternatives in Fuzzy AHP." *Eur. J. Oper. Res.*, 124, 102-113

Tag Y, Beynon M. (2005) "Application and development of a fuzzy analytic hierarchy process within a capital investment study." *J. Econ. Manag.*, Elsevier, Vol. 1, No. 2, pp. 207–230

Atthirawong W., MacCarthy B. (2002) "An Application of the Analytical Hierarchy Process to International Location Decision-Making." 7th Cambridge Research Symposium on International Manufacturing, Centre for International Manufacturing, Cambridge University, September.

Διαδικτυακές αναφορές:

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

<http://www.pavetest.gr/el/odostrwmata/rosy-software.html>

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

<http://www.pavementinteractive.org>

<http://www.esri.com/software/arcgis/arcinfo>

http://bpmsg.com/academic/ahp_calc.php

<http://www.eapa.org/promo.php?c=173>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας με θέμα:

ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Του φοιτητή: ΚΑΡΛΑΥΤΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ

ΒΟΛΟΣ 2016

Αξιότιμοι κύριοι,

Στο πλαίσιο διπλωματικής εργασίας που εκπονείται από τον υπογραφόμενο, τελειόφοιτο του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, δημιουργήθηκε το ερωτηματολόγιο που ακολουθεί και το οποίο απευθύνεται σε έμπειρους μηχανικούς που ασχολούνται με τη συντήρηση οδοστρωμάτων.

Η εργασία αφορά στην διερεύνηση της σημαντικότητας των επιφανειακών-λειτουργικών χαρακτηριστικών των οδοστρωμάτων και τη δημιουργία δεικτών με τη μέθοδο fuzzy – AHP (ένα είδος πολύκριτηριακής ανάλυσης) η οποία βασίζεται στις απαντήσεις σε ειδικά διαμορφωμένο ερωτηματολόγιο από ειδικούς (experts).

Λαμβάνοντας υπόψη την ενασχόλησή σας με την λειτουργία και συντήρηση καθώς και το γεγονός ότι σε θέσεις ευθύνης βρίσκονται μηχανικοί και συγκοινωνιολόγοι μεγάλης εμπειρίας θα θέλαμε τη συμβολή σας και συγκεκριμένα τη συμπλήρωση του ερωτηματολογίου που ακολουθεί από 2 ή 3 μηχανικούς που ασχολούνται με τη συντήρηση της οδού και των οδοστρωμάτων ειδικότερα.

Η παρούσα έρευνα γίνεται στο πλαίσιο διπλωματικής εργασίας που επιβλέπεται από τον Λέκτορα του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, κ. Παντελή Κοπελιά και τον Λέκτορα του Τμήματος Αγρ. Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ κ. Κωνσταντίνο Κεπαπτσόγλου.

Το ερωτηματολόγιο θα αποστέλλει επίσης και σε άλλους αντίστοιχους φορείς και εταιρείες με παρόμοιο αντικείμενο της δικής σας.

Σας ευχαριστώ πολύ εκ των προτέρων και είμαι στη διάθεσή σας για διευκρινήσεις και παρατηρήσεις.

Με τιμή

Παναγιώτης Καρλαύτης

Τηλ. 6977413028

Ερωτηματολόγιο

ΟΔΗΓΙΕΣ - ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Με βάση την εμπειρία σας από την λειτουργία και συντήρηση του αυτοκινητοδρόμου, τους ελέγχους και επιθεωρήσεις, τις παρεμβάσεις και επιδιορθώσεις αλλά και την άποψη των χρηστών που έχετε υπόψη σας, παρακαλούμε συμπληρώστε το παρακάτω ερωτηματολόγιο.

Το ερωτηματολόγιο αφορά την αξιολόγηση και τη βαθμολόγηση (ανά δύο) των κριτηρίων: ασφάλεια, άνεση, περιβάλλον, κόστος (λειτουργού) και των υποκριτηρίων που είναι τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των οδοστρωμάτων (ολισθηρότητα, επιπεδότητα, θόρυβος κλπ)

Για τη σύγκριση και αξιολόγηση των κριτηρίων και υποκριτηρίων λάβετε υπόψη σας τις εξής παραδοχές:

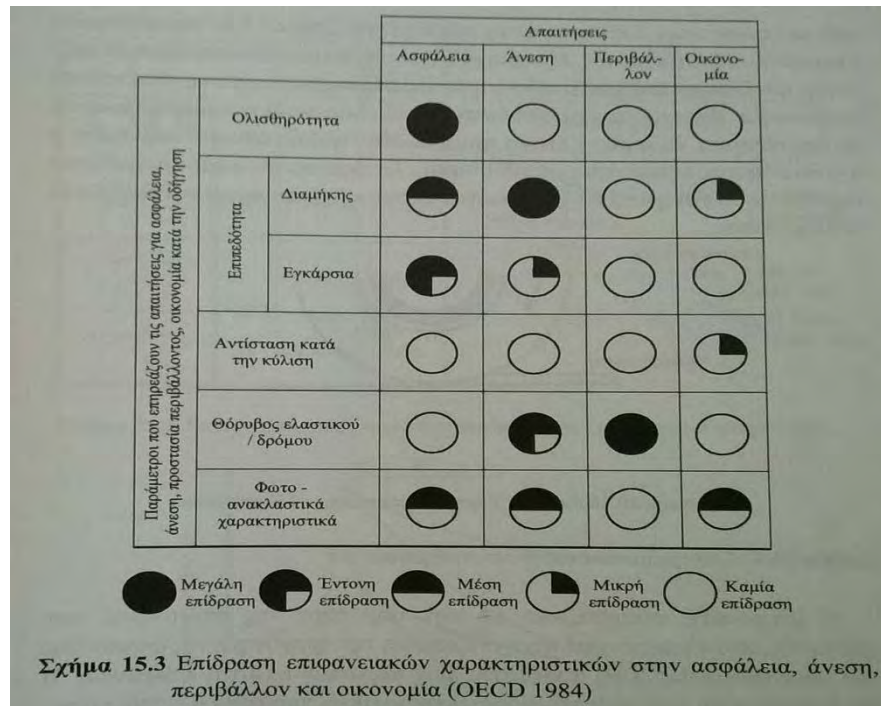
1. Η δομική κατάσταση και η μηχανική συμπεριφορά του οδοστρώματος θεωρείται σταθερή και δεν συναξιολογείται.

2. Η αξιολόγηση σας θα γίνει για μια τυπική περίοδο εν μέσω της περιόδου λειτουργίας και όχι για περιόδους είτε στην αρχή παραλαβής του έργου, είτε κοντά στα έτη των προγραμματισμένων επεμβάσεων βαριάς συντήρησης.

3. Για να είναι εφικτή η σύγκριση μεταξύ κριτηρίων/χαρακτηριστικών θεωρείστε μέσες τιμές ποιότητας/πληρότητας κάθε χαρακτηριστικού. Για παράδειγμα η σύγκριση της ποιότητας διαγράμμισης όταν η διαγράμμιση έχει φτάσει στο τέλος του χρόνου ζωής μπορεί να την καθιστά σημαντικότερη σε μεγάλο βαθμό σε σχέση με άλλα κριτήρια ενώ αυτό που ενδιαφέρει στην παρούσα έρευνα είναι η σύγκριση των κριτηρίων με ουδέτερη – χωρίς τη σύγκριση τιμών – ματιά. Πχ η διαγράμμιση δεν είναι σημαντικότερη από την επιπεδότητα, συνολικά (αν ισχύει αυτό κατά την άποψή σας).

4. Με βάση τη βιβλιογραφία έχει καταγραφεί η επίδραση κάθε χαρακτηριστικού στις βασικές απαιτήσεις οδοστρώματος (ασφάλεια, άνεση, περιβάλλον, οικονομία). Στο παρακάτω σχήμα δίνεται η επίδραση επιφανειακών χαρακτηριστικών (με μια διαφορετική ταξινόμηση) στις απαιτήσεις που προαναφέρθηκαν. Παρόλα αυτά η έρευνα αποσκοπεί στην διατύπωση μιας πραγματικής αξιολόγησης, όπως αυτή μπορεί να προσφερθεί από τους λειτουργούς – συντηρητές στη χώρας μας. Επίσης αυτό που προσθέτει η παρούσα έρευνα είναι το κριτήριο του κόστους του λειτουργού (καθαρισμός οδοστρώματος, εργατώρες οπτικής ή άλλης επιθεώρησης, μικρής/μεσαίας κλίμακας

επιδιορθώσεις κλπ) όχι σε απόλυτα νούμερα αλλά σε σημαντικότητα σε σχέση με τα άλλα κριτήρια.



5. Ως προς τα χαρακτηριστικά σημειώνεται:

- Η ολισθηρότητα και η αντίσταση κύλισης θεωρούνται από κοινού διότι βασίζονται εν πολλοίς στα ίδια χαρακτηριστικά του οδοστρώματος (πχ μικρο-μακρο-υφή κλπ)
- Δε γίνεται διάκριση μεταξύ διαμήκους και εγκάρσιας ομαλότητας
- Στις επιφανειακές βλάβες θεωρείστε όλες τις ρηγματώσεις, φθορές, αποφλοιώσεις ή και μπαλώματα που προκύπτουν από τη λειτουργία και όχι λόγω δομικής αστοχίας
- Για το κριτήριο του κόστους λειτουργού θεωρείστε συνολικά τις ενέργειες συντήρησης (καθαρισμός, επιδιορθώσεις, επιθεωρήσεις) που είναι αναγκαίες για κάθε χαρακτηριστικό εάν και εφόσον αυτό παρουσιάσει πρόβλημα

ΜΕΡΟΣ 1^ο

1. Συγκρίνετε τη σημαντικότητα των απαιτήσεων/κριτηρίων μεταξύ τους (σύγκριση ανά δύο)

Κριτήριο A	Κριτήρια B	Σημαντικότερο (σημειώστε A ή B)	Πόσο Σημαντικότερο; (σημειώστε 1-9)
Ασφάλεια	Άνεση		
	Περιβάλλον		
	Κόστος Λειτουργού		
Άνεση	Περιβάλλον		
	Κόστος Λειτουργού		
Περιβάλλον	Κόστος Λειτουργού		

2. Σημειώστε με βαθμολόγηση από το 1- 5 την επίδραση κάθε υπο-κριτηρίου στις απαιτήσεις-κριτήρια της ασφάλειας, της άνεσης, του περιβάλλοντος, και του κόστους λειτουργού, κατά την άποψή σας

Υποκριτήρια	Ασφάλεια	Άνεση	Περιβάλλον	Κόστος Λειτουργού
Ολισθηρότητα Αντίστασης κύλισης				
Ομαλότητα				
Επιφανειακές βλάβες- φθορές				
Φωτοανακλαστικά χαρακτηριστικά				
Ποιότητα διαγράμμισης				
Θόρυβος				

3. Συγκρίνετε τη σημαντικότητα των υπο-κριτηρίων μεταξύ τους (σύγκριση ανά δύο)

Κριτήριο A	Κριτήρια B	Σημαντικότερο (σημειώστε A ή B)	Πόσο Σημαντικότερο; (σημειώστε 1-9)
Ολισθηρότητα Αντίσταση Κύλισης	Ομαλότητα		
	Επιφανειακές βλάβες-φθορές		
	Φωτοανακλαστικά χαρακτηριστικά		
	Ποιότητα διαγράμμισης		
	Θόρυβος		
Ομαλότητα	Επιφανειακές βλάβες-Φθορές		
	Φωτοανακλαστικά χαρακτηριστικά		
	Ποιότητα διαγράμμισης		
	Θόρυβος		
Επιφανειακές βλάβες-φθορές	Φωτοανακλαστικά χαρακτηριστικά		
	Ποιότητα διαγράμμισης		
	Θόρυβος		
Φωτοανακλαστικά χαρακτηριστικά	Ποιότητα διαγράμμισης		
	Θόρυβος		
Ποιότητα διαγράμμισης	Θόρυβος		

Μέρος 2^ο

(οι παρακάτω ερωτήσεις γίνονται για να διασφαλίσουν την αξιοπιστία των ερωτηματολογίων και εν συνεχεία των αποτελεσμάτων σε περίπτωση δημοσίευσης της εργασίας και της συνήθους ερώτησης κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας των ερωτηματολογίων σε ειδικούς, «κατά πόσο οι αξιολογητές είναι ειδικοί και έχουν σχετική εμπειρία, τι είδους έργα και τι κόστους διαχειρίζονται» κλπ. Κατά συνέπεια θα θέλαμε από όλους τους ερωτώμενους- ειδικούς, κάποια γενικά συγκεντρωτικά στατιστικά)

1. Αναφέρατε τη θέση σας και το φορέα σας
2. Αναφέρατε τα χρόνια εμπειρίας σας σχετικά με τη λειτουργία συντήρηση (η και κατασκευή) οδοστρωμάτων, συνολικά, συμπεριλαμβανομένων και παλιότερων θέσεων που είχατε σε άλλους φορείς, εταιρίες κλπ

(οι παρακάτω ερωτήσεις σε περίπτωση συμπλήρωσης του ερωτηματολογίου από πάνω από ένα άτομο στον ίδιο φορέα, απαντώνται από έναν που πιθανώς είναι ο ανώτερος ιεραρχικά και έχει τη σχετική γνώση)

3. Η εταιρεία σας (ο φορέας σας) έχει σύστημα διαχείρισης οδοστρωμάτων;
4. Αν ναι, αναφέρεται συνοπτικά τι είδους μετρήσεις γίνονται και με τι συχνότητα.
5. Προσδιορίστε χονδρικά το κόστος ενός τυπικού έτους λειτουργίας που αφορά τα οδοστρώματα (επιθεωρήσεις, μετρήσεις, επιδιορθώσεις κλπ, συμπεριλαμβανομένων και των διαγραμμίσεων). Τι ποσοστό του συνολικού κόστους συντήρησης του αυτοκινητοδρόμου (τυπικό έτος) είναι αυτό;