



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ
ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΔΟΚΩΜΕΝΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΖΩΗΣ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΓΗΡΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗΣ
ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ
ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ, ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΥΣ

ΣΑΛΑΦΟΥΝΤΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΤΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ
(Α.Μ.: 02110620)

ΣΟΦΙΑΝΙΔΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ
ΤΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ
(Α.Μ.: 02110618)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ
ΚΑΙ ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΟΧΗΜΑΤΩΝ
ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΥ ΕΘΝΙΚΟΥ ΜΕΤΣΟΒΙΟΥ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ
ΘΕΟΔΩΡΟΣ Ν. ΚΩΣΤΟΠΟΥΛΟΣ D.SC.

"Κάνε άλμα πιο γρήγορο από την φθορά"

"Οδυσσέας Ελύτης"

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2013

ΣΑΛΑΦΟΥΝΤΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΤΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ
(Α.Μ.: 02110620)

ΣΟΦΙΑΝΙΔΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ
ΤΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ
(Α.Μ.: 02110618)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΥΧΟΙ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Μ.Π.

Copyright © Γεώργιος Σαλαφουντίδης, 2013.

Copyright © Δημήτριος Σοφιανίδης, 2013.

Έκδοση 1^η/Version 1st

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τους συγγραφείς και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και γι'αυτό το λόγο ουδεμία ευθύνη φέρεται από τούδε και στο εξής στην εφαρμογή αυτών των μεθοδολογιών στους εξοπλισμούς.

*Αφιερώνεται
στις οικογένειές μας,
στη Λίλη
και στη Χρύσα.*



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αισθανόμαστε την ανάγκη να ευχαριστήσουμε θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή, Διευθυντή Εργαστηρίου Στοιχείων Μηχανών και Διευθυντή Εργαστηρίου Οχημάτων της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Θεόδωρο Ν. Κωστόπουλο D.Sc, ο οποίος μας εμπιστεύθηκε και μας έδωσε τη δυνατότητα να ολοκληρώσουμε τη Διπλωματική Εργασία, εμπλουτίζοντας τις γνώσεις μας σε θέματα συντήρησης και ανακατασκευών. Το ενδιαφέρον του, η ειλικρινής και εποικοδομητική του κριτική, οι επιστημονικές του παρατηρήσεις, οι εύστοχες επεμβάσεις και υποδείξεις του συνέβαλαν καθοριστικά στην άμεση προσπέλαση των διαφόρων σκοπέλων που συναντούσαμε κατά διαστήματα για την ολοκλήρωση του παρόντος έργου. Δίχως την πολύτιμη συμβολή του, η συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία δε θα είχε ολοκληρωθεί ποτέ, διότι από την αρχή βοήθησε στη "γέννηση" ευφυών μεθόδων και στην οργάνωση των συλλογισμών μας.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η μελέτη για την εκτίμηση της διάρκειας ζωής λειτουργίας των οχημάτων, μέσω της ανάλυσης των διαδικασιών γήρανσης και της διερεύνησης μοντέλων καθορισμού κριτηρίων ανακατασκευής, συντήρησης και κόστους.

Τονίζεται ότι η διαδικασία της ανακατασκευής των οχημάτων εφαρμόζεται ευρέως σε παγκόσμιο επίπεδο, διότι επιφέρει τεράστια οικονομικά οφέλη έναντι της προμήθειας καινούριων οχημάτων. Επιπροσθέτως, θα πρέπει να επισημανθεί ότι έχουν διατυπωθεί αρκετά μαθηματικά μοντέλα με σκοπό την ορθή λήψη αποφάσεων περί της ανακατασκευής των οχημάτων, τα οποία βασίζονται είτε στην ελαχιστοποίηση του κόστους και γενικότερα σε οικονομικούς όρους είτε έχουν ως βάση παραμέτρους όπως η αξιοπιστία των οχημάτων, η λειτουργική κατάσταση αυτών, η ανταγωνιστικότητα και η ένταση των κρίσιμων βλαβών.

Η έλλειψη ενιαίας "πολιτικής ανακατασκευών" και εφαρμογής συγκεκριμένου μοντέλου για την εκτίμηση της προσδοκώμενης διάρκειας ζωής λειτουργίας των οχημάτων, καθιστά επιβεβλημένη την ανάγκη ανάλυσης μοντέλων για την αποκρυσταλλοποίηση του ζητήματος της ανακατασκευής των οχημάτων. Μερικά από αυτά παρουσιάζονται, εκτενώς, στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.



ABSTRACT

The aim of this thesis was a study in order to estimate the expected operational life of vehicles using the aging process analysis and investigating models for the establishment of remanufacturing criteria and maintenance costs.

It is emphasized that the process of reconstruction of vehicles widely applied worldwide because brings huge economic benefits to the supply of new vehicles. Furthermore, it should be noted that there have already been several mathematical models for making correct decisions about reconstruction of vehicles, which are either based on minimizing costs and general economic conditions in either as the basis of parameters such as reliability of vehicles, the functional situation of these, competitiveness and intensity of critical faults.

The lack of a single "*policy of reconstruction*" and application of a specific model to estimate the expected operational life of vehicles, makes imperative the need to analyze models for understanding the issue of reconstruction of vehicles. Some of them are presented extensively in this thesis.



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η Διπλωματική Εργασία αυτή πραγματεύεται την ανάλυση κάποιων από τα υπάρχοντα μαθηματικά μοντέλα καθορισμού της προσδόκιμης διάρκειας ζωής των οχημάτων. Κρίνεται σκόπιμο να περιγραφεί συνοπτικά το περιεχόμενο των επιμέρους κεφαλαίων της Διπλωματικής Εργασίας, με στόχο την καλύτερη κατανόηση των μαθηματικών μοντέλων και την σαφέστερη διάρθρωση αυτής.

Το 1ο κεφάλαιο περιέχει κάποιους από τους βασικότερους ορισμούς που αφορούν στην ανακατασκευή των οχημάτων, παρουσιάζει στοιχεία για τη μεγάλη χρησιμότητα των ανακατασκευών, καθώς και μερικές από τις υπάρχουσες "πολιτικές ανακατασκευών". Επιπλέον, αναλύονται επιγραμματικά οι κυριότερες τεχνικές συντήρησης που έχουν επικρατήσει σήμερα και επισημαίνονται οι βασικότερες διαφορές μεταξύ τους. Δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στη συντήρηση, διότι η ποιότητα αυτής δύναται να καθορίσει τον πιθανό χρόνο υλοποίησης της ανακατασκευής.

Το 2ο κεφάλαιο αναλύει την έννοια της "γήρανσης" των οχημάτων, παρουσιάζει τις κυριότερες κατηγορίες αυτής, καθώς και τις επιπτώσεις που επιφέρει στη λειτουργική τους κατάσταση. Στη συνέχεια, εισάγονται οι ορολογίες της αξιοπιστίας, της επισκευασιμότητας και της διαθεσιμότητας των οχημάτων. Στο τελευταίο τμήμα του κεφαλαίου αυτού, περιγράφεται η έννοια των βλαβών, οι βασικότερες κατηγορίες αυτών και πραγματοποιείται ποσοτική ανάλυσή τους.

Στο 3ο κεφάλαιο αναπτύσσεται η μεθοδολογία του κόστους κύκλου ζωής, αναφέρονται οι κυριότερες κατηγορίες κόστους και περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθεί η εν λόγω μεθοδολογία.

Στο 4ο κεφάλαιο αναπτύσσεται το πρώτο μαθηματικό μοντέλο για τον καθορισμό των κριτηρίων ανακατασκευής των οχημάτων.

Στο 5ο κεφάλαιο αναλύεται το δεύτερο μαθηματικό μοντέλο για τον καθορισμό των κριτηρίων ανακατασκευής των οχημάτων, το οποίο βασίζεται στον υπολογισμό της ισοδύναμης δαπανηθείσας διάρκειας ζωής αυτών, με βάση τη χρήση και την κόπωσή τους.

Στο 6ο κεφάλαιο γίνεται εκτίμηση των κριτηρίων ανακατασκευής και του οικονομικού ορίου επισκευής των οχημάτων με τη χρήση του μοντέλου αθροιστικού κόστους.

Στο 7ο κεφάλαιο αξιολογείται η διαδικασία της ανακατασκευής των οχημάτων με την εκτίμηση συγκεκριμένων ποσοτικών μεγεθών, όπως η επιχειρησιακή διαθεσιμότητα των οχημάτων, ο μέσος χρόνος μεταξύ διαδοχικών συντηρήσεων και η ανάλυση του κόστους κύκλου ζωής.

Τονίζεται ότι η Διπλωματική αυτή Εργασία αποτελεί μια αρχική προσπάθεια προσέγγισης του ζητήματος ανακατασκευής των οχημάτων και μακροπρόθεσμα δύναται να βελτιωθεί περαιτέρω. Τα μαθηματικά μοντέλα που αναπτύσσονται στην παρούσα Διπλωματική Εργασία μπορούν να αποτελέσουν αυτοτελή θέματα μελετών, ώστε να αναλυθούν εκτενέστερα, με απώτερο στόχο την εκπαίδευση των τμημάτων συντήρησης για τη λήψη οικονομικότερων και πιο συμφέρουσων λύσεων, όσον αφορά στις αποφάσεις περί ανακατασκευών των οχημάτων. Επισημαίνεται ότι τα δεδομένα τα οποία συλλέγονται από τα τμήματα συντήρησης δύναται να αποτελέσουν σημαντική πηγή πληροφοριών, με την προϋπόθεση να αξιολογούνται και να αξιοποιούνται κατάλληλα. Η προηγούμενη διαπίστωση ενισχύει τη γνώστη ρήση:

"Τα δεδομένα πλούσια, αλλά οι πληροφορίες φτωχών".

"Karoor 1996".



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ-

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

1.1. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	1
1.1.1. ΙΣΤΟΡΙΚΟ-ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ-ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	1
1.1.2. ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	7
1.1.3. ΚΡΙΤΗΡΙΑ-ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	9
1.1.4. ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΕ ΜΕΡΙΚΕΣ "ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ" ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	10
1.1.4.1. ΓΕΝΙΚΑ.....	10
1.1.4.2. FTA (FEDERAL TRANSIT ADMINISTRATION) POLICY.....	10
1.1.4.3. SRP (STANDARD REPLACEMENT POLICY).....	11
1.1.4.4. OVERHAUL AND REPAIR (O&R) PROGRAM.....	12
1.2. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΕΩΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	13
1.2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	13
1.2.2. ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....	15
1.2.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....	16
1.2.3.1. ΓΕΝΙΚΑ.....	16
1.2.3.2. ΕΠΙΔΙΟΡΘΩΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ (BREAKDOWN OR CORRECTIVE MAINTENANCE).....	16
1.2.3.3. ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ (PREVENTIVE MAINTENANCE).....	17
1.2.3.4. ΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ (TOTAL PRODUCTIVE	

	MAINTENANCE-TPM).....	18
1.2.3.5.	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ (RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE-RCM).....	19
1.2.3.6.	ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ (PREDICTIVE MAINTENANCE).....	20
1.2.3.7.	ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ (DESIGN-OUT MAINTENANCE).....	23

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ "ΓΗΡΑΝΣΗΣ" ΟΧΗΜΑΤΩΝ-ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ - ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΒΛΑΒΩΝ

2.1.	ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ "ΓΗΡΑΝΣΗΣ" ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	27
2.1.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ "ΓΗΡΑΝΣΗΣ" ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	27
2.1.2.	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΗΣ "ΓΗΡΑΝΣΗΣ" ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	28
2.1.3.	ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΚΑΤΑΔΕΙΚΝΥΟΥΝ ΤΗ "ΓΗΡΑΝΣΗ" ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	34
2.2.	ΒΑΣΙΚΕΣ ΟΡΟΛΟΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ-ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	36
2.2.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	36
2.2.2.	ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ-ΕΠΙΣΚΕΥΑΣΙΜΟΤΗΤΑ-ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	36
2.2.3.	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ-ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	38
2.3.	ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΒΛΑΒΩΝ-ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΒΛΑΒΩΝ	43
2.3.1.	ΓΕΝΙΚΑ-ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΒΛΑΒΗΣ.....	43
2.3.2.	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΒΛΑΒΩΝ.....	43
2.3.3.	ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΒΛΑΒΩΝ.....	45

2.3.4.	ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΒΛΑΒΩΝ.....	46
2.3.5.	ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΒΛΑΒΩΝ.....	48

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ-LIFE CYCLE COST (LCC)-ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ

3.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	55
3.2.	ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ.....	56
3.3.	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΑΣ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ.....	56
3.4.	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ (LCC) ΚΑΙ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΖΩΗΣ.....	60
3.5.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ (LCCA)-ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ.....	61
3.6.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ (LCC).....	65
3.7.	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ (LCC).....	69
3.8.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο. ΠΡΩΤΟ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

4.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	73
4.2.	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΒΑΣΙΚΟΥ ΣΤΟΧΟΥ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	74
4.2.1.	ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ ΔΑΠΑΝΗΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΚΕΥΗ.....	75

4.2.2.	ΒΑΣΗ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ ΔΑΠΑΝΗΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΚΕΥΗ.....	75
4.2.3.	ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ ΔΑΠΑΝΗΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΚΕΥΗ.....	75
4.3.	ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	76
4.4.	ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ.....	77
4.4.1.	ΚΟΣΤΟΣ ΑΠΟΚΤΗΣΗΣ.....	77
4.4.2.	ΚΟΣΤΟΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ.....	77
4.4.3.	ΚΟΣΤΟΣ ΔΙΑΚΟΠΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ.....	78
4.5.	ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ.....	79
4.6.	ΚΟΣΤΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ.....	79
4.6.1.	ΚΟΣΤΟΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ.....	81
4.6.2.	ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗ ΑΞΙΑ ΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ.....	82
4.6.3.	ΚΟΣΤΟΣ ΔΙΑΚΟΠΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ.....	85
4.7.	ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΠΡΟΣΔΟΚΙΜΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΖΩΗΣ ΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ.....	87
4.7.1.	ΓΕΝΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ.....	87
4.7.2.	ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ.....	91
4.7.3.	ΑΠΑΞΙΩΣΗ ΤΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ.....	94
4.8.	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΔΟΚΙΜΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΖΩΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΥ ΟΡΙΟΥ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	96
4.8.1.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ.....	100
4.8.2.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗΣ ΑΞΙΑΣ.....	100
4.8.2.1.	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΤΑΘΕΡΑΣ b	101
4.8.2.2.	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΤΑΘΕΡΑΣ q	102
4.8.3.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΔΙΑΚΟΠΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΛΟΓΩ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....	105
4.8.4.	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΧΡΗΣΗΣ (ΑΠΕΡΙΟΡΙΣΤΗ Ή ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗ ΧΡΗΣΗ).....	110

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο. ΔΕΥΤΕΡΟ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	115
5.2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ	117
5.3. ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΔΟΚΙΜΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΘΕΙΣΑ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ.....	119
5.3.1. ΓΕΝΙΚΑ.....	119
5.3.2. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ (ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΔΙΑΝΥΘΕΝΤΑ ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΑ ΟΛΟΥ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ).....	120
5.3.3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΘΕΙΣΑΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΖΩΗΣ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	121
5.3.4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ ΚΟΠΩΣΗΣ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	121
5.3.5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΔΟΚΙΜΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ELC.....	122
5.3.6. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΔΟΚΙΜΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΗΛΙΚΙΑ ΤΟΥΣ.....	124
5.3.7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟΥ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ.....	125

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο. ΤΡΙΤΟ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

6.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	127
--------------------	-----

6.2. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΓΙΑ ΤΗ ΛΗΨΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ.....	132
6.2.1. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	132
6.2.1.1. ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ.....	133
6.2.1.2. ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΟΡΙΟΥ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ.....	135
6.3. ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ	137
6.3.1. ΤΟ ΒΑΣΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.....	137
6.3.2. ΤΟ CCM ΣΕ ΒΑΘΟΣ ΒΑΣΙΚΟ.....	141
6.4. ΑΠΟΦΑΣΕΙΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΖΟΜΕΝΕΣ ΑΠΟ ΤΟ CCM.....	145
6.4.1. ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗ.....	145
6.5. ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΔΟΚΙΜΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΖΩΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΥ ΟΡΙΟΥ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ.....	147
6.5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΓΕΝΙΚΑ.....	147
6.5.2. ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ	148
6.5.3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΓΡΑΜΜΩΝ GEL ΚΑΙ NEL.....	151
6.5.4. ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΟΡΙΟΥ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ.....	153
6.5.5. ΑΠΟΦΑΣΗ ΓΙΑ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ.....	156

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΩΝ ΠΟΣΟΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ

7.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	162
7.2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	163
7.2.1. ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	164
7.2.1.1. ΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ.....	164
7.2.1.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ.....	165

7.2.1.3.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΛΑΒΩΝ.....	166
7.2.2.	ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	168
7.3.	ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	169
7.3.1.	ΚΥΡΙΑ ΕΡΩΤΗΣΗ.....	169
7.3.2.	ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΕΣ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ.....	170
7.3.2.1.	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ.....	170
7.3.2.2.	ΣΤΟΧΟΙ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ.....	171
7.4.	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΑΚΑΣΙΑΣ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	172
7.4.1.	ΜΕΣΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΤΑΞΥ ΔΙΑΔΟΧΙΚΩΝ ΒΛΑΒΩΝ (MTBM)- ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ (A ₀).....	172
7.4.2.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	176

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ
ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ
ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ
ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΠΟΥ ΒΑΣΙΖΕΤΑΙ ΣΤΗΝ
ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ.....**

A.1.	ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....	178
A.1.1.	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΤΥΠΟΥ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ.....	179
A.1.1.1.	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟ ΤΕΣΤ ΠΕΡΙ ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΒΛΑΒΩΝ.....	180
A.1.1.2.	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟ ΤΕΣΤ ΠΕΡΙ ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΒΛΑΒΩΝ.....	182
A.1.1.3.	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟ ΤΕΣΤ ΠΕΡΙ ΚΑΛΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ WEIBULL.....	183

A.1.2.	ΚΑΤΑΝΟΜΗ WEIBULL-ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ α, β.....	185
A.1.2.1.	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ α, b ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ WEIBULL ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ NELSON.....	186
A.1.2.2.	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟ α ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ β ΚΑΙ γ.....	187
A.1.3.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΕΝΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ.....	188
A.1.3.1.	ΕΝΤΑΣΗ ΤΩΝ ΒΛΑΒΩΝ.....	188
A.1.3.2.	ΜΕΣΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΤΑΞΥ ΒΛΑΒΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ WEIBULL.....	188
A.1.4.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΕΝΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ.....	189
A.1.4.1.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΒΛΑΒΩΝ.....	189
A.1.4.2.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΤΩΝ ΒΛΑΒΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ WEIBULL.....	190
A.1.5.	ΑΠΟΦΑΣΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....	191
A.2.	ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ.....	191
A.3.	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ.....	192
A.3.1.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ.....	192
A.3.1.1.	ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ ΚΑΙ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ ΕΝΟΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ.....	192
A.3.1.2.	ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΕΝΟΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ.....	195
A.3.2.	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΖΩΗΣ ΕΝΟΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ.....	196
A.3.2.1.	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΖΩΗΣ ΕΝΟΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ (LIFE CYCLE COST).....	196
A.3.2.2.	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΖΩΗΣ ΕΝΟΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΕΝΤΑΣΗ ΒΛΑΒΩΝ.....	197
A.4.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	197

<u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΠΡΟΣΔΟΚΙΜΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ</u>	
<u>ΖΩΗΣ ΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΥΠΟ</u>	
<u>ΚΑΘΟΡΙΣΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....</u>	199
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>	209



ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1:	Ποσοστά εξοικονόμησης ενέργειας και πρόληψης περιβαλλοντικής ρύπανσης των ανακατασκευασμένων κινητήρων.....	8
Πίνακας 1.2:	Πίνακας με τις κατηγορίες λεωφορείων-τεχνικά χαρακτηριστικά-όρια ανακατασκευών.....	11
Πίνακας 1.3:	Πίνακας Προληπτικής Συντήρησης για λεωφορεία.....	18
Πίνακας 1.4:	Πίνακας με σημαντικές βελτιώσεις παραμέτρων μετά την εφαρμογή της συντήρησης ακριβείας.....	25
Πίνακας 2.1:	Πίνακας που αναπαριστά τις κατηγορίες "Aging Equipment" και τους ορισμούς αυτών.....	33
Πίνακας 2.2:	Πίνακας που αναπαριστά μερικές από τις επιπτώσεις της "γήρανσης" και σε ποιους τύπους "γήρανσης" διαπιστώνονται.....	35
Πίνακας 3.1:	Κύριες μέθοδοι οικονομικής αξιολόγησης για την LCC, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους και σε ποιες περιπτώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν.....	70
Πίνακας 4.1:	Πίνακας που αναπαριστά τους διάφορους τύπους κόστους-χρήσης εξοπλισμού για τον καθορισμό της προσδόκιμης διάρκειας ζωής.....	92
Πίνακας 4.2:	Πίνακας που αναπαριστά τις εξισώσεις για τον καθορισμό της προσδόκιμης διάρκειας ζωής μέσω των διάφορων κατηγοριών τύπων κόστους-χρήσης.....	93
Πίνακας 4.3:	Πίνακας όπου αποτυπώνονται η ηλικία και τα κόστη υποστήριξης του	

	τυχαίου δείγματος των 150 οχημάτων.....	96
Πίνακας 4.4:	Πίνακας στον οποίο αποτυπώνεται η διαδικασία εκτίμησης του μέσου κόστους υποβάθμισης και της υπολειμματικής αξίας ανά όχημα για τον προσδιορισμό της σταθεράς a	103
Πίνακας 4.5:	Πίνακας όπου αποτυπώνονται η ηλικία και οι χρόνοι διακοπής λειτουργίας του τυχαίου δείγματος των 150 οχημάτων.....	106
Πίνακας 4.6:	Πίνακας όπου αποτυπώνεται η διαδοχή των απαραίτητων πράξεων για τον υπολογισμό του e_1 για την περίπτωση A2, B3, Γ1, Δ3.....	111
Πίνακας 5.1:	Πίνακας που περιλαμβάνει τα αμετάβλητα πραγματικά δεδομένα για την εκτίμηση της ισοδύναμης δαπανηθείσας διάρκειας ζωής (ELC) των οχημάτων του δείγματος.....	122
Πίνακας 6.1:	Πίνακας όπου αποτυπώνονται το κόστος απόσβεσης, το ετήσιο μέσο κόστος κτήσης, το μέσο κόστος κτήσης, το μέσο λειτουργικό κόστος και το συνολικό κόστος συναρτήσει της ηλικίας των οχημάτων.....	148
Πίνακας 6.2:	Πίνακας όπου αποτυπώνονται το μέσο κόστος κτήσης, το μέσο λειτουργικό κόστος και το συνολικό κόστος ανά ηλικία των οχημάτων.....	149
Πίνακας 6.3:	Πίνακας όπου αποτυπώνονται τα κόστη GEL και NEL συναρτήσει της ηλικίας των οχημάτων.....	151
Πίνακας 7.1:	Πίνακας όπου αποτυπώνονται ο μέσος χρόνος μεταξύ διαδοχικών συντηρήσεων, ο μέσος χρόνος διακοπής λειτουργίας, λόγω συντηρήσεων και η επιχειρησιακή διαθεσιμότητα αυτών.....	172
Πίνακας 7.2:	Πίνακας όπου αποτυπώνονται τα ποσοτικά μεγέθη του μέσου χρόνου	

	μεταξύ διαδοχικών συντηρήσεων και της διαθεσιμότητας του δείγματος των οχημάτων.....	173
Πίνακας 7.3:	Ενδεικτικός πίνακας με τα απαραίτητα στοιχεία που θα πρέπει να συλλέγονται για την εκτίμηση του κόστους κύκλου ζωής.....	176
Πίνακας 7.4:	Ενδεικτικός πίνακας που αποτυπώνει τη σύγκριση μεταξύ κόστους ανακατασκευής-αγοράς οχημάτων.....	177
Πίνακας Β.1:	Πίνακας όπου αποτυπώνεται η διαδοχή των απαραίτητων πράξεων για τον υπολογισμό του e για την περίπτωση A1, B1, Γ1, Δ1.....	200
Πίνακας Β.2:	Πίνακας όπου αποτυπώνεται η διαδοχή των απαραίτητων πράξεων για τον υπολογισμό του e για την περίπτωση A1, B2, Γ1, Δ1.....	201
Πίνακας Β.3:	Πίνακας όπου αποτυπώνεται η διαδοχή των απαραίτητων πράξεων για τον υπολογισμό του e για την περίπτωση A1, B3, Γ1, Δ1.....	202
Πίνακας Β.4:	Πίνακας όπου αποτυπώνεται η διαδοχή των απαραίτητων πράξεων για τον υπολογισμό του e για την περίπτωση A2, B1, Γ1, Δ1.....	203
Πίνακας Β.5:	Πίνακας όπου αποτυπώνεται η διαδοχή των απαραίτητων πράξεων για τον υπολογισμό του e για την περίπτωση A2, B2, Γ1, Δ1.....	204
Πίνακας Β.6:	Πίνακας όπου αποτυπώνεται η διαδοχή των απαραίτητων πράξεων για τον υπολογισμό του e για την περίπτωση A2, B3, Γ1, Δ1.....	205
Πίνακας Β.7:	Πίνακας όπου αποτυπώνεται η διαδοχή των απαραίτητων πράξεων για τον υπολογισμό του e για την περίπτωση A2, B2, Γ1, Δ2.....	206
Πίνακας Β.8:	Πίνακας όπου αποτυπώνεται η διαδοχή των απαραίτητων πράξεων για τον υπολογισμό του e για την περίπτωση A3, B1, Γ1, Δ1.....	207
Πίνακας Β.9:	Πίνακας όπου αποτυπώνεται η διαδοχή των απαραίτητων πράξεων για τον υπολογισμό του e για την περίπτωση A3, B1, Γ1, Δ2.....	208



ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα	1.1: Χρονολογική εξέλιξη της συντήρησης.....	14
Σχήμα	1.2: Σχεδιάγραμμα με τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην προβλεπτική συντήρηση και τα ποσοστά χρήσης τους.....	22
Σχήμα	1.3: Χρονική τοποθέτηση προβλεπτικής-προληπτικής συντήρησης από αρχική εμφάνιση βλάβης μέχρι την πλήρη αστοχία.....	23
Σχήμα	1.4: Μείωση των κρίσιμων βλαβών ανά μήνα, μετά την εφαρμογή της συντήρησης ακριβείας σε χημική βιομηχανία.....	24
Σχήμα	2.1: Γράφημα που αναπαριστά τη σχέση μεταξύ προληπτικής συντήρησης, αξίας και χρόνου.....	30
Σχήμα	2.2: Γράφημα που αναπαριστά τη σχέση μεταξύ του κόστους συντήρησης ενός οχήματος και της "ηλικίας" του.....	33
Σχήμα	2.3: Γράφημα που αναπαριστά μοντέλο υποβάθμισης με βάση την κατάσταση (<i>condition profile</i>).....	38
Σχήμα	2.4: Γράφημα που αναπαριστά μοντέλο υποβάθμισης με βάση την αξιοπιστία (<i>reliability profile</i>).....	39
Σχήμα	2.5: Γράφημα που αναπαριστά την εξέλιξη της διάβρωσης στο " <i>condition profile</i> ".....	40
Σχήμα	2.6: Γράφημα που αναπαριστά την εξέλιξη της διάβρωσης σε όρους αξιοπιστίας στο " <i>reliability profile</i> ".....	41
Σχήμα	2.7: Γράφημα που αναπαριστά τη βελτίωση στο " <i>condition profile</i> ", μέσω	

	ενδιάμεσων συντηρήσεων.....	42
Σχήμα	2.8: Γράφημα που αναπαριστά ουδεμία παρατηρούμενη μεταβολή στο " <i>reliability profile</i> ".....	42
Σχήμα	2.9: Γράφημα που αναπαριστά τη σχέση μεταξύ ποσοστού βλαβών και " <i>ηλικίας</i> ".....	49
Σχήμα	2.10: Γράφημα που αναπαριστά την κανονική κατανομή.....	50
Σχήμα	2.11: Γράφημα που αναπαριστά την κατανομή Weibull κατανομή.....	51
Σχήμα	2.12: Γράφημα που αναπαριστά τη σχέση μεταξύ ποσοστού βλαβών και " <i>ηλικίας</i> " του εξοπλισμού, συναρτήσει και του αριθμού των ανακατασκευών.....	54
Σχήμα	3.1: Κόστος κύκλου ζωής ενός εξοπλισμού, εκτός της ανάπτυξης και της κατασκευής του.....	58
Σχήμα	3.2: Κατανομή του Κόστους Κύκλου Ζωής.....	59
Σχήμα	3.3: Απαιτήσεις Πληροφοριακού Μοντέλου Εκτίμησης του LCC.....	60
Σχήμα	3.4: Ανάλυση του κόστους συνολικής διάρκειας ζωής και του κόστους κύκλου ζωής.....	61
Σχήμα	3.5: Το κόστος κύκλου ζωής σε συνάρτηση με τη διάρκεια ζωής ενός εξοπλισμού κατά τις διάφορες φάσεις.....	62
Σχήμα	3.6: Τα στάδια ανάλυσης της διαδικασίας του κόστους κύκλου ζωής.....	65
Σχήμα	4.1: Γράφημα που αναπαριστά τη σχέση μεταξύ συνολικού κόστους επισκευής και πραγματικής διανυθείσας απόστασης σε δείγμα 122 οχημάτων.....	81
Σχήμα	4.2: Γράφημα που αναπαριστά τη σχέση μεταξύ της υπολειμματικής αξίας ενός εξοπλισμού (V), συναρτήσει της χρήσης του (t) σε	

	ημερολογιακά έτη ή διανυθείσα απόσταση (για λόγους απλούστευσης λήφθηκε $k=1$ και $b=0$).....	84
Σχήμα 4.3:	Γράφημα που αναπαριστά τη σχέση μεταξύ της υπολειμματικής αξίας ενός εξοπλισμού (V), συναρτήσει της χρήσης του, μεταξύ $t = 0$ και $t = t_b$, όταν η υπολειμματική αξία (V) μεταβάλλεται πιο απότομα για πεπερασμένο χρονικό διάστημα χρήσης του.....	85
Σχήμα 4.4:	Γράφημα που αναπαριστά τη σχέση μεταξύ των διάφορων τύπων κόστους ενός εξοπλισμού συναρτήσει της χρήσης αυτού.....	89
Σχήμα 4.5:	Γράφημα που αναπαριστά τη σχέση μεταξύ του ρυθμού μεταβολής του συνολικού κόστους ενός στοιχείου (ενός τυχαίου δείγματος κατά τη δειγματοληψία) ενός συγκεκριμένου τύπου εξοπλισμού συναρτήσει της χρήσης όλων των στοιχείων N (ενός τυχαίου δείγματος κατά τη δειγματοληψία) ενός συγκεκριμένου τύπου εξοπλισμού ($N \cdot e = y$).....	90
Σχήμα 4.6:	Γράφημα στο οποίο εντοπίζεται η προσδόκιμη διάρκεια ζωής ενός στοιχείου (ενός τυχαίου δείγματος κατά τη δειγματοληψία) ενός συγκεκριμένου τύπου εξοπλισμού (e) στο σημείο ελαχιστοποίησης του συνολικού κόστους (C_y) όλων των στοιχείων N (ενός τυχαίου δείγματος κατά τη δειγματοληψία) ενός συγκεκριμένου τύπου εξοπλισμού.....	91
Σχήμα 5.1:	Διάγραμμα που αναπαριστά το εύρος εκτίμησης της προσδόκιμης διάρκειας ζωής των οχημάτων του δείγματος σε σχέση με το ποσοστό ELC.....	123
Σχήμα 5.2:	Διάγραμμα που αναπαριστά την εκτίμηση της προσδόκιμης διάρκειας	

	ζωής των οχημάτων του δείγματος σε σχέση με την ηλικία τους σε έτη.....	124
Σχήμα	6.1: Γράφημα που αναπαριστά την αλληλουχία των τριών υποθέσεων.....	129
Σχήμα	6.2: Γράφημα που αναπαριστά την ανάλυση των φάσεων και των αντίστοιχων εργασιών.....	132
Σχήμα	6.3: Μοντέλο ελαχιστοποίησης κόστους.....	134
Σχήμα	6.4: Μοντέλο οικονομικού ορίου επισκευής.....	137
Σχήμα	6.5: Γράφημα που αναπαριστά συγκεντρωτικά το μοντέλο ελαχιστοποίησης κόστους και το μοντέλο αθροιστικού κόστους.....	138
Σχήμα	6.6: Γράφημα που αναπαριστά λεπτομερώς το μοντέλο αθροιστικού κόστους.....	140
Σχήμα	6.7: Μοντέλο αθροιστικού κόστους (<i>GEL-NEL</i>).....	141
Σχήμα	6.8: Γράφημα όπου απεικονίζεται το ελάχιστο κόστος ζωής και το ίσο οριακό κόστος ζωής (<i>DMCL-EMCL</i>).....	144
Σχήμα	6.9: Γράφημα όπου απεικονίζεται λεπτομερώς το ελάχιστο κόστος ζωής και το ίσο οριακό κόστος ζωής (<i>DMCL-EMCL</i>).....	144
Σχήμα	6.10: Γράφημα που απεικονίζει την απόφαση ανακατασκευής.....	146
Σχήμα	6.11: Διάγραμμα μοντέλου ελαχιστοποίησης κόστους.....	150
Σχήμα	6.12: Διάγραμμα μοντέλου αθροιστικού κόστους.....	152
Σχήμα	6.13: Διάγραμμα ορίου επισκευής.....	154
Σχήμα	6.14: Διάγραμμα κατανομής οικονομικού ορίου επισκευής.....	155
Σχήμα	6.15: Διάγραμμα στο οποίο απεικονίζεται θετική απόφαση ανακατασκευής για ηλικία ανακατασκευής 180 μήνες και πρόβλεψη ηλικίας μετά την ανακατασκευή 36 μήνες.....	158

Σχήμα 6.16:	Διάγραμμα στο οποίο απεικονίζεται αρνητική απόφαση ανακατασκευής για ηλικία ανακατασκευής 180 μήνες και πρόβλεψη ηλικίας μετά την ανακατασκευή 110 μήνες.....	159
Σχήμα 6.17:	Διάγραμμα στο οποίο απεικονίζεται θετική απόφαση ανακατασκευής για ηλικία ανακατασκευής 360 μήνες και πρόβλεψη ηλικίας μετά την ανακατασκευή 36 μήνες (Σημείωση: Στην περίπτωση αυτή το $T_{rebuild}^*$ συγκρίθηκε με το τρέχον T^*).....	160
Σχήμα 6.18:	Διάγραμμα στο οποίο απεικονίζεται αρνητική απόφαση ανακατασκευής για ηλικία ανακατασκευής 360 μήνες και πρόβλεψη ηλικίας μετά την ανακατασκευή 110 μήνες. (Σημείωση: Στην περίπτωση αυτή το $T_{rebuild}^*$ συγκρίθηκε με το τρέχον T^*).....	161
Σχήμα 7.1:	Γράφημα που αναπαριστά την κατανομή της επιχειρησιακής διαθεσιμότητας του δείγματος των 27 οχημάτων.....	174
Σχήμα 7.2:	Γράφημα που αναπαριστά την κατανομή του μέσου χρόνου μεταξύ διαδοχικών συντηρήσεων του δείγματος των 27 οχημάτων.....	175
Σχήμα A.1:	Λογικό διάγραμμα ροής ποσοτικής ανάλυσης.....	179
Σχήμα A.2:	Λογικό διάγραμμα ροής οικονομικής ανάλυσης και έντασης των βλαβών....	194



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ-ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

1.1. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

1.1.1. ΙΣΤΟΡΙΚΟ-ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ- ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Σε παγκόσμιο επίπεδο ο όρος ανακατασκευή δεν είναι καινούριος. Ειδικότερα, στη βιομηχανία αυτοκινήτων, οι ανακατασκευές έχουν τεθεί σε εφαρμογή εδώ και 60 έτη περίπου (*Gager, 1998*), ενώ η ανακύκλωση οχημάτων εφαρμόζεται εδώ και 75 έτη (*Automotive Recyclers Association, 2008*). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η προστασία του περιβάλλοντος και η επιβολή αυστηρών κανονισμών για τη μείωση της μόλυνσης έχουν αποκτήσει ιδιαίτερα σημαντικό

ρόλο στις υψηλά βιομηχανοποιημένες χώρες, συναρτήσει της αυξανόμενης μείωσης των φυσικών πόρων παγκοσμίως.

Οι κατασκευαστές οχημάτων, σήμερα, ενδιαφέρονται σε μεγάλο βαθμό για την προώθηση προϊόντων που είναι φιλικά προς το περιβάλλον. Γι' αυτό το λόγο, έχουν αναπτυχθεί διαφορετικοί τρόποι παραγωγής προϊόντων, οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη τους τόσο τη μείωση των δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, όσο και τη μείωση τους κόστους παραγωγής αυτών (*Hammond 1998*). Η επαναχρησιμοποίηση ενός προϊόντος μπορεί να είναι πιο επικερδής μέσω της διάθεσης αυτών με έναν πιο οικολογικό και οικονομικότερο τρόπο (*Amezquita 1995, Berko-Boateng 1993, Navin-Chandra 1993*).

Κατά καιρούς έχουν γίνει διάφορες προσεγγίσεις που αφορούν στον ορισμό της ανακατασκευής οχημάτων. Μερικές από αυτές παρατίθενται, συνοπτικά, παρακάτω:

 Yoruk, (2004)

Με τον όρο ανακατασκευή εννοούμε εκείνη τη διαδικασία με την οποία επαναφέρουμε ένα όχημα, όχι απλά σε καλή λειτουργία, αλλά στην κατάσταση ενός καινούριου οχήματος. Γι' αυτό, δε θα πρέπει να συγχέεται ο όρος της ανακατασκευής με τους όρους επισκευή και συντήρηση. Σύμφωνα με την προσέγγιση αυτή, η ανακατασκευή περιλαμβάνει την πλήρη αποσυναρμολόγηση ενός οχήματος, εκτεταμένη επιθεώρηση όλων των υποεξαρτημάτων και πλήρους συναρμολόγηση αυτού με ολοκαίνουρια στοιχεία μηχανών-εξαρτήματα ή εναλλακτικά με επισκευή των ιδίων. Μέσω της ανακατασκευής, το όχημα αποκαθίσταται σε λειτουργία με έναν αρκετά υψηλό βαθμό αξιοπιστίας, όσον αφορά στην αντοχή του για τουλάχιστον έναν πλήρη κύκλο ζωής (*Hammond, 1998*).

 Seitz, (2007)

Εναλλακτικά, για την ανακατασκευή οχημάτων δόθηκε ο ορισμός της μετατροπής ενός οχήματος, που βρίσκεται λίγο πριν την ολοκληρωτική

του κατάρρευση, "*end of useful life*", σε μια άλλη κατάσταση που για λόγους κατανόησης θα δοθεί σε αγγλική ορολογία ως "*as good as new*".

✚ Hauser-Lund, (2003)

Σύμφωνα με τους Hauser-Lund, ως ανακατασκευή ορίζεται η επαναφορά βεβλαμμένων ή ελαττωματικών προϊόντων σε κατάλληλο περιβάλλον κατασκευής, όπου αποσυναρμολογούνται, συναρμολογούνται εκ νέου, και σε τελικό στάδιο δοκιμάζονται πριν επανέλθουν στην αγορά ως καινούρια με την προδιαγραφή αντοχής τους για έναν δεύτερο πλήρη κύκλο ζωής.

Συγκρίνοντας, λοιπόν, τις παραπάνω προσεγγίσεις που διατυπώθηκαν για τον ορισμό της ανακατασκευής και δεδομένου ότι εφαρμόζεται για αρκετά ήδη έτη σε πολλές χώρες παγκοσμίως, μπορούμε να πούμε ότι δεν διαπιστώνονται έντονες διαφοροποιήσεις όσον αφορά στην ουσιαστική σημασία της. Αντιθέτως, όμως, είναι κοινά αποδεκτό ότι οι εργασίες ανακατασκευής απαιτούν αρκετό χρόνο για την υλοποίησή τους, που υπό κανονικές συνθήκες κυμαίνεται από κάποιους μήνες έως ολόκληρο χρόνο. Συνοπτικά, παρακάτω παρατίθενται οι κατά σειρά απαιτούμενες εργασίες για την ολοκλήρωση της ανακατασκευής ενός οχήματος:

- ✚ Παραλαβή του οχήματος.
- ✚ Αποσυναρμολόγηση υπερκατασκευής του οχήματος και της καμπίνας του οδηγού.
- ✚ Αμμοβολή της υπερκατασκευής και της καμπίνας του οδηγού (όπου απαιτείται).
- ✚ Επισκευή των μηχανικών μερών του πλαισίου.
- ✚ Βαφή της καμπίνας του οδηγού, του πλαισίου και της υπερκατασκευής.
- ✚ Επανασυναρμολόγηση καμπίνας οδηγού και υπερκατασκευής.
- ✚ Έλεγχος του οχήματος.
- ✚ Δοκιμαστική οδήγηση για 50 km περίπου.
- ✚ Μετεργασία του οχήματος και τελική παράδοση.

Ωστόσο, όμως, εκτός από τις ανακατασκευές οχημάτων, το ζήτημα της αντικατάστασης αυτών έναντι της ενδεχόμενης ανακατασκευής τους αποτελεί πολλές φορές μια εξαιρετικά δύσκολη απόφαση. Επισημαίνεται, ότι έχουν γίνει αρκετές σημαντικές προσεγγίσεις στο ζήτημα της οικονομικής θεωρίας αντικατάστασης των εξοπλισμών. Στο σημείο αυτό, κρίνεται απαραίτητο και ταυτόχρονα πολύ χρήσιμο να αναφερθούν κάποιες από αυτές:

Μοντέλο Taylor

Ο Taylor δημοσίευσε το 1923, μία μελέτη που αποτελεί τον πυρήνα της πιο σύγχρονης οικονομικής θεωρίας αντικατάστασης. Σύμφωνα με αυτή τη μελέτη, ορίζεται ως χρήσιμη (οικονομική) ζωή ενός εξοπλισμού, το χρονικό εκείνο διάστημα κατά το οποίο ελαχιστοποιείται το κόστος παραγωγής αυτού του εξοπλισμού. Αν ο εξοπλισμός πωληθεί πριν ή μετά τη λήξη της περιόδου αυτής, το μέσο κόστος παραγωγής του εξοπλισμού είναι μεγαλύτερο από το βέλτιστο κόστος του. Οι εξισώσεις που έχουν αναπτυχθεί από τον Taylor για το μέσο κόστος ανά μονάδα, X , πάνω από n χρόνια είναι:

$$X = \frac{O_1 + O_2 + O_3 + \dots + O_n + W_n}{Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_n} \quad (1.1)$$

όπου: $W_n = C - S_n$ και

W_n : κόστος υποβάθμισης ενός εξοπλισμού το n -ιοστό έτος.

C : κόστος αγοράς ενός καινούριου εξοπλισμού.

S_n : υπολειμματική αξία ενός εξοπλισμού το n -ιοστό έτος.

$O_1, O_2, O_3, \dots, O_n$: λειτουργικά κόστη για το $1^\circ, 2^\circ, 3^\circ, \dots, n$ -ιοστό έτος.

$Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$: αριθμός των μονάδων παραγωγής για το $1^\circ, 2^\circ, 3^\circ, \dots, n$ -ιοστό έτος.

Για να καθοριστεί το ελάχιστο κόστος του εξοπλισμού, η εξίσωση (1.1) εφαρμόζεται σε κάθε διαδοχικό έτος της λειτουργίας του εξοπλισμού. Η τιμή του X , αρχικά μειώνεται και στη συνέχεια αυξάνεται. Το σημείο

εκείνο, στο οποίο η τιμή του X έχει φτάσει στο ελάχιστό της, καθορίζει την οικονομική ζωή του εξοπλισμού.

Μοντέλο Preinreich

Η συνεισφορά του Preinreich το 1940 εστιάζεται κυρίως στο βιομηχανικό εξοπλισμό. Ο Preinreich, αντιθέτως με τον Taylor, έδωσε έμφαση στο θέμα της αντικατάστασης ενός εξοπλισμού χωρίς να λάβει υπόψη τις αποσβέσεις των εξοπλισμών. Σύμφωνα με τη θεωρία του:

"Η αντικατάσταση ενός εξοπλισμού είναι το βασικό πρόβλημα, διότι επηρεάζει πραγματικά τη σύνθεση και την παραγωγικότητα ενός στόλου εξοπλισμών. Οι υπολογισμοί της απόσβεσης είναι απλά αριθμοί που καταχωρούνται σε εγχειρίδια, η σημασία των οποίων εξαρτάται εξ' ολοκλήρου από τη χρήση στην οποία υπόκεινται."

Ο Preinreich αναγνώριζε ότι τα προβλήματα αντικατάστασης δεν είναι πάντα τόσο απλά όσο η αντικατάσταση ενός απλού εξαρτήματος από ένα άλλο ιδίου τύπου. Κατηγοριοποίησε τις αποφάσεις αντικατάστασης στις ακόλουθες πέντε διαφορετικές κατηγορίες:

- Απλό εξάρτημα.
- Πεπερασμένου αριθμού αλυσίδα εξαρτημάτων προς αντικατάσταση.
- Αλυσίδα άπειρου αριθμού εξαρτημάτων προς αντικατάσταση.
- Πολλές παράλληλες αλυσίδες.
- Πολύπλοκος εξοπλισμός που αποτελείται από έναν αριθμό μικρότερων εξαρτημάτων, τα οποία αντικαθίστανται όταν φθαρούν.

Διαφάνεται, λοιπόν, ότι ο Preinreich αντιμετώπισε το πρόβλημα της αντικατάστασης ενός εξοπλισμού σε θεωρητική βάση, χωρίς να λάβει υπόψη τους οικονομικούς όρους.

✚ Μοντέλο Davis (1998)-Delucchi (1999)

Ο Davis παρουσίασε το 1998, στοιχεία τα οποία υποδείκνυαν ότι η διάρκεια ζωής των οχημάτων αυξήθηκε σημαντικά σε σχέση με αυτήν που είχαν τη δεκαετία του 1970 και την καθόρισε στα 140000 μίλια. Στη συνέχεια, ο Delucchi (1999) χρησιμοποίησε τα στοιχεία του Davis και επιπλέον κάποια δικά του και εκτίμησε ως μέση διάρκεια ζωής των οχημάτων τα 150000 μίλια. Σύμφωνα, λοιπόν, με τους ανωτέρω η διάρκεια ζωής των οχημάτων σε μίλια (*Life Vehicle in Miles-LVM*) καθορίστηκε ως εξής:

$$LVM_{\text{αεριοκίνητα οχήματα}} = 150000 \text{ μίλια} \quad (1.2)$$

$$LVM_{\text{ηλεκτροκίνητα οχήματα}} = 165000 \text{ μίλια} \quad (1.3)$$

Μελέτη που υλοποιήθηκε από τους ίδιους το 2000, καθόρισε μία σχέση μεταξύ της διάρκειας ζωής των οχημάτων σε χρόνια (*Life Vehicle in Years-LVY*) και της διάρκειας ζωής των οχημάτων σε μίλια (*Life Vehicle in Miles-LVM*). Η μαθηματική αυτή εξίσωση παρουσιάζεται παρακάτω:

$$LVY = \frac{\ln \left[\frac{LVM - K_1}{K_2} \right]}{K_3} \quad (1.4)$$

όπου: K_1, K_2, K_3 : συντελεστές που εξαρτώνται από το δείγμα οχημάτων που μελετήθηκε από τους Davis-Delucchi και εκτιμήθηκαν $K_1 = 266799$, $K_2 = -270021$, $K_3 = -0.0563$.

✚ Μαθηματικό μοντέλο καθορισμού των κριτηρίων ανακατασκευής των οχημάτων μέσω της εκτίμησης του κόστους κύκλου ζωής και της συντήρησης που βασίζεται στην αξιοπιστία

Η εν λόγω μελέτη πραγματοποιείται την οργάνωση του προγράμματος συντηρήσεως οχημάτων με βάση τη μέθοδο του κόστους κύκλου ζωής, καθώς και με τη βοήθεια μιας άλλης μεθόδου, η οποία βασίζεται στην "αξιοπιστία" των οχημάτων. Ο σκοπός των δύο αυτών μεθόδων είναι η

διατήρηση των λειτουργιών ενός οχήματος, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα ικανοποιητικά επίπεδα, όσον αφορά στην ασφάλεια και στην αξιοπιστία, βελτιστοποιώντας τη διαθεσιμότητα των οχημάτων και προετοιμάζοντας όλα τα προηγούμενα με το ελάχιστο δυνατό κόστος κύκλου ζωής. Ο βασικός κορμός της παρούσης προσέγγισης βασίζεται σε ποσοτική, ποιοτική και οικονομική ανάλυση. Λεπτομερής ανάλυση αυτού του μοντέλου παρουσιάζεται στο παράρτημα Α.

1.1.2. ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Αναμφισβήτητα, η χρησιμότητα των ανακατασκευών στα οχήματα είναι υψηλής σπουδαιότητας. Αυτό αποδεικνύεται από πολλές μελέτες που έχουν γίνει ως προς την κατεύθυνση αυτή. Ενδεικτικά, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν τα εξής:

- ✚ Με μελέτη που έγινε από το Massachusetts Institute of Technology (1981) αποδείχθηκε, ότι περίπου το 85% της συνολικής ενέργειας που είχε καταναλωθεί για την κατασκευή ενός καινούριου οχήματος, διατηρήθηκε στο ανακατασκευασθέν όχημα. (*Remanufacturing Central -2008*).
- ✚ Μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους Smith – Keoleian (2008) κατέδειξε ότι, η ανακατασκευή οχημάτων με αποκατάσταση των κινητήρων τους, παρέχει κινητήρες που λειτουργικά θα είναι ισοδύναμοι με τους καινούριους.
- ✚ Με μελέτη που διενεργήθηκε στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (*Life-Cycle Assessment Model-LCA*), κατά την οποία πραγματοποιήθηκε σύγκριση ενός ανακατασκευασμένου κινητήρα από ένα μέσου μεγέθους όχημα σε σχέση με την κατασκευή ενός καινούριου κινητήρα αυτού, απεδείχθη ότι, υπήρχαν μεγάλες μειώσεις όσον αφορά στις εκπομπές βλαβερών αερίων προς το περιβάλλον από τον

ανακατασκευασμένο κινητήρα. Στον παρακάτω πίνακα (1.1) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εν λόγω μελέτης.

Πίνακας 1.1: Ποσοστά εξοικονόμησης ενέργειας και πρόληψης περιβαλλοντικής ρύπανσης των ανακατασκευασμένων κινητήρων.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ	ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΕΙΣ (%)
ΕΝΕΡΓΕΙΑ	68%-83%
ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ	73%-87%
ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΜΟΝΟΞΕΙΔΙΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ	48%-88%
ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ	72%-85%
ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ	71%-84%
ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ	50%-61%
ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ	26%-90%
ΜΕΙΩΣΕΙΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ	65%-88%
ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΑΠΟ ΤΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΚΑΙΝΟΥΡΙΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ	30%-53% ΧΑΜΗΛΟΤΕΡΗ

Εξετάζοντας την αξία των ανακατασκευών και λαμβάνοντας υπόψη οικονομικούς όρους, αποδείχθηκε από τους Yorguk (2004) και Giuntini-Gaudette (2003), ότι το κόστος ενός ανακατασκευασμένου προϊόντος είναι μικρότερο από 40% έως 65%, συγκριτικά με το συνολικό κόστος κατασκευής ενός καινούριου προϊόντος. Αυτό είναι ευνόητο, αφού οι φυσικοί πόροι καθώς και το εργατικό δυναμικό που απαιτούνται για την ανακατασκευή ενός προϊόντος είναι αρκετά λιγότεροι από αυτούς που χρειάζονται για την κατασκευή ενός καινούριου.

1.1.3. ΚΡΙΤΗΡΙΑ-ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Εφόσον διατυπώθηκαν κάποιες από τις σημαντικότερες προσεγγίσεις που αφορούν στον ορισμό των ανακατασκευών των οχημάτων, καθώς και η μεγάλη χρησιμότητα αυτών, κρίνεται σκόπιμο να γίνει αναφορά στις ανακατασκευές με βάση ποσοτικούς όρους. Σε παγκόσμιο επίπεδο, ο καθορισμός των ορίων ανακατασκευών για τα οχήματα, αλλά και γενικά για διαφορετικό τεχνικό εξοπλισμό πραγματοποιείται μέσω των κριτηρίων της **διανυθείσας απόστασης** (σε *km* ή *miles*) ή της **χρονικής διάρκειας σε λειτουργία** (συνήθως έτη λειτουργίας).

Ωστόσο, η επιλογή του καταλληλότερου κριτηρίου εκ των δύο προαναφερθέντων, καθώς και ένας ενιαίος καθορισμός σε παγκόσμιο επίπεδο, όσον αφορά στην εύρεση και εφαρμογή συγκεκριμένου μαθηματικού μοντέλου δεν έχει επιτευχθεί ως τώρα. Έχουν διατυπωθεί διαφορετικές "πολιτικές ανακατασκευών" ανά τον κόσμο, των οποίων τα χρονικά όρια ή η διανυθείσα απόσταση εμφανίζουν αρκετά σημαντικές διαφοροποιήσεις. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, καθεμία από τις "πολιτικές ανακατασκευών" που έχουν υλοποιηθεί έχουν διαφορετικούς στόχους. Αρκετές από αυτές βασίζονται σε προκαθορισμένα όρια κρίσιμων βλαβών, τα οποία εφόσον ξεπεραστούν, συνιστούν επιβεβλημένη την έναρξη της ανακατασκευής.

Αντιθέτως, υπάρχουν και άλλες προσεγγίσεις, οι οποίες δίνουν έμφαση μόνο σε οικονομικούς όρους. Σύμφωνα με αυτές τις "πολιτικές", ο βασικός στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους και οι αποφάσεις για τις ανακατασκευές λαμβάνονται υπόψη με μοναδικό γνώμονα αυτό. Πιο συγκεκριμένα, δίνεται βαρύτητα στη συνολική οικονομική αξία του εξοπλισμού, συγκριτικά με την αρχική του αξία ως καινούριο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιας "πολιτικής" αποτελεί η ανακατασκευή των 60.000 περίπου βρετανικών οχημάτων, τα οποία καλούνται ως "*B Vehicles*" και περιλαμβάνουν όλα τα τροχοφόρα. Η ανακατασκευή των οχημάτων αυτών τίθεται σε εφαρμογή, όταν το κόστος επισκευής των οχημάτων, ανάλογα βέβαια με τον τύπο του οχήματος, ξεπεράσει ένα προκαθορισμένο πόσο επισκευής, το οποίο ορίζεται ως "*οικονομικό όριο επισκευής*".

Πιο συγκεκριμένα, για έναν συγκεκριμένο τύπο οχήματος μεταφοράς προσωπικού, το ανωτέρω ποσό επισκευής καθορίζεται στο 75% του αρχικού κόστους κτήσης του οχήματος για το πρώτο έτος, το οποίο όμως λόγω αύξησης της παλαιότητας μειώνεται κάθε έτος κατά ένα συγκεκριμένο ποσό. Επιπλέον, πρέπει να τονιστεί, ότι το μαθηματικό αυτό μοντέλο υπολογισμού του χρόνου ανακατασκευών εφαρμόζεται απο το 1962 και έχει αποδόσει πολύ ικανοποιητικά όσον αφορά στα οικονομικά οφέλη και στη μείωση της σπατάλης στον τομέα ανακατασκευών των οχημάτων.

1.1.4. ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΕ ΜΕΡΙΚΕΣ "ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ" ΟΧΗΜΑΤΩΝ

1.1.4.1. ΓΕΝΙΚΑ

Αξίζει να αναφερθεί ότι έχουν διατυπωθεί αρκετές στρατηγικές περί των ορίων ανακατασκευών για τα οχήματα (*χρονικά όρια ή διανυθείσα απόσταση*). Δυστυχώς, δεν είναι δυνατόν να καθοριστεί καμία από τις ήδη υπάρχουσες "πολιτικές ανακατασκευών" ως η πλέον ορθή, διότι όπως ειπώθηκε παραπάνω, μερικές από αυτές στηρίζονται σε ποσοστά κρίσιμων βλαβών, ενώ αρκετές άλλες βασίζονται αποκλειστικά σε οικονομικούς όρους. Αυτό σημαίνει ότι θέτουν εντελώς διαφορετικούς στόχους και κατά συνέπεια δε δύναται να συγκριθούν και να αξιολογηθούν ως κοινές, αφού αποσκοπούν σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Κάποιες από αυτές αναφέρονται συνοπτικά παρακάτω.

1.1.4.2. FTA (*FEDERAL TRANSIT ADMINISTRATION*) POLICY

Πρόκειται για έναν οργανισμό του Υπουργείου Μεταφορών των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής, στον οποίο ορίζεται διευθυντής απ'ευθείας διοριζόμενος απο τον Πρόεδρο των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής. Η συγκεκριμένη "πολιτική" αναφέρεται σε καθορισμένα όρια ανακατασκευών (*χρονικά όρια και διανυθείσα απόσταση*), τα οποία αφορούν λεωφορεία διαφόρων τύπων και

μεγεθών, αποκλειστικά για μεταφορά προσωπικού. Η εν λόγω "πολιτική" έχει τεθεί σε εφαρμογή από το 1985. Από τότε έως και σήμερα τα όρια αυτά δεν έχουν υποστεί μεγάλες αλλαγές και πρέπει επιπλέον να αναφερθεί ότι υλοποιήθηκαν μέσω συνεργασίας τόσο των χειριστών, όσο και των κατασκευάστριων εταιριών. Στον παρακάτω πίνακα (1.2) φαίνονται ξεκάθαρα οι κατηγορίες των λεωφορείων με τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά, καθώς και τα χρονικά όρια-διανυθείσα απόσταση των ορίων ανακατασκευής αυτών.

Πίνακας 1.2: Πίνακας με τις κατηγορίες λεωφορείων-τεχνικά χαρακτηριστικά-όρια ανακατασκευών.

Category	Typical Characteristics				Minimum Life	
	Length	Approx. GVW	Seats	Average Cost	(Whichever comes first)	
					Years	Miles
Heavy-Duty Large Bus	35 to 48 ft and 60 ft artic.	33,000 to 40,000	27 to 40	\$325,000 to over \$600,000	12	500,000
Heavy-Duty Small Bus	30 ft	26,000 to 33,000	26 to 35	\$200,000 to \$325,000	10	350,000
Medium-Duty and Purpose-Built Bus	30 ft	16,000 to 26,000	22 to 30	\$75,000 to \$175,000	7	200,000
Light-Duty Mid-Sized Bus	25 to 35 ft	10,000 to 16,000	16 to 25	\$50,000 to \$65,000	5	150,000
Light-Duty Small Bus, Cutaways, and Modified Van	16 to 28 ft	6,000 to 14,000	10 to 22	\$30,000 to \$40,000	4	100,000

1.1.4.3. SRP (STANDARD REPLACEMENT POLICY)

Η ανωτέρω "πολιτική ανακατασκευών" αναφέρεται σε έναν διεθνή ανθρωπιστικό οργανισμό, ο οποίος είναι γνωστός ως *International Committee of the Red Cross (ICRC)*. Αφορά αποκλειστικά οχήματα 4x4 Jeep, των οποίων τα χρονικά όρια-διανυθείσα απόσταση καθορίζονται αυστηρά μετά την παρέλευση 5 ετών ή 150.000 km (οποιοδήποτε εκ των δύο κριτηρίων ικανοποιηθεί πρώτο).

Επιβάλλεται, επίσης, να τονιστεί ότι ο ICRC οργανισμός διαθέτει περίπου έναν στόλο περί των 1700 οχημάτων 4x4 Jeep και δραστηριοποιείται σε περισσότερες από 80 χώρες. Το ανωτέρω δείγμα των 1700 οχημάτων αποτελεί ένα ικανοποιητικό δείγμα, διότι ξεπερνά το 10% του συνολικού στόλου 4x4 Jeep όλων των ανθρωπιστικών οργανώσεων. Το αξιοσημείωτο αυτής της "πολιτικής ανακατασκευών" είναι ότι τα όρια που καθορίζει μπορούν να χαρακτηριστούν ως αρκετά αυστηρά (πολύ μικρά), δεδομένου των υπολοίπων "πολιτικών" που αναφέρονται σε αυτήν την ενότητα.

Το γεγονός αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην αποστολή που έχουν να εκτελέσουν τα παραπάνω οχήματα, τα οποία ως επί των πλείστων χρησιμοποιούνται για την παροχή ασφάλειας και προστασίας των ανθρωπίνων δικαιωμάτων σε καταστάσεις πολεμικών συγκρούσεων. Επίσης, πολλές φορές, τα παραπάνω οχήματα καλούνται να μεταφέρουν τραυματίες πολέμου μακριά από το πεδίο μάχης, σε ασφαλή τοποθεσία για παροχή περίθαλψης, κινούμενα συχνά σε ανώμαλα εδάφη και με μεγάλες ταχύτητες. Είναι, λοιπόν, ευνόητο, ότι πρωτίστως προέχει η αξιοπιστία των οχημάτων αυτών και η καλή λειτουργική τους κατάσταση, το οποίο εξηγεί αυτομάτως τα εξαιρετικά χαμηλά όρια ανακατασκευής αυτών.

1.1.4.4. OVERHAUL AND REPAIR (O&R) PROGRAM

Σε αντίθεση με την πρώτη "πολιτική ανακατασκευών" που αφορούσε στις διάφορες κατηγορίες λεωφορείων, το παρών πρόγραμμα αναφέρεται αποκλειστικά στα μεγάλα μεγέθους λεωφορεία (*Heavy Transit Buses*) και καθορίζει σαφέστατα τα χρονικά όρια-διανυθείσα απόσταση στα 15 έτη ή στα 750.000 Miles (οποιοδήποτε εκ των δύο κριτηρίων ικανοποιηθεί πρώτο). Επίσης, πρέπει να ειπωθεί, ότι το εν λόγω πρόγραμμα λειτουργεί για το VTA Transportation and Maintenance Department, του οποίου αποστολή είναι να παρέχει ασφαλή, αξιόπιστα και καλοσυντηρημένα οχήματα που προορίζονται για τις δημόσιες μεταφορές.

Για το προαναφερθέν πρόγραμμα, επειδή στον αρχικό ορισμό του περιλαμβάνεται και όρος "*Repair*", κρίνεται σκόπιμο να τονιστεί, ότι δεν πρόκειται σε καμία περίπτωση για πρόγραμμα απλής επισκευής. Αντιθέτως, οι εργασίες που υλοποιούνται κατά την εκτέλεση του προγράμματος περιλαμβάνουν:

- ✚ Αμμοβολή και βαφή των οχημάτων.
- ✚ Εκτεταμένες επισκευές και αντικαταστάσεις στο εσωτερικό των οχημάτων (π.χ ταπετσαρίες, καθίσματα καινούρια κ.τ.λ).
- ✚ Εκτεταμένες αντικαταστάσεις μικροεξαρτημάτων με καινούρια.
- ✚ Πλήρης ανακατασκευή των κινητήρων των οχημάτων.
- ✚ Τελικός έλεγχος των οχημάτων και παράδοση αυτών.

Είναι, λοιπόν, ολοφάνερο, ότι το εν λόγω πρόγραμμα αφορά αποκλειστικά ανακατασκευές οχημάτων και δεν περιορίζεται σε απλές επισκευές και αντικαταστάσεις εξαρτημάτων, όπου απαιτείται.

1.2. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΕΩΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

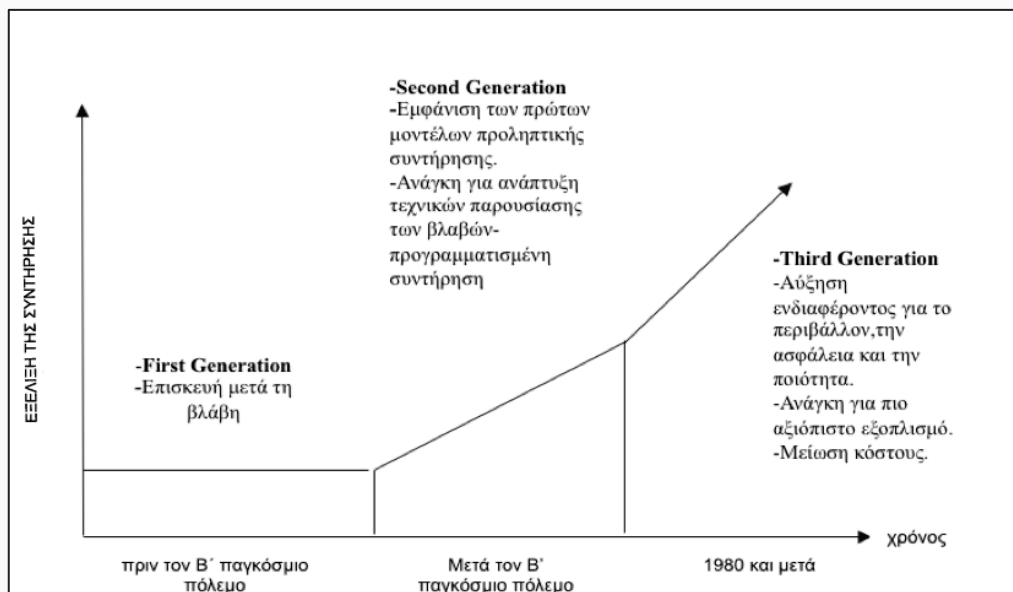
1.2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η συντήρηση, αναμφισβήτητα, αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στην υλοποίηση των παραπάνω "*πολιτικών ανακατασκευής*". Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι η ορθή συντήρηση, δηλαδή αυτή που υλοποιείται στο σωστό χρόνο και με τα κατάλληλα μέσα συμβάλλει με τέτοιο τρόπο, ώστε τα οχήματα να βρίσκονται στην καλύτερη λειτουργική τους κατάσταση. Αυτό σημαίνει, ότι το ποσοστό των βλαβών που θα διαπιστωθούν κατά τη φάση διεξαγωγής της επιθεώρησης, θα είναι σημαντικά μικρότερο σε ένα καλοσυντηρημένο όχημα, συγκριτικά με κάποιο άλλο, που έχει συντηρηθεί ανεπαρκώς.

Η εξέλιξη της συντήρησης από την στιγμή που πρωτοεμφανίστηκε μέχρι και σήμερα είναι εντυπωσιακή. Σύμφωνα, με τον Moubray (1997), από το 1930 έως και σήμερα, η εξέλιξη της συντήρησης έχει διαιρεθεί σε τρία στάδια (ή γενιές), οποίες είναι οι εξής:

- ✚ Συντήρηση πρώτης γενιάς: Περίοδος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου.
- ✚ Συντήρηση δεύτερης γενιάς: Από τη λήξη του πολέμου και μέχρι τα τέλη του 1970.
- ✚ Συντήρηση τρίτης γενιάς: Από αρχές της δεκαετίας του 1980.

Παρακάτω, στο σχήμα (1.1) παρατίθεται χρονολογικά η αναπαράσταση της εξέλιξης της συντήρησης:



Σχήμα 1.1: Χρονολογική εξέλιξη της συντήρησης.

Οι κυριότερες τεχνικές συντήρησης, κατά χρονολογική σειρά, που έχουν εφαρμοστεί επιτυχώς έως σήμερα αναφέρονται συνοπτικά παρακάτω και είναι οι εξής:

- ✚ Επιδιορθωτική Συντήρηση (*Breakdown Maintenance*).
- ✚ Προληπτική Συντήρηση (*Preventive Maintenance*).
- ✚ Ολική Παραγωγική Συντήρηση (*Total Productive Maintenance-TPM*).
- ✚ Συντήρηση με βάση την Αξιοπιστία (*Reliability Centered Maintenance-RCM*).
- ✚ Προβλεπτική Συντήρηση (*Predictive Maintenance*).
- ✚ Συντήρηση Ακριβείας (*Design-Out Maintenance*).

Πρέπει, όμως, να τονιστεί ότι οι παραπάνω τεχνικές συντήρησης δε λειτουργούν ανεξάρτητα η μία από την άλλη. Αντιθέτως, είναι πολλές φορές επιτακτική ανάγκη να αλληλοσυμπληρώνονται και να εφαρμόζονται ταυτόχρονα. Άρα, λοιπόν, θα πρέπει να εξετάζεται ποιά από τις παραπάνω τεχνικές ή συνδυασμός αυτών αποδίδει περισσότερο οικονομικά και ταιριάζει πιο αποτελεσματικά στον τύπο του εξοπλισμού που πρέπει να συντηρηθεί.

1.2.2. ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Το κόστος της συντήρησης θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη, διότι δύναται να αποτελεί έως και το 40% των συνολικών εξόδων μιας επιχείρησης. Με τον όρο συντήρηση, εννοούμε μια σειρά από ενέργειες, οι οποίες περιλαμβάνουν τα κάτωθι:

- ✚ Τεχνικό και χρονικό σχεδιασμό ενεργειών.
- ✚ Διαχείριση των ανταλλακτικών και των αναλώσιμων υλικών γενικότερα.
- ✚ Καθορισμός των κατάλληλων εργαλείων και παραγωγικών μέσων.
- ✚ Κατάλληλους προληπτικούς, διαγνωστικούς και προγνωστικούς ελέγχους.
- ✚ Απαραίτητες προληπτικές αντικαταστάσεις εξαρτημάτων.
- ✚ Διενέργεια κατάλληλης λίπανσης.
- ✚ Μικροεπισκευές, τροποποιήσεις και βελτιώσεις.

Από τα παραπάνω, φαίνεται ξεκάθαρα, ότι η συντήρηση των οχημάτων δε περιλαμβάνει μόνο τις επισκευές, αλλά επιπλέον μια σειρά από ενέργειες, οι οποίες αποσκοπούν στην καλύτερη δυνατή λειτουργική κατάσταση ενός οχήματος, αλλά και στην πρόληψη πιθανών επικείμενων αστοχιών, πριν αυτές προκαλέσουν την κατάρρευση ολόκληρου του οχήματος. Συνοπτικά, τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα της συντήρησης είναι τα ακόλουθα:

- ✚ Μείωση του συνολικού κόστους ανταλλακτικών, αφού μέσω της πρόληψης αποτρέπονται επιπρόσθετες αστοχίες.
- ✚ Καθυστερεί σημαντικά τη "γήρανση" του εξοπλισμού.
- ✚ Αυξάνει τη διάρκεια ζωής των οχημάτων.
- ✚ Μειώνει σημαντικά τα ποσοστά των ανεπιθύμητων βλαβών.

- ✚ Αυξάνει την αξιοπιστία των οχημάτων.
- ✚ Μείωση σοβαρών ατυχημάτων που θα μπορούσαν να προκληθούν κατά τη διάρκεια επιχειρήσεων, λόγω ακαταλληλότητας των οχημάτων, κυρίως σε συστήματα ασφαλείας, κ.τ.λ.

1.2.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

1.2.3.1. ΓΕΝΙΚΑ

Παρακάτω, κρίνεται αναγκαίο να αναλυθούν συνοπτικά οι κυριότερες τεχνικές της συντήρησης, οι οποίες αναφέρθηκαν επιγραμματικά σε προηγούμενη ενότητα.

1.2.3.2. ΕΠΙΔΙΟΡΘΩΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ (*BREAKDOWN OR CORRECTIVE MAINTENANCE*)

Ο συγκεκριμένος τύπος συντήρησης εμφανίστηκε με τη λειτουργία των πρώτων μηχανών. Με τον όρο "*Breakdown or corrective Maintenance*", εννοείται η συντήρηση εκείνη που πραγματοποιείται, όταν εμφανίζεται αστοχία σε κάποιο από τα εξαρτήματα της μηχανής και γίνεται παρέμβαση με σκοπό την επαναφορά του σε λειτουργία. Πρέπει να τονιστεί, ότι η προαναφερθείσα μέθοδος επιλέγεται, μόνο για εκείνα τα εξαρτήματα, των οποίων οι συνέπειες από ενδεχόμενες βλάβες δεν είναι καταστροφικές και το κόστος της είναι συνήθως πολύ μικρότερο, συγκριτικά με το κόστος της προληπτικής συντήρησης.

Πρόκειται για συντήρηση που δεν απαιτεί ιδιαίτερη οργάνωση και προγραμματισμό, αλλά αντιθέτως διεξάγεται αρκετές φορές κάτω από έντονη πίεση, λόγω της ανάγκης για ταχύτατη επιδιόρθωση της βλάβης. Συνήθως, την επιλέγουμε για υλικά που δεν είναι κρίσιμης σημασίας ή και σε περιπτώσεις, όπου δεν μπορούμε να ακολουθήσουμε άλλη μέθοδο συντήρησης. Το χαμηλό κόστος της αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την επιλογή της εν λόγω στρατηγικής.

1.2.3.3. ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ (*PREVENTIVE MAINTENANCE*)

Με την υψηλή μηχανοποίηση που σημειώθηκε μετά τη λήξη του Β΄ Παγκοσμίου πολέμου και για πρώτη φορά στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής περί το 1951, εμφανίστηκε η μέθοδος της προληπτικής συντήρησης. Συγκεκριμένα, αποτελεί την καθημερινή συντήρηση, η οποία περιλαμβάνει διάφορες ενέργειες, όπως πλύσιμο του οχήματος, επιθεωρήσεις, λιπάνσεις και συσφίξεις όπου απαιτείται, με σκοπό να διατηρήσει το όχημά μας ή και γενικότερα τον εξοπλισμό σε καλή λειτουργική κατάσταση και να μειώσει κατά κάποιο τρόπο την πιθανότητα εμφάνισης κάποιας βλάβης. Εκτός από την καθημερινή συντήρηση του χειριστή, υπάρχει και η περιοδική προληπτική συντήρηση (*Periodic Maintenance*), η οποία θα πρέπει να υλοποιείται σε τακτά χρονικά διαστήματα από εξειδικευμένο τεχνικό προσωπικό. Το όχημα ή γενικά ο εξοπλισμός θα πρέπει να ακινητοποιηθεί μετά από κάποιες ώρες λειτουργίας ή συγκεκριμένη διανυθείσα απόσταση και να επιθεωρηθεί εκτενώς. Τυχόν φθαρμένα εξαρτήματα που θα διαπιστωθούν κατά την επιθεώρηση, αντικαθίστανται και το όχημα παραδίδεται σε λειτουργία.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα της περιοδικής προληπτικής συντήρησης φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (1.3), ο οποίος καθορίζει με σαφήνεια τη διανυθείσα απόσταση, στην οποία θα πρέπει να υλοποιηθεί η προληπτική συντήρηση. Ο εν λόγω πίνακας αναφέρεται σε λεωφορεία όλων των κατηγοριών, σύμφωνα με όσα έχουν καθοριστεί από τον οργανισμό Federal Transit Administration (*FTA*). Τονίζεται, ότι τα παρακάτω όρια εφαρμόζονται με αρκετά μεγάλη ακρίβεια και με σχετικά μικρές αποκλίσεις της τάξης των 500-1000 μίλια. Επιπροσθέτως, καθορίζονται τέσσερις διαφορετικοί τύποι επιθεώρησης, ανάλογα με τη σημαντικότητά τους (*A,B,C,D*) και αντίστοιχα για τον καθένα, το όριο της διανυθείσας απόστασης, στο οποίο πραγματοποιείται η περιοδική προληπτική συντήρηση.

Πίνακας 1.3: Πίνακας Προληπτικής Συντήρησης για λεωφορεία.

ΤΥΠΟΣ ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ	ΕΠΑΝΑΛΗΠΤΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ	ΑΠΟΚΛΙΣΗ
ΕΛΑΣΣΟΝΟΣ ΣΗΜΑΣΙΑΣ	A	2000 ΜΙΛΙΑ	+/- 500 ΜΙΛΙΑ
ΕΝΔΙΑΜΕΣΗ	B	6000 ΜΙΛΙΑ	+1000/-500 ΜΙΛΙΑ
	C	12000 ΜΙΛΙΑ	+1000/-500 ΜΙΛΙΑ
ΜΕΙΖΟΝΟΣ ΣΗΜΑΣΙΑΣ	D	24000 ΜΙΛΙΑ	+1000/-500 ΜΙΛΙΑ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	ΕΠΟΧΙΑΚΗ ΕΠΟΧΙΑΚΗ	

1.2.3.4. ΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ (*TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE-TPM*)

Η μέθοδος της TPM συντήρησης προέρχεται από την Ιαπωνία και τοποθετείται χρονικά γύρω στο 1951. Ουσιαστικότερα, όμως, το 1960 μια ιαπωνική εταιρία, γνωστή ως "*Niprodensō*", εξελίσσει για πρώτη φορά την προληπτική συντήρηση σε ολική παραγωγική. Η ιδέα της εταιρίας είναι η παραγωγή των αγαθών να υλοποιείται με τη βοήθεια μηχανών, ενώ το τμήμα συντήρησης θα είχε ως αποστολή τη διατήρηση αυτών σε καλή λειτουργική κατάσταση. Το πρόβλημα, όμως που ανέκυψε ήταν ότι το προσωπικό του τμήματος συντήρησης δεν επαρκούσε και έτσι η εταιρία αποφάσισε, η συντήρηση να γίνεται από τους ίδιους τους χειριστές. Η μέθοδος αυτή καλείται ως "*Autonomous Maintenance*" και αποτελεί μια από τις κατηγορίες της TPM συντήρησης.

Με τον τρόπο αυτό, όλο το προσωπικό συμμετείχε στη διαδικασία της συντήρησης και έτσι οδηγηθήκαμε σε αυτό που ορίζουμε ως "*Total Productive Maintenance*". Ο σκοπός της συντήρησης αυτής είναι να μεγιστοποιεί την αποτελεσματικότητα του εξοπλισμού, ώστε να επιτυγχάνεται ο βέλτιστος

κύκλος ζωής. Η μέθοδος TPM συντήρησης μπορεί να θεωρηθεί ως "*Medical Science*" των μηχανών. Συνοπτικά, οι κυριότεροι στόχοι της TPM είναι:

- ✚ Αποφυγή σπατάλης σε μια ταχύτατα μεταβαλλόμενη οικονομία.
- ✚ Παραγωγή αγαθών, χωρίς να μειώνεται η ποιότητά τους.
- ✚ Μείωση του κόστους.
- ✚ Παραγωγή μικρής παρτίδας προϊόντων στον ελάχιστο δυνατό χρόνο.
- ✚ Ελαχιστοποίηση των ελαττωματικών προϊόντων που φτάνουν στην αγορά.

1.2.3.5. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ (*RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE-RCM*)

Ο όρος "*Reliability Centered Maintenance*", αναφέρεται για πρώτη φορά από τους Tom Matteson, Stanley Nowlan και Howard Hear, μηχανικοί στις εμπορικές αμερικάνικες αερογραμμές, οι οποίοι στην προσπάθειά τους να καθορίσουν τα βέλτιστα όρια συντήρησης των αεροσκαφών στις δεκαετίες του 60-70, εισάγουν την εν λόγω συντήρηση. Η πρώτη δημοσίευση, όσον αφορά στη συντήρηση βασιζόμενη στην αξιοπιστία, πραγματοποιείται το 1978 από τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. Όλα ξεκίνησαν από το γεγονός, ότι η πρώτη γενιά αεροσκαφών παρουσίαζε πολύ υψηλό ποσοστό βλαβών, γεγονός που οδηγούσε σε τραγικά ατυχήματα. Όπως είναι κατανοητό, τα ποσοστά των βλαβών ήταν εξαιρετικά υψηλά και έτσι εκκίνησαν μελέτες, οι οποίες απέδειξαν, ότι όλα τα δομικά στοιχεία μιας μηχανής είχαν συγκεκριμένο χρόνο ζωής, μετά την παρέλευση του οποίου έπρεπε, είτε να ανακατασκευασθούν, είτε να αντικατασταθούν, ώστε να θεωρούνται αξιόπιστα.

Από τις αρχές της δεκαετίας του 80, έχουμε ευρεία εφαρμογή της RCM συντήρησης στην πολεμική βιομηχανία των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, αλλά και σε πυρηνικούς τομείς της βιομηχανίας. Συνοπτικά, μπορούμε να πούμε ότι η RCM συντήρηση συμβάλλει στην καλύτερη κατανόηση των εξής σημαντικών επισημάνσεων:

- ✚ Το μεγαλύτερο ποσοστό κρίσιμων βλαβών δεν συνδέεται κατ'ανάγκη με την ηλικία του υλικού.

- ✚ Εναλλακτικά, αντί να επιδιώκεται η πρόβλεψη της προσδοκώμενης ζωής ενός δομικού στοιχείου, προτιμότερο είναι η γνώση της διαδικασίας εμφάνισης και ανάπτυξης των βλαβών.
- ✚ Διαπίστωση έντονων διαφορών στη σημασία που δίνει ένας απλός χειριστής μιας μηχανής, όσον αφορά στην αξιοπιστία αυτής, συγκριτικά με τα όσα καθορίζει ο κατασκευαστής.
- ✚ Επίπεδα αλληλοεξάρτησης μεταξύ αποδεκτής αστοχίας και στην ανάπτυξη στρατηγικών συντήρησης.

Εν κατακλείδι, η RCM συντήρηση εστιάζει στις περιπτώσεις, όπου έχουμε βλάβες των δομικών στοιχείων, που προκαλούνται από τυχαία γεγονότα ή από απρόβλεπτη συμπεριφορά της φύσης του υλικού. Όταν, τα ποσοστά τέτοιων βλαβών είναι πολύ υψηλά, τότε παρεμβαίνει η RCM συντήρηση και ενθαρρύνει το χειριστή ή και πολλές φορές του επιβάλλει να προβεί σε αναγκαίες τροποποιήσεις, ώστε να μειώσει τον κίνδυνο σε ανεκτό επίπεδο.

1.2.3.6. ΠΡΟΒΛΕΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ (*PREDICTIVE MAINTENANCE*)

Σύμφωνα με όσα έχουν αναφερθεί σε προηγούμενες ενότητες, το κρίσιμο σημείο είναι η επιλογή της ορθότερης συντήρησης ή συνδυασμού διαφόρων τύπων αυτής, ανάλογα με το τεχνικό υλικό που επιθυμούμε να συντηρηθεί, καθώς και η διασφάλιση των εξής στοιχείων:

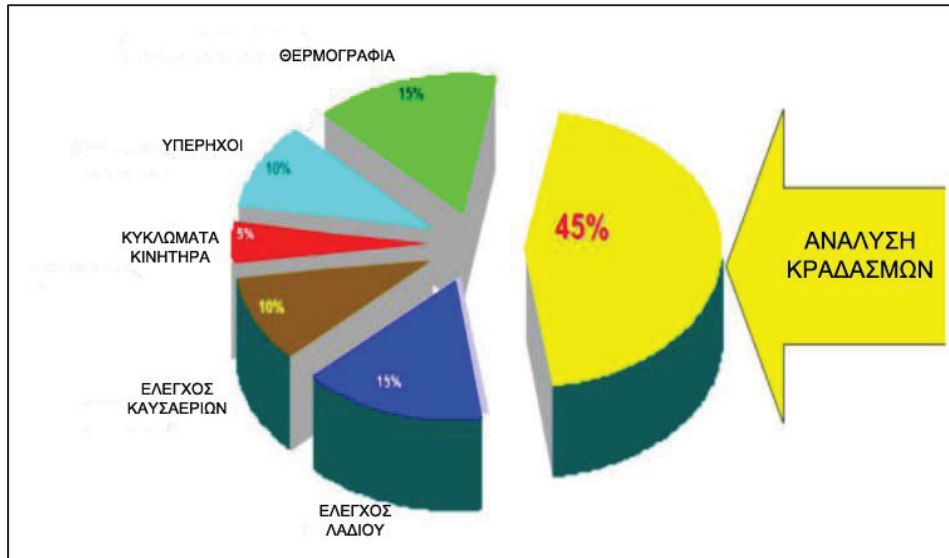
- ✚ Πρόβλεψη των επικείμενων προβλημάτων και σχεδιασμό για την αντιμετώπισή τους, πριν οδηγήσουν σε πλήρη κατάρρευση του υλικού.
- ✚ Ελαχιστοποίηση των πιθανοτήτων αστοχίας, όταν το υλικό είναι καινούριο και περιορισμός των επιπτώσεων, σε περίπτωση εμφάνισής τους (*αστοχίες*).
- ✚ Εφαρμογή ενός προγράμματος, που θα έχει ως στόχο τη διασφάλιση της ποιότητας και αξιοπιστίας του εξοπλισμού και θα εγγυάται την καλή λειτουργική κατάσταση σε συνεχή βάση.
- ✚ Παρακολούθηση και καταγραφή όλων των παραμέτρων της συντήρησης που πραγματοποιείται, ώστε τα στοιχεία που

συλλέγονται, να αξιολογούνται και σε βάθος χρόνου να εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα για τη βελτίωση των υπαρχόντων τεχνικών συντήρησης ή και την εύρεση νέων.

Με βάση τα παραπάνω, τα οποία αποσκοπούν στη σταδιακή μετατόπιση της συντήρησης από εργασίες επισκευών-αντικαταστάσεων σε εργασίες πρόβλεψης-πρόγνωσης επικείμενων βλαβών, αναπτύχθηκε η προβλεπτική συντήρηση ("*Predictive Maintenance*" ή αλλιώς *Condition Monitoring*").

Η μέθοδος της προβλεπτικής συντήρησης βασίζεται στην ποσοτική επιθεώρηση του εξοπλισμού, μέσω κατάλληλων μετρητικών συσκευών, οι οποίες επιτρέπουν την πραγματική διάγνωση της λειτουργικής κατάστασης της μηχανής που ελέγχουμε (*μη παρεμβατική μέθοδος*). Στόχος της προβλεπτικής συντήρησης είναι να μας παρέχει σημαντικές "ενδείξεις" για την πραγματική κατάσταση του υλικού, μέσω ποσοτικών μεγεθών, όπως η θερμοκρασία που αναπτύσσεται σε διαφορα εξαρτήματα κατά τη λειτουργία ή μέτρηση πίεσεων με χρήση μανομέτρων, επιταχύνσεων περιστρεφόμενων μερών με επιταχυνσιόμετρα, κ.τ.λ.

Εκμεταλλεούμενοι, λοιπόν, τις δυνατότητες της διαθέσιμης τεχνολογίας, η οποία είναι επιβεβλημένη για την υλοποίηση της εν λόγω συντήρησης και με τη βοήθεια χρήσιμων εργαλείων όπως: (*Vibration Analysis, Infrared Thermography, Motor Circuit Analysis, oil Analysis, Steam Trap, κ.τ.λ*), παρατηρείται η δυναμική κατάσταση ενός οχήματος ή οποιουδήποτε άλλου υλικού. Με αυτόν τον τρόπο προβλέπεται, ανάλογα με τις τιμές που λαμβάνονται συναρτήσει του χρόνου, η πιθανότητα να αστοχήσει μελλοντικά. Στο σχήμα που ακολουθεί (1.5), παρουσιάζονται ενδεικτικά τα ποσοστά χρήσης των παραπάνω τεχνικών στην προβλεπτική συντήρηση.

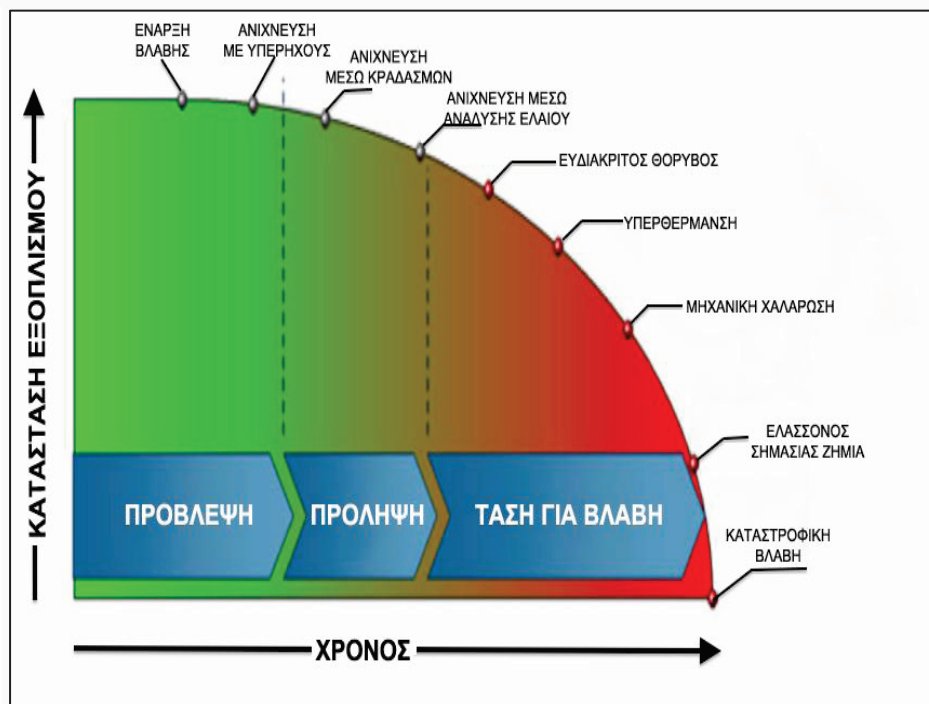


Σχήμα 1.2: Σχεδιάγραμμα με τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην προβλεπτική συντήρηση και τα ποσοστά χρήσης τους.

Επιπροσθέτως, για λόγους πληρότητας, αξίζει να τονιστεί, ότι η FMECA (*Failure Modes, Effects and Critically Analysis*), αποτελεί τη διαδικασία εκείνη, μέσω της οποίας καταδεικνύεται ποια από τις υπάρχουσες τεχνικές επιθεωρήσεων είναι κατάλληλη, αναλόγως τον τύπο του τεχνικού υλικού που επιθεωρείται.

Συνοψίζοντας, λοιπόν, η προβλεπτική συντήρηση βασίζεται κατά κύριο λόγο στην παρατήρηση. Τα οχήματα, εν προκειμένω, υποβάλλονται σε τεχνικές επιθεωρήσεις και μέσω της απλής παρατήρησης, αλλά και με τη βοήθεια χρήσιμων εργαλείων, όπως αυτά που αναφέρθηκαν προηγουμένως, εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα όσον αφορά στην ενδεχόμενη ή μη ανάπτυξη σημαντικών βλαβών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα στην περίπτωση οχημάτων αποτελεί π.χ. η παρατήρηση διαρροής λαδιού απο τον κινητήρα, απώλεια ισχύος από τον κινητήρα ή και παρατήρηση έντονων οξειδωτικών φαινομένων στο πλαίσιο του οχήματος. Όλα τα παραπάνω αποτελούν σημαντικές ενδείξεις, ότι μελλοντικά είναι πιθανόν να εμφανιστούν σημαντικότερες βλάβες, οι οποίες δύναται να ακινητοποιήσουν πλήρως το όχημα.

Για την καλύτερη κατανόηση της προβλεπτικής και της προληπτικής συντήρησης, όσον αφορά στη χρονική τους τοποθέτηση, συναρτήσει και της κατάστασης του οχήματος, παρατίθεται το παρακάτω σχήμα (1.3), όπου φαίνεται, ότι η προβλεπτική συντήρηση προηγείται χρονικά της προληπτικής, από τη στιγμή εμφάνισης της αρχικής βλάβης μέχρι και την πλήρη αστοχία του οχήματος.



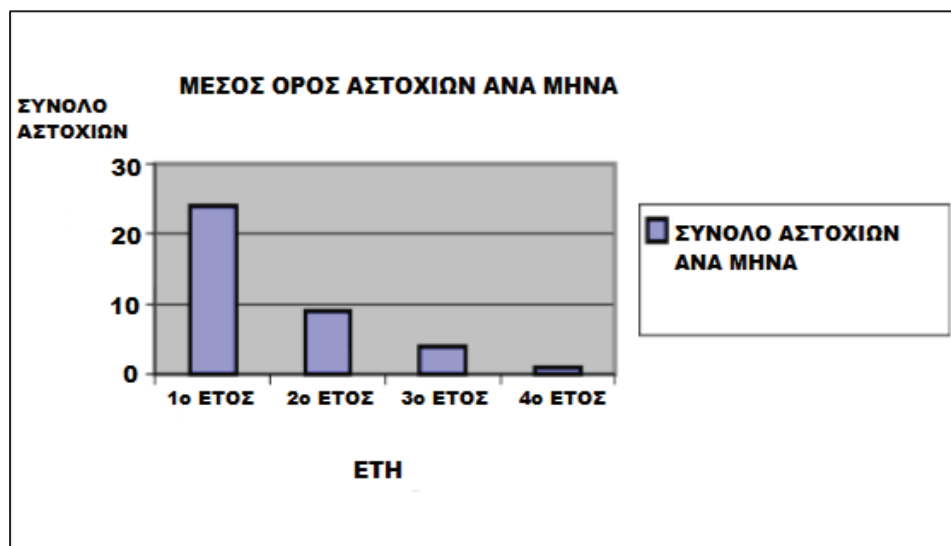
Σχήμα 1.3: Χρονική τοποθέτηση προβλεπτικής-προληπτικής συντήρησης από αρχική εμφάνιση βλάβης μέχρι την πλήρη αστοχία.

1.2.3.7. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ (*DESIGN-OUT MAINTENANCE*)

Αποτελεί την πιο σύγχρονη μορφή συντήρησης, η οποία εφαρμόζεται τα τελευταία χρόνια κυρίως σε περιπτώσεις κρίσιμων υλικών, όπου το κόστος συντήρησης είναι αρκετά υψηλό. Εστιάζει απ'ευθείας στη "ρίζα" του προβλήματος, με στόχο τον επανασχεδιασμό εκείνων των δομικών στοιχείων που εμφανίζουν υψηλά ποσοστά βλαβών και ταυτόχρονα έχουν πολύ μεγάλο κόστος επισκευής. Μία τέτοια προσέγγιση είναι πολύ πιο αποτελεσματική,

αφού εκτελώντας μια φορά τον επανασχεδιασμό, τότε προκύπτουν μόνιμα οφέλη και μείωση των εργασιών συντήρησης, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες προσεγγίσεις συντήρησης, οι οποίες απλώς μειώνουν τις επιπτώσεις της μη-αξιοπιστίας, χωρίς να βελτιώνουν την ίδια την αξιοπιστία. Επομένως, στη συντήρηση ακριβείας, το τμήμα συντήρησης θα πρέπει να βρίσκεται σε συνεχή συνεργασία με το τμήμα σχεδιασμού.

Συνοψίζοντας, πρέπει να τονίσουμε, ότι η εφαρμογή της συντήρησης ακριβείας προϋποθέτει την ύπαρξη τμήματος σχεδιασμού που θα προωθεί τις καινοτομικές ιδέες, αλλά και τμήμα συντήρησης που θα αποτελείται από εξειδικευμένο τεχνικό προσωπικό. Η συντήρηση ακριβείας πλεονεκτεί έναντι όλων των υπάρχοντων μεθόδων συντήρησης που έχουν αναπτυχθεί έως τώρα και αυτό έχει επιβεβαιωθεί μέσω μελετών που έχουν υλοποιηθεί τα τελευταία χρόνια. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η εφαρμογή της συντήρησης ακριβείας σε μεγάλη χημική βιομηχανία, η οποία πριν την εφαρμογή της εν λόγω συντήρησης, είχε καταμετρημένες κατά μέσο όρο 24 κρίσιμες βλάβες μηνιαίως, ενώ μετά την εφαρμογή της εν λόγω συντήρησης, ο μέσος όρος κρίσιμων βλαβών σχεδόν μηδενίστηκε μέσα σε μια χρονική περίοδο 4 ετών, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί (1.4).



Σχήμα 1.4: Μείωση των κρίσιμων βλαβών ανά μήνα, μετά την εφαρμογή της συντήρησης ακριβείας σε χημική βιομηχανία.

Εκτός, όμως, από το παραπάνω σχήμα (1.4), όπου αποδεικνύεται η σημαντική μείωση των κρίσιμων βλαβών, διαπιστώθηκαν βελτιώσεις σε μια πληθώρα παραμέτρων, όπως: αύξηση της αξιοπιστίας από 75% στο 95%, σημαντικές αυξήσεις στην ολική παραγωγή και στην ποιότητα των προϊόντων, μείωση του μέσου χρόνου συντήρησης ανά έτος, καθώς και του προϋπολογισμού για τη συντήρηση. Στον παρακάτω πίνακα (1.4) αποτυπώνονται με σαφήνεια οι βελτιώσεις που επιτεύχθηκαν με την εφαρμογή της συντήρησης ακριβείας.

Πίνακας 1.4: Πίνακας με σημαντικές βελτιώσεις παραμέτρων μετά την εφαρμογή της συντήρησης ακριβείας.

Α/Α	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	ΠΡΙΝ	ΜΕΤΑ
1	Αξιοπιστία (Reliability)	75%	95%
2	Μέσος χρόνος επισκευής	4 ώρες	2 ώρες
3	Διαθεσιμότητα (Markov Analysis)	96.10%	99.5%
4	Μέσος χρόνος της επιδιορθωτικής συντήρησης	2.49 ώρες	1.64 ώρες
5	Προσωπικό συντήρησης	126	107
6	Μέσος χρόνος επισκευών ετησίως	4675.66 ώρες	3108.87 ώρες
7	Προϋπολογισμός συντήρησης	RS 3.4 Crores	RS 1.41 Crores
8	Ποσοστό παραγωγής	1.66 τεμ/ώρα	1.87 τεμ/ώρα
9	Ποιότητα	3.5σ	6σ

Εν κατακλείδι, η συντήρηση ακριβείας συγκαταλέγεται ως μία από τις πιο καινοτομικές μεθόδους συντήρησης και η σωστή εφαρμογή της μπορεί να επιφέρει αναρίθμητα θετικά αποτελέσματα, μερικά από τα οποία αναφέρονται επιγραμματικά παρακάτω:

- ✚ Μείωση του κόστους και αύξηση των κερδών.
- ✚ Βελτίωση στην ποιότητα των προϊόντων.

- ✚ Αύξηση παραγωγικότητας και σημαντικές βελτιώσεις στην τεχνολογία και την ασφάλεια.
- ✚ Εμφάνιση περισσότερων καινοτομικών ιδεών.
- ✚ Ελαχιστοποίηση του κόστους, των εργασιών και του σχεδιασμού της συντήρησης.
- ✚ Ταχεία απόσβεση των επενδύσεων που θα γίνουν στη συντήρηση ακριβείας.
- ✚ Βελτιωμένο σύστημα πληροφοριών, το οποίο θα διευκολύνει τη διεύθυνση του τμήματος συντήρησης, ώστε να σχεδιάζει και να εκτελεί τις απαιτούμενες εργασίες υπό τον καλύτερο δυνατό έλεγχο.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ "ΓΗΡΑΝΣΗΣ" ΟΧΗΜΑΤΩΝ-ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ-ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΒΛΑΒΩΝ

2.1. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ "ΓΗΡΑΝΣΗΣ" ΟΧΗΜΑΤΩΝ

2.1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ "ΓΗΡΑΝΣΗΣ" ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Κατά την υλοποίηση της διαδικασίας συντήρησης και ανακατασκευών των οχημάτων χρησιμοποιούνται συχνά έννοιες, των οποίων ο ορισμός επιβάλλεται να καθορίζεται επακριβώς, ώστε να κατανοούνται σε βάθος οι διάφορες "πολιτικές ανακατασκευών" και οι τύποι συντηρήσεως.

Για τον ορισμό της έννοιας της "γήρανσης", δε μπορεί να δοθεί μονοσήμαντη ερμηνεία. Κατα καιρούς έχουν διατυπωθεί διάφοροι ορισμοί, οι οποίοι προσεγγίζουν με διαφορετικούς τρόπους αυτό που ονομάζεται "aging

process". Κατά τους Merriam-Webster, ως "γήρανση" θεωρείται η σταδιακή αλλαγή ενός οργανισμού, η οποία οδηγεί σε συνεχώς αυξανόμενο κίνδυνο εμφάνισης αδυναμίας, ασθένειας, ακόμα και θνησιμότητας. Αν και υπάρχουν πολλά κοινά μεταξύ ανθρώπινου οργανισμού και οποιουδήποτε τεχνικού εξοπλισμού, όσον αφορά στη σημασία της "γήρανσης", ειδικότερα για τη "γήρανση" οχημάτων και γενικά τεχνικούς εξοπλισμούς, δίνεται η εξής προσέγγιση:

<<Ως "γήρανση" των οχημάτων ορίζεται η απώλεια της εναπομείνουσας διάρκειας ζωής τους, η οποία καθορίζεται είτε με βάση την ασφάλεια είτε με βάση οικονομικούς όρους>>.

Ωστόσο, δεν είναι η μοναδική προσέγγιση στον ορισμό της "γήρανσης", αλλά σε μεγάλο αριθμό ξένης τεχνικής βιβλιογραφίας διατυπώνεται και ο παρακάτω ορισμός:

<<Ως "γήρανση" των οχημάτων ορίζεται η σταδιακή μείωση της αντοχής των δομικών στοιχείων ενός οχήματος, όσο αυτό λειτουργεί, μέχρι τη στιγμή της εμφάνισης διαφόρων τύπων βλαβών>>.

2.1.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΗΣ "ΓΗΡΑΝΣΗΣ" ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Διακρίνουμε δύο βασικούς τύπους "γήρανσης", οι οποίοι είναι γνωστοί με τις ονομασίες "**περιβαλλοντικής γήρανσης**" (*environmental aging*) και της "**λειτουργικής γήρανσης**" (*operational aging*).

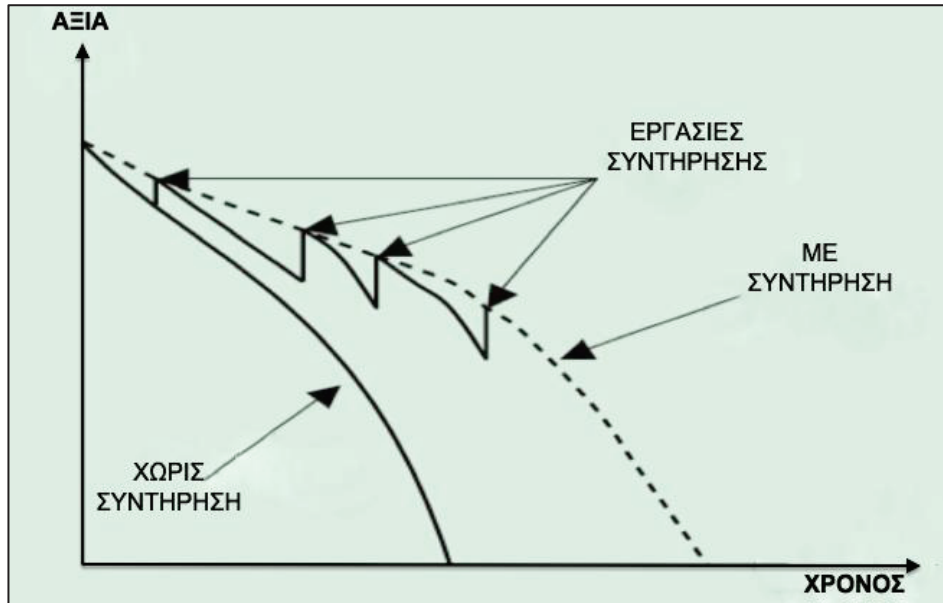
Η "**περιβαλλοντική γήρανση**" επιδρά στον εξοπλισμό συνεχώς, λόγω της μη δυνατότητας αποφυγής της επίδρασης του περιβάλλοντος, είτε ο εξοπλισμός βρίσκεται σε λειτουργία είτε όχι. Είναι, λοιπόν, κατανοητό ότι ο συγκεκριμένος τύπος "γήρανσης" είναι αναπόφευκτος με την παρέλευση του χρόνου και χαρακτηριστικά παραδείγματα για την κατανόηση αυτής, αποτελούν οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας, η υγρασία, τα διάφορα σωματίδια που με τις επικαθίσεις επιταχύνουν τα φαινόμενα διάβρωσης, η ακτινοβολία, οι

κραδασμοί, ακόμα και η ίδια η παρέλευση του φυσικού χρόνου. Αντιθέτως, η "λειτουργική γήρανση" υφίσταται μόνο κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του εξοπλισμού. Χαρακτηριστικά παραδείγματα για την κατανόηση αυτής αποτελούν οι μηχανικές και θερμικές καταπονήσεις σε διάφορα δομικά στοιχεία κατά τη λειτουργία τους, οι έντονες τριβές μεταξύ εξαρτημάτων λόγω απουσίας λιπαντικών, θραύσεις, pitting κ.τ.λ.

Κατά κύριο λόγο υπάρχουν τρεις βασικές εκδοχές υπολογισμού της "ηλικίας" ενός οχήματος ή εναλλακτικά της εκτίμησης της "γήρανσης" που έχει υποστεί. Αυτό εξαρτάται από τον τύπο, που θα επιλεγεί ως βάση υπολογισμού. Παρακάτω αναλύονται συνοπτικά οι βασικότεροι τύποι διάρκειας ζωής των οχημάτων, αλλά και γενικότερα κάθε εξοπλισμού:

Φυσική Διάρκεια Ζωής:

Ορίζεται ως εκείνο το χρονικό διάστημα ενός οχήματος από τη στιγμή που η κατάσταση του χαρακτηρίζεται ως "καινούριο" μέχρι εκείνη τη χρονική στιγμή, στην οποία η λειτουργική του κατάσταση έχει υποβαθμιστεί τόσο ώστε να μην μπορεί να εκτελέσει την αποστολή του. Κατά συνέπεια πρέπει είτε να ανακατασκευασθεί, είτε να αντικατασταθεί από άλλο "καινούριο" όχημα. Θα πρέπει να τονιστεί ότι η προληπτική συντήρηση (η οποία αναπτύχθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο) δύναται να παρατείνει τη "φυσική διάρκεια ζωής" ή εναλλακτικά να καθυστερήσει τη διαδικασία της "γήρανσης", χωρίς όμως να μπορεί να την σταματήσει. Η αλληλοεξάρτηση της προληπτικής συντήρησης με την αξία (*value*) και την παρέλευση του χρόνου (*age*) φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (2.1), όπως και η διαφαινόμενη παράταση της, μέσω των εργασιών συντήρησης.



Σχήμα 2.1: Γράφημα που αναπαριστά τη σχέση μεταξύ προληπτικής συντήρησης, αξίας και χρόνου.

Τεχνική Διάρκεια Ζωής:

Αποτελεί μια διαφορετική θεώρηση της διάρκειας ζωής ενός οχήματος και ορίζεται ως εκείνο το χρονικό διάστημα στο οποίο ένα όχημα πρέπει να αντικατασταθεί λόγω κάποιων τεχνικών περιορισμών, ανεξαρτήτως αν η λειτουργική του κατάσταση είναι τέτοια ώστε να δύναται να εκτελέσει την αποστολή του. Για την πλήρη κατανόηση του όρου, αρκεί να αναφέρθούν κάποια σχετικά παραδείγματα, μέσω των οποίων καταδεικνύεται η ανωτέρω διάρκεια ζωής.

Με την αλματώδη ανάπτυξη της τεχνολογίας και ειδικότερα της βιομηχανίας των οχημάτων, οι κατασκευαστές σταματούν την παραγωγή μικρότερων εξαρτημάτων παλαιότερης τεχνολογίας λόγω της κατασκευής καινούριων προϊόντων, τα οποία συμβαδίζουν με την τεχνολογία. Ως άμεσο αποτέλεσμα αυτού, η συντήρηση οχημάτων που χρησιμοποιούν πεπαλαιωμένα εξαρτήματα ή δομικά στοιχεία που έχει ήδη σταματήσει η παραγωγή τους, χαρακτηρίζεται ιδιαίτερα χρονοβόρα, λόγω έλλειψης κάποιων από τα προαναφερθέντα ανταλλακτικά στο εμπόριο, άλλα και οικονομικά ασύμφορη. Το

παραπάνω γεγονός οδηγεί πολλές φορές τις κατασκευάστριες εταιρίες οχημάτων να σταματούν τη μαζική παραγωγή κάποιων μοντέλων λόγω παλαιότητας ή "ξεπερασμένης" τεχνολογίας αυτών, ανεξάρτητα αν το όχημα είναι πλήρως λειτουργικό. Τότε, θεωρείται ότι ένα όχημα έχει συμπληρώσει το όριο της δικής του τεχνικής διάρκειας ζωής.

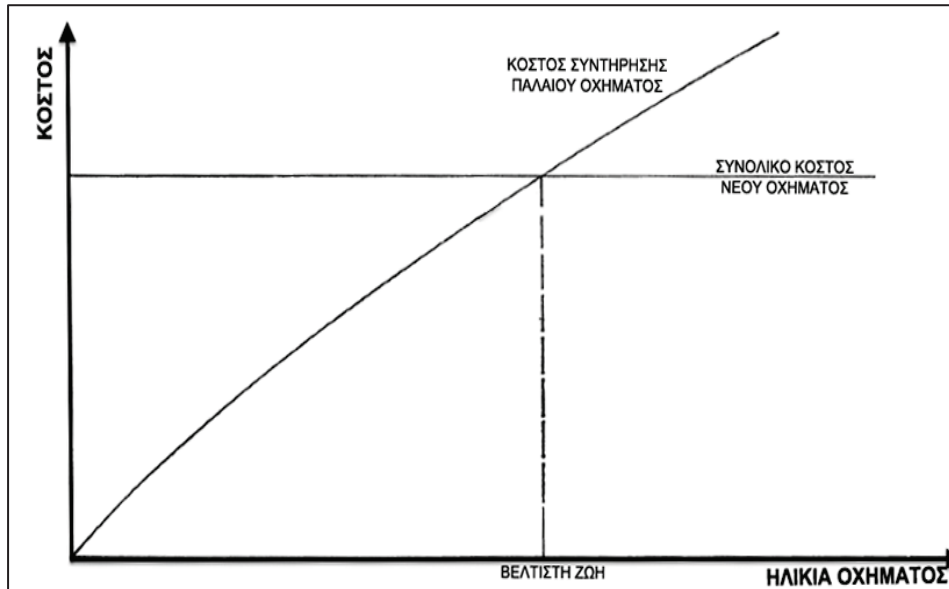
Οικονομική Διάρκεια Ζωής:

Υπάρχει, επίσης και η "οικονομική διάρκεια ζωής" των οχημάτων, η οποία ερμηνεύεται ως εκείνο το χρονικό διάστημα, με την παρέλευση του οποίου το όχημα χαρακτηρίζεται ως "οικονομικά μη αξιοποιήσιμο", ανεξαρτήτως αν αυτό παραμένει σε καλή λειτουργική κατάσταση. Επειδή, η κατανόηση εις βάθος της πραγματικής σημασίας της, είναι εξαιρετικά δύσκολη, διατυπώνονται δύο προσεγγίσεις, όσον αφορά στον τρόπο υπολογισμού της:

- Η αρχική αξία ενός οχήματος μειώνεται, ως γνωστόν με την παρέλευση του χρόνου. Όταν, λοιπόν, η "εναπομείνουσα αρχική αξία" προσεγγίσει τη μηδενική τιμή τότε λέμε ότι το εν λόγω όχημα έχει συμπληρώσει την οικονομική διάρκεια ζωής. Εναλλακτικά, συναντάμε πολλές φορές και την παρακάτω διατύπωση:
- Παράλληλα με τη συνεχή μείωση της αρχικής αξίας ενός οχήματος, υπάρχουν και τα έξοδα λειτουργίας και συντήρησής του. Αντιθέτως, τα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης αυξάνονται συνεχώς, όσο το όχημά "γηράσκει" και κάποια δεδομένη χρονική στιγμή θα ξεπεράσουν ακόμα και την υπάρχουσα αξία ολόκληρου του οχήματος, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχεδιάγραμμα (2.2). Είναι, λοιπόν, κατανοητό, ότι σε αυτήν την περίπτωση συγκρίνουμε τα έξοδα συντήρησης και λειτουργίας ενός οχήματος με την αρχική του αξία σε κατάσταση "καινούριου", και αποφαινόμεστε για τον

ακριβή χρόνο στον οποίο θα το θεωρήσουμε ως "οικονομικά μη αξιοποιήσιμο".

Η χρήση της οικονομικής διάρκειας ζωής είναι η πιο διαδεδομένη παγκοσμίως, όσον αφορά στις "πολιτικές ανακατασκευών" ή αντικαταστάσεων των οχημάτων, που κατά καιρούς έχουν διατυπωθεί. Ωστόσο, πρέπει να επισημανθεί, ότι το ποσοστό των εξόδων συντήρησης και λειτουργίας ως προς την αρχική αξία ενός οχήματος, το οποίο αποτελεί συχνά τον πρωταρχικό παράγοντα για τη λήψη αποφάσεων υλοποίησης της ανακατασκευής ή αντικατάστασης ενός οχήματος, δεν είναι ενιαία καθορισμένο σε παγκόσμιο επίπεδο, αλλά παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις. Το γεγονός αυτό είναι απολύτως ευνόητο, διότι οι παράμετροι που καθορίζουν τις ανακατασκευές ή τις αντικαταστάσεις των οχημάτων είναι πολυάριθμοι και σχετίζονται με τον τύπο των οχημάτων, τις συνθήκες κάτω από τις οποίες λειτουργούν, τη φύση και την κλίση του εδάφους που συνήθως κινούνται, τις κλιματολογικές συνθήκες, το είδος των αποστολών που έχουν να εκτελέσουν (και επομένως την αξιοπιστία που επιβάλλεται να έχουν) και γενικά από τις διάφορες ανθρώπινες ανάγκες και απαιτήσεις. Στο παρακάτω σχήμα (2.2) αποτυπώνεται η αύξηση του κόστους συντήρησης των οχημάτων, συναρτήσει της ηλικίας αυτών.



Σχήμα 2.2: Γράφημα που αναπαριστά τη σχέση μεταξύ του κόστους συντήρησης ενός οχήματος και της "ηλικίας" του.

Επιπλέον, για λόγους διδακτικούς, κρίνεται αναγκαίο να αναφερθεί και μια άλλη κατηγοριοποίηση της "γήρανσης", η οποία βασίζεται περισσότερο στις φυσικές αιτίες της "διαδικασίας γήρανσης" (*aging process*) και σύμφωνα με την οποία διακρίνονται ακόμα τέσσερις διαφορετικούς τύπους "γήρανσης". Στον παρακάτω πίνακα, παρατίθενται συνοπτικά, η ονομασία των τύπων και οι επιπτώσεις τους.

Πίνακας 2.1: Πίνακας που αναπαριστά τις κατηγορίες "*Aging Equipment*" και τους ορισμούς αυτών.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ
Chronological Age (CA)	Γήρανση με την έναρξη της κατασκευής. Οφείλεται στην σταδιακή υποβάθμιση συγκεκριμένων υλικών λόγω φυσικών αιτιών με την παρέλευση ημερολογιακού έτους.
Cumulative Service Stress (CSS)	Γήρανση που οφείλεται στις συνολικά αθροιστικές επιπτώσεις που προκαλούν τα διάφορα μηχανικά και ηλεκτρικά φορτία που εφαρμόζονται στον εξοπλισμό, από την αρχική του κατασκευή έως και την παρούσα κατάσταση.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ	ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ
Abnormal Event Stress (AES)	Γήρανση που οφείλεται στις συνολικά αθροιστικές επιπτώσεις που προκαλούν τυχαία και μη φυσιολογικά συμβάντα "not considered as normal service" .
Technical Obsolescence (TO)	Γήρανση λόγω παλαιότητας του τεχνικού εξοπλισμού, το οποίο οδηγεί άμεσα και στην ταχεία υποβάθμιση ολόκληρου του τεχνικού υλικού.

2.1.3. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΚΑΤΑΔΕΙΚΝΟΥΝ ΤΗ "ΓΗΡΑΝΣΗ" ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Η αναγνώριση της διαδικασίας της γήρανσης αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες, που συμβάλλουν αποτελεσματικά στον καθορισμό της βέλτιστης διάρκειας ζωής των οχημάτων. Συνεπώς, θα πρέπει να καθοριστούν εκείνοι οι παράγοντες, που καταδεικνύουν τη "γήρανση", καθώς και τα επίπεδα εξέλιξής της. Η "γήρανση", λοιπόν, προκαλείται από πολυάριθμες αιτίες, μερικές από τις οποίες οφείλονται σε:

- ✚ Σταδιακή απώλεια μόνωσης σε στοιχεία του ηλεκτρικού συστήματος, όπως μετασχηματιστές, τρανζίστορ, κ.τ.λ..
- ✚ Μηχανική και θερμική καταπόνηση σε περιστροφικά μέρη του υλικού.
- ✚ Οξείδωση μεταλλικών επιφανειών.

Στον πίνακα που ακολουθεί, (πίνακας 2.2), παρατίθενται κάποιες από τις επιπτώσεις της γήρανσης (σίγουρα δεν αποτελούν τις μοναδικές, άλλα ένα μέρος αυτών), καθώς και οι τύποι της "γήρανσης" (αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα), στους οποίους διαπιστώνονται.

Πίνακας 2.2: Πίνακας που αναπαριστά μερικές από τις επιπτώσεις της "γήρανσης" και σε ποιους τύπους "γήρανσης" διαπιστώνονται.

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	CA	CSS	AES	ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ
ΟΞΕΙΔΩΣΗ	X	X	X	Απώλεια υλικού λόγω οξειδωτικής δράσης μερικών συστατικών που οδηγεί σε ολοκληρωτική αστοχία.
ΔΙΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ	X	X	X	Απώλεια ηλεκτρικής ενέργειας λόγω διάφορων μηχανισμών και μετατροπή της σε θερμότητα.
ΑΠΩΛΕΙΑ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ ΥΛΙΚΟΥ	X	X		Μείωση της αντοχής πολλών υλικών λόγω παρέλευσης της "ηλικίας" τους.
ΦΘΟΡΑ ΥΛΙΚΟΥ		X	X	Σημαντικές φθορές ή ακόμα και θραύσεις υλικού από έντονη τριβή μεταξύ επιφανειών.
ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΤΟ ΥΛΙΚΟ	X			Συσσώρευση σημαντικών ποσοτήτων νερού εντός των υλικών που οδηγεί σε μείωση της μηχανικής αντοχής.

Όλες οι παραπάνω επιπτώσεις αποτελούν σημαντικές ενδείξεις, όσον αφορά στο επίπεδο εξέλιξης της διαδικασίας "γήρανσης" και αναμφισβήτητα βοηθούν στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για την "εναπομείνουσα διάρκεια ζωής" των οχημάτων. Ωστόσο, επιβάλλεται να προσθέσουμε επιπλέον τρεις παράγοντες, οι οποίοι θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν όχι απλά ενδείξεις της διαδικασίας "γήρανσης", άλλα πολύ περισσότερο ισχυρές αποδείξεις αυτής. Συνοπτικά, αναφέρουμε τους εξής τρεις παράγοντες:

- ✚ Σταδιακή αύξηση του ποσοστού των βλαβών.
- ✚ Συνεχής αύξηση των εξόδων συντήρησης και λειτουργίας.
- ✚ Καταγραφή μείωσης των επιδόσεων των οχημάτων και άρα αδυναμία εκτέλεσης των αποστολών τους.

2.2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΟΡΟΛΟΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ-ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

2.2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με σκοπό τη μελέτη των επιπτώσεων της συντήρησης στη "γήρανση" κάθε είδους εξοπλισμού και ειδικότερα για τα οχήματα, έχουν διατυπωθεί με σαφήνεια αρκετά μαθηματικά μοντέλα, τα οποία υπολογίζουν με ικανοποιητική ακρίβεια την αξιοπιστία των εξοπλισμών, συναρτήσει και της συντήρησης που απαιτείται να εφαρμοστεί. Παρακάτω, θα αναφερθούν μερικά μαθηματικά μοντέλα, αλλά πρωτίστως, κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια συνοπτική περιγραφή σε βασικές ορολογίες, που χρησιμοποιούνται εκτενώς στη διαδικασία συντήρησης-ανακατασκευής και συμβάλλουν στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων, όσον αφορά στη λειτουργική κατάσταση και αξιοπιστία των εξοπλισμών.

2.2.2. ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ – ΕΠΙΣΚΕΥΑΣΙΜΟΤΗΤΑ - ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Ο σκοπός της συντήρησης είναι η επέκταση της προσδοκώμενης διάρκειας ζωής των οχημάτων, καθώς και η μείωση της συχνότητας των ανεπιθύμητων συνεπειών. Για την ποσοτικοποίηση του αποτελέσματος της συντήρησης, κρίνεται απαραίτητος ο καθορισμός της έννοιας της αξιοπιστίας.

Με τον όρο "αξιοπιστία" εννοούμε τη δυνατότητα που έχει ένα δομικό στοιχείο, ή ένας ολόκληρος εξοπλισμός να μπορεί να εκτελέσει μια προκαθορισμένη λειτουργία για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, κάτω από δεδομένες συνθήκες λειτουργίας και χωρίς την εμφάνιση κάποιας βλάβης.

"Επισκευασιμότητα" ορίζεται η δυνατότητα ενός βεβλαμένου οχήματος να αποκατασταθεί ή επισκευαστεί πλήρως, ώστε να δύναται να εκτελέσει την

αποστολή του για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, λειτουργώντας εντός των ορίων, που έχουν τεθεί από τον κατασκευαστή.

Ως "διαθεσιμότητα" στα οχήματα, ορίζεται το ποσοτικό εκείνο μέγεθος, το οποίο καταδεικνύει το ποσοστό του συνολικού στόλου των οχημάτων, τα οποία ανά πάσα χρονική στιγμή είναι διαθέσιμα να εκτελέσουν την αποστολή τους, συνυπολογίζοντας τόσο το δείκτη της "αξιοπιστίας", όσο και της "επισκευασιμότητας".

Ο υπολογισμός του δείκτη της "αξιοπιστίας" πραγματοποιείται με το "Μέσο Χρόνο έως τη βλάβη", ή αλλιώς "Mean Time To Failure (MTTF)". Το εν λόγω μέγεθος, το οποίο αποτελεί συνώνυμο όρο με τον όρο του "ποσοστού βλαβών", θα αναπτυχθεί πιο λεπτομερώς σε επόμενη ενότητα, όπου θα παρατεθούν και συγκεκριμένα μαθηματικά μοντέλα. Ομοίως, για τον υπολογισμό του δείκτη της "επισκευασιμότητας", χρησιμοποιείται, αντίστοιχα το μέγεθος του "Μέσου Χρόνου έως την επισκευή" ή αλλιώς "Mean Time To Repair (MTTR)".

Γνωρίζοντας τα προαναφερθέντα μεγέθη, (MTTF, MTTR), μπορούμε πολύ εύκολα να υπολογίσουμε και το δείκτη της "διαθεσιμότητας". Από την παρακάτω απλοϊκή εξίσωση, φαίνεται ξεκάθαρα ότι ο δείκτης της "διαθεσιμότητας", εξαρτάται τόσο από την "αξιοπιστία", όσο και από την "επισκευασιμότητα" και είναι πάντα μικρότερος της μονάδας. Ισχύει, λοιπόν:

$$A(t) = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (2.1)$$

όπου: $A(t)$: η στιγμιαία "διαθεσιμότητα" σε χρόνο t .

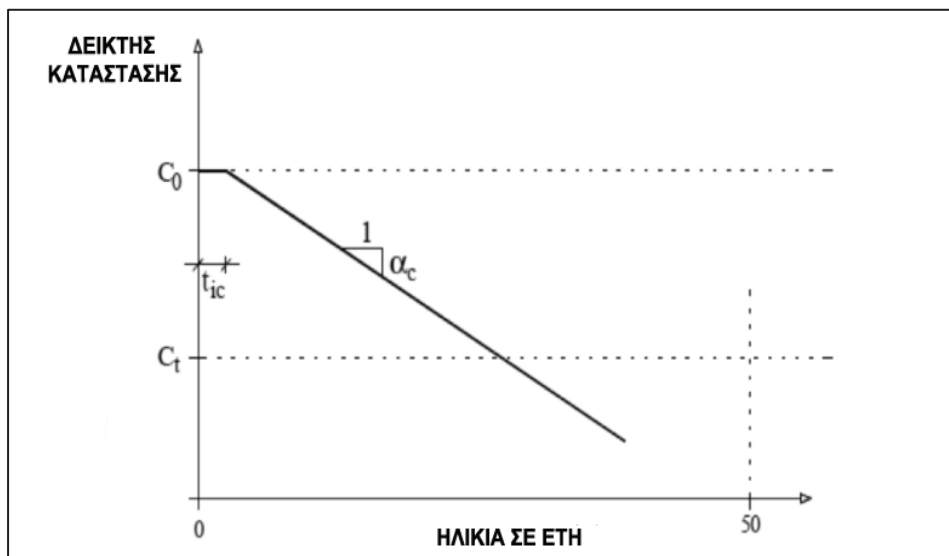
Αντίστοιχα, ορίζεται η "μέση διαθεσιμότητα" και η "διαθεσιμότητα στη μόνιμη κατάσταση", ως εξής:

$$\text{Μέση διαθεσιμότητα: } A_m(T) = \frac{1}{T} \int_0^T A(t) dt \quad (2.2)$$

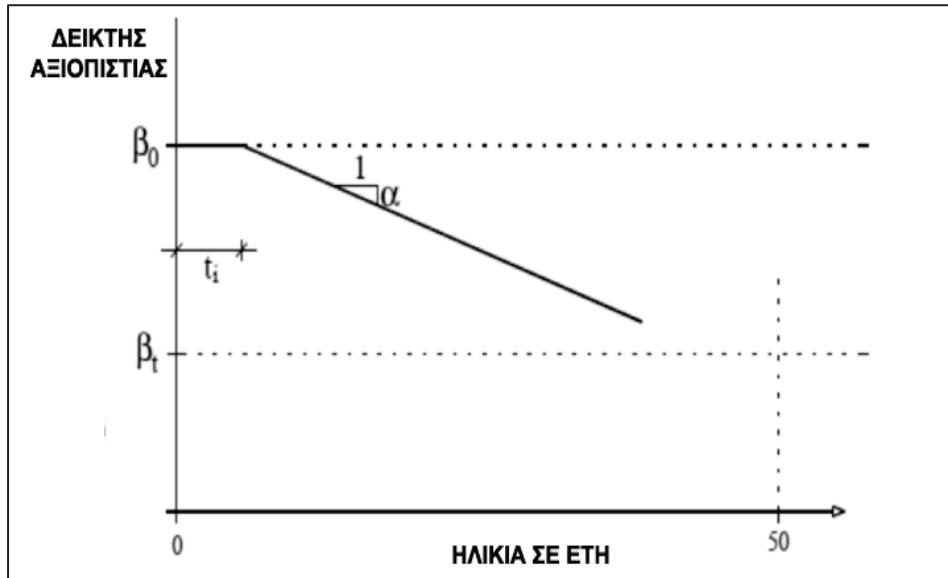
$$\text{Διαθεσιμότητα στη μόνιμη κατάσταση: } A = \lim_{T \rightarrow \infty} [A(T)] \quad (2.3)$$

2.2.3. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ-ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Η ακριβής μοντελοποίηση του τρόπου υποβάθμισης ενός εξοπλισμού, (εν προκειμένου και των οχημάτων), αποτελεί μια εξαιρετικά δύσκολη και περισσότερο στοχαστική διαδικασία, στην οποία ο παράγοντας της αβεβαιότητας κυριαρχεί. Ο καθορισμός της διαδικασίας υποβάθμισης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το μοντέλο συντήρησης που θα προτιμηθεί. Ειδικότερα, οι δείκτες της "κατάστασης" και της "αξιοπιστίας" είναι αυτοί που καταδεικνύουν ως ένα βαθμό τον τρόπο υποβάθμισης του οχήματος. Έτσι, λοιπόν, παρατηρούνται δύο διαφορετικά μοντέλα υποβάθμισης, τα οποία παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα (2.3, 2.4):



Σχήμα 2.3: Γράφημα που αναπαριστά μοντέλο υποβάθμισης με βάση την κατάσταση (*condition profile*).



Σχήμα 2.4: Γράφημα που αναπαριστά μοντέλο υποβάθμισης με βάση την αξιοπιστία (*reliability profile*).

Παρατηρώντας με προσοχή τα δύο μοντέλα υποβάθμισης ενός εξοπλισμού, διακρίνονται τρεις διαφορετικές μεταβλητές. Στο μοντέλο με βάση την κατάσταση (*condition profile*) έχουμε τις εξής:

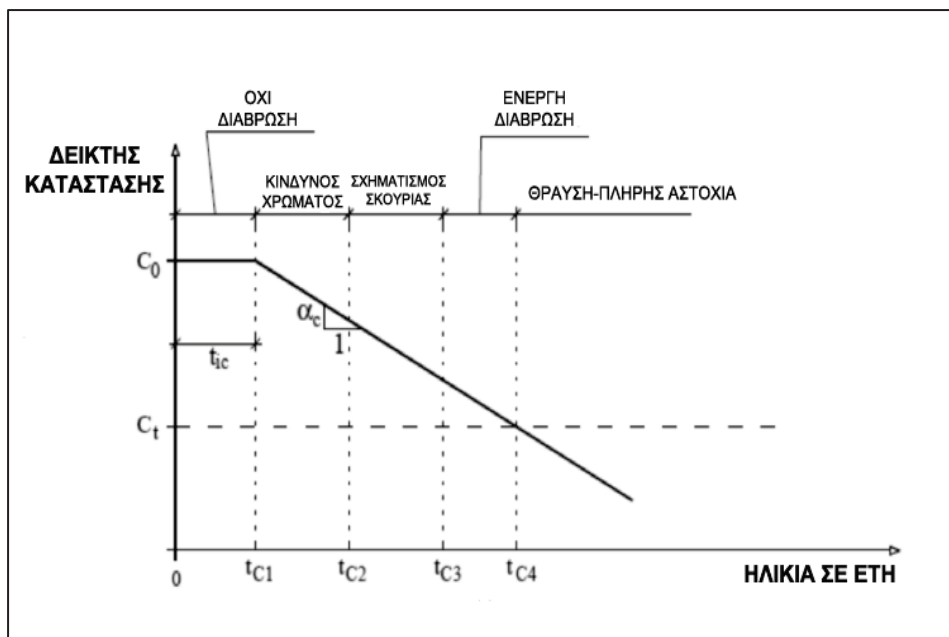
- ✚ C_0 : Ο αρχικός δείκτης κατάστασης του εξοπλισμού (*ή του οχήματος*).
- ✚ t_{ic} : Η χρονική στιγμή που εκκινεί η διαδικασία υποβάθμισης του εξοπλισμού με τη μείωση του δείκτη κατάστασης.
- ✚ α_c : Η κλίση της ευθείας υποβάθμισης.

Σε αντιστοιχία με το μοντέλο αυτό, το μοντέλο που στηρίζεται στην "αξιοπιστία", περιλαμβάνει τις εξής μεταβλητές:

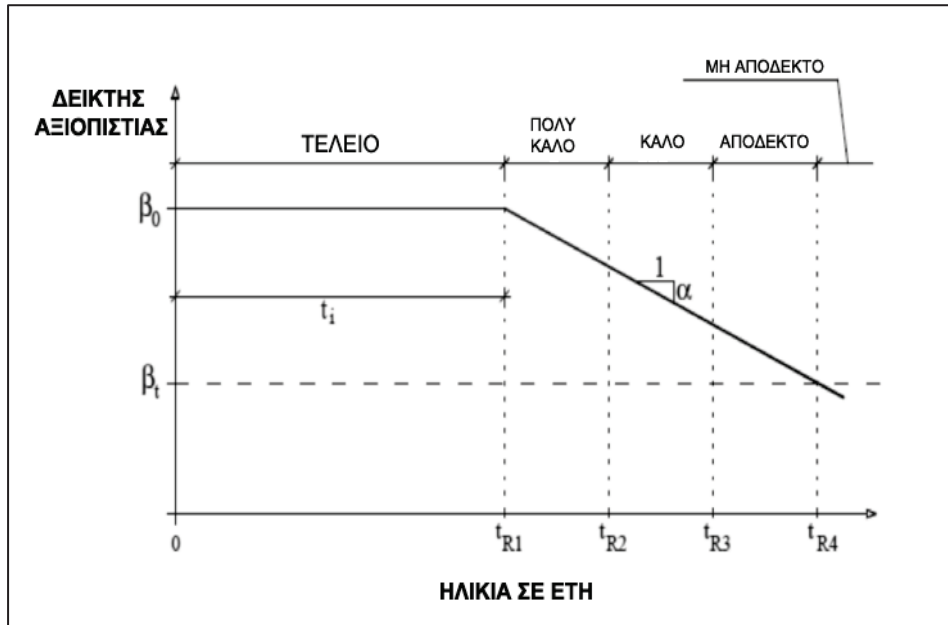
- ✚ β_0 : Ο αρχικός δείκτης αξιοπιστίας του εξοπλισμού (*ή του οχήματος*).
- ✚ t_i : Η χρονική στιγμή που εκκινεί η διαδικασία υποβάθμισης του εξοπλισμού με μείωση του δείκτη αξιοπιστίας.
- ✚ α : Η κλίση της ευθείας υποβάθμισης.

Τονίζεται, ότι υπάρχουν θεμελιώδεις διαφορές μεταξύ των δύο προαναφερθέντων μοντέλων, οι οποίες συνοπτικά αναφέρονται παρακάτω:

✚ Αρχικά, επισημαίνεται ότι το μοντέλο με βάση την κατάσταση αναφέρεται αποκλειστικά σε οπτικούς όρους. Αντιθέτως, το μοντέλο που βασίζεται στην αξιοπιστία, αναφέρεται σε κατάλληλο μέγεθος, που αφορά τη δομική απόδοση του εξοπλισμού μας. Για την καλύτερη κατανόηση, παρατίθενται τα παρακάτω δύο σχήματα (2.5, 2.6), όπου διαπιστώνεται, ότι στο "*condition profile*", η εξέλιξη της διαδικασίας υποβάθμισης υλοποιείται με βάση τις παρατηρούμενες και μόνο φθορές. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, αποτυπώνεται η εξέλιξη της διάβρωσης σε δομικό στοιχείο του εξοπλισμού, έως τη στιγμή της πλήρους αστοχίας. Αντιθέτως, στο "*Reliability profile*", ακολουθείται μια διαφορετική "φιλοσοφία", κατά την οποία ο εξοπλισμός περιγράφεται με όρους αξιοπιστίας, όπως "τέλειο-πολύ καλό-καλό-αποδεκτό-μη αποδεκτό", σύμφωνα με το επίπεδο εξέλιξης της εν λόγω βλάβης.



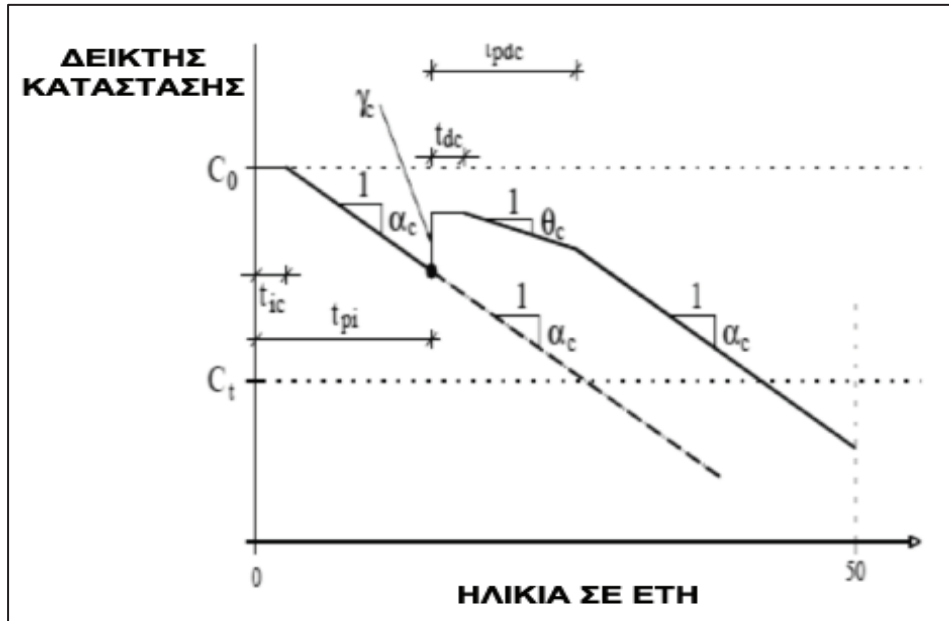
Σχήμα 2.5: Γράφημα που αναπαριστά την εξέλιξη της διάβρωσης στο "*condition profile*".



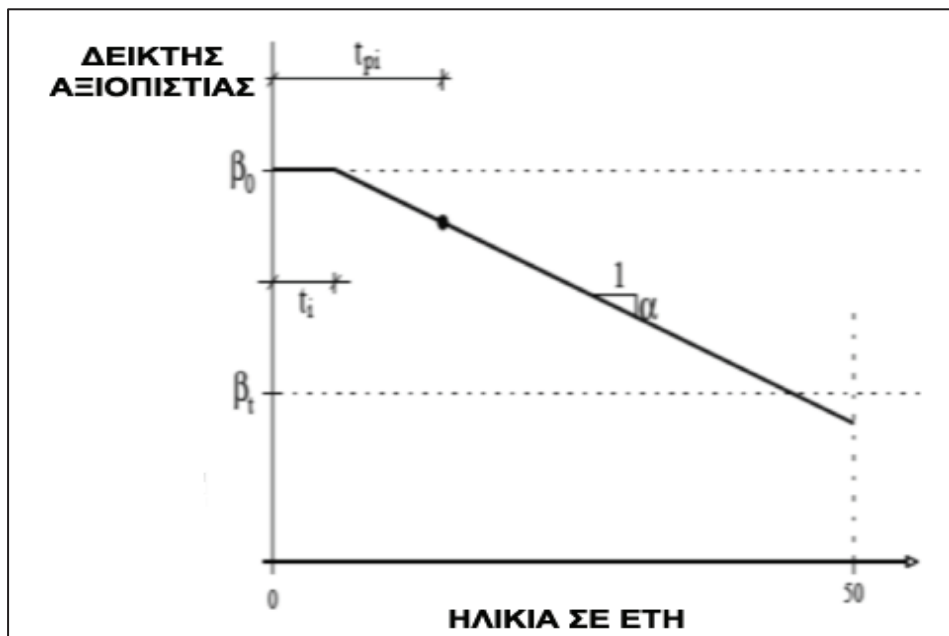
Σχήμα 2.6: Γράφημα που αναπαριστά την εξέλιξη της διάβρωσης σε όρους αξιοπιστίας στο "reliability profile".

- ✚ Επιπλέον, σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο μοντέλων αποτελεί το γεγονός, ότι δεν έχουν καμιά αλληλεξάρτηση μεταξύ τους, ακόμα και σε περίπτωση που αναφέρονται στο ίδιο δομικό στοιχείο ενός εξοπλισμού. Δηλαδή, υπάρχει πιθανότητα ξαφνικής αστοχίας ενός δομικού στοιχείου, ακόμα και σε περίπτωση που η κατάστασή του οπτικά δεν καταδεικνύει κάτι τέτοιο. Ομοίως, δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις, που ο εξοπλισμός (ή το όχημα) είναι πλήρως λειτουργικός και ασφαλής, ενώ η εξωτερική του κατάσταση χαρακτηρίζεται ιδιαίτερα αναξιόπιστη.
- ✚ Επιπροσθέτως, έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι μια εργασία συντήρησης, η οποία θα εκτελεστεί λόγω μείωσης ή υποβάθμισης της κατάστασης ενός οχήματος (*condition-based model*), δεν επηρεάζει καθόλου το δείκτη αξιοπιστίας αυτού. Η προαναφερθείσα επισήμανση αποτυπώνεται ξεκάθαρα στα παρακάτω σχήματα (2.7, 2.8). Αντιθέτως, εργασία συντήρησης λόγω μείωσης της αξιοπιστίας του οχήματος

(reliability-based model) δε μεταβάλλει στο ελάχιστο το "condition profile".



Σχήμα 2.7: Γράφημα που αναπαριστά τη βελτίωση στο "condition profile", μέσω ενδιάμεσων συντηρήσεων.



Σχήμα 2.8: Γράφημα που αναπαριστά ουδεμία παρατηρούμενη μεταβολή στο "reliability profile".

2.3. ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΒΛΑΒΩΝ-ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΒΛΑΒΩΝ

2.3.1. ΓΕΝΙΚΑ-ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΒΛΑΒΗΣ

Όπως έχει διαπιστωθεί, η κατανόηση της έννοιας της "βλάβης" είναι πολύ σημαντική, διότι αποτελεί ίσως το ισχυρότερο εργαλείο, μέσω του οποίου είναι δυνατή η πλήρης αποκρυσταλλοποίηση της διαδικασίας "γήρανσης". Το μείζον, όμως ζήτημα είναι η εύρεση της πραγματικής σημασίας της βλάβης, διότι πολλές φορές είναι ιδιαίτερα επίπονη η διαδικασία να αποφανθούμε, αν το όχημα λειτουργεί αποτελεσματικά ή όχι.

Έτσι, λοιπόν, ως βλάβη θεωρείται "*μια οποιαδήποτε ανεπιθύμητη κατάσταση*", η οποία όμως θα πρέπει να καθοριστεί με σαφήνεια, διότι πολύ συχνά η διαφορά μεταξύ μιας επιθυμητής από μια ανεπιθύμητη κατάσταση είναι πολύ μικρή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το εξής: π.χ η υψηλή κατανάλωση ποσότητας λαδιού από κινητήρα οχήματος δεν προκαλεί ιδιαίτερο πρόβλημα κατά τη διάνυση μικρών αποστάσεων, ενώ σε μεγάλες αποστάσεις δύνανται να έχουμε μέχρι και πλήρη ακινητοποίηση του οχήματος. Επομένως, η διαφορά μεταξύ επιθυμητής και ανεπιθύμητης κατάστασης δεν εξαρτάται μόνο από τη λειτουργία του, αλλά και από τα όρια ορθής λειτουργίας που θέτει ο κάθε κατασκευαστής.

2.3.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΒΛΑΒΩΝ

Οι κατηγορίες βλαβών διακρίνονται στις "*λειτουργικές βλάβες*", οι οποίες συνήθως αναφέρονται από τους χειριστές και στις "*επικείμενες ή πιθανές*", οι οποίες κατά κύριο λόγο ανιχνεύονται από το τμήμα συντήρησης. Συνοπτικά, αναλύονται παρακάτω:

Λειτουργικές βλάβες.




Με τον όρο "*λειτουργική βλάβη*" (*functional failure*), εννοούμε την ανικανότητα ενός οχήματος ή οποιουδήποτε άλλου εξοπλισμού να

ικανοποιεί τα όρια επίδοσης που θέτει ο κάθε κατασκευαστής. Επιπλέον, όπως άλλωστε είναι αναμενόμενο, η απώλεια πλήρους λειτουργίας αποτελεί σαφέστατα "*functional failure*". Κρίσιμο, όμως, ζήτημα αποτελεί η ορθή αναγνώριση των βλαβών και αυτό μπορεί να επιτευχθεί, μόνο μέσω της σωστής κατανόησης όλων των λειτουργιών που εκτελεί ο εξοπλισμός. Ειδικότερα για την περίπτωση των οχημάτων, τα οποία χαρακτηρίζονται ως πολύπλοκες κατασκευές, η πλήρης κατανόηση των "*functional failures*" ενός συστήματος, όπως είναι το σύστημα πέδησης, προϋποθέτει οπωσδήποτε την άριστη γνώση του τρόπου λειτουργίας του.

Επικείμενες ή πιθανές βλάβες.

Με τον όρο "*επικείμενες ή πιθανές βλάβες*" χαρακτηρίζονται όλες εκείνες οι βλάβες, οι οποίες βασίζονται στην παρατήρηση της "φυσικής κατάστασης" (*physical condition*) ενός οχήματος, με τη βοήθεια της οποίας αντλούνται χρήσιμες ενδείξεις όσον αφορά στον ακριβή χρόνο εμφάνισής τους. Η κατηγορία αυτή αποτελεί σημαντικότερο στοιχείο της σύγχρονης σύντηξης, διότι επιτρέπει τη μέγιστη χρήση ενός εξαρτήματος ή δομικού στοιχείου της μηχανής, πριν την εμφάνιση κάποιας "*λειτουργικής βλάβης*".

Η διάκριση μιας "*λειτουργικής βλάβης*" από μία "*επικείμενη ή πιθανή*" αποτελεί μια ιδιαίτερα δύσκολη διαδικασία και στηρίζεται σε τρεις παράγοντες:

-  Σαφής καθορισμός των λειτουργιών που εκτελεί το κάθε δομικό στοιχείο της μηχανής.
-  Σαφής καθορισμός των καταστάσεων που συνιστούν "*λειτουργική βλάβη*" σε κάθε περίπτωση.
-  Σαφής καθορισμός των καταστάσεων, που αποτελούν ισχυρές ενδείξεις για την εμφάνιση επικείμενης βλάβης.

Από τα προηγούμενα, λοιπόν, είναι κατανοητό ότι δεν αρκεί να δοθεί ο ορισμός της βλάβης, αλλά πρέπει να καθοριστούν τα ακριβή στοιχεία μέσω των οποίων ανιχνεύονται οι βλάβες.

2.3.3. ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΒΛΑΒΩΝ

Η ανίχνευση των βλαβών, τόσο των *"functional failures"*, όσο και των *"potential failures"*, βασίζεται σε πολλούς παρατηρητές όπως τους χειριστές, το τμήμα συντήρησης, το τμήμα κατασκευής και σχεδιασμού του εν λόγω εξοπλισμού, ακόμα και τους επιβάτες ή χρήστες. Η διαδικασία της ανίχνευσης και αναφοράς των βλαβών στηρίζεται σε δύο αρχές:

- ✚ Ο παρατηρητής πρέπει να βρίσκεται στη σωστή θέση, ώστε να δύναται να ανιχνεύσει τη βλάβη. Ο όρος *"σωστή θέση"* μπορεί να αφορά φυσική τοποθεσία, κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή ή και χρήση κατάλληλης διαγνωστικής συσκευής βλαβών.
- ✚ Ο παρατηρητής θα πρέπει να είναι γνώστης κάποιων *"προτύπων"*, ώστε να μπορεί να διακρίνει τη βλάβη, είτε αυτή είναι *"λειτουργική"*, είτε *"επικείμενη"*.

Όσον αφορά στους χειριστές, αυτοί διαδραματίζουν τον σπουδαιότερο ρόλο στη διαδικασία της ανίχνευσης, διότι παρατηρούν το όχημα κατά τη δυναμική του λειτουργία. Έτσι, λοιπόν, ανεπιθύμητες καταστάσεις, όπως άνοδος της θερμοκρασίας, μη φυσιολογικοί θόρυβοι κατά τη λειτουργία της μηχανής ή οποιαδήποτε άλλη οπτική ένδειξη στο ταμπλώ ενός οχήματος, αποτελούν σημαντικές ενδείξεις και υπό προϋποθέσεις, πιθανόν και αποδείξεις για την ύπαρξη κάποιας βλάβης στο όχημα. Οι χειριστές έχουν το πλεονέκτημα να παρατηρούν ή να ακούν τις ανεπιθύμητες καταστάσεις, οι οποίες δε θα ήταν δυνατόν να εντοπιστούν σε περίπτωση μη λειτουργίας του οχήματος. Ωστόσο, η τελική επαλήθευση της βλάβης πραγματοποιείται από το τεχνικό προσωπικό, κατά τη διενέργεια των εργασιών προληπτικής συντήρησης.

Εκτός, όμως, από τις λειτουργικές βλάβες που είναι ευδιάκριτες, υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός αυτών, που δεν εντοπίζονται μέσω απλής παρατήρησης από τους χειριστές. Αυτές οι καταστάσεις ορίζονται ως *"hidden functions"* και ανιχνεύονται, μόνο με τη βοήθεια ειδικών διαγνωστικών συσκευών κατά την εκτέλεση εργασιών συντήρησης από το τμήμα συντηρήσεως. Η

πολυπλοκότητα των οχημάτων έχει ως αποτέλεσμα, μερικά από τα δομικά στοιχεία που συνθέτουν ένα όχημα να εκτελούν περισσότερες από μία λειτουργίες. Αν η απώλεια μίας εκ των λειτουργιών δεν είναι εμφανής, τότε θα πρέπει το εν λόγω δομικό στοιχείο ή εξάρτημα να χαρακτηριστεί ως *"hidden function item"*. Συνήθως, διαπιστώνονται δύο κατηγορίες όσον αφορά τις *"hidden functions"*:

- ✚ Οι λειτουργίες εκείνες που είναι συνήθως ενεργές, αλλά δε δίνουν ενδείξεις σε περίπτωση βλάβης τους.
- ✚ Οι λειτουργίες εκείνες που είναι συνήθως μη ενεργές και κατά συνέπεια ο χειριστής δε δύναται να γνωρίζει, αν είναι διαθέσιμες τη χρονική στιγμή που θα χρειαστούν. Χαρακτηριστικό παράδειγμα στα σύγχρονα οχήματα αποτελεί η λειτουργία των αερόσακων. Ενώ κατά την έναυση του οχήματος υπάρχει δυνατότητα μέσω των οργάνων του ταμπλώ να ελεγχθεί η λειτουργική κατάσταση των αερόσακων, ο χειριστής δε γνωρίζει με απόλυτη σιγουριά, αν πραγματικά θα είναι διαθέσιμη η λειτουργία των αερόσακων σε περίπτωση ατυχήματος.

2.3.4. ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΒΛΑΒΩΝ

Κατά την ανάλυση των βλαβών, ένα από τα πιο σημαντικά αντικείμενα ενδιαφέροντος είναι η μελέτη των συνεπειών. Το εύρος αυτών δύναται να εκτείνεται από μια απλή αντικατάσταση ενός βεβλαμένου δομικού στοιχείου της μηχανής έως και την ολοκληρωτική καταστροφή του υλικού, που μπορεί να συνοδεύεται ακόμα και με απώλεια ανθρώπινων ζωών. Οι συνέπειες των βλαβών καθορίζουν την προτεραιότητα των εργασιών συντήρησης, καθώς και τις απαιτούμενες βελτιώσεις όσον αφορά στο σχεδιασμό του προϊόντος. Όσο περισσότερο πολύπλοκος είναι ένας εξοπλισμός, τόσο περισσότεροι είναι και οι πιθανοί λόγοι αστοχίας. Ειδικότερα, οι συνέπειες των βλαβών κατηγοριοποιούνται ως εξής:

✚ Συνέπειες που σχετίζονται με την ασφάλεια:

Περιλαμβάνουν την πιθανή ολοκληρωτική καταστροφή του οχήματος μέχρι και το θανάσιμο τραυματισμό των επιβατών. Είναι αυτές οι συνέπειες που έχουν άμεση σχέση με τις κρίσιμες βλάβες (*critical failures*). Με τον όρο "*critical failures*", χαρακτηρίζουμε μόνο εκείνες τις βλάβες που έχουν άμεσες επιπτώσεις στην ασφάλεια και επιπλέον είναι πάντα εμφανείς από τους χειριστές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα για την πλήρη κατανόηση της έννοιας των "*κρίσιμων βλαβών*" στα οχήματα αποτελεί το γεγονός ότι οποιαδήποτε βλάβη δύναται να προκαλέσει άμεση εκδήλωση φωτιάς στον κινητήρα του οχήματος, χαρακτηρίζεται εξ'ορισμού ως "*κρίσιμη*" και αυτομάτως προκαλεί συνέπειες σχετιζόμενες με την ασφάλεια των επιβατών.

✚ Λειτουργικές συνέπειες:

Σχετίζονται με την ανάγκη για ματαίωση, καθυστέρηση ή αναβολή μίας αποστολής, λόγω εντοπισμού μιας βλάβης, με σκοπό την εκτέλεση των απρόβλεπτων εργασιών επισκευής και την επαναφορά του υλικού σε επιχειρησιακή ετοιμότητα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι συνέπειες θεωρούνται και οικονομικές, αφού αντιπροσωπεύουν το καταλογισθέν κόστος απώλειας της επιχειρησιακής ικανότητας του συγκεκριμένου εξοπλισμού. Ωστόσο, πρέπει να τονιστεί, ότι μια οποιαδήποτε βλάβη, η οποία απαιτεί άμεση επισκευή, δεν προκαλεί απαραίτητα και λειτουργικές συνέπειες. Για παράδειγμα, αν παρουσιαστεί βλάβη σε κάποιο δομικό στοιχείο ενός οχήματος, κατά τη διάρκεια εκτέλεσης δρομολογίου, το οποίο όμως δύναται να επισκευασθεί ή αντικατασταθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα, τότε δεν προκύπτει ματαίωση στην ολοκλήρωση του δρομολογίου. Αντιθέτως, η μοναδική συνέπεια που προκύπτει είναι το κόστος του συγκεκριμένου ανταλλακτικού που θα απαιτηθεί.

✚ Μη λειτουργικές συνέπειες:

Αφορούν εκείνες τις βλάβες δευτερεύουσας σημασίας, οι οποίες δεν έχουν καμιά επίπτωση στην επιχειρησιακή ετοιμότητα ενός οχήματος.

✚ Συνέπειες που προέρχονται από "hidden functions".

2.3.5. ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΒΛΑΒΩΝ

Εκτός από τις συνέπειες των βλαβών, κρίνεται απαραίτητο να αναφερθούν ορισμένα στοιχεία για τον τρόπο με τον οποίο θα μπορούσαμε να προσεγγίσουμε ποσοτικά τις βλάβες. Για αυτό το λόγο, επιβάλλεται να αναφερθούν συνοπτικά κάποια χρήσιμα μεγέθη, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως σε μαθηματικά μοντέλα για τον υπολογισμό των βλαβών.

✚ Ποσοστό των βλαβών (*failure rate*).

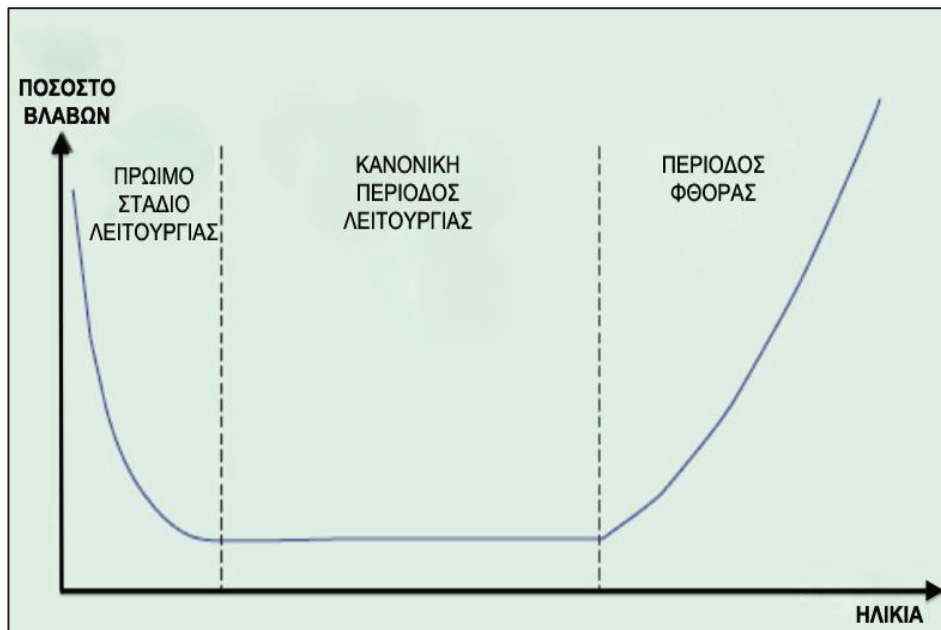
Με τον όρο "*failure rate*", όσον αφορά στα οχήματα, καθορίζεται ένα μέσο ποσοστό εμφάνισης των βλαβών, το οποίο προκύπτει από το συνολικό άθροισμα των βλαβών που έχουν εντοπιστεί σε καθένα από τα δομικά στοιχεία που συνθέτουν το όχημα, διαιρούμενο με ένα ποσοτικό μέγεθος, το οποίο χαρακτηρίζεται ως "*operational exposure*". Το εν λόγω μέγεθος δεν εκφράζεται με μοναδικό τρόπο, αλλά εξαρτάται ανάλογα από τον εξοπλισμό στον οποίο αναφέρεται. Αξίζει να τονιστεί, ότι στα αεροσκάφη χρησιμοποιούνται οι ώρες πτήσης ως "*operational exposure*", ενώ στα οχήματα δύναται να χρησιμοποιηθούν, είτε το ημερολογιακό έτος, είτε η διανυθείσα απόσταση. Σε κάθε περίπτωση, το ποσοστό των βλαβών δεν αποτελεί μοναδικό αριθμό, αλλά εξαρτάται από τις μονάδες μέτρησης που θα επιλέξουμε.

Η σχέση μεταξύ του ποσοστού των βλαβών (*failure rate*) και της "ηλικίας" ενός εξοπλισμού αποτυπώνεται στο παρακάτω σχήμα (2.9). Τονίζεται, ότι η παρακάτω καμπύλη είναι γνωστή ως "*bathhtub curve*", δηλαδή καμπύλη με τη μορφή "*μπανιέρας*" και ισχύει για κάθε είδους εξοπλισμό. Αρχικά, πρέπει να επισημάνουμε, ότι διακρίνονται τρεις διαφορετικές περιοχές, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως:

- Πρώιμο στάδιο λειτουργίας: Η χρονική περίοδος, αμέσως μετά την ανακατασκευή του εξοπλισμού μας ή την αντικατάστασή του

με "καινούριο", όπου όπως φαίνεται στο σχήμα (2.9), το ποσοστό των βλαβών μειώνεται σημαντικά συναρτήσει της "ηλικίας" του.

- Κανονική περίοδος λειτουργίας: Η χρονική περίοδος, όπου επικρατεί ο όρος "*useful life of vehicle or equipment*" και χαρακτηρίζεται από ένα σταθερό και ιδιαίτερα χαμηλό ποσοστό βλαβών.
- Περίοδος φθοράς: Η χρονική περίοδος, όπου έχουμε δραματική αύξηση του ποσοστού των βλαβών, με αποτέλεσμα ο εξοπλισμός να παρουσιάζει πολύ μικρή αξιοπιστία και επιχειρησιακή ετοιμότητα.



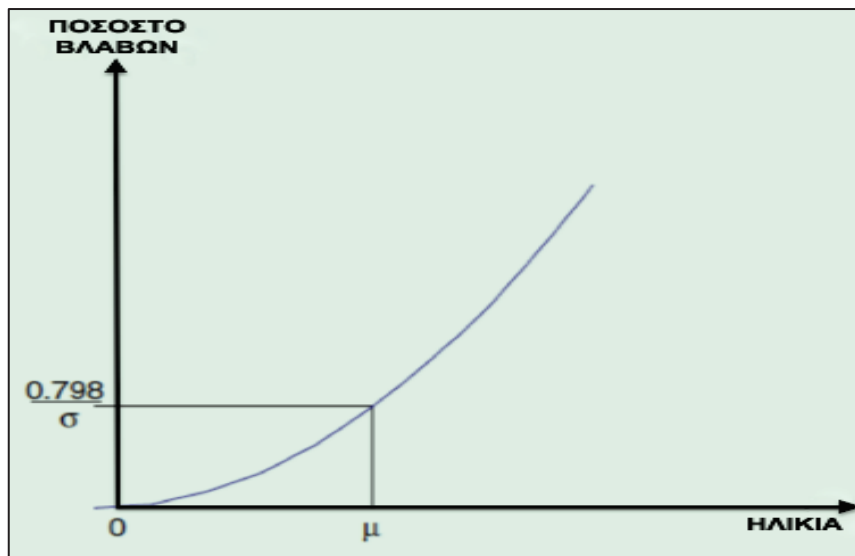
Σχήμα 2.9: Γράφημα που αναπαριστά τη σχέση μεταξύ ποσοστού βλαβών και "ηλικίας".

Ειδικότερα, πρέπει να σημειωθεί, ότι η σχέση μεταξύ του ποσοστού των βλαβών (*failure rate*) και της "ηλικίας" του εξοπλισμού προσεγγίζεται με ικανοποιητική ακρίβεια μέσω της κανονικής κατανομής ή της κατανομής Weibull, όπως αποτυπώνονται στα παρακάτω σχήματα (σχήματα 2.10, 2.11).

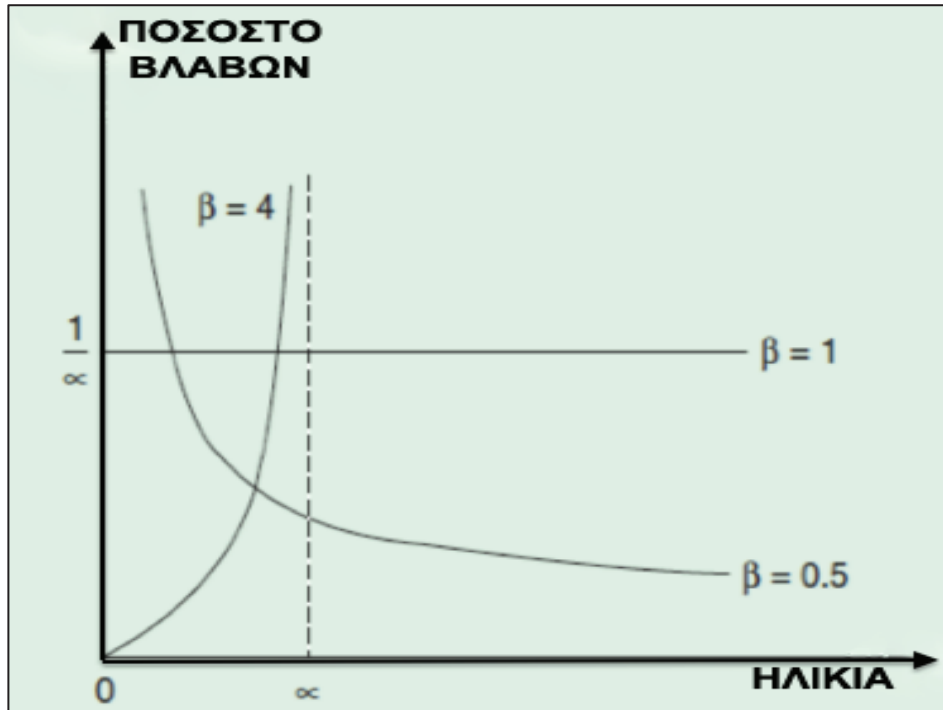
Για την περίπτωση της κανονικής κατανομής (σχήμα 2.10), παρατηρείται μια συνεχή αύξηση του ποσοστού των βλαβών συναρτήσει της "ηλικίας" του εξοπλισμού, ανεξαρτήτως της περιοχής που βρίσκεται ο εξοπλισμός μας. Επισημαίνεται, ότι όπου μ , σ αντίστοιχα αποτελούν τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση της κανονικής κατανομής.

Αντιθέτως, ακολουθώντας την προσέγγιση της κατανομής Weibull, διακρίνονται στο σχήμα (2.11) τρεις διαφορετικές καμπύλες, από τις οποίες η καθεμιά αντιπροσωπεύει μία από τις προαναφερθείσες περιοχές. Συνοπτικά, καθορίζονται τα εξής:

- ✚ Για $\beta < 1$, αποτυπώνεται η περιοχή "Πρώιμο στάδιο λειτουργίας".
- ✚ Για $\beta = 1$, αποτυπώνεται η περιοχή σταθερού ποσοστού βλαβών, "Κανονική περίοδος λειτουργίας".
- ✚ Για $\beta > 1$, αποτυπώνεται η περιοχή έντονων φθορών και μικρής αξιοπιστίας, "Περίοδος φθοράς".



Σχήμα 2.10: Γράφημα που αναπαριστά την κανονική κατανομή.



Σχήμα 2.11: Γράφημα που αναπαριστά την κατανομή Weibull.

Υποθέτοντας, ότι το όχημά βρίσκεται στη μεσαία περιοχή, "Κανονική περίοδος λειτουργίας", όπου ισχύει σταθερό ποσοστό βλαβών έστω λ , τότε μπορεί προσεγγιστικά να υπολογιστεί το χρονικό διάστημα T έως την επόμενη βλάβη. Στην περίπτωση αυτή ακολουθείται η παρακάτω εκθετική προσέγγιση:

$$f(T) = \lambda e^{-\lambda T}, \quad T > 0 \quad (2.4)$$

Για τις άλλες δύο περιοχές, όπου το ποσοστό των βλαβών λ χαρακτηρίζεται από μη γραμμικότητα, δεν μπορεί να ακολουθήθει η εκθετική προσέγγιση. Αντιθέτως, η εφαρμογή της Weibull κατανομής για τον υπολογισμό του χρόνου T έως την επόμενη βλάβη αποτελεί αρκετά ικανοποιητική προσέγγιση:

$$f(T) = \alpha \cdot \beta \cdot T^{\beta-1} \cdot e^{-\alpha T^\beta}, \quad T > 0 \quad (2.5)$$

όπου: α, β : παράμετροι κλίμακας και γεωμετρίας αντίστοιχα.

Εναλλακτικά, για να αποτυπωθεί η καμπύλη "bathtub curve", με στόχο τη γραμμικοποίηση του ποσοστού των βλαβών λ στις δύο ακραίες περιοχές, γίνεται χρήση τμηματικά γραμμικών εξισώσεων, όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\lambda(t) = \begin{cases} c_0 - c_1 t + \lambda, & 0 \leq t \leq \frac{c_0}{c_1} \text{ για "Πρώιμο στάδιο λειτουργίας"} \\ \lambda, & \frac{c_0}{c_1} < t < t_0 \text{ για "Κανονική περίοδος λειτουργίας"} \\ c_2(t - t_0) + \lambda, & t_0 < t \text{ για "Περίοδο φθοράς"} \end{cases} \quad (2.6)$$

Με βάση την παραπάνω παραδοχή περί γραμμικότητας του ποσοστού των βλαβών λ και στις τρεις προαναφερθέντες περιοχές, μπορούμε αντίστοιχα να υπολογίσουμε και το χρονικό διάστημα T έως την επόμενη βλάβη, δεχόμενοι την εκθετική προσέγγιση:

$$f(t) = \begin{cases} e^{-\{(c_0 + \lambda)t - c_1(\frac{t^2}{2})\}}, & 0 \leq t \leq \frac{c_0}{c_1} \\ e^{-[\lambda t + (\frac{c_0^2}{2c_1})]}, & \frac{c_0}{c_1} < t < t_0 \\ e^{-\{(\frac{c_2}{2})(t - t_0)^2 + \lambda t + (\frac{c_0^2}{2c_1})\}}, & t_0 < t \end{cases} \quad (2.7)$$

Ο υπολογισμός του συνολικού ποσοστού των βλαβών λ_{total} στην περίπτωση πολύπλοκων εξοπλισμών, όπως είναι και τα οχήματα, προκύπτει μέσω του αθροίσματος των επιμέρους ποσοστών βλαβών λ_g για κάθε εξάρτημα, τα οποία πολλές φορές δίνονται από γενικούς πίνακες. Έτσι, λοιπόν, ισχύει η παρακάτω εξίσωση:

$$\lambda_{total} = \sum_{i=1}^{i=n} N_i(\lambda_g(\Pi_Q)_i) \quad (2.8)$$

όπου: λ_{total} : συνολικό ποσοστό των βλαβών (total failure rate).
 N_i : συνολική ποσότητα κάθε εξαρτήματος.
 λ_g : επιμέρους ποσοστό των βλαβών κάθε εξαρτήματος.

P_Q : παράμετρος ποιότητας για κάθε εξάρτημα.

Η παραπάνω εξίσωση αποτελεί μια έκφραση που δίνει το συνολικό ποσοστό βλαβών λ_{total} γενικά για διάφορους τύπους πολύπλοκων εξοπλισμών, συμπεριλαμβάνοντας και τα οχήματα, με την προϋπόθεση ότι είναι γνωστά τα επιμέρους ποσοστά βλαβών των διαφόρων μικροεξαρτημάτων, τα οποία συνθέτουν την κατασκευή. Επιπλέον, επισημαίνεται, ότι στην προηγούμενη εξίσωση δεν μπορεί να εξαχθεί κανένα συμπέρασμα, όσον αφορά στο συνολικό αριθμό των ανακατασκευών, που έχουν υλοποιηθεί στο συγκεκριμένο εξοπλισμό.

Σύμφωνα με τους Zhang-Zardine, αν είναι γνωστό το ποσοστό των βλαβών λ_{total} μετά από μια οποιαδήποτε n -ιοστή ανακατασκευή του εξοπλισμού, τότε μπορεί να υπολογιστεί με ικανοποιητική ακρίβεια μέσω της αναδρομικής σχέσης, που παρατίθεται παρακάτω:

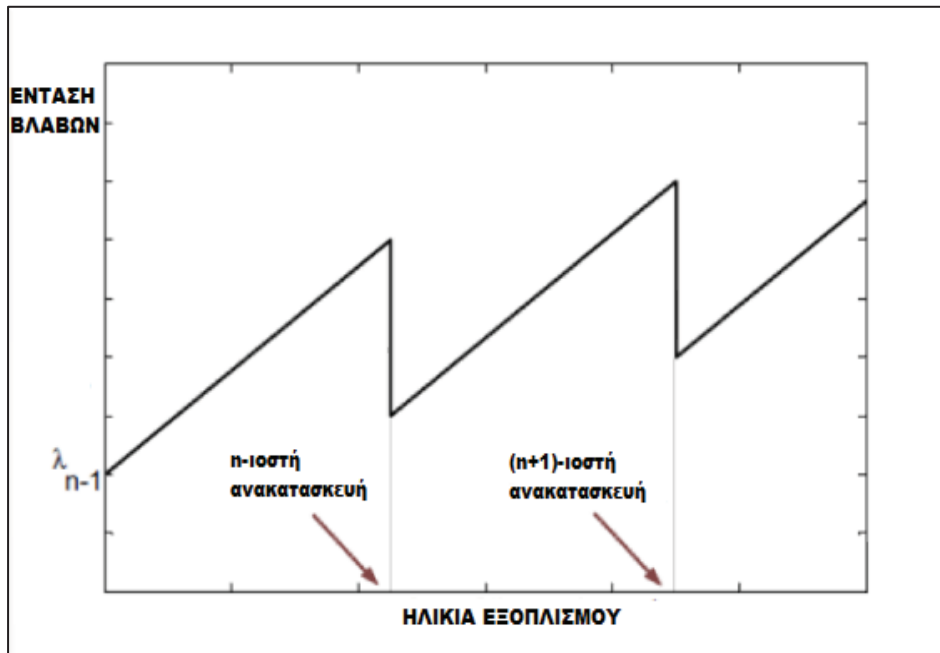
$$\lambda_n(t) = p\lambda_{n-1}(t - T) + (1 - p)\lambda_{n-1} \quad (2.9)$$

όπου: p : παράμετρος που σχετίζεται με την ποιότητα των ανακατασκευών ($0 < p < 1$).

T : χρονικό διάστημα μεταξύ διαδοχικών ανακατασκευών

λ_n, λ_{n-1} : συνολικό ποσοστό βλαβών μετά την n -ιοστή και $(n-1)$ -ιοστή ανακατασκευή, αντίστοιχα.

Στο σχήμα (2.12) που ακολουθεί, αποτυπώνεται με σαφήνεια η ανοδική τάση στο συνολικό ποσοστό των βλαβών λ_{total} τόσο συναρτήσει της "ηλικίας" του εξοπλισμού, όσο και με την αύξηση του αριθμού των ανακατασκευών. Κατακόρυφες μειώσεις διαπιστώνονται μόνο μετά την εκτέλεση ανακατασκευών, αλλά το ύψος του ποσοστού των βλαβών είναι σταδιακά αυξανόμενο μεταξύ δύο διαδοχικών ανακατασκευών.



Σχήμα 2.12: Γράφημα που αναπαριστά τη σχέση μεταξύ ποσοστού βλαβών και "ηλικίας" του εξοπλισμού, συναρτήσει και του αριθμού των ανακατασκευών.

Το ποσοστό των βλαβών (*failure rate*), αναμφισβήτητα, αποτελεί πολύτιμο δείκτη για κάθε καινούριο εξοπλισμό, διότι είναι αντιπροσωπευτικός παράγοντας για την αξιοπιστία του. Επιπροσθέτως, καθορίζει το επίπεδο βελτίωσης ενός εξοπλισμού στον τομέα του σχεδιασμού και χρησιμοποιείται πολύ συχνά ως μέσο για την εκτίμηση των επιδόσεων των διαφόρων εξοπλισμών.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ-LIFE CYCLE COST (LCC)-ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ

3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα ενότητα, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν μερικά από τα πιο σημαντικά στοιχεία, όσον αφορά στην ανάλυση του κόστους κύκλου ζωής ενός προϊόντος. Πρέπει να επισημανθεί, ότι οι αποφάσεις για την ορθή επιλογή της χρονικής στιγμής κατά την οποία θα υλοποιηθεί η ανακατασκευή ενός οχήματος ή η αντικατάστασή του εξαρτώνται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τις οικονομικές απαιτήσεις που θέτονται. Γι' αυτό το λόγο, η ανάλυση του κόστους κύκλου ζωής (*LCC*), αποτελεί σημαντικότερο οικονομικό εργαλείο, το οποίο συμβάλλει στη λήψη των πιο οικονομικά συμφέρουσων λύσεων. Στο σημείο αυτό, επιβάλλεται να τονιστεί, προς αποφυγή τυχόν λανθασμένων συμπερασμάτων, ότι με τον όρο "*οικονομικά συμφέρουσα λύση*" δεν εννοούμε

πάντα την πιο φθηνή επιλογή, διότι θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και άλλοι παράγοντες, όπως η ασφάλεια, η αξιοπιστία, η προσδοκώμενη απόδοση του εξοπλισμού, κ.τ.λ. Η διαδικασία για τη λήψη της ορθότερης απόφασης, που σχετίζεται με τον ακριβή χρόνο ανακατασκευής ενός οχήματος (*ημερολογιακά έτη, ή διανυθείσα απόσταση σε χιλιόμετρα*) και στηρίζεται σε μια οικονομική βάση, είναι δυνατόν να υλοποιηθεί με πιο αποτελεσματικό τρόπο μέσω της ανάλυσης του κόστους κύκλου ζωής του.

3.2. ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

Η εν λόγω μέθοδος αναπτύχθηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1960, με στόχο να συμβάλλει στη λήψη ορθών αποφάσεων για προμήθεια στρατιωτικού υλικού για λογαριασμό του Υπουργείου Άμυνας των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας 1970 και μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1980, η ανωτέρω μέθοδος εφαρμόστηκε κατά πλειοψηφία στον στρατιωτικό τομέα. Αργότερα, όμως παρατηρείται και η εφαρμογή της σε άλλους τομείς, όπως στην αεροπλοΐα, στην ενέργεια, στις βιομηχανίες χημικών και πετρελαίου, στους σιδηροδρόμους, κ.τ.λ. (*Karyagina, 1996, Akselsson, 1994*). Από τις αρχές της δεκαετίας του 1990, χρησιμοποιείται ευρέως στις συγκοινωνίες, καθώς και στην κατασκευή κτιρίων, ενώ στην παρούσα χρονική περίοδο εφαρμόζεται ακόμα και στο σχεδιασμό αμυντικών συστημάτων του NATO. Στην επόμενη ενότητα, κρίνεται απαραίτητο να καθοριστούν μερικές από τις βασικότερες έννοιες-ορισμοί της συγκεκριμένης μεθόδου, οι οποίες είναι χρήσιμες για την πλήρη κατανόησή της.

3.3. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΑΣ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

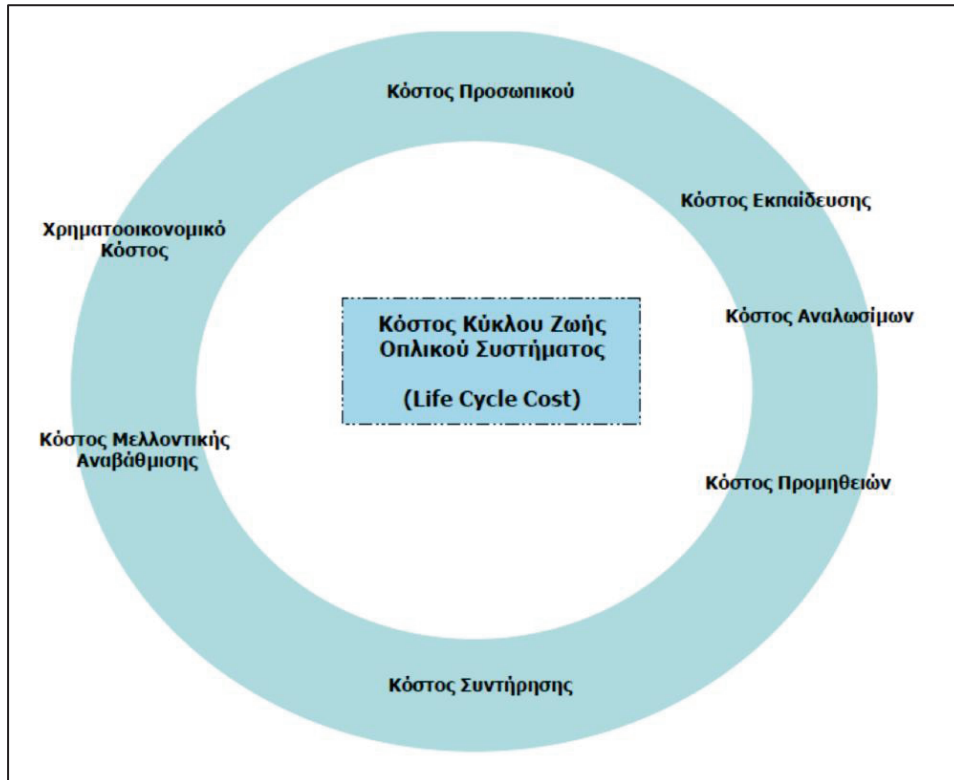
Επισημαίνεται, ότι η LCC αποτελεί μια μεθοδολογία οικονομικής αξιολόγησης, κατάλληλη για την επιλογή ενός οικονομικά βέλτιστου εναλλακτικού σχεδιασμού σε συγκεκριμένο χρονικό πλαίσιο. Για τις ανάγκες χρήσης της LCC, έχουν αναπτυχθεί αρκετά εμπορικά διαθέσιμα μοντέλα, αλλά σε κάθε

περίπτωση θα πρέπει να επιλέγεται το καταλληλότερο, ανάλογα με την εφαρμογή. Ωστόσο, οποιοδήποτε μοντέλο της LCC χρησιμοποιείται, πρέπει να:

- ✚ Αντιπροσωπεύει όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά ενός εξοπλισμού που αναλύεται, περιλαμβάνοντας το περιβάλλον χρήσης του, το μοντέλο συντήρησης που ακολουθεί, τα διάφορα σενάρια υποστήριξης της λειτουργίας και της συντήρησής του, καθώς και τυχόν περιορισμούς, ή απαγορεύσεις.
- ✚ Είναι εύκολα κατανοητό, ώστε να συμβάλλει στην έγκαιρη λήψη αποφάσεων για τις μελλοντικές αναβαθμίσεις του εξοπλισμού και τροποποιήσεις αυτού.
- ✚ Να παρέχει την αξιολόγηση συγκεκριμένων στοιχείων του LCC αναξάρτητα από άλλα στοιχεία.

Ειδικότερα, ως κόστος κύκλου ζωής (LCC) ορίζεται: *"Το άθροισμα όλων των κατηγοριών κόστους ενός εξοπλισμού, μιας διεργασίας ή δραστηριότητας καθ'όλη τη διάρκεια της προσδόκιμης διάρκειας ζωής του, περιλαμβάνοντας τα κόστη αγοράς, εγκατάστασης, λειτουργίας, συντήρησης, ανακατασκευής (ή αναβάθμισης) και απόσβεσης"*.

Για την πληρέστερη κατανόηση του παραπάνω ορισμού, παρατίθεται ενδεικτικά το ακόλουθο σχήμα (3.1), όπου σημειώνονται τα κυριότερα κόστη που παρουσιάζονται, μετά την απόκτηση ενός εξοπλισμού.

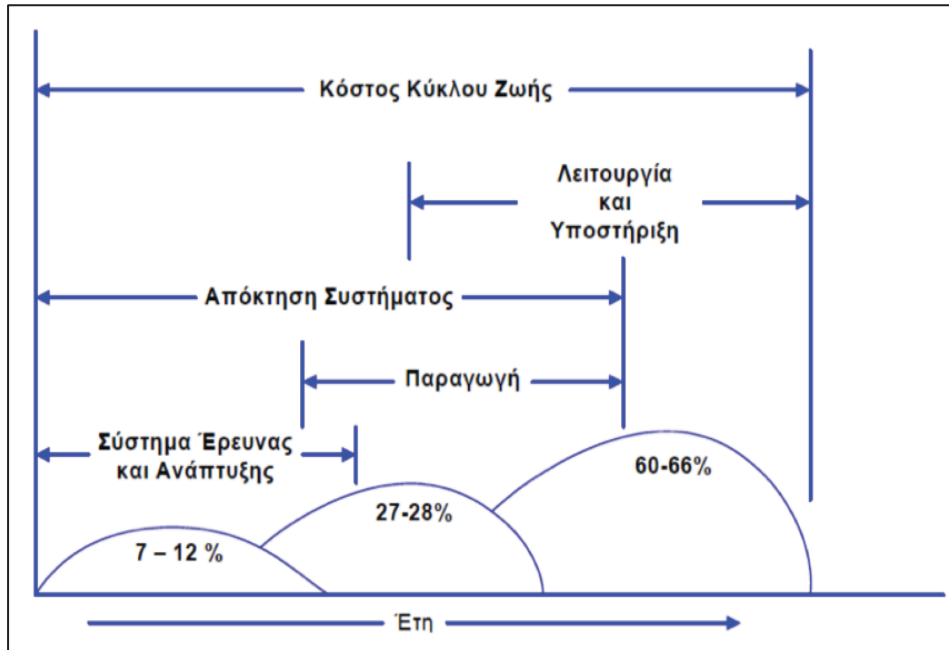


Σχήμα 3.1: Κόστος κύκλου ζωής ενός εξοπλισμού, εκτός της ανάπτυξης και της κατασκευής του.

Τονίζεται, ότι η εκτίμηση του κόστους κύκλου ζωής ενός εξοπλισμού και των προηγμένων πληροφοριακών συστημάτων αποτελεί αντικείμενο σημαντικού αριθμού μελετών. Εναλλακτικά, σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, ως κόστος κύκλου ζωής μπορεί να οριστεί, επίσης το σύνολο των προβλεπόμενων κατηγοριών κόστους, που σχετίζονται με την ανάπτυξη, κατασκευή, λειτουργία, αναβάθμιση και απόσυρση ενός συστήματος. Συγκεκριμένα, το LCC απαρτίζεται από τις εξής κατηγορίες κόστους (Yoner, 2001):

- + Έρευνας, ανάπτυξης, δοκιμών και αξιολόγησης (*Research, Development, Test and Evaluation costs*).
- + Σχετικών επενδύσεων (*Investment costs*), παραγωγής και ανάπτυξης (*Production and Development*).
- + Λειτουργίας και υποστήριξης (*Operation and Support costs*), καθώς και απόσυρσης (*Demilitarization and Disposal costs*).

Το κόστος απόκτησης ενός εξοπλισμού περιλαμβάνει τα κόστη των δύο πρώτων κατηγοριών, που αναφέρθηκαν προηγουμένως, ενώ μια προσέγγιση της χρονικής κατανομής όλων των κατηγοριών κόστους που απαρτίζουν το κόστος κύκλου ζωής, αποτυπώνεται στο παρακάτω σχήμα (3.2).



Σχήμα 3.2: Κατανομή του Κόστους Κύκλου Ζωής.

Πρωταρχικός στόχος είναι η μελέτη τεχνικών και μεθόδων βελτιστοποίησης του συνολικού κόστους LCC, καθώς και η εύρεση χρήσιμων εργαλείων για την εκτίμηση του LCC. Ένα από τα πιο γνωστά, χρήσιμα και αυτοματοποιημένα εργαλεία εκτίμησης του κόστους κύκλου ζωής περιγράφηκε από τον Stewart (1991), ως "γενικό υπολογιστικό εργαλείο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιαδήποτε εφαρμογή". Στο παρακάτω σχήμα (3.3) παρουσιάζονται οι γενικές απαιτήσεις ενός τέτοιου πληροφοριακού μοντέλου.



Σχήμα 3.3: Απαιτήσεις Πληροφοριακού Μοντέλου Εκτίμησης του LCC.

3.4. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ (LCC) ΚΑΙ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΖΩΗΣ

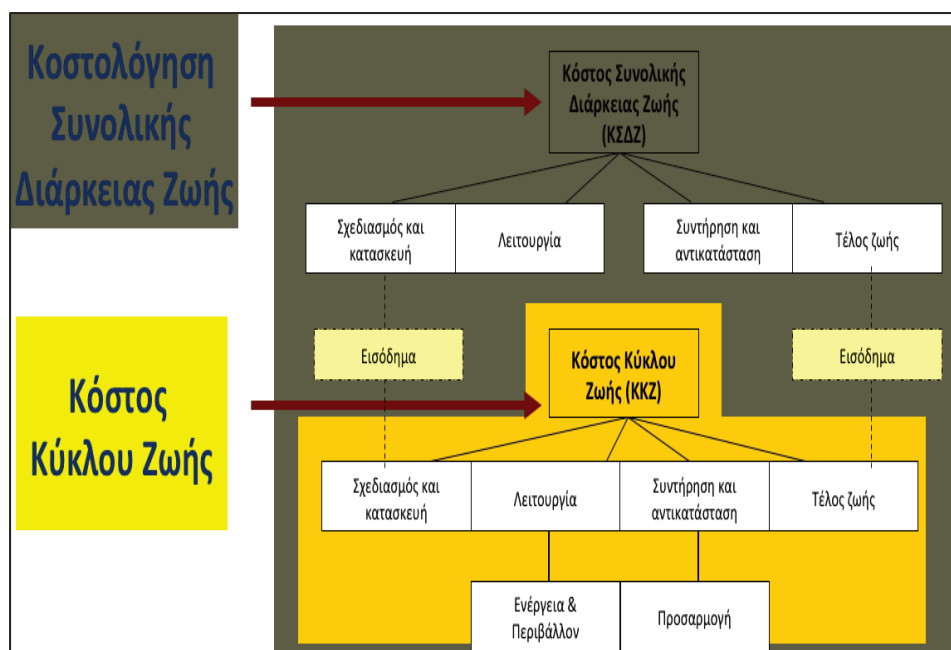
Κρίνεται σκόπιμο να επισημανθεί η διαφορά μεταξύ του κόστους κύκλου ζωής και της κοστολόγησης της συνολικής διάρκειας ζωής, διότι συχνά παρατηρούνται σημαντικές παραλείψεις, που σχετίζονται σε λανθασμένη γνώση του ορισμού τους. Αρχικά, ως ανάλυση του κόστους κύκλου ζωής (LCCA) ορίζεται:

"Η συστηματική διαδικασία για την αξιολόγηση του κόστους κύκλου ζωής ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας, μέσω του καθορισμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και της επιβολής κάποιας νομισματικής τιμής σε αυτά".

Αντιθέτως, ως κοστολόγηση της συνολικής διάρκειας ζωής (Whole Life Costing-WLC) καθορίζεται η εξής ερμηνεία:

"Η συστηματική θεώρηση όλων των σχετικών δαπανών και εσόδων που συνδέονται με την απόκτηση και την κατοχή ενός <<ενεργητικού>>".

Για την πληρέστερη κατανόηση των δύο προαναφερθέντων όρων, αρκεί να τονιστεί, ότι η κοστολόγηση της συνολικής διάρκειας ζωής περιλαμβάνει μαζί με τα κόστη, τα έσοδα και τα οφέλη, ενώ η ανάλυση του κόστους κύκλου ζωής, μόνο τις διάφορες κατηγορίες κόστους. Η προηγούμενη επισήμανση αποτυπώνεται στο ακόλουθο σχήμα (3.4).



Σχήμα 3.4: Ανάλυση του κόστους συνολικής διάρκειας ζωής και του κόστους κύκλου ζωής.

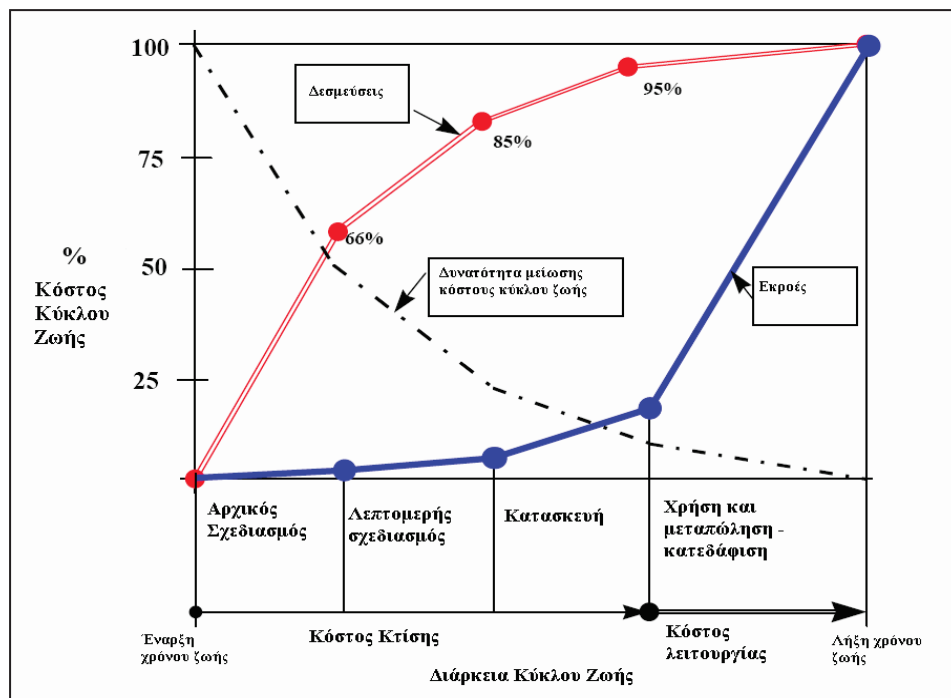
3.5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ (LCCA)-ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η ανάλυση της LCC αποτελεί μια μεθοδολογία, η οποία λαμβάνει υπόψη όλα τα κόστη και ειδικότερα:

- ✚ Τα αρχικά κόστη-αρχική επένδυση, αγορά και εγκατάσταση.
- ✚ Τα μελλοντικά κόστη-κόστος ενέργειας, λειτουργίας, συντήρησης και αντικατάστασης του εξοπλισμού.

✚ Τα τελικά κόστη-μεταπώληση, κόστος καταστροφής και αξία εκποίησης.

Η εν λόγω μέθοδος, λοιπόν είναι ιδιαίτερα ωφέλιμη, όταν εναλλακτικές λύσεις που εκπληρώνουν τις ίδιες απαιτήσεις απόδοσης, οι οποίες όμως διαφέρουν στα αρχικά και λειτουργικά κόστη, πρέπει να συγκριθούν μεταξύ τους, με στόχο να επιλεγεί αυτή που μεγιστοποιεί την καθαρή εξοικονόμηση. Άρα, αποτελεί ένα ουσιαστικό εργαλείο, αφού ελέγχει τα αρχικά και μελλοντικά κόστη, με την προϋπόθεση, όμως να διεξάγεται νωρίς κατά τη φάση του σχεδιασμού, ώστε να υπάρχει χρονικό περιθώριο βελτίωσης του σχεδιασμού και μείωση στα κόστη του κύκλου ζωής. Αυτό ενισχύεται από το γεγονός ότι περίπου τα 2/3 του συνολικού κόστους ενός εξοπλισμού, σημειώνονται κατά τη φάση του σχεδιασμού του. Για την πληρέστερη κατανόηση της προηγούμενης πραγματικότητας, παρατίθεται το ακόλουθο σχήμα (3.5), όπου με την κόκκινη καμπύλη αποτυπώνεται ξεκάθαρα, ότι το 66% του συνολικού κόστους κύκλου ζωής παρατηρείται λίγο πριν την έναρξη του λεπτομερούς σχεδιασμού.



Σχήμα 3.5: Το κόστος κύκλου ζωής σε συνάρτηση με τη διάρκεια ζωής ενός εξοπλισμού κατά τις διάφορες φάσεις.

Κρίνεται απαραίτητο να αναφερθεί, ότι για την υλοποίηση της ανάλυσης της μεθόδου LCC, το πιο σημαντικό στοιχείο είναι η διαφορά στα κόστη μεταξύ των εναλλακτικών επιλογών και όχι τα απόλυτα κόστη. Έτσι λοιπόν, για την κοστολόγηση του κύκλου ζωής λαμβάνονται υπόψη μόνο τα κόστη που είναι διαφορετικά, μεταξύ των εναλλακτικών επιλογών που εξετάζονται, και αρκετά υψηλά, ώστε να δημιουργούν μια αξιόπιστη διαφορά στην κοστολόγηση κύκλου ζωής μεταξύ των εναλλακτικών. Στην μέθοδο LCC, τα μελλοντικά κόστη επιβάλλεται να μετατραπούν σε παρούσα αξία, χρησιμοποιώντας το προεξοφλητικό επιτόκιο. Αφού επιλεγεί η κατάλληλη περίοδος μελέτης, στη συνέχεια πρέπει να εφαρμοστεί η ορθή μέθοδος οικονομικής αξιολόγησης. Η πιο εύχρηστη προσέγγιση είναι η μέθοδος της Καθαρής Παρούσας Αξίας (ΚΠΑ-NPV). Ο μαθηματικός τύπος της κοστολόγησης του κύκλου ζωής που έχει επικρατήσει διεθνώς, είναι αυτός της Αμερικανικής Εταιρίας Δοκιμής Υλικών (*American Society of Testing Materials, 1983*). Ο εν λόγω τύπος διαχωρίζει τα ενεργειακά από τα τρέχοντα κόστη, το οποίο χρησιμεύει στην ενδεχόμενη αποδοχή διαφορετικών προεξοφλητικών επιτοκίων για τα διάφορα κόστη και είναι ο ακόλουθος:

$$NPV (LCC) = C + R + A + M + E - S \quad (3.1)$$

όπου: *NPV (LCC)*: συνολικό κόστος κύκλου ζωής σε τρέχουσα-παρούσα αξία σε €.

C: αρχικό επενδυτικό κόστος.

R: παρούσα αξία του κόστους αντικατάστασης.

A: παρούσα αξία του επαναλαμβανόμενου ετήσιου κόστους λειτουργίας, συντήρησης και επισκευών (εκτός του ενεργειακού κόστους).

M: παρούσα αξία του επαναλαμβανόμενου μη-ετήσιου κόστους λειτουργίας, συντήρησης και επισκευών (εκτός του ενεργειακού κόστους).

E: παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους.

S: παρούσα αξία μεταπώλησης στο τέλος της περιόδου μελέτης.

Ο γενικός τύπος της Καθαρής Παρούσας Αξίας είναι ο εξής:

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (3.2)$$

όπου: *NPV*: καθαρή παρούσα αξία.
C_t: κόστος στοιχείου *t*.
r: προεξοφλητικό επιτόκιο.
T: περίοδος ανάλυσης σε έτη.

Υπάρχει, όμως και μια πιο σύγχρονη μορφή της αρχικής εξίσωσης (3.1), η οποία είναι η εξής:

$$LCC = I + Repl - Res + E + OM\&R + O \quad (3.3)$$

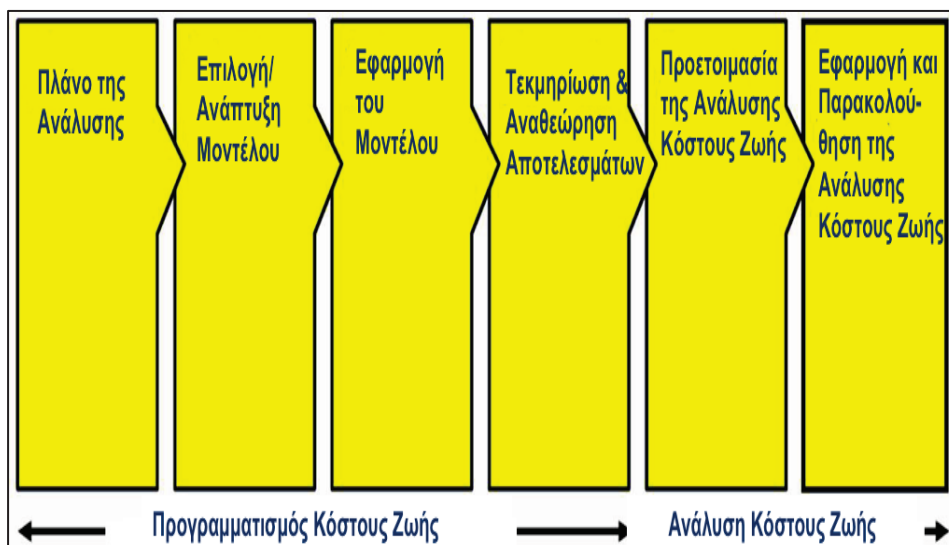
όπου: *LCC*: συνολικό κόστος κύκλου ζωής σε τρέχουσα-παρούσα αξία σε €.
I: αρχικό επενδυτικό κόστος.
Repl: παρούσα αξία του κόστους αντικατάστασης.
Res: παρούσα υπολειμματική αξία (αξία μεταπώλησης).
E: παρούσα αξία του ενεργειακού κόστους.
OM&R: παρούσα αξία του κόστους λειτουργίας, συντήρησης και επισκευών.
O: παρούσα αξία για άλλα κόστη, αν υπάρχουν (π.χ. χρηματοοικονομικά κόστη, κόστη συμβολαίου, κ.τ.λ).

3.6. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ (LCC)

Στην προηγούμενη ενότητα υλοποιήθηκε η παράθεση των βασικότερων μαθηματικών εξισώσεων, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της κοστολόγησης του κύκλου ζωής ενός εξοπλισμού, καθώς και της καθαρής παρούσας αξίας αυτού. Ωστόσο, όμως για την καλύτερη γνώση της λειτουργίας της μεθόδου LCC, αποτελεί ιδιαίτερα εποικοδομητικό στην παρούσα φάση να αναφερθούν τα βασικά βήματα της διαδικασίας που ακολουθεί η εν λόγω μέθοδος. Έτσι, λοιπόν, τονίζεται ότι:

- ✚ Η LCC είναι μια διαδικασία έξι σταδίων.
- ✚ Όλα τα στάδια πρέπει να πραγματοποιούνται επαναληπτικά, εφόσον είναι απαραίτητο.
- ✚ Οι παραδοχές σε κάθε στάδιο να είναι κατάλληλα τεκμηριωμένες, ώστε να διευκολύνουν τις όποιες επαναληπτικές διαδικασίες και να συμβάλλουν στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης.

Στο παρακάτω σχήμα (3.6) αποτυπώνεται με σαφήνεια η ονομασία των έξι σταδίων, καθώς και η σειρά με την οποία πρέπει να εκτελούνται, από αριστερά προς τα δεξιά.



Σχήμα 3.6: Τα στάδια ανάλυσης της διαδικασίας του κόστους κύκλου ζωής.

Παρακάτω θα γίνει μια συνοπτική αναφορά σε καθένα από τα έξι στάδια της διαδικασίας του κόστους κύκλου ζωής.

Πλάνο της Ανάλυσης:

Η διαδικασία του κόστους κύκλου ζωής ξεκινά με την ανάπτυξη του πλάνου, το οποίο καθορίζει τους βασικούς στόχους υπό μορφή παραγόμενων δεδομένων, τα οποία απαιτούνται για τη λήψη διαχειριστικών αποφάσεων. Τυπικοί στόχοι μπορεί να είναι οι ακόλουθοι:

- Πλήρης καθορισμός του κόστους κύκλου ζωής για έναν εξοπλισμό, μέσω του οποίου υλοποιούνται ο σχεδιασμός, ο προϋπολογισμός ή άλλες ανάγκες.
- Εκτίμηση των επιπτώσεων επί του κόστους κύκλου ζωής, που προκαλούν εναλλακτικές επιλογές (όπως εναλλακτικές τεχνολογίες ή πολιτικές υποστήριξης, τροποποιήσεις στο σχεδιασμό, κ.τ.λ).
- Αναγνώριση των κυριότερων στοιχείων κόστους, τα οποία επιδρούν στο LCC, με απώτερο στόχο να εστιάσουν στις αποφάσεις που σχετίζονται με το σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την απόκτηση ενός εξοπλισμού.
- Καθορισμός του περιβάλλοντος χρήσης, καθώς και των τεχνικών συντήρησης που θα εφαρμοστούν.
- Προσδιορισμός παραδοχών, υποθέσεων και περιορισμών που επιβάλλεται να γίνουν, ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη απόδοση του εξοπλισμών και αύξηση της διαθεσιμότητας αυτών.

Επιλογή/Ανάπτυξη μοντέλου:

Στο στάδιο αυτό πρέπει να γίνει η ορθότερη επιλογή μοντέλου LCC, το οποίο θα ικανοποιεί τους στόχους που έχουν τεθεί προηγουμένως και συγκεκριμένα, το μοντέλο που θα επιλεγεί θα πρέπει:

- Να αναγνωρίζει εκείνα τα στοιχεία κόστους, τα οποία δεν προκαλούν σημαντικές επιπτώσεις στο συνολικό LCC, αλλά και εκείνα που δεν διαφοροποιούνται σημαντικά μεταξύ των εναλλακτικών επιλογών.
- Να εφαρμόζει την καταλληλότερη μέθοδο (ή μεθόδους) για την εκτίμηση των διάφορων κατηγοριών κόστους. Τέτοιες μέθοδοι, ενδεικτικά είναι:
 - Μηχανική μέθοδος (Engineering Method), η οποία στηρίζεται σε τυποποιημένους παράγοντες κόστους, εξετάζοντας ένα προς ένα τα εξαρτήματα του εξοπλισμού.
 - Ανάλογη μέθοδος (Analogous Method), η οποία σε αντίθεση με την προηγούμενη, βασίζεται σε εξαρτήματα διαφορετικών εξοπλισμών, αλλά ανάλογου μεγέθους, τεχνολογίας και λειτουργικών χαρακτηριστικών.
 - Παραμετρική μέθοδος (Parametric Method), όπου τα δεδομένα κόστους ακολουθούν συγκεκριμένες μαθηματικές εξισώσεις.
- Να αναγνωρίζει τις πηγές των δεδομένων, καθώς και οποιαδήποτε άλλη αβεβαιότητα, η οποία πιθανόν να σχετίζεται με την εκτίμηση του κόστους.
- Να επαναξιολογείται σε συχνή βάση, ώστε να εξασφαλίζεται η διαβεβαίωση, ότι το εν λόγω μοντέλο είναι επαρκές για την ικανοποίηση των αρχικών στόχων.

Εφαρμογή του μοντέλου:

Αφού επιλεγεί το μοντέλο, στη συνέχεια ακολουθεί η εφαρμογή του, η οποία περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

- Πραγματοποίηση επικύρωσης του μοντέλου LCC με διαθέσιμα προηγούμενα δεδομένα και συγκέντρωση όλων των

αποτελεσμάτων από κάθε σχετικό συνδυασμό των σεναρίων υποστήριξης και λειτουργίας, που καθορίστηκαν στο πλάνο της ανάλυσης.

- Ποσοτικοποίηση των διαφορών (στην απόδοση, στη διαθεσιμότητα, ή άλλους παράγοντες) μεταξύ των εναλλακτικών επιλογών που μελετούνται, εκτός αν αυτές οι διαφορές αντικατοπτρίζονται άμεσα στα εξαγόμενα αποτελέσματα του μοντέλου LCC.
- Κατηγοριοποίηση και άθροιση όλων των εξαγόμενων αποτελεσμάτων σε ομάδες, οι οποίες θα διευκολύνουν τους χρήστες.
- Επαλήθευση και επαναξιολόγηση όλων των αποτελεσμάτων του LCC μοντέλου, συγκριτικά με τους στόχους που είχαν τεθεί στο πλάνο της ανάλυσης, ώστε να βεβαιωθεί ότι όλοι οι αρχικοί στόχοι έχουν επιτευχθεί. Αν αντιθέτως, δεν έχουν επιτευχθεί τότε θα πρέπει να υλοποιηθούν επιπρόσθετες αξιολογήσεις και τροποποιήσεις στο LCC μοντέλο.

Τεκμηρίωση και Αναθεώρηση των Αποτελεσμάτων:

Σε αυτό το στάδιο, κρίνεται απαραίτητο να επεξηγούνται και να τεκμηριώνονται επακριβώς όλα τα εξαγόμενα αποτελέσματα του μοντέλου, ώστε να δίνεται η δυνατότητα σε όλους τους χρήστες να κατανοούν με πλήρη σαφήνεια τόσο τα αποτελέσματα, όσο και τις επιπτώσεις της ανάλυσης, σε συνδυασμό με τις όποιες αβεβαιότητες ή περιορισμούς που υφίστανται.

Προετοιμασία της Ανάλυσης Κόστους Ζωής:

Στην πραγματικότητα, το στάδιο αυτό αφορά στην αναθεώρηση και ανάπτυξη του μοντέλου LCC ως μηχανισμού ελέγχου του κόστους σε "πραγματικό χρόνο". Αυτό προϋποθέτει τα εξής:

- Αλλαγή της βάσης κοστολόγησης από προεξοφλημένα σε ονομαστικά κόστη.
- Οι εκτιμήσεις του κόστους κεφαλαίου θα αντικατασταθούν από τα ποσά που έχουν καταβληθεί.
- Πιθανόν να απαιτηθούν αλλαγές και σε κάποια άλλα στοιχεία κόστους και στη δομή της ανάλυσης.

Εφαρμογή και Παρακολούθηση της Ανάλυσης Κόστους Ζωής:

Στο τελευταίο αυτό στάδιο υλοποιείται συνεχής παρακολούθηση της πραγματικής απόδοσης ενός ενεργητικού, κατά τη διάρκεια λειτουργίας και συντήρησής του, για τον καθορισμό περιοχών στις οποίες θα πρέπει να γίνει εξοικονόμηση χρημάτων και για την παροχή πληροφοριών χρήσης για μελλοντικές δραστηριότητες προγραμματισμού του κόστους ζωής.

3.7. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ (LCC)

Στη βιβλιογραφία υφίσταται ένα μεγάλο εύρος μεθόδων οικονομικής αξιολόγησης για την ανάλυση της LCC, όλες εκ των οποίων διακρίνονται τόσο για τα πλεονεκτήματα όσο και για τα μειονεκτήματά τους (βλ. Πίνακες 3.1 και 3.2). Η κάθε μέθοδος έχει δημιουργηθεί για διαφορετικό σκοπό και ο χρήστης θα πρέπει να γνωρίζει τους εκάστοτε περιορισμούς. Βάσει βιβλιογραφίας, η πιο κατάλληλη προσέγγιση για την LCC στον τεχνικό τομέα είναι η μέθοδος της καθαρής παρούσας αξίας (NPV-ΚΠΑ), για την οποία παρατέθηκε σε προηγούμενη ενότητα η γενική εξίσωση υπολογισμού της. Ως παρούσα αξία ορίζεται: "Το ποσό των χρημάτων που πρέπει να επενδύσει κάποιος στην τράπεζα, ώστε να καλύψει μια μελλοντική πληρωμή για δεδομένο επιτόκιο και για καθορισμένο χρονικό διάστημα".

Στους ακόλουθους πίνακες (3.1 και 3.2) αποτυπώνονται συνοπτικά, κάποιες από τις κυριότερες μεθόδους που εφαρμόζονται κατά την ανάλυση του μοντέλου LCC, καθώς και τα πλεονεκτήματα-μειονεκτήματά τους. Ιδιαίτερη βαρύτητα δίδεται στη μέθοδο της καθαρής παρούσας αξίας (NPV-ΚΠΑ), κατά την οποία όλα τα κόστη μετατρέπονται σε καθαρή παρούσα αξία μέσω ενός προεξοφλητικού παράγοντα και γίνεται εκτίμησή τους κατά την περίοδο της διάρκειας ζωής τους. Έτσι, λοιπόν ισχύει:

Πίνακας 3.1: Κύριες μέθοδοι οικονομικής αξιολόγησης για την LCC, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους και σε ποιες περιπτώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

Μέθοδος	Τι υπολογίζει	Πλεονέκτημα	Μειονέκτημα	Εύχρηστη για...
Χρόνος Αποπληρωμής	Υπολογίζει το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την απόσβεση της αρχικής επένδυσης. Η επένδυση με το μικρότερο χρόνο αποπληρωμής είναι και η πιο επικερδής.	Γρήγορος και εύκολος υπολογισμός. Εύκολη ερμηνεία των αποτελεσμάτων.	Δεν λαμβάνει υπόψη τον πληθωρισμό, τους τόκους ή τις ταμειακές ροές στο λογαριασμό.	Γενική εκτίμηση εάν πρόκειται για προσοδοφόρα επένδυση.
Έντοκη Αποπληρωμή (DPP)	Βασικά η ίδια με τη μέθοδο του χρόνου αποπληρωμής, απλώς λαμβάνει υπόψη την αξία στο χρόνο.	Λαμβάνει υπόψη την αξία στο χρόνο των χρημάτων.	Αγνοεί όλες τις ταμειακές ροές έξω από την περίοδο αποπληρωμής.	Πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο για λόγους προληπτικού ελέγχου και όχι για τη λήψη αποφάσεων.
Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV)	Η NPV είναι το αποτέλεσμα της εφαρμογής προεξοφλητικών παραγόντων, βάσει ενός απαιτούμενου ρυθμού απόδοσης για τις προβλεπόμενες ταμειακές ροές κάθε έτους, τόσο εισροές όσο και εκροές, έτσι ώστε οι ταμειακές ροές να ανάγονται στην παρούσα αξία. Γενικά, εάν είναι θετική η τιμή της NPV, τότε η επένδυση αξίζει να προχωρήσει. Αλλά, όπως και στην περίπτωση της LCC, επειδή το ενδιαφέρον εστιάζεται στο κόστος και όχι τόσο στα έσοδα, η συνήθης πρακτική είναι να λαμβάνεται το κόστος ως θετικό και το έσοδο ως αρνητικό. Άρα, η βέλτιστη επιλογή μεταξύ των ανταγωνιστικών εναλλακτικών είναι εκείνη με την ελάχιστη τιμή NPV.	Λαμβάνει υπόψη την αξία στο χρόνο των χρημάτων. Παράγει αποδόσεις ίσες με το επιτόκιο της αγοράς. Χρησιμοποιεί όλα τα διαθέσιμα δεδομένα.	Δεν είναι εύχρηστη όταν οι συγκρινόμενες εναλλακτικές έχουν διαφορετικούς χρόνους ζωής. Δεν είναι εύκολη η ερμηνεία.	Τα περισσότερα μοντέλα της LCC χρησιμοποιούν τη μέθοδο NPV. Αυτή δεν είναι όμως εύχρηστη για εναλλακτικές που έχουν διαφορετικό χρόνο ζωής.

Πίνακας 3.1: Κύριες μέθοδοι οικονομικής αξιολόγησης για την LCC, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους και σε ποιες περιπτώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

Μέθοδος	Τι υπολογίζει	Πλεονέκτημα	Μειονέκτημα	Εύχρηστη για...
Ισοδύναμο Ετήσιο Κόστος (ECA)	Η μέθοδος αυτή εκφράζει την μοναδική τιμή της NPV μίας εναλλακτικής ως ενιαίο ισοδύναμο ετήσιο κόστος, και για το λόγο αυτό λαμβάνεται υπόψη ο παράγοντας παρούσας αξίας της προσόδου.	Δυνατή η σύγκριση διαφορετικών εναλλακτικών με διαφορετικούς χρόνους ζωής.	Δίνει απλά μία μέση τιμή. Δεν υποδεικνύει το πραγματικό κόστος κατά τη διάρκεια κάθε έτους της LCC.	Σύγκριση διαφορετικών εναλλακτικών με διαφορετικούς χρόνους ζωής.
Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (IRR)	Ο IRR είναι ένα κριτήριο έντοκων ταμειακών ροών που καθορίζει ένα μέσο ρυθμό απόδοσης, σε σχέση με τη συνθήκη κατά την οποία οι τιμές μηδενίζονται την αρχική χρονική στιγμή. Είναι δυνατό να υπολογιστεί το δοκιμαστικό προεξοφλητικό επιτόκιο που θα οδηγήσει σε μηδενική τιμή της NPV. Η εναλλακτική με τον υψηλότερο IRR είναι η καλύτερη επιλογή (ISO, 2004).	Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται σε ποσοστιαία βάση και αυτό δίνει μια προφανή ερμηνεία.	Οι υπολογισμοί χρειάζονται μία διαδικασία δοκιμής και σφάλματος. Ο IRR μπορεί να υπολογιστεί εφόσον οι επενδύσεις θα επιφέρουν κάποιο εισόδημα.	Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο στην περίπτωση μόνο που οι επενδύσεις θα εξασφαλίσουν ένα έσοδο, πράγμα που δεν παρατηρείται πάντα, π.χ., στον κατασκευαστικό τομέα.
Καθαρό Κέρδος (NS)	Η NS υπολογίζεται ως η διαφορά μεταξύ της επί του παρόντος αξίας του εισοδήματος που έχει προέλθει από μία επένδυση και του ποσού που έχει επενδυθεί. Η εναλλακτική που εμφανίζει την υψηλότερη NS είναι και η βέλτιστη.	Εύκολα κατανοητή τεχνική αξιολόγηση επένδυσης.	Η NS μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο εάν η επένδυση επιφέρει κάποιο εισόδημα.	Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύγκριση επιλογών επένδυσης. Αλλά και πάλι μόνο εφόσον η επένδυση οδηγεί σε εισόδημα.

3.8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από την ανάλυση της μεθοδολογίας του κόστους κύκλου ζωής LCC, που παρατέθηκε σε προηγούμενες μελέτες, διαπιστώνεται με σαφήνεια, ότι η χρήση αυτής της μεθόδου δίνει τη δυνατότητα να εκτιμηθούν (έστω και προσεγγιστικά) τα μελλοντικά κόστη ενός εξοπλισμού κατά τη διάρκεια ζωής του. Χρησιμοποιώντας, λοιπόν την οικονομική βάση ως τον πρωταρχικό παράγοντα για λήψη αποφάσεων περί ενδεχόμενης ανακατασκευής ενός εξοπλισμού ή διαφορετικά συνέχιση των εργασιών συντήρησης και επισκευών, η εφαρμογή της LCC καταδεικνύεται ως το πλέον χρήσιμο εργαλείο. Η ορθή χρήση της για υπολογισμό του μελλοντικού κόστους ενός εξοπλισμού, συμβάλλει άμεσα και στην εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά στην παρούσα μηχανική κατάσταση αυτού, καθώς και σε παράγοντες,

όπως η ασφάλεια του εξοπλισμού, η αξιοπιστία, η απόδοση και η επιχειρησιακή ετοιμότητα αυτού.

Συμπεραματικά, λοιπόν, η ανάλυση του κόστους κύκλου ζωής είναι ιδανική για αξιολόγηση επενδύσεων σε διάφορους εξοπλισμούς, κατασκευή έργων, κτιρίων, κ.τ.λ και εστιάζει στη σύγκριση του κόστους επένδυσης με τα κόστη λειτουργίας καθ'όλη τη διάρκεια ζωής και οδηγεί στη βέλτιστη επιλογή, συνδυάζοντας οικονομικά κριτήρια και κριτήρια αποτελεσματικότητας. Ωστόσο, τονίζεται ότι η εφαρμογή της, εμπεριέχει και πολλούς περιορισμούς, αφού όπως είναι αναμενόμενο οι μελλοντικές εκτιμήσεις στα διάφορα κόστη ενός εξοπλισμού δεν είναι δυνατόν να ακολουθούν πάντα τους ίδιους κανόνες. Υπάρχουν πολυάριθμες παράμετροι, όπως οι περιβαλλοντικές συνθήκες, οι συνθήκες λειτουργίας, η ικανότητα των εκάστοτε χειριστών, η ορθότητα των εργασιών συντήρησης, κ.τ.λ, οι οποίες διαφοροποιούν τα μελλοντικά κόστη, ακόμα και μεταξύ πανομοιότυπων εξοπλισμών. Επίσης, κρίνεται απαραίτητο να αναφερθεί ότι η LCC αποτελεί μια διαδικασία ιδιαίτερα χρονοβόρα και επίπονη, αφού εφαρμόζεται σε μακροχρόνια βάση και η αποτελεσματικότητά της εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ακρίβεια των στοιχείων που έχουν συλλεχθεί.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΡΩΤΟ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εν λόγω ενότητα πραγματεύεται ένα πολύ σημαντικό ζήτημα, το οποίο σχετίζεται με τις αποφάσεις που αφορούν στην επισκευή ή στην αντικατάσταση ενός οχήματος, όταν παρουσιάζονται κάποιες βλάβες ή γενικότερα δυσλειτουργίες. Στο συγκεκριμένο αντικείμενο έχει δοθεί ιδιαίτερο ενδιαφέρον από πολλές υπηρεσίες, οι οποίες κατά καιρούς έχουν διατυπώσει διάφορα κριτήρια με κατεύθυνση την ορθή λήψη αποφάσεων για επισκευή ή αντικατάσταση των οχημάτων. Ωστόσο, η τάση, η οποία επικρατεί στις διάφορες υπηρεσίες, είναι να καθοριστούν κριτήρια που να χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη ομοιομορφία.

Το συγκεκριμένο μαθηματικό μοντέλο, έχει δώσει ιδιαίτερη έμφαση στο ζήτημα της επισκευής ή της αντικατάστασης των οχημάτων, σε πέντε στάδια κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του. Αυτά είναι τα εξής:

- ✚ Ανάπτυξη του σχεδιασμού.
- ✚ Πραγματικός σχεδιασμός.
- ✚ Αρχική πρόβλεψη αστοχίας.
- ✚ Επανεξέταση του σχεδιασμού.
- ✚ Χρονική στιγμή εμφάνισης της αστοχίας.

Παρά την ύπαρξη πολλών ερευνών, όσον αφορά στο ζήτημα της επισκευής ή της αντικατάστασης ενός οχήματος, δεν έχει επιτευχθεί η πλήρης ομοιομορφία μεταξύ των διαφόρων υπηρεσιών. Η παρούσα ενότητα βασίζεται στην ανάλυση του Ορίου Δαπάνης στην Επισκευή (καθορίζεται με βάση τις δυνατότητες του κατόχου ενός εξοπλισμού).

4.2. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΒΑΣΙΚΟΥ ΣΤΟΧΟΥ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Βασικός στόχος της εν λόγω μελέτης είναι η ανάπτυξη μιας κοινής μεθοδολογίας για τον καθορισμό και την εφαρμογή ενιαίου Ορίου Δαπάνης στην Επισκευή, τα οποία θα εφαρμόζονται για την ορθή λήψη αποφάσεων, για την επισκευή ή την αντικατάσταση των οχημάτων. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, έγινε συλλογή όλων των απαραίτητων δεδομένων για την ανάπτυξη σχέσης μεταξύ του αρχικού κόστους αγοράς ενός οχήματος, της προσδόκιμης διάρκειας ζωής του, της ηλικίας του, καθώς και άλλων παραγόντων, που σχετίζονται με τις αποφάσεις για επισκευή ή αντικατάστασή του. Επιπροσθέτως, κρίθηκε απαραίτητη και η ανάπτυξη κατευθυντήριων οδηγιών για την ανάπτυξη μίας λογικής ροής για τον καθορισμό του Ορίου Δαπάνης στην Επισκευή, το οποίο βασίζεται στα ήδη καθορισθέντα Οικονομικά Όρια Επισκευής.

4.2.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ ΔΑΠΑΝΗΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΚΕΥΗ

Οι σημαντικότεροι σκοποί για τον καθορισμό του Ορίου Δαπάνης στην Επισκευή αναφέρονται συνοπτικά παρακάτω:

- ✚ Αποτροπή των αδικαιολόγητων εξόδων επισκευής των οχημάτων.
- ✚ Το Όριο Δαπάνης στην Επισκευή πρέπει να βρίσκεται πολύ κοντά στο κρίσιμο σημείο, όπου η εναπομένουσα απόδοση ενός οχήματος δε δύναται να βελτιωθεί με περαιτέρω δαπάνες για επισκευή.

4.2.2 ΒΑΣΗ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ ΔΑΠΑΝΗΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΚΕΥΗ

- ✚ Το Όριο Δαπάνης στην Επισκευή αποτελεί μια ποσοτική έκφραση της εναπομένουσας διάρκειας ζωής ενός οχήματος, βασιζόμενη στην προσδόκιμη διάρκεια ζωής, στο κόστος αντικατάστασης, στην αναμενόμενη υποβάθμιση, κ.τ.λ..
- ✚ Η απόφαση για επισκευή θα πρέπει να βασίζεται στην εναπομένουσα απόδοση του οχήματος, σε σύγκριση με άλλες αποδεκτές εναλλακτικές, όπως είναι η αντικατάσταση.
- ✚ Τα ολικά αθροιστικά κόστη επισκευών δεν αποτελούν καθοριστικό παράγοντα για τη λήψη απόφασης περί επισκευής.
- ✚ Εφόσον το κόστος αντικατάστασης δε μπορεί να καθοριστεί με ακρίβεια, χρησιμοποιείται μια τυποποιημένη μέση τιμή αγοράς, η οποία περιλαμβάνει και την αρχική μεταφορά προς το χρήστη.

4.2.3 ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΟΡΙΟΥ ΔΑΠΑΝΗΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΚΕΥΗ

- ✚ Στις περιπτώσεις όπου το εκτιμώμενο κόστος επισκευής είναι μικρότερο από τα Όριο Δαπάνης στην Επισκευή, η επισκευή εκτελείται κανονικά, εκτός αν δίδεται διαφορετική οδηγία.
- ✚ Στην αντίθετη περίπτωση, δεν υλοποιείται καμία επισκευή, αλλά επιβάλλεται να ληφθούν αποφάσεις για την επικείμενη αντικατάσταση του οχήματος.

- ✚ Τονίζεται ότι το εκτιμώμενο κόστος επισκευής, ακόμη και σε περιπτώσεις όπου ξεπερνά τα Όριο Δαπάνης στην Επισκευή δεν μπορεί να παρέχει πλήρη εξουσιοδότηση για λήψη αποφάσεων περί αντικατάστασης του οχήματος.

4.3. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ο καθορισμός της προσδόκιμης διάρκειας ζωής των οχημάτων, μέσω οικονομικής ανάλυσης, αποτελεί τη βασική προσέγγιση της εν λόγω μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, ακολουθούνται τρία βασικά βήματα, τα οποία είναι:

- ✚ Αναγνώριση των οικονομικών παραγόντων, που επηρεάζουν τις αποφάσεις επισκευής έναντι της αντικατάστασης.
- ✚ Έλεγχος του κόστους εξοπλισμού συναρτήσει της χρήσης του, με βάση την ανάλυση δείγματος δεδομένων.
- ✚ Ανάπτυξη μεθοδολογίας για τον καθορισμό της προσδόκιμης διάρκειας ζωής, βασισμένη σε σχέσεις κόστους-χρήσης του εξοπλισμού.

Εκτός, όμως, των παραπάνω βασικών βημάτων, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν επιπρόσθετες παρατηρήσεις, οι οποίες αποσκοπούν σε πιο πειθαρχημένη προσέγγιση της εν λόγω μελέτης, όσον αφορά στον καθορισμό της προσδόκιμης διάρκειας ζωής των οχημάτων. Αυτές συνοψίζονται στις εξής:

- ✚ Αν η προσδόκιμη διάρκεια ζωής πρόκειται να καθορισθεί σε οικονομική βάση, τότε το κόστος του εξοπλισμού συναρτήσει της χρήσης του ή της ηλικίας του, πρέπει να προσεγγιστεί με λογική ακρίβεια.
- ✚ Εφόσον, το κόστος του εξοπλισμού συναρτήσει της χρήσης του (ή της ηλικίας του) σχετίζεται άμεσα με τον τύπο του εξοπλισμού, τότε δεν είναι δυνατό να ευρεθεί κοινό μαθηματικό μοντέλο για όλους τους τύπους εξοπλισμών.
- ✚ Το Όριο Δαπάνης στην Επισκευή πρέπει να επαναξιολογείται περιοδικά, ώστε να αντανακλά τις αλλαγές του κόστους εξοπλισμού συναρτήσει της χρήσης του.

4.4. ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Επειδή η εν λόγω μελέτη στηρίζεται σε οικονομικούς όρους, κρίνεται αναγκαίο να αναλυθούν συνοπτικά εκείνοι οι παράγοντες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται στο μαθηματικό μοντέλο, το οποίο παρατίθεται παρακάτω. Έτσι, λοιπόν, τα κυριότερα κόστη που συμβάλλουν σημαντικά στον καθορισμό της προσδόκιμης διάρκειας ζωής των οχημάτων, είναι τα εξής:

- ✚ Κόστος απόκτησης.
- ✚ Κόστος υποστήριξης.
- ✚ Κόστος διακοπής λειτουργίας του εξοπλισμού.

4.4.1 ΚΟΣΤΟΣ ΑΠΟΚΤΗΣΗΣ

Για το κόστος απόκτησης, στα πλαίσια της μελέτης, καθορίζεται από μία τυποποιημένη μέση τιμή, η οποία αντιπροσωπεύει το κόστος παραγωγής του οχήματος, το οποίο περιλαμβάνει και την αρχική μεταφορά προς το χρήστη.

4.4.2 ΚΟΣΤΟΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

Το κόστος υποστήριξης διαχωρίζεται στις δύο ακόλουθες βασικές κατηγορίες:

- ✚ Λειτουργικό κόστος. Σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνονται όλα εκείνα τα κόστη που σχετίζονται με τη λειτουργία του οχήματος, τα οποία λαμβάνουν χώρα σε συνεχή και επαναλαμβανόμενη βάση (π.χ. κατανάλωση καυσίμου, φυσιολογική αντικατάσταση των αναλώσιμων δομικών στοιχείων όπως μπαταρίες, ελαστικά επίσωτρα κ.τ.λ., καθώς και η φυσιολογική προληπτική συντήρηση).
- ✚ Κόστος διορθωτικής συντήρησης. Σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνονται όλα εκείνα τα κόστη που οφείλονται στην παρουσίαση βλαβών ή δυσλειτουργιών (π.χ. υλικά, εργατοώρες, κόστος συντήρησης ειδικών συλλογών για την επισκευή κ.τ.λ.).

Επισημαίνεται ότι ο παραπάνω διαχωρισμός του κόστους υποστήριξης υφίσταται, διότι το λειτουργικό κόστος μεταβάλλεται με σταθερό ρυθμό

συναρτήσει της χρήσης ή της ηλικίας του οχήματος, ενώ το κόστος διορθωτικής συντήρησης αυξάνεται συνεχώς συναρτήσει της χρήσης ή της ηλικίας του οχήματος.

4.4.3 ΚΟΣΤΟΣ ΔΙΑΚΟΠΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Σε μερικές περιπτώσεις, το κόστος που σχετίζεται με τη διακοπή λειτουργίας ενός οχήματος, είναι πολύ σημαντικό στον καθορισμό της Οικονομικής Διάρκειας Ζωής. Η διακοπή λειτουργίας ενός οχήματος οφείλεται τόσο στην προληπτική συντήρηση, όσο και στη συντήρηση έως τη βλάβη. Για την καλύτερη κατανόηση του συγκεκριμένου όρου, αναφέρεται το κάτωθι χαρακτηριστικό παράδειγμα. Θεωρούμε ένα όχημα με αρχική τιμή αγοράς 30.000€ και διάρκεια ζωής 20 έτη. Γίνεται η υπόθεση, ότι το εν λόγω όχημα, λόγω της προληπτικής συντήρησης και της συντήρησης έως τη βλάβη, παραμένει μη λειτουργικό για δύο έτη. Εξαιτίας αυτού, πραγματοποιείται η αντικατάστασή του από ένα άλλο όμοιό του. Το επιπρόσθετο κόστος που προκύπτει από από αυτή την αντικατάσταση καλείται κόστος λόγω διακοπής λειτουργίας και εκτιμάται στα 3.300€. Έτσι, το συνολικό κόστος του οχήματος δε θα πρέπει να περιλαμβάνει μόνο το αρχικό κόστος αγοράς, αλλά και το επιπλέον κόστος αντικατάστασής του. Συνεπώς, το συνολικό κόστος για την περίοδο των 20 ετών εκτιμάται στα 33.300€.

Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, ότι η σχέση μεταξύ κόστους του οχήματος και χρήσης αυτού διαφοροποιείται ανάλογα με το μοντέλο της προληπτικής συντήρησης που εφαρμόζεται σε κάθε περίπτωση. Η βέλτιστη διάρκεια ζωής ενός εξοπλισμού δύναται να καθοριστεί για οποιοδήποτε μοντέλο συντήρησης και είναι προτιμότερο, πριν τον καθορισμό της, να λαμβάνεται υπόψη η σχέση του συνολικού κόστους με βάση το μοντέλο προληπτικής συντήρησης που ακολουθείται.

Σε μερικές περιπτώσεις, το κόστος διακοπής λειτουργίας λόγω συντήρησης δεν είναι σημαντικό και για αυτό το λόγο δεν είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη στον καθορισμό της προσδόκιμης διάρκειας ζωής. Σε άλλες

περιπτώσεις, το εν λόγω κόστος του οχήματος μπορεί να μεταβάλλεται γραμμικά ή ακόμα και με συνεχώς αυξανόμενο ρυθμό συναρτήσει της χρήσης του. Και στις δύο τελευταίες περιπτώσεις, το κόστος που σχετίζεται με τη διακοπή λειτουργίας πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον καθορισμό της διάρκειας ζωής ενός οχήματος. Συνεπώς, το κόστος διακοπής λειτουργίας συνοψίζεται στις εξής τρεις κατηγορίες:

- ✚ Ασήμαντο (μηδενικό).
- ✚ Μεταβαλλόμενο με σταθερό ρυθμό συναρτήσει της χρήσης του.
- ✚ Μεταβαλλόμενο με συνεχώς αυξανόμενο ρυθμό συναρτήσει της χρήσης του.

4.5. ΕΠΙΠΡΟΣΘΕΤΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Εκτός, από τους βασικούς οικονομικούς παράγοντες που περιγράφηκαν παραπάνω, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν επιπρόσθετες παράμετροι, οι οποίες πρέπει να ληφθούν υπόψη στον καθορισμό του Ορίου Δαπάνης στην Επισκευή. Ενδεικτικά αναφέρονται οι εξής:

- ✚ Διαθεσιμότητα και χρόνος αντικατάστασης.
- ✚ Ύπαρξη απόθεματος ανταλλακτικών.
- ✚ Απαιτήσεις εκσυγχρονισμού ή τυποποίησης του εξοπλισμού.
- ✚ Δυνατότητα μείωσης του κόστους υποστήριξης, μέσω καταλληλότερης προληπτικής συντήρησης κ.τ.λ..

4.6. ΚΟΣΤΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ

Με σκοπό την εκτίμηση της προσδόκιμης οικονομικής διάρκειας ζωής ενός οχήματος, επιβάλλεται να καθοριστεί ή να προσεγγιστεί με ακρίβεια η σχέση μεταξύ του κόστους οχήματος συναρτήσει της χρήσης αυτού. Έτσι, μελετούνται τα εξής:

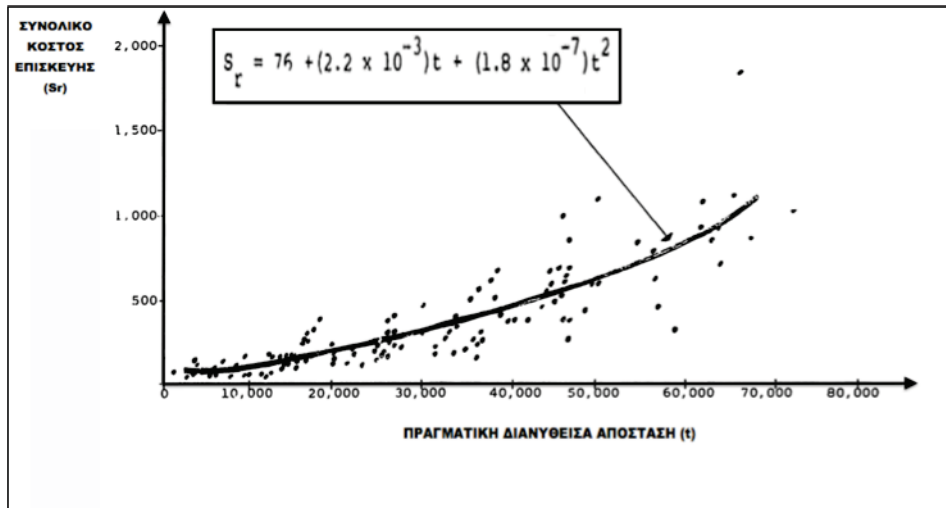
- ✚ Κόστος υποστήριξης οχήματος συναρτήσει της χρήσης ή της ηλικίας του.
- ✚ Υπολειμματική αξία ενός οχήματος συναρτήσει της χρήσης ή της ηλικίας του.
- ✚ Κόστος διακοπής λειτουργίας του εξοπλισμού λόγω συντήρησης, συναρτήσει της χρήσης ή της ηλικίας του.

Προηγούμενες μελέτες που υλοποιήθηκαν, απέδειξαν ότι οι σχέσεις μεταξύ των διαφόρων τύπων κόστους εξοπλισμού συναρτήσει της χρήσης αυτού είναι δυνατόν να εκτιμηθούν με τη βοήθεια δείγματος δεδομένων. Για την καλύτερη κατανόηση, αναφέρεται ενδεικτικό γενικό παράδειγμα. Υποθέτουμε ότι, από δείγμα 122 επιβατικών οχημάτων και για συγκεκριμένη χρονική περίοδο, ελήφθησαν τα πραγματικά συνολικά κόστη επισκευής συναρτήσει της πραγματικής διανυθείσας απόστασης αυτών. Στο παρακάτω σχήμα (4.1), απεικονίζονται τα ζεύγη τιμών του συνολικού κόστους επισκευής-διανυθείσας απόστασης αυτών. Με περαιτέρω επεξεργασία, η καμπύλη προσεγγίζεται ικανοποιητικά από την ακόλουθη εξίσωση δευτέρου βαθμού:

$$S_r = 76 + (2.2 \cdot 10^{-3}) \cdot t + (1.8 \cdot 10^{-7}) \cdot t^2 \quad (4.1)$$

όπου: S_r : συνολικό κόστος επισκευής σε ευρώ.

t : διανυθείσα απόσταση του οχήματος σε χιλιόμετρα.



Σχήμα 4.1: Γράφημα που αναπαριστά τη σχέση μεταξύ συνολικού κόστους επισκευής και πραγματικής διανυθείσας απόστασης σε δείγμα 122 οχημάτων.

Ωστόσο, πρέπει να τονιστεί ότι οι συντελεστές της παραπάνω μαθηματικής εξίσωσης δεν είναι σταθεροί, αλλά μεταβάλλονται ανάλογα με το δείγμα οχημάτων που έχει συλλεχθεί. Τονίζεται, ότι σύμφωνα με την παγκόσμια βιβλιογραφία, προηγούμενες μελέτες που υλοποιήθηκαν και εμπειρικοί κανόνες αποδεικνύουν ότι η συνάρτηση κόστους επισκευής-διανυθείσας απόστασης ενός οχήματος δύναται να προσεγγιστεί, με σχετική ακρίβεια, από εξίσωση δευτέρου βαθμού.

4.6.1 ΚΟΣΤΟΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ

Υπάρχουν περιπτώσεις, στις οποίες το κόστος υποστήριξης ενός εξοπλισμού αυξάνεται με σταθερό ρυθμό συναρτήσει της χρήσης του, ενώ σε άλλες περιπτώσεις προσεγγίζεται με αύξουσα καμπύλη. Έτσι, λοιπόν, η γενική μορφή της μαθηματικής εξίσωσης είναι η εξής:

$$S = C_1 \cdot t + C_2 \cdot t^n \quad (4.2)$$

- όπου:
- t : χρήση (σε ημερολογιακά έτη ή διανυθείσα απόσταση) των στοιχείων (ενός τυχαίου δείγματος κατά τη δειγματοληψία) ενός συγκεκριμένου τύπου εξοπλισμού.
 - S : συνολικά κόστη υποστήριξης των στοιχείων (ενός τυχαίου δείγματος κατά τη δειγματοληψία) ενός συγκεκριμένου τύπου εξοπλισμού, μετά από χρήση t (ημερολογιακά έτη ή διανυθείσα απόσταση) αυτών.
 - C_1, C_2 : σταθεροί συντελεστές των οποίων η τιμή καθορίζεται από τα στοιχεία (ενός τυχαίου δείγματος κατά τη δειγματοληψία) ενός συγκεκριμένου τύπου εξοπλισμού.
 - n : εκθέτης, ο οποίος λαμβάνει συγκεκριμένη τιμή ανάλογα με τον τύπο του εξοπλισμού.

Τονίζεται, ότι στην περίπτωση των οχημάτων, όπως προαναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, ο εκθέτης n της παραπάνω εξίσωσης λαμβάνει την τιμή 2 ($n = 2$) και η εν λόγω εξίσωση χρησιμοποιείται ως εξής:

$$S = C_1 \cdot t + C_2 \cdot t^2 \quad (4.3)$$

Ωστόσο, στις περιπτώσεις όπου ο ρυθμός αύξησης του κόστους υποστήριξης ενός εξοπλισμού (λειτουργικό κόστος και κόστος επιδιορθωτικής συντήρησης) είναι σταθερός, τότε ο συντελεστής C_2 της παραπάνω εξίσωσης (4.3) μπορεί να θεωρηθεί ίσος με μηδέν ($C_2 = 0$). Έτσι ισχύει ότι:

$$S = C_1 \cdot t \quad (4.4)$$

4.6.2 ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗ ΑΞΙΑ ΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ

Το κόστος απόκτησης ενός εξοπλισμού υποβαθμίζεται σημαντικά με την παρέλευση t μονάδων χρήσης (ημερολογιακά έτη ή διανυθείσα απόσταση), και η πραγματική αξία αυτού, εκείνη τη χρονική στιγμή, αποτελεί την υπολειμματική του αξία. Η πιο απλή σχέση μεταξύ της υπολειμματικής αξίας ενός εξοπλισμού και της χρήσης του, είναι η εξής:

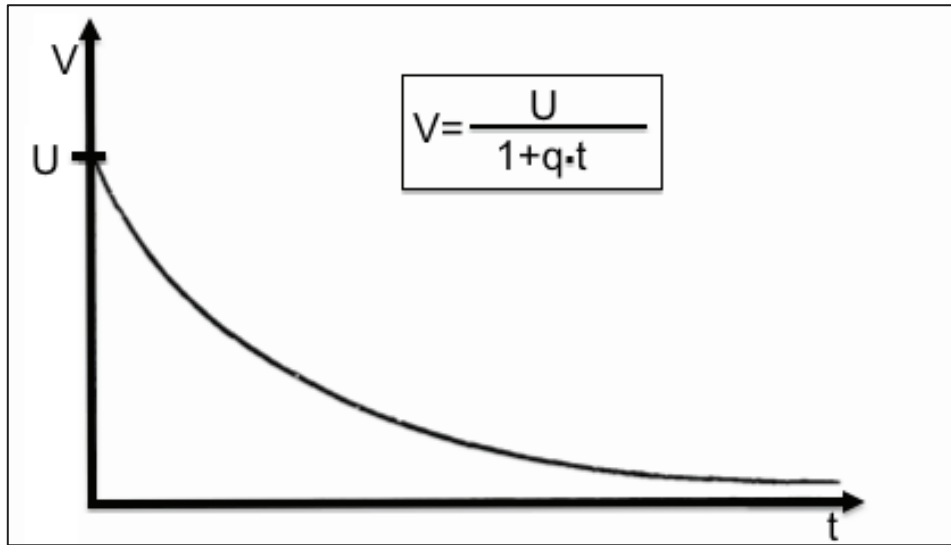
$$V = b \quad (4.5)$$

όπου: b : σταθερά.

Ωστόσο, σε αρκετές περιπτώσεις, η υπολειμματική αξία ενός εξοπλισμού μειώνεται από την αρχική του αξία διά της απογραφής (U), σε μία πολύ μικρότερη τιμή (ή ακόμα και τη μηδενική τιμή) ανάλογα με την παρέλευση t μονάδων χρήσης του (ημερολογιακά έτη ή διανυθείσα απόσταση). Στο παρακάτω σχήμα (4.2) παρατηρείται η μεταβολή της υπολειμματικής αξίας ενός εξοπλισμού συναρτήσει της χρήσης του. Η γενική εξίσωση που ισχύει είναι:

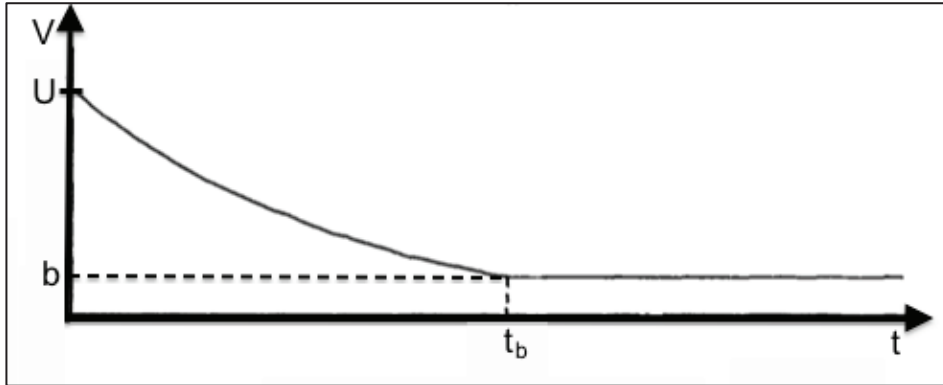
$$V = \frac{(U - b)}{1 + q \cdot t^k} + b \quad (4.6)$$

- όπου:
- V : υπολειμματική αξία του εξοπλισμού μετά από t μονάδες χρήσης του (ημερολογιακά έτη ή διανυθείσα απόσταση).
 - t : χρήση εξοπλισμού (ημερολογιακά έτη ή διανυθείσα απόσταση).
 - U : αρχική αξία εξοπλισμού διά της απογραφής (τρέχουσα τιμή αγοράς).
 - q : σταθερός συντελεστής του οποίου η τιμή καθορίζεται από τα στοιχεία (ενός τυχαίου δείγματος κατά τη δειγματοληψία) ενός συγκεκριμένου τύπου εξοπλισμού.
 - k : εκθέτης του οποίου η τιμή καθορίζεται από τα στοιχεία (ενός τυχαίου δείγματος κατά τη δειγματοληψία) ενός συγκεκριμένου τύπου εξοπλισμού.
 - b : ελάχιστη υπολειμματική αξία του εξοπλισμού.



Σχήμα 4.2: Γράφημα που αναπαριστά τη σχέση μεταξύ της υπολειμματικής αξίας ενός εξοπλισμού (V), συναρτήσεως της χρήσης του (t) σε ημερολογιακά έτη ή διανυθείσα απόσταση (για λόγους απλούστευσης λήφθηκε $k=1$ και $b=0$).

Εναλλακτικά, επισημαίνεται, ότι υπάρχουν περιπτώσεις, όπου η υπολειμματική αξία (V) μεταβάλλεται πιο απότομα για πεπερασμένο χρονικό διάστημα χρήσης t_b και μετά από αυτό παραμένει σταθερή και ίση με b , όπως παρατίθεται στο σχήμα (4.3). Αναφερόμενοι στο παρακάτω σχήμα (4.3), υποθέτουμε αρχικά ότι η υπολειμματική αξία (V) είναι ίση με το αρχικό κόστος (U) του εξοπλισμού. Επιπλέον, όσον αφορά στην προσδόκιμη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού (e), αυτή είναι δυνατόν να προσεγγιστεί ως $e \geq t_b$, όταν $t \geq t_b$, χωρίς να απαιτείται να προσδιοριστεί η ακριβής σχέση μεταξύ της υπολειμματικής αξίας του εξοπλισμού (V) και της χρήσης του.



Σχήμα 4.3: Γράφημα που αναπαριστά τη σχέση μεταξύ της υπολειμματικής αξίας ενός εξοπλισμού (V), συναρτήσεως της χρήσης του, μεταξύ $t = 0$ και $t = t_b$, όταν η υπολειμματική αξία (V) μεταβάλλεται πιο απότομα για πεπερασμένο χρονικό διάστημα χρήσης του.

Η ανωτέρω καμπύλη προσεγγίζεται ικανοποιητικά από την ακόλουθη εξίσωση:

$$V = \frac{(U - b) \cdot (t_b - t)}{t_b + q \cdot t} + b, \quad \text{για } t < t_b \quad (4.7)$$

$$V = b, \quad \text{για } t \geq t_b$$

όπου: t_b : χρονικό διάστημα χρήσης μετά την παρέλευση του οποίου, η υπολειμματική αξία του εξοπλισμού παραμένει σταθερή και ίση με b .

4.6.3 ΚΟΣΤΟΣ ΔΙΑΚΟΠΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ

Το κόστος, το οποίο αναλογεί στη διακοπή λειτουργίας ενός εξοπλισμού λόγω συντήρησης, σε ορισμένες περιπτώσεις είναι αρκετά σημαντικό και θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον καθορισμό της προσδόκιμης διάρκειας ζωής (e), ενώ υπάρχουν και περιπτώσεις, στις οποίες είναι ασήμαντο ($D = 0$) και δε συμβάλλει στον καθορισμό της προσδόκιμης διάρκειας ζωής (e).

Αρχικά εξετάζεται το συγκεκριμένο κόστος όταν ο ρυθμός με τον οποίο λαμβάνει χώρα η διακοπή λειτουργίας ενός εξοπλισμού λόγω συντήρησης, είναι σταθερός καθ'όλη τη διάρκεια ζωής του. Εφόσον, το επιπλέον κόστος για την αντικατάσταση ενός εξοπλισμού κατά τη διάρκεια των χρονικών περιόδων διακοπής της λειτουργίας του λόγω συντήρησης είναι ανάλογο της αρχικής του αξία διά της απογραφής (U), καθώς ο χρόνος διακοπής της λειτουργίας του εξοπλισμού είναι ανάλογος με το χρόνο λειτουργίας του, ισχύει ότι:

$$D = \left(\frac{j \cdot t}{t - j \cdot t} \right) \cdot U \Rightarrow D = \left(\frac{j}{1 - j} \right) \cdot U \quad (4.8)$$

- όπου:
- D : κόστος, λόγω διακοπής λειτουργίας του εξοπλισμού για συντήρηση μετά από t μονάδες χρήσης του (ημερολογιακά έτη ή διανυθείσα απόσταση).
 - t : χρήση εξοπλισμού (ημερολογιακά έτη ή διανυθείσα απόσταση).
 - U : αρχική αξία εξοπλισμού διά της απογραφής (τρέχουσα τιμή αγοράς).
 - j : μέσος λόγος του χρόνου διακοπής λειτουργίας κάθε στοιχείου (ενός τυχαίου δείγματος κατά τη δειγματοληψία) ενός συγκεκριμένου τύπου εξοπλισμού, προς τη συνολική του χρήση t .
 - $j \cdot t$: συνολικός χρόνος διακοπής λειτουργίας ενός εξοπλισμού για χρονική περίοδο χρήσης t .

Σε αρκετούς τύπους εξοπλισμών, ο ρυθμός, με τον οποίο λαμβάνει χώρα η διακοπή λειτουργίας ενός εξοπλισμού λόγω συντήρησης, αυξάνεται σημαντικά με τη χρήση. Γι' αυτό το λόγο, καθώς ένας εξοπλισμός "γηράσκει", η συχνότητα και η έκταση των χρονικών περιόδων διακοπής λειτουργίας αυξάνουν, με αποτέλεσμα τη συνεχώς αυξανόμενη τιμή του κόστους (D). Για να προσεγγιστεί η μελλοντική διακοπή λειτουργίας ενός εξοπλισμού λόγω συντήρησης, θα πρέπει να εξετάζεται ο τύπος του εξοπλισμού, καθώς και το ιστορικό διακοπής λειτουργίας του. Σε αρκετές περιπτώσεις, ο συνολικός χρόνος διακοπής λειτουργίας ενός εξοπλισμού λόγω συντήρησης (g), για χρονική περίοδο χρήσης t αυτού, προσεγγίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$g = p \cdot t^m \quad (4.9)$$

- όπου:
- p : σταθερός συντελεστής του οποίου η τιμή καθορίζεται από τα στοιχεία (ενός τυχαίου δείγματος κατά τη δειγματοληψία) ενός συγκεκριμένου τύπου εξοπλισμού.
 - m : εκθέτης του οποίου η τιμή καθορίζεται από τα στοιχεία (ενός τυχαίου δείγματος κατά τη δειγματοληψία) ενός συγκεκριμένου τύπου εξοπλισμού.

Γι' αυτό το λόγο και εφόσον, το επιπλέον κόστος για την αντικατάσταση ενός εξοπλισμού κατά τη διάρκεια των χρονικών περιόδων διακοπής της λειτουργίας του λόγω συντήρησης είναι ανάλογο αρχικό κόστος (U), καθώς ο χρόνος διακοπής της λειτουργίας του εξοπλισμού είναι ανάλογος με το χρόνο λειτουργίας του, θα ισχύει, αντιστοίχως με τη σχέση (4.8), ότι:

$$D = \left(\frac{g}{t - g} \right) \cdot U \Rightarrow D = \left(\frac{p \cdot t^m}{t - p \cdot t^m} \right) \cdot U \quad (4.10)$$

4.7. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΠΡΟΣΔΟΚΙΜΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΖΩΗΣ ΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

4.7.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Για τον καθορισμό της προσδόκιμης διάρκειας ζωής (e) ενός εξοπλισμού, επιβάλλεται αρχικά να υπολογιστεί το συνολικό κόστος συναρτήσει της χρήσης. Η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους μετά από μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο χρήσης (t), υποδεικνύει ξεκάθαρα την προσδόκιμη διάρκεια ζωής (e). Η γενική εξίσωση του συνολικού κόστους, ενός στοιχείου (ενός τυχαίου δείγματος κατά τη δειγματοληψία) ενός συγκεκριμένου τύπου εξοπλισμού, δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$C = A + D + S \quad (4.11)$$

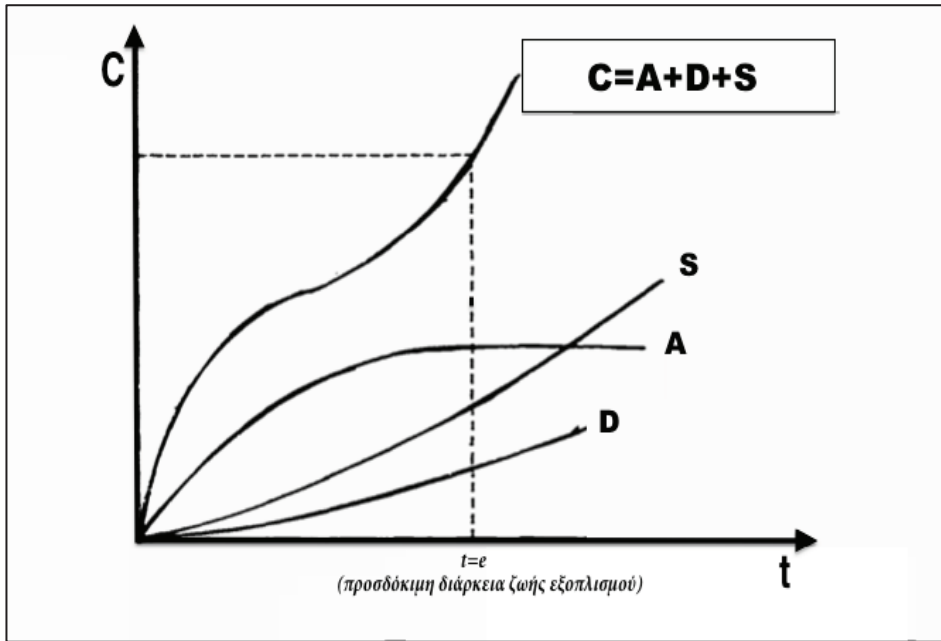
όπου: $A = U - f_1(t)$ και U : αρχική αξία εξοπλισμού διά της απογραφής (τρέχουσα τιμή αγοράς)..

- $f_1(t)$: υπολειμματική $V(t)$ μετά από t μονάδες χρήσης του (ημερολογιακά έτη ή διανυθείσα απόσταση).
- $D = f_2(t)$ και D : κόστος, λόγω διακοπής λειτουργίας του εξοπλισμού για συντήρηση μετά από t μονάδες χρήσης του (ημερολογιακά έτη ή διανυθείσα απόσταση).
- $S = f_3(t)$ και S : συνολικά κόστη υποστήριξης των στοιχείων (ενός τυχαίου δείγματος κατά τη δειγματοληψία) ενός συγκεκριμένου τύπου εξοπλισμού, μετά από χρήση t (ημερολογιακά έτη ή διανυθείσα απόσταση) αυτών

Έτσι, λοιπόν, για το συνολικό κόστος ενός στοιχείου (ενός τυχαίου δείγματος κατά τη δειγματοληψία) ενός συγκεκριμένου τύπου εξοπλισμού, θα ισχύει ότι:

$$\begin{aligned} C = f_4(t) &= U - f_1(t) + f_2(t) + f_3(t) \stackrel{t=e}{\Rightarrow} \\ &\Rightarrow C_e = f_4(e) \end{aligned} \tag{4.12}$$

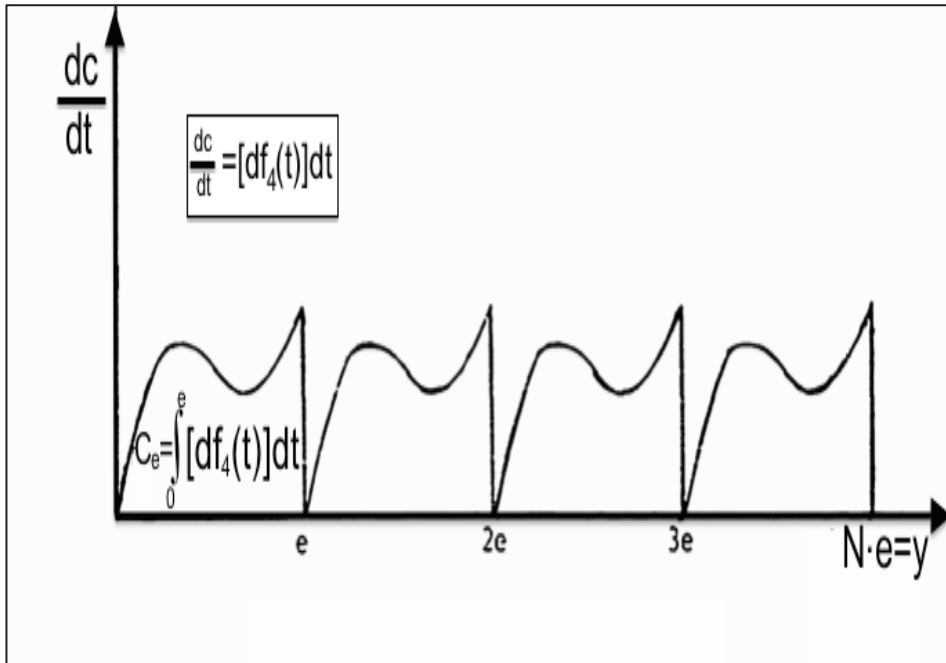
Για την πλήρη κατανόηση όσων αναφέρθηκαν προηγουμένως, τα παρακάτω σχεδιαγράμματα απεικονίζουν, με ικανοποιητική ακρίβεια, τη μεταβολή που ακολουθούν τα διάφορα κόστη συναρτήσει της χρήσης του εξοπλισμού.



Σχήμα 4.4: Γράφημα που αναπαριστά τη σχέση μεταξύ των διάφορων τύπων κόστους ενός εξοπλισμού συναρτήσει της χρήσης αυτού.

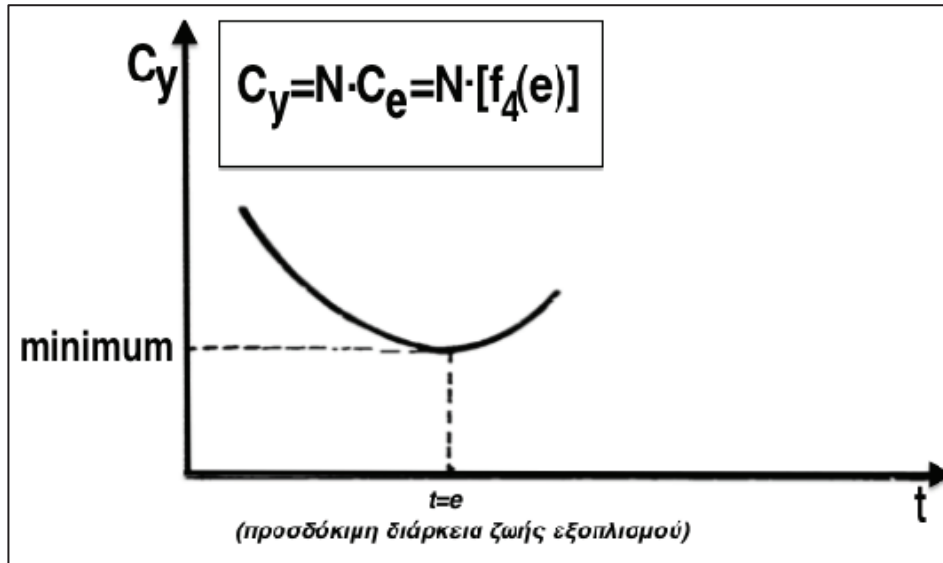
Επιπλέον, είναι απαραίτητο μέσω του κατάλληλου γραφήματος του σχήματος (4.5), να απεικονιστεί ο ρυθμός μεταβολής του συνολικού κόστους $\left(\frac{dc}{dt} = \frac{df_4t}{dt}\right)$ ενός στοιχείου (ενός τυχαίου δείγματος κατά τη δειγματοληψία) ενός συγκεκριμένου τύπου εξοπλισμού συναρτήσει της χρήσης του. Το συνολικό κόστος όλων των στοιχείων N (ενός τυχαίου δείγματος κατά τη δειγματοληψία) ενός συγκεκριμένου τύπου εξοπλισμού θα είναι:

$$C_Y = N \cdot C_e = N \cdot f_4(e) \quad (4.13)$$



Σχήμα 4.5: Γράφημα που αναπαριστά τη σχέση μεταξύ του ρυθμού μεταβολής του συνολικού κόστους ενός στοιχείου (ενός τυχαίου δείγματος κατά τη δειγματοληψία) ενός συγκεκριμένου τύπου εξοπλισμού συναρτήσει της χρήσης όλων των στοιχείων N (ενός τυχαίου δείγματος κατά τη δειγματοληψία) ενός συγκεκριμένου τύπου εξοπλισμού ($N \cdot e = y$).

Ο καθορισμός της προσδόκιμης διάρκειας ζωής (e) ενός στοιχείου (ενός τυχαίου δείγματος κατά τη δειγματοληψία) ενός συγκεκριμένου τύπου εξοπλισμού επιτυγχάνεται, όταν η καμπύλη του συνολικού κόστους (C_y) όλων των στοιχείων N (ενός τυχαίου δείγματος κατά τη δειγματοληψία) ενός συγκεκριμένου τύπου εξοπλισμού λάβει ελάχιστη τιμή, μετά από την παρέλευση συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος $t=e$, όπως αποτυπώνεται στο παρακάτω σχεδιάγραμμα του σχήματος (4.6).



Σχήμα 4.6: Γράφημα στο οποίο εντοπίζεται η προσδόκιμη διάρκεια ζωής ενός στοιχείου (ενός τυχαίου δείγματος κατά τη δειγματοληψία) ενός συγκεκριμένου τύπου εξοπλισμού (e) στο σημείο ελαχιστοποίησης του συνολικού κόστους (C_y) όλων των στοιχείων N (ενός τυχαίου δείγματος κατά τη δειγματοληψία) ενός συγκεκριμένου τύπου εξοπλισμού.

4.7.2 ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Η γενική προσέγγιση για τον καθορισμό της προσδόκιμης διάρκειας ζωής (e), που περιγράφηκε παραπάνω, μπορεί να εφαρμοστεί για οποιαδήποτε συνάρτηση του κόστους υποστήριξης εξοπλισμού (S), του κόστους διακοπής λειτουργίας για συντήρηση (D) και της υπολειμματικής αξίας (V). Είναι γενικά παραδεκτό, ότι όσο πιο πολύπλοκες είναι οι συναρτήσεις των κατηγοριών κόστους ενός εξοπλισμού, τόσο πιο επίπονη είναι και η επεξεργασία τους. Ωστόσο, στις περισσότερες περιπτώσεις εξοπλισμών, οι σχέσεις μεταξύ κόστους-χρήσης είναι δυνατόν να προσεγγιστούν με σχετικά απλές εξισώσεις. Στον πίνακα που ακολουθεί, συνοψίζονται οι βασικότερες μορφές εξισώσεων μεταξύ κόστους-χρήσης εξοπλισμού και πρέπει να επισημανθεί, ότι οποιοσδήποτε συνδυασμός εξ'αυτών, είναι δυνατόν να ισχύει.

Πίνακας 4.1: Πίνακας που αναπαριστά τους διάφορους τύπους κόστους-χρήσης εξοπλισμού για τον καθορισμό της προσδόκιμης διάρκειας ζωής.

Κατηγορίες/Περιγραφή	
A.	Κόστος υποτήριξης εξοπλισμού συναρτήσει της χρήσης του. <ol style="list-style-type: none">1. $S = c_1 \cdot t$2. $S = c_1 \cdot t + c_2 \cdot t^2$3. $S = c_1 \cdot t + c_2 \cdot t^n$
B.	Υπολειμματική αξία εξοπλισμού συναρτήσει της χρήσης του. <ol style="list-style-type: none">1. $V = b$2. $V = \frac{U}{1 + q \cdot t}$3. $V = \frac{(U - b) \cdot (t_b - t)}{t_b + q \cdot t} + b$4. $V = \frac{(U - b)}{1 + q \cdot t^k} + b$
Γ.	Απαξίωση εξοπλισμού. <ol style="list-style-type: none">1. Απεριόριστη χρήση εξοπλισμού.2. Περιορισμένη χρήση εξοπλισμού.
Δ.	Κόστος διακοπής λειτουργίας του εξοπλισμού συναρτήσει της χρήσης του. <ol style="list-style-type: none">1. $D = 0$2. $D = \left(\frac{j}{1 - j}\right) \cdot U$3. $D = \left(\frac{p \cdot t^m}{t - p \cdot t^m}\right) \cdot U$

Πίνακας 4.2: Πίνακας που αναπαριστά τις εξισώσεις για τον καθορισμό της προσδόκιμης διάρκειας ζωής μέσω των διάφορων κατηγοριών τύπων κόστους-χρήσης.

Κατηγορία	Συνδυασμοί κόστους/χρήσης εξοπλισμού όπως περιγράφονται στον πίνακα 1	Εξίσωση για την προσδόκιμη διάρκεια ζωής (e)
I	A1 B1 Γ1 Δ1 B2 B3	α ή για μεγάλο χρονικό διάστημα χρήσης
II	A2 B1 Γ1 Δ1	$e = \sqrt{\frac{U - b}{c_2}}$
III	A2 B2 Γ1 Δ1	$e = \sqrt{\frac{U}{c_2} - \frac{1}{q}}$
IV	A2 B3 Γ1 Δ1	$e = \sqrt{\frac{(U - b) \cdot (1 + q)}{q \cdot c_2} - \frac{t_b}{q}}, \text{ εάλν } e < t_b$ $e = \sqrt{\frac{U - b}{c_2}}, \text{ εάλν } e > t_b$
V	A2 B1 Γ1 Δ2	$e = \sqrt{\frac{U - (1 - j) \cdot b}{(1 - j) \cdot c_2}}$
VI	A3 B1 Γ1 Δ1	$e = \left[\frac{U - b}{(n - 1) \cdot c_2} \right]^{\frac{1}{n}}$
VII	A3 B1 Γ1 Δ2	$e = \left[\frac{U - (1 - j) \cdot b}{(1 - j) \cdot (n - 1) \cdot c_2} \right]^{\frac{1}{n}}$
VIII	Όλοι οι άλλοι συνδυασμοί με το Γ1	Το e υπολογίζεται για κάθε περίπτωση
IX	Κάθε συνδυασμός με το Γ2	<ul style="list-style-type: none"> • Ίδια όπως ο αντίστοιχος συνδυασμός με το Γ1 καθορίζοντας το e_1 • Χρησιμοποιώντας το $\frac{y}{e_1}$ ως βάση, καθορίζεται το e_2 και το e_3 • Υπολογισμός και σύγκριση του C_y όταν $e = e_1, e_2$ και e_3

4.7.3 ΑΠΑΞΙΩΣΗ ΤΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Η απαξίωση ενός εξοπλισμού λαμβάνεται υπόψη, μόνο όταν ο εξοπλισμός έχει μία ειδική εφαρμογή και χαρακτηρίζεται από περιορισμένη χρήση. Γι' αυτό το λόγο, όλοι οι εξοπλισμοί ταξινομούνται σε μία από τις δύο ακόλουθες κατηγορίες:

- ✚ Απεριόριστη χρήση ενός εξοπλισμού.
- ✚ Περιορισμένη χρήση ενός εξοπλισμού.

Αν ο εξοπλισμός υποπέσει στην κατηγορία της απεριόριστης χρήσης, τότε οι εξισώσεις για τον υπολογισμό της προσδόκιμης διάρκεια ζωής (e) αποτυπώνονται στον πίνακα (4.2), στις κατηγορίες από I έως VII. Αντιθέτως, αν ο εξοπλισμός μας υποπέσει στην κατηγορία της περιορισμένης χρήσης, τότε οι διαδικασίες υπολογισμού της προσδόκιμης διάρκειας ζωής (e) τροποποιούνται ελαφρώς ως εξής:

- ✚ Αρχικά, υπολογίζουμε την προσδόκιμη διάρκεια ζωής (e) για απεριόριστη χρήση και την ορίζουμε ως e_1 .
- ✚ Κατόπιν, καθορίζουμε τον αριθμό όλων των στοιχείων N ($N \cdot e = y$) που απαιτούνται για μια χρονική περίοδο (y) ημερολογιακών ετών, σύμφωνα με την εξίσωση:

$$N_1 = \frac{y}{e_1} \quad (4.14)$$

- ✚ Αν το N_1 είναι ακέραιος αριθμός, τότε η προσδόκιμη διάρκεια ζωής (e) του εξοπλισμού για περιορισμένη χρήση αυτού είναι ίση με την e_1 . Αν όμως δεν είναι ακέραιος αριθμός, τότε καθορίζουμε δύο άλλους αριθμούς N_2 και N_3 , όπου:

$$N_2 \text{ (πλησιέστερος ακέραιος αριθμός)} < N_1 \quad (4.15)$$

$$N_3 \text{ (πλησιέστερος ακέραιος αριθμός)} > N_1 \quad (4.16)$$

- ✚ Ακολούθως, υπολογίζουμε τις νέες τιμές προσδόκιμης διάρκειας ζωής, e_2 και e_3 ως εξής:

$$e_2 = \frac{y}{N_2} \quad (4.17)$$

$$e_3 = \frac{y}{N_3} \quad (4.18)$$

- ✚ Το επόμενο βήμα είναι να υπολογίσουμε και να συγκρίνουμε τα συνολικά κόστη C_Y για καθεμιά από τις τιμές της προσδόκιμης διάρκειας ζωής (e_1, e_2 και e_3) ως εξής:

$$C_{Y_1} = \text{Συνολικό κόστος για } e = e_1 \quad (4.19)$$

$$C_{Y_2} = \text{Συνολικό κόστος για } e = e_2 \quad (4.20)$$

$$C_{Y_3} = \text{Συνολικό κόστος για } e = e_3 \quad (4.21)$$

- ✚ Επειδή τα e_2 και e_3 επιδρούν σε όλα τα δομικά στοιχεία ενός εξοπλισμού που, οι εξισώσεις για τον υπολογισμό των C_{Y_2} και C_{Y_3} , είναι οι ακόλουθες:

$$C_{Y_2} = \frac{y}{e_2} \cdot [U - f_1(t) + f_2(t) + f_3(t)], \text{ όταν } t = e_2 \quad (4.22)$$

$$C_{Y_3} = \frac{y}{e_3} \cdot [U - f_1(t) + f_2(t) + f_3(t)], \text{ όταν } t = e_3 \quad (4.23)$$

- ✚ Επειδή το e_1 δεν επιδρά σε όλα τα δομικά στοιχεία ενός εξοπλισμού, θα πρέπει να υποτεθεί ότι όλες οι μονάδες εκτός της τελευταίας θα χρησιμοποιηθούν ομοιόμορφα και η τελευταία θα χρησιμοποιηθεί για την οποιαδήποτε χρήση που απομένει, όταν $t_1 = e_1$ και $t_2 = y - N_2 \cdot e_1$. Έτσι, ισχύει ότι:

$$C_{Y_1} = N_2 \cdot [U - f_1(t_1) + f_2(t_1) + f_3(t_1)] + [U - f_1(t_2) + f_2(t_2) + f_3(t_2)] \quad (4.24)$$

- ✚ Συνεπώς, η προσδόκιμη διάρκεια ζωής (e) ενός εξοπλισμού που έχει περιορισμένη χρήση ισούται είτε με e_i ($i = 1$ ή 2 ή 3), ανάλογα με το ποιο από αυτά προκαλεί το μικρότερο συνολικό κόστος (C_Y).

4.8. ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΔΟΚΙΜΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΖΩΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΥ ΟΡΙΟΥ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Υποθέτουμε ότι από δειγματοληψία 150 οχημάτων ενός τυχαίου δείγματος ελήφθησαν στοιχεία, τα οποία αφορούν στην ηλικία και στα κόστη υποστήριξης αυτών μέχρι τη χρονική στιγμή που έγινε η δειγματοληψία και τα οποία συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 4.3: Πίνακας όπου αποτυπώνονται η ηλικία και τα κόστη υποστήριξης του τυχαίου δείγματος των 150 οχημάτων.

Α/Α	ΗΛΙΚΙΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ (ΜΗΝΕΣ)	ΚΟΣΤΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ
1	3	303.60 €
2	5	510.00 €
3	7	719.60 €
4	9	932.40 €
5	11	1,148.40 €
6	12	1,257.60 €
7	5	510.00 €
8	7	719.60 €
9	9	932.40 €
10	11	1,148.40 €
11	13	1,367.60 €
12	15	1,590.00 €
13	17	1,815.60 €
14	19	2,044.40 €
15	21	2,276.40 €
16	24	2,630.40 €
17	23	2,511.60 €
18	14	1,478.40 €
19	16	1,702.40 €
20	21	2,276.40 €
21	25	2,750.00 €
22	28	3,113.60 €
23	27	2,991.60 €
24	31	3,484.40 €
25	33	3,735.60 €
26	35	3,990.00 €
27	25	2,750.00 €
28	27	2,991.60 €

Α/Α	ΗΛΙΚΙΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ (ΜΗΝΕΣ)	ΚΟΣΤΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ
29	29	3,236.40 €
30	32	3,609.60 €
31	36	4,118.40 €
32	38	4,377.60 €
33	40	4,640.00 €
34	42	4,905.60 €
35	44	5,174.40 €
36	46	5,446.40 €
37	48	5,721.60 €
38	39	4,508.40 €
39	41	4,772.40 €
40	43	5,039.60 €
41	49	5,860.40 €
42	51	6,140.40 €
43	53	6,423.60 €
44	55	6,710.00 €
45	57	6,999.60 €
46	59	7,292.40 €
47	51	6,140.40 €
48	54	6,566.40 €
49	56	6,854.40 €
50	58	7,145.60 €
51	61	7,588.40 €
52	63	7,887.60 €
53	65	8,190.00 €
54	68	8,649.60 €
55	70	8,960.00 €
56	72	9,273.60 €
57	63	7,887.60 €
58	65	8,190.00 €
59	69	8,804.40 €
60	65	8,190.00 €
61	73	9,431.60 €
62	75	9,750.00 €
63	77	10,071.60 €
64	79	10,396.40 €
65	81	10,724.40 €
66	83	11,055.60 €
67	83	11,055.60 €
68	75	9,750.00 €
69	85	11,390.00 €
70	87	11,727.60 €

Α/Α	ΗΛΙΚΙΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ (ΜΗΝΕΣ)	ΚΟΣΤΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ
71	89	12,068.40 €
72	91	12,412.40 €
73	93	12,759.60 €
74	95	13,110.00 €
75	87	11,727.60 €
76	89	12,068.40 €
77	91	12,412.40 €
78	92	12,585.60 €
79	94	12,934.40 €
80	85	11,390.00 €
81	96	13,286.40 €
82	98	13,641.60 €
83	100	14,000.00 €
84	102	14,361.60 €
85	104	14,726.40 €
86	106	15,094.40 €
87	108	15,465.60 €
88	97	13,463.60 €
89	99	13,820.40 €
90	104	14,726.40 €
91	108	15,465.60 €
92	110	15,840.00 €
93	112	16,217.60 €
94	114	16,598.40 €
95	116	16,982.40 €
96	118	17,369.60 €
97	120	17,760.00 €
98	109	15,652.40 €
99	111	16,028.40 €
100	115	16,790.00 €
101	120	17,760.00 €
102	122	18,153.60 €
103	124	18,550.40 €
104	126	18,950.40 €
105	128	19,353.60 €
106	130	19,760.00 €
107	132	20,169.60 €
108	121	17,956.40 €
109	125	18,750.00 €
110	129	19,556.40 €
111	132	20,169.60 €
112	134	20,582.40 €

Α/Α	ΗΛΙΚΙΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ (ΜΗΝΕΣ)	ΚΟΣΤΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ
113	136	20,998.40 €
114	138	21,417.60 €
115	140	21,840.00 €
116	142	22,265.60 €
117	144	22,694.40 €
118	133	20,375.60 €
119	135	20,790.00 €
120	139	21,628.40 €
121	144	22,694.40 €
122	146	23,126.40 €
123	148	23,561.60 €
124	150	24,000.00 €
125	152	24,441.60 €
126	154	24,886.40 €
127	156	25,334.40 €
128	145	22,910.00 €
129	148	23,561.60 €
130	151	24,220.40 €
131	156	25,334.40 €
132	158	25,785.60 €
133	160	26,240.00 €
134	162	26,697.60 €
135	164	27,158.40 €
136	166	27,622.40 €
137	157	25,559.60 €
138	159	26,012.40 €
139	161	26,468.40 €
140	162	26,697.60 €
141	168	28,089.60 €
142	170	28,560.00 €
143	172	29,033.60 €
144	174	29,510.40 €
145	176	29,990.40 €
146	178	30,473.60 €
147	180	30,960.00 €
148	169	28,324.40 €
149	173	29,271.60 €
150	177	30,231.60 €
ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΗΛΙΚΙΑ ΟΛΟΥ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	13492 ΜΗΝΕΣ	

4.8.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ

Σύμφωνα με την ανάλυση που προηγήθηκε, η σχέση που συνδέει το κόστος υποστήριξης των οχημάτων με την ηλικία τους, δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$S = C_1 \cdot t + C_2 \cdot t^2 \quad (4.25)$$

Τα επιμέρους ζεύγη τιμών (ηλικία-κόστη υποστήριξης) αποτυπώθηκαν σε γράφημα και μέσω επεξεργασίας προκύπτουν με ικανοποιητική προσέγγιση οι ακόλουθες τιμές των συντελεστών C_1, C_2 :

$$C_1 = 100 \quad (4.26)$$

$$C_2 = 0.4 \quad (4.27)$$

Επομένως η εξίσωση του κόστους υποστήριξης θα λάβει την ακόλουθη μορφή:

$$S = 100 \cdot t + 0.4 \cdot t^2 \quad (4.28)$$

4.8.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗΣ ΑΞΙΑΣ

Σύμφωνα με την ανάλυση που προηγήθηκε για τις τρεις διαφορετικές περιπτώσεις υπολογισμού της υπολειμματικής αξίας, εξάγονται τα κάτωθι:

- ✚ Η περίπτωση $V = b$ απορρίπτεται, διότι η υπολειμματική αξία των οχημάτων αποτελεί πάντα συνάρτηση της χρήσης τους. Αυτό σημαίνει ότι τα οχήματα έχουν διαφορετική μεταπωλητική αξία, η οποία εξαρτάται από τα έτη χρήσης τους (π.χ. ένα σχεδόν καινούριο όχημα πωλείται σε διαφορετική τιμή από ένα άλλο όμοιό του, το οποίο έχει ολοκληρώσει το κύκλο ζωής του, θα δοθεί για απόσυρση και θα πωληθεί τελικά με βάση το βάρος του, ως

παλιοσίδερα). Αυτό το συμπέρασμα στοιχειοθετείται και από την υπάρχουσα βιβλιογραφία, η οποία καθορίζει τη διαδικασία εκτίμησης της υποβάθμισης του αρχικού κόστους αγοράς του οχήματος. Επομένως, η υπολειμματική αξία δε μπορεί να θεωρηθεί σταθερή και ίση για όλα τα οχήματα του δείγματος.

- ✚ Η περίπτωση $V = \frac{(U-b)}{1+q \cdot t^k} + b$ απορρίπτεται για τους εξής λόγους:
 - Κάθε όχημα στο τέλος της προσδόκιμης διάρκειας ζωής του, έχει έστω μία ελάχιστη υπολειμματική αξία b μη μηδενική, αφού μπορεί να δοθεί για απόσυρση και να πωληθεί ως παλιοσίδερα.
 - Η ελάχιστη υπολειμματική αξία b προσεγγίζεται στο τέλος της προσδόκιμης διάρκειας ζωής ενός οχήματος (δηλαδή σε πεπερασμένο χρονικό διάστημα χρήσης).
 - Σε αυτόν, όμως, τον τύπο το $V \rightarrow b$ όταν το $t \rightarrow \infty$, το οποίο, σύμφωνα με τα παραπάνω, είναι αδύνατο να συμβεί.

- ✚ Επομένως, η υπολειμματική αξία θα υπολογιστεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$V = \frac{(U - b) \cdot (t_b - t)}{t_b + q \cdot t} + b, \quad \text{για } t < t_b$$

$$V = b, \quad \text{για } t \geq t_b$$

(4.29)

4.8.2.1. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΤΑΘΕΡΑΣ b

Για την εκτίμηση της σταθεράς b , γίνονται οι κάτωθι παραδοχές:

- ✚ Υποθέτουμε ότι τα οχήματα στο τέλος της προσδόκιμης διάρκειας ζωής τους δίνονται για απόσυρση και πωλούνται ως παλιοσίδερα, με βάση και μόνο το βάρος τους.
- ✚ Θεωρούμε ότι το μέσο βάρος κάθε οχήματος του δείγματος ανέρχεται περίπου στα 1300 kgr.

- ✚ Η τιμή πώλησης σιδήρου ανά κιλό για ανακύκλωση, σύμφωνα με τις τρέχουσες τιμές εμπορίου, ανέρχεται στα 0.93 €/kgr.

Έτσι, η ελάχιστη υπολειμματική αξία b του οχήματος εκτιμάται στα:

$$b = 1300 \text{ kgr} \cdot 0.93 \text{ €/kgr} = 1209 \text{ €} \quad (4.30)$$

4.8.2.2. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΤΑΘΕΡΑΣ q

Για την εκτίμηση της σταθεράς q , κρίνεται σκόπιμο να υποτεθούν τα εξής στοιχεία:

- ✚ Αρχική Αξία Οχήματος διά της απογραφής (τρέχουσα αξία):

$$U = 40000 \text{ €} \quad (4.31)$$

- ✚ Η μέση ετήσια διανυθείσα απόσταση (σε km) του δείγματος οχημάτων αυξομειώνεται, κατά τυχαίο τρόπο, συναρτήσει της ηλικίας των οχημάτων, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (4.6):
- ✚ Το κόστος υποβάθμισης (σε ευρώ ανά χιλιόμετρο) του δείγματος οχημάτων αυξάνεται με την αύξηση της ηλικίας των οχημάτων, ως εξής:
 - 0.15 €/km για τα πρώτα επτά έτη λειτουργίας.
 - 0.20 €/km για τα επόμενα επτά έτη λειτουργίας.
 - 0.25 €/km για τα επόμενα πέντε έτη λειτουργίας.
 - 0.30 €/km για τα υπόλοιπα έτη λειτουργίας.

Λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω παραδοχές και με βάση τη διαδικασία εκτίμησης της υποβάθμισης του κόστους αγοράς (U) ενός οχήματος, η οποία αναλύεται στην υπάρχουσα βιβλιογραφία, παρατίθεται ο παρακάτω πίνακας:

Πίνακας 4.4: Πίνακας στον οποίο αποτυπώνεται η διαδικασία εκτίμησης του μέσου κόστους υποβάθμισης και της υπολειμματικής αξίας ανά όχημα για τον προσδιορισμό της σταθεράς a .

ΗΛΙΚΙΑ (ΕΤΗ)	ΗΛΙΚΙΑ (ΜΗΝΕΣ)	ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΔΙΑΝΥΘΕΙΣΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΝΑ ΟΧΗΜΑ (ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΑ)	ΜΕΣΟ ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΟ	ΜΕΣΟ ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ	ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗ ΑΞΙΑ (ΕΥΡΩ)
0	0	-	-	-	40,000.00 €
1	12	31200	0.15 €/km	4,680.00 €	35,320.00 €
2	24	27000	0.15 €/km	4,050.00 €	31,270.00 €
3	36	23000	0.15 €/km	3,450.00 €	27,820.00 €
4	48	21000	0.15 €/km	3,150.00 €	24,670.00 €
5	60	18000	0.15 €/km	2,700.00 €	21,970.00 €
6	72	16000	0.15 €/km	2,400.00 €	19,570.00 €
7	84	14000	0.15 €/km	2,100.00 €	17,470.00 €
8	96	12500	0.20 €/km	2,500.00 €	14,970.00 €
9	108	8500	0.20 €/km	1,700.00 €	13,270.00 €
10	120	8000	0.20 €/km	1,600.00 €	11,670.00 €
11	132	7000	0.20 €/km	1,400.00 €	10,270.00 €
12	144	6500	0.20 €/km	1,300.00 €	8,970.00 €
13	156	6000	0.20 €/km	1,200.00 €	7,770.00 €
14	168	5500	0.20 €/km	1,100.00 €	6,670.00 €
15	180	4000	0.25 €/km	1,000.00 €	5,670.00 €
16	192	3750	0.25 €/km	937.50 €	4,732.50 €
17	204	3500	0.25 €/km	875.00 €	3,857.50 €
18	216	3200	0.25 €/km	800.00 €	3,057.50 €
19	228	3000	0.25 €/km	750.00 €	2,307.50 €
20	240	2300	0.30 €/km	690.00 €	1,617.50 €
21	252	2200	0.30 €/km	660.00 €	957.50 €
22	264	2000	0.30 €/km	600.00 €	357.50 €

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, η ελάχιστη υπολειμματική αξία b ενός οχήματος προσεγγίζεται με γραμμική παρεμβολή, όπως φαίνεται παρακάτω:

20	240 247.43	2300	0.30 €/km	690.00 €	1,617.50 € 1,209.00 €
21	252	2200	0.30 €/km	660.00 €	957.50 €
22	264	2000	0.30 €/km	600.00 €	357.50 €

Έτσι,

$$V_{t_b} = b = 1,209.00 \text{ €}, \text{ όταν το } t_b = 20.62 \text{ έτη ή } 247.43 \text{ μήνες} \quad (4.32)$$

Σύμφωνα με πίνακα (4.6) η υπολειμματική αξία μετά την παρέλευση του πρώτου χρόνου χρήσης ($t = t_1 = 1$ χρόνος ή 12 μήνες), θα είναι:

$$V_{t=t_1=12} = 35,320.00 \text{ €} \quad (4.33)$$

Επομένως ο συντελεστής q υπολογίζεται με τη βοήθεια της σχέσης (4.4) ως εξής:

$$V = \frac{(U - b) \cdot (t_b - t)}{t_b + q \cdot t} + b \xrightarrow{(t=t_1), (V=V_{t=t_1})} V_{t_1} = \frac{(U - b) \cdot (t_b - t_1)}{t_b + q \cdot t_1} + b \Rightarrow$$

$$\Rightarrow q = \frac{1}{t_1} \cdot \left[\frac{(U - b) \cdot (t_b - t_1)}{(V_{t_1} - b)} - t_b \right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow q = \frac{1}{12} \cdot \left[\frac{(40000 - 1209) \cdot (247.43 - 12)}{(35320 - 1209)} - 247.43 \right] \Rightarrow q = 1.908 \quad (4.34)$$

4.8.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΔΙΑΚΟΠΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΛΟΓΩ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Σύμφωνα με την ανάλυση που προηγήθηκε για τις τρεις διαφορετικές περιπτώσεις υπολογισμού του κόστους διακοπής λειτουργίας λόγω συντήρησης, εξάγονται τα κάτωθι:

- ✚ Η περίπτωση $D = 0$ απορρίπτεται, διότι τα περισσότερα οχήματα λειτουργούν υπό αντίξοες συνθήκες και με διαφορετικούς χειριστές, με αποτέλεσμα να παραμένουν, συχνά, εκτός λειτουργίας και έτσι το κόστος που αντιστοιχεί στη διακοπή λειτουργίας τους λόγω συντήρησης να μη θεωρείται αμελητέο.
- ✚ Η περίπτωση $D = \left(\frac{j}{1-j}\right) \cdot U$ απορρίπτεται, διότι ισχύει μόνο όταν ο ρυθμός με τον οποίο λαμβάνει χώρα η διακοπή λειτουργίας ενός εξοπλισμού λόγω συντήρησης, είναι σταθερός καθ'όλη τη διάρκεια ζωής του. Στην περίπτωση των οχημάτων, όμως, δε μπορούμε να θεωρήσουμε ότι τα κόστη διακοπής λειτουργίας θα είναι ίσα [δηλαδή δε μπορούμε να θεωρήσουμε ότι κάθε όχημα του δείγματος παραμένει εκτός λειτουργίας (είτε λόγω μικροεπισκευών, προληπτικής συντήρησης, αναμονή ανταλλακτικών κ.τ.λ.) για τον ίδιο χρόνο].
- ✚ Επομένως, το κόστος διακοπής λειτουργίας εξαρτάται από τη χρήση του οχήματος και γι'αυτό το λόγο δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$D = \left(\frac{g}{t-g}\right) \cdot U \quad (4.35)$$

Η συνάρτηση g , που εκφράζει το χρόνο διακοπής λειτουργίας λόγω συντήρησης, είναι μία δυναμική συνάρτηση ως προς το χρόνο και δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$g = p \cdot t^m \quad (4.36)$$

Υποθέτουμε ότι από τη δειγματοληψία 150 οχημάτων ενός τυχαίου δείγματος ελήφθησαν στοιχεία, τα οποία αφορούν στην ηλικία και στους χρόνους διακοπής λειτουργίας αυτών μέχρι τη χρονική στιγμή που έγινε η δειγματοληψία και τα οποία συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 4.5: Πίνακας όπου αποτυπώνονται η ηλικία και οι χρόνοι διακοπής λειτουργίας του τυχαίου δείγματος των 150 οχημάτων.

A/A	ΗΛΙΚΙΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ (ΜΗΝΕΣ)	ΧΡΟΝΟΙ ΔΙΑΚΟΠΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΜΗΝΕΣ)
1	3	0.31
2	5	0.52
3	7	0.74
4	9	0.96
5	11	1.18
6	12	1.29
7	5	0.52
8	7	0.74
9	9	0.96
10	11	1.18
11	13	1.40
12	15	1.63
13	17	1.85
14	19	2.08
15	21	2.30
16	24	2.64
17	23	2.53
18	14	1.52
19	16	1.74
20	21	2.30
21	25	2.75
22	28	3.09
23	27	2.98
24	31	3.44
25	33	3.66
26	35	3.89
27	25	2.75
28	27	2.98
29	29	3.21

Α/Α	ΗΛΙΚΙΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ (ΜΗΝΕΣ)	ΧΡΟΝΟΙ ΔΙΑΚΟΠΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΜΗΝΕΣ)
30	32	3.55
31	36	4.01
32	38	4.24
33	40	4.47
34	42	4.70
35	44	4.93
36	46	5.16
37	48	5.39
38	39	4.35
39	41	4.58
40	43	4.81
41	49	5.51
42	51	5.74
43	53	5.97
44	55	6.20
45	57	6.44
46	59	6.67
47	51	5.74
48	54	6.09
49	56	6.32
50	58	6.55
51	61	6.90
52	63	7.13
53	65	7.37
54	68	7.72
55	70	7.95
56	72	8.19
57	63	7.13
58	65	7.37
59	69	7.83
60	65	7.37
61	73	8.30
62	75	8.54
63	77	8.77
64	79	9.01
65	81	9.24
66	83	9.48
67	83	9.48
68	75	8.54
69	85	9.71
70	87	9.95

Α/Α	ΗΛΙΚΙΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ (ΜΗΝΕΣ)	ΧΡΟΝΟΙ ΔΙΑΚΟΠΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΜΗΝΕΣ)
71	89	10.18
72	91	10.42
73	93	10.65
74	95	10.89
75	87	9.95
76	89	10.18
77	91	10.42
78	92	10.54
79	94	10.77
80	85	9.71
81	96	11.01
82	98	11.25
83	100	11.48
84	102	11.72
85	104	11.95
86	106	12.19
87	108	12.43
88	97	11.13
89	99	11.36
90	104	11.95
91	108	12.43
92	110	12.67
93	112	12.90
94	114	13.14
95	116	13.38
96	118	13.62
97	120	13.85
98	109	12.55
99	111	12.78
100	115	13.26
101	120	13.85
102	122	14.09
103	124	14.33
104	126	14.57
105	128	14.81
106	130	15.04
107	132	15.28
108	121	13.97
109	125	14.45
110	129	14.92
111	132	15.28

Α/Α	ΗΛΙΚΙΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ (ΜΗΝΕΣ)	ΧΡΟΝΟΙ ΔΙΑΚΟΠΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (ΜΗΝΕΣ)
112	134	15.52
113	136	15.76
114	138	16.00
115	140	16.24
116	142	16.48
117	144	16.72
118	133	15.40
119	135	15.64
120	139	16.12
121	144	16.72
122	146	16.95
123	148	17.19
124	150	17.43
125	152	17.67
126	154	17.91
127	156	18.15
128	145	16.83
129	148	17.19
130	151	17.55
131	156	18.15
132	158	18.39
133	160	18.63
134	162	18.87
135	164	19.11
136	166	19.35
137	157	18.27
138	159	18.51
139	161	18.75
140	162	18.87
141	168	19.59
142	170	19.83
143	172	20.07
144	174	20.31
145	176	20.55
146	178	20.79
147	180	21.03
148	169	19.71
149	173	20.19
150	177	20.67

Τα επιμέρους ζεύγη τιμών (ηλικία-χρόνοι διακοπής λειτουργίας) απεικονίζονται σε γράφημα και λαμβάνεται ότι όλα τα οχήματα του δείγματος ακολουθούν προσεγγιστικά την παρακάτω δυναμική σχέση:

$$g = 0.1 \cdot t^{1.03} \quad (4.37)$$

Επομένως,

$$p = 0.1 \quad (4.38)$$

$$m = 1.03 \quad (4.39)$$

Συνεπώς, το κόστος διακοπής λειτουργίας του δείγματος των οχημάτων αποτελεί συνάρτηση της χρήσης των οχημάτων και δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\begin{aligned} D &= \left(\frac{g}{t - g} \right) \cdot U \Rightarrow D = \left(\frac{p \cdot t^m}{t - p \cdot t^m} \right) \cdot U \Rightarrow \\ &\Rightarrow D = \left(\frac{0.1 \cdot t^{1.03}}{t - 0.1 \cdot t^{1.03}} \right) \cdot 40000 \Rightarrow \\ &\Rightarrow D = \frac{4000 \cdot t^{1.03}}{t - 0.1 \cdot t^{1.03}} \Rightarrow D = \frac{4000 \cdot t^{0.03}}{1 - 0.1 \cdot t^{0.03}} \end{aligned} \quad (4.40)$$

4.8.4 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΧΡΗΣΗΣ (ΑΠΕΡΙΟΡΙΣΤΗ Ή ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗ ΧΡΗΣΗ)

Η απαξίωση ενός εξοπλισμού λαμβάνεται υπόψη, μόνο όταν ο εξοπλισμός έχει μία ειδική εφαρμογή και τότε χαρακτηρίζεται από περιορισμένη χρήση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα οχήματα ειδικού τύπου όπως οχήματα μεταφοράς καυσίμου, περισυλλογής βαρέως τύπου οχημάτων κ.τ.λ.. Επισημαίνεται ότι οι αποκλίσεις των τελικών αποτελεσμάτων μεταξύ περιορισμένης και απεριόριστης χρήσης είναι αρκετά μικρές. Στα πλαίσια του παραδείγματος και για την καλύτερη κατανόηση της θεωρίας επιλέγεται η περιορισμένη χρήση.

Σύμφωνα με την ανάλυση που έγινε στην περιγραφή του μοντέλου, για την περίπτωση της περιορισμένης χρήσης ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

- ✚ Αρχικά, υπολογίζουμε την προσδόκιμη διάρκεια ζωής (e) για απεριόριστη χρήση και την ορίζουμε ως e_1 . Έτσι, ισχύει η VIII περίπτωση του πίνακα (4.2) και οι απαιτούμενες πράξεις απεικονίζονται κάτωθι:

Πίνακας 4.6: Πίνακας όπου αποτυπώνεται η διαδοχή των απαραίτητων πράξεων για τον υπολογισμό του e_1 για την περίπτωση A2, B3, Γ1, Δ3.

A2	B3	Γ1	Δ3
$C_Y = N \cdot [U - V + D + S]$			
$N = \frac{y}{e}$			
$V = \frac{(U - b) \cdot (t_b - e)}{t_b + q \cdot e} + b$			
$S = c_1 \cdot e + c_2 \cdot e^2$			
$D = \left(\frac{p \cdot t^m}{t - p \cdot t^m} \right) \cdot U = \left(\frac{p \cdot e^m}{e - p \cdot e^m} \right) \cdot U$			
$C_Y = \frac{y}{e} \cdot \left[U - \frac{(U - b) \cdot (t_b - e)}{t_b + q \cdot e} - b + \left(\frac{p \cdot e^m}{e - p \cdot e^m} \right) \cdot U + c_1 \cdot e + c_2 \cdot e^2 \right]$			
$C_Y = \frac{y \cdot (U - b) \cdot (1 + q)}{t_b + q \cdot e} + y \cdot c_1 + y \cdot c_2 \cdot e + y \cdot p \cdot U \cdot \frac{e^{m-2}}{(1 - p \cdot e^{m-1})}$			
$\frac{dC_Y}{de} = -\frac{y \cdot q \cdot (U - b) \cdot (1 + q)}{(t_b + q \cdot e)^2} + y \cdot c_2 + y \cdot p \cdot U \cdot \frac{(m - 2) \cdot e^{m-3} \cdot (1 - p \cdot e^{m-1}) - e^{m-2} \cdot (-p) \cdot (m - 1) \cdot e^{m-2}}{(1 - p \cdot e^{m-1})^2}$			
$\frac{dC_Y}{de} = -\frac{y \cdot q \cdot (U - b) \cdot (1 + q)}{(t_b + q \cdot e)^2} + y \cdot c_2 + y \cdot p \cdot U \cdot \frac{(m - 2) \cdot e^{m-3} \cdot (1 - p \cdot e^{m-1}) + p \cdot e^{2 \cdot m - 4} \cdot (m - 1)}{(1 - p \cdot e^{m-1})^2}$			

$$C_Y \rightarrow \min. \quad \text{όταν} \quad \frac{dC_Y}{de} = 0$$

$$-\frac{y \cdot q \cdot (U - b) \cdot (1 + q)}{(t_b + q \cdot e)^2} + y \cdot c_2 + y \cdot p \cdot U \cdot \frac{(m - 2) \cdot e^{m-3} \cdot (1 - p \cdot e^{m-1}) + p \cdot e^{2 \cdot m - 4} \cdot (m - 1)}{(1 - p \cdot e^{m-1})^2} = 0$$

$$-\frac{q \cdot (U - b) \cdot (1 + q)}{(t_b + q \cdot e)^2} + c_2 + p \cdot U \cdot \frac{(m - 2) \cdot e^{m-3} \cdot (1 - p \cdot e^{m-1}) + p \cdot e^{2 \cdot m - 4} \cdot (m - 1)}{(1 - p \cdot e^{m-1})^2} = 0$$

Έτσι, κατόπιν πράξεων και μέσω υπολογιστικού προγράμματος προκύπτει ότι:

$$e_1 = 288.75 \text{ μήνες} \quad (4.41)$$

- Σύμφωνα με τον πίνακα (4.5), δηλαδή για χρονική περίοδο $y = 13492$ μήνες (συνολικό άθροισμα ηλικίας ολόκληρου του δείγματος των 150 οχημάτων), ο αριθμός όλων των στοιχείων N ($N \cdot e = y$) που απαιτούνται για τη χρονική περίοδο (y) θα είναι:

$$N_1 = \frac{y}{e_1} \Rightarrow N_1 = \frac{13492}{288.75} = 46.73 \text{ οχήματα} \quad (4.42)$$

- Επειδή το N_1 δεν είναι ακέραιος αριθμός, τότε καθορίζουμε δύο άλλους αριθμούς N_2 και N_3 , όπου:

$$N_2 \text{ (πλησιέστερος ακέραιος αριθμός)} < N_1 \text{ άρα } N_2 = 46 \text{ οχήματα} \quad (4.43)$$

$$N_3 \text{ (πλησιέστερος ακέραιος αριθμός)} > N_1 \text{ άρα } N_3 = 47 \text{ οχήματα} \quad (4.44)$$

- Κατόπιν, υπολογίζουμε τις νέες τιμές προσδόκιμης διάρκειας ζωής, e_2 και e_3 ως εξής:

$$e_2 = \frac{y}{N_2} = \frac{13492}{46} = 293.30 \text{ μήνες} \quad (4.45)$$

$$e_3 = \frac{y}{N_3} = \frac{13492}{47} = 287.06 \text{ μήνες} \quad (4.46)$$

- ✚ Το επόμενο βήμα είναι να υπολογίσουμε και να συγκρίνουμε τα συνολικά κόστη C_Y για καθεμιά από τις τιμές της προσδόκιμης διάρκειας ζωής (e_1, e_2 και e_3).
- ✚ Σύμφωνα με την προηγηθείσα ανάλυση του μοντέλου, τα συνολικά κόστη C_{Y_2}, C_{Y_3} , θα είναι:

$$C_{Y_2} = \frac{y}{e_2} \cdot [U - f_1(e_2) + f_2(e_2) + f_3(e_2)] \quad (4.47)$$

όπου: $f_1(e_2) = V(e_2) = b = 1,209.00 \text{ € (αφού } e_2 > t_b)$

$$f_2(e_2) = D(e_2) = \left(\frac{p \cdot e_2^m}{t - p \cdot e_2^m} \right) \cdot U = 5,381.43 \text{ €}$$

$$f_3(e_2) = S(e_2) = S = C_1 \cdot e_2 + C_2 \cdot e_2^2 = 63,739.96 \text{ €}$$

Επομένως:

$$C_{Y_2} = 4,964,043.24 \text{ €} \quad (4.48)$$

$$C_{Y_3} = \frac{y}{e_3} \cdot [U - f_1(e_3) + f_2(e_3) + f_3(e_3)] \quad (4.49)$$

όπου: $f_1(e_3) = V(e_3) = b = 1,209.00 \text{ € (αφού } e_3 > t_b)$

$$f_2(e_3) = D(e_3) = \left(\frac{p \cdot e_3^m}{t - p \cdot e_3^m} \right) \cdot U = 5,377.49 \text{ €}$$

$$f_3(e_3) = S(e_3) = S = C_1 \cdot e_3 + C_2 \cdot e_3^2 = 61,667.38 \text{ €}$$

Επομένως:

$$C_{Y_3} = 4,974,352.16 \text{ €} \quad (4.50)$$

✚ Ακολουθώς υπολογίζεται το C_{Y_1} ως εξής:

$$\begin{aligned} C_{Y_1} &= N_2 \cdot [U - f_1(t_1) + f_2(t_1) + f_3(t_1)] + [U - f_1(t_2) + f_2(t_2) + f_3(t_2)] \Rightarrow \\ &\Rightarrow C_{Y_1} = 4,974,522.46 \text{ €} \end{aligned} \quad (4.51)$$

$$\text{όπου: } t_1 = e_1 \text{ και } t_2 = y - N_2 \cdot e_1$$

✚ Συνεπώς, η προσδόκιμη διάρκεια ζωής (e) του δείγματος ισούται με e_i ($i = 1$ ή 2 ή 3), ανάλογα με το ποιο από αυτά προκαλεί το μικρότερο συνολικό κόστος (C_Y). Έτσι, θα ισχύει:

$e =$	293.30 μήνες ή 24.44 έτη
-------	---------------------------------

Επισημαίνεται ότι το αποτέλεσμα που έχει εξαχθεί προήλθε από εικονικό δείγμα οχημάτων, με σκοπό την αποτελεσματικότερη παρουσίαση και κατανόηση της συγκεκριμένης μεθοδολογίας. Παρόμοια διαδικασία εφαρμόζεται και στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί ως μονάδα χρήσης η διανυθείσα απόσταση, αντί της παρέλευσης των ημερολογιακών ετών. Τονίζεται ότι η μεθοδολογία που αναλύθηκε δεν εφαρμόζεται μόνο για οχήματα, αλλά και για διάφορους άλλους τύπους εξοπλισμών.

Η ύπαρξη μιας ενιαίας βάσης δεδομένων η οποία θα ενημερώνεται εγκαίρως και ορθά για το στόλο των οχημάτων είναι πλέον αναγκαία, διότι θα συμβάλλει στην παροχή αξιόπιστων πραγματικών δεδομένων. Με αυτόν τον τρόπο, δύναται να επιτευχθεί η αποκρυσταλλοποίηση του ζητήματος καθορισμού των κριτηρίων ανακατασκευής των οχημάτων και όχι μόνο, δεδομένου ότι η συλλογή των απαιτούμενων στοιχείων για την εφαρμογή αυτής της μεθοδολογίας αποτελεί μία μακροχρόνια διαδικασία.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΔΕΥΤΕΡΟ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένας από τους πρωταρχικούς στόχους των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, είναι η ανάλυση και επεξεργασία της συνεχούς αυξανόμενης χρήσης και κόπωσης των εξοπλισμών (*συμεριλαμβανομένου και των οχημάτων*), λόγω συμμετοχής τους σε επιχειρήσεις. Διαπιστώθηκε, ότι η συμβολή των οχημάτων σε διάφορες επιχειρήσεις και η λειτουργία τους κάτω από αντίξοες συνθήκες περιβάλλοντος είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της προσδόκιμης διάρκειας ζωής τους, σε μεγαλύτερο βαθμό απ' ότι αναμενόταν. Αυτό οδηγεί σε νέες απαιτήσεις για τον επανασχεδιασμό των διαδικασιών αντικατάστασης και ανακατασκευής των εξοπλισμών.

Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, εφαρμόζεται μία τυποποιημένη, επαναλαμβανόμενη και υποστηρικτική διαδικασία. Κρίνεται απαραίτητο να τονιστεί, ότι η εν λόγω μεθοδολογία εφαρμόζεται σε μια πληθώρα εξοπλισμών, όπως αεροσκάφη, πτερύγια αεροσκαφών, οχήματα, κατά την οποία η εκτίμηση του λόγου της συνολικής πραγματικής χρήσης (σε μίλια) προς τη συνολική διαθέσιμη χρήση (σε μίλια) αποτελεί τη βάση για την εύρεση της προσδόκιμης διάρκειας ζωής όλων των προαναφερθέντων εξοπλισμών. Προς την κατεύθυνση υλοποίησης του προηγούμενου στόχου, η μεθοδολογία αυτή λαμβάνει υπόψη τις επιπτώσεις της χρήσης και της κόπωσης των οχημάτων και παρέχει ένα ισχυρό εργαλείο για τον επανακαθορισμό του συνολικού προϋπολογισμού, που αφορά στις αντικαταστάσεις και ανακατασκευές διάφορων εξοπλισμών. Ωστόσο, εξοπλισμοί, όπως δορυφόροι και πλοία δε δύναται να συμμετέχουν στο εν λόγω πρόγραμμα, διότι η διάρκεια ζωής τους εκτιμάται σε ημερολογιακά έτη και όχι με βάση τη χρήση τους (π.χ σε μίλια).

Επισημαίνεται, ότι η εγκυρότητα αυτού του μοντέλου θεωρείται αρκετά ικανοποιητικό, διότι για την υλοποίησή του πραγματοποιήθηκε μια εκτενής ανασκόπηση της βιβλιογραφίας και σχετικών μελετών. Η βιβλιογραφική έρευνα επιβεβαίωσε, ότι ο χρόνος δεν αποτελεί έγκυρη βάση για τη μέτρηση της διάρκειας ζωής του εξοπλισμού, αλλά αντιθέτως, η χρήση αποτελεί ένα καλύτερο μέτρο για τέτοια προγράμματα. Επιπλέον, η βιβλιογραφία δεν αποκάλυψε άλλα μοντέλα ή μεθοδολογίες, με έντονες διαφοροποιήσεις από το εν λόγω μοντέλο, αλλά αντιθέτως μπορούμε να πούμε, ότι έδωσε ιδιαίτερη έμφαση στην ανάγκη για προώθηση και εφαρμογή του ίδιου. Επιβεβαιώνεται, λοιπόν, ότι το εν λόγω μοντέλο βασίστηκε σε χρήσιμες μελέτες της παγκόσμιας βιβλιογραφίας, αλλά και σε εμπειρικούς κανόνες, τα οποία λαμβάνουν υπόψη και εξετάζουν όλους τους πιθανούς παράγοντες που συμβάλλουν στα κριτήρια ανακατασκευής (π.χ. τόσο από τεχνικής αλλά και από οικονομικής άποψης, κ.τ.λ).

Μια άλλη σημαντική επαλήθευση, σύμφωνα με την τεχνική βιβλιογραφία, που καθορίζει τη σχέση μεταξύ κόστους, ηλικίας και χρήσης του εξοπλισμού είναι

το γεγονός, ότι δεν υπάρχει αλληλοεξάρτηση μεταξύ της ηλικίας σε ημερολογιακά έτη και της χρήσης των εξοπλισμών (π.χ σε ώρες λειτουργίας ή σε διανυθέντα χιλιόμετρα).

5.2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ


Η μεθοδολογία χρησιμοποιεί μία μαθηματική εξίσωση, η οποία υπολογίζει την ισοδύναμη δαπανηθείσα διάρκεια ζωής ενός εξοπλισμού, με βάση τη χρήση και την κόπωση αυτού (τα οποία ταυτόχρονα αποτελούν σημαντική ένδειξη για το χρόνο εκκίνησης των διαδικασιών αντικατάστασης ή ανακατασκευής). Η μεθοδολογία δεν υποδεικνύει στο χρήστη τον ακριβή χρόνο υλοποίησης της αντικατάστασης ή της ανακατασκευής ενός εξοπλισμού, ούτε όμως και ποιες ενέργειες πρέπει να γίνουν για την ανάκτηση της απώλειας της επιχειρησιακής του ετοιμότητας. Αντιθέτως, η εν λόγω μεθοδολογία προσδιορίζει το ποσοστό της υπολειπόμενης ωφέλιμης διάρκειας ζωής του εξοπλισμού (δηλαδή προσδιορίζει το ποσοστό της απώλειας των ικανοτήτων του εξοπλισμού και στη σηματοδότηση της έναρξης των αποφάσεων περί αντικατάστασης ή ανακατασκευής του). Δεδομένου ότι διάρκεια ζωής ενός εξοπλισμού ορίζεται ως η συνολική διάρκεια χρήσης, στην οποία ο εξοπλισμός μπορεί να λειτουργήσει ικανοποιητικά έως ότου η υποβάθμισή του είναι τέτοια, ώστε να απαιτείται η αντικατάστασή του. Η γενική μορφή της εξίσωσης που υπολογίζει την ισοδύναμη δαπανηθείσα διάρκεια ζωής ενός εξοπλισμού είναι:

$$\text{Ισοδύναμη Δαπανηθείσα Διάρκεια Ζωής} = \overbrace{\left(\frac{\text{Απώλειες Μάχης}}{\text{Απώλειες}} \right) + \left(\frac{\text{Απώλειες εν καιρώ Ειρήνης}}{\text{Απώλειες}} \right)}^{\text{Απώλειες}} + \left(\frac{\text{Ενεργή Ποσότητα Δείγματος}}{\text{Ενεργή Ποσότητα Δείγματος}} \right) \cdot \left\{ \frac{\overbrace{\left[\frac{\text{Συνολική Πραγματική Χρήση της Ενεργής Ποσότητας του Δείγματος (εν καιρώ Πολέμου και Ειρήνης)}}^{\text{Χρήση}}}{\text{σε μίλια}}}{\left(\frac{\text{Ενεργή Ποσότητα Δείγματος}}{\text{Ενεργή Ποσότητα Δείγματος}} \right) \cdot \left(\frac{\text{Προσδόκιμη Διάρκεια Ζωής σε μίλια}}{\text{Προσδόκιμη Διάρκεια Ζωής σε μίλια}} \right)} \right\} \cdot \left[1 + \frac{\text{Κόπωση Συντελεστής Κόπωσης}}{\text{Κόπωση}} \right]$$

Διευκρινίζεται, για την παραπάνω εξίσωση ότι:

 Απώλειες:


Περιλαμβάνουν το συνολικό αριθμό απωλειών σε εξοπλισμούς, οι οποίες σχετίζονται με απώλειες μάχης και σε άλλες απώλειες (π.χ. λόγω συντήρησης, δοκιμών κ.τ.λ.).

 Ενεργή Ποσότητα Δείγματος:

Αποτελεί το συνολικό αριθμό του εξοπλισμού που συμμετέχει στη μεθοδολογία (δείγμα οχημάτων για επεξεργασία).

 Χρήση:

Η χρήση των εξοπλισμών υπολογίζεται σε ώρες λειτουργίας, ή ακόμα και σε διανυθέντα μίλια. Στην παραπάνω εξίσωση, χρησιμοποιείται ο όρος "χρήση", ο οποίος αποτελεί το λόγο της συνολικής πραγματικής χρήσης του δείγματος προς επεξεργασία (σε διανυθέντα μίλια), ως προς το γινόμενο της συνολικής ποσότητας του δείγματος του εξοπλισμού επί την προσδόκιμη διάρκεια ζωής αυτού.

 Παράγοντας Κόπωσης:

Στην παραπάνω εξίσωση συμμετέχει και ένας παράγοντας κόπωσης (κόπωση), ο οποίος λαμβάνει τιμές από 0 έως 1 ($0 < f < 1$) και εκφράζει την επιπλέον δομική καταπόνηση που υφίστανται οι εξοπλισμοί, λόγω των ειδικών συνθηκών, περιβαλλοντολογικών και επιχειρησιακών, όπου καλούνται τις περισσότερες φορές να λειτουργήσουν και να εκτελέσουν την αποστολή τους. Η συμβολή του παράγοντα αυτού είναι σημαντικότερη και δε θα πρέπει να παραλείπεται. Τονίζεται, ότι ο πολλαπλασιαστικός κόπωσης δεν αναφέρεται σε υποεξαρτήματα του εξοπλισμού, αλλά αντιθέτως αποτελεί μια συνολική εκτίμηση για την δομική καταπόνηση που υφίσταται ο εξοπλισμός.

 Προσδόκιμη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού:

Αποτελεί για κάθε εξοπλισμό την καθοριζόμενη διάρκεια ζωής από τον κατασκευαστή, μετά την παρέλευση της οποίας κρίνεται απαραίτητη η λήψη αποφάσεων περί επικείμενης αντικατάστασης του εξοπλισμού ή

έναρξη των διαδικασιών ανακατασκευής με απώτερο στόχο την επαναφορά του εξοπλισμού ως "καινούριου", δηλαδή την κατάσταση εκείνη, κατά την οποία έχουμε επανεκκίνηση ενός νέου κύκλου ζωής του. Ωστόσο, η εκτίμησή της αποτελεί μια εξαιρετικά επίπονη διαδικασία και σίγουρα πολλές φορές, η παράθεση αξιόπιστων μαθηματικών μοντέλων για τον υπολογισμό της έχει υπάρξει σημείο ενδιαφέροντος πολλών μελετών. Η μεθοδολογία αυτή αποτελεί, αναμφισβήτητα, μια από τις πιο αξιόπιστες μελέτες, αφού όπως έχει αναφερθεί και στην εισαγωγή βασίζεται σε μια πληθώρα μελετών της υφιστάμενης παγκόσμιας βιβλιογραφίας, αλλά και σε πραγματικά δεδομένα στοιχείων.

5.3. ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΔΟΚΙΜΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΔΑΠΑΝΗΘΕΙΣΑ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ

5.3.1. ΓΕΝΙΚΑ

Υποθέτουμε ότι από ενδεικτικό δείγμα 334 οχημάτων, τα 43 είναι μη αξιοποιήσιμα και με βάση τη μεθοδολογία του συγκεκριμένου μοντέλου μπορούν να χαρακτηριστούν ως απώλειες. Τα υπόλοιπα 291 οχήματα αξιοποιήθηκαν και παραδόθηκαν προς λειτουργία για έναν ακόμη κύκλο ζωής. Επομένως, θα ισχύει ότι:

Συνολική ποσότητα δείγματος = 334 οχήματα

Απώλειες = 43 οχήματα

Ενεργή ποσότητα δείγματος = 291 οχήματα

5.3.2. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ (ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΔΙΑΝΥΘΕΝΤΑ ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΑ ΟΛΟΥ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ)

Δεδομένου ότι παρουσιάζονται δυσλειτουργίες ή ακόμη και βλάβες στους χιλιόμετροντες των οχημάτων, δε δύναται να εξαχθούν αξιόπιστα αποτελέσματα όσον αφορά στην πραγματική χρήση του παραπάνω δείγματος οχημάτων (συνολικά διανυθέντα χιλιόμετρα όλου του δείγματος). Έτσι, απαιτείται ο καθορισμός δύο παραμέτρων:

- ✚ Ετήσια διανυθέντα χιλιόμετρα. Υποθέτουμε ότι τα οχήματα κατά μέσο όρο διανύουν ετησίως 13500 km. Επισημαίνεται ότι η παραπάνω παροδοχή γίνεται στα πλαίσια καθορισμού μίας βάσης ετησίων χιλιομέτρων, με σκοπό την ολοκλήρωση του παραδείγματος και τον υπολογισμό των συνολικών χιλιομέτρων, δεδομένου ότι αυτά δεν είναι γνωστά.
- ✚ Μέσος όρος πραγματικής ηλικίας του δείγματος οχημάτων. Θεωρούμε ότι ο μέση πραγματική ηλικία του δείγματος οχημάτων ανέρχεται στα 15 χρόνια.

Επομένως, η πραγματική χρήση του παραπάνω δείγματος οχημάτων (συνολικά διανυθέντα χιλιόμετρα όλου του δείγματος) θα είναι:

$$\begin{array}{l} \text{Συνολική} \\ \text{Πραγματική} \\ \text{Χρήση} \\ \text{(της Ενεργής Ποσότητας του Δείγματος)} \end{array} = \left(\begin{array}{l} \text{Ενεργή} \\ \text{Ποσότητα} \\ \text{Δείγματος} \end{array} \right) \cdot \left(\begin{array}{l} \text{Ετήσια} \\ \text{Διανυθέντα} \\ \text{Χιλιόμετρα} \end{array} \right) \cdot \left(\begin{array}{l} \text{Μέσος όρος} \\ \text{Πραγματικής} \\ \text{Ηλικίας} \end{array} \right)$$

ή

$$\begin{array}{l} \text{Συνολική} \\ \text{Πραγματική} \\ \text{Χρήση} \\ \text{(της Ενεργής Ποσότητας του Δείγματος)} \end{array} = (291 \text{ οχήματα}) \cdot \left(13500 \frac{\text{km}}{\text{έτος}} \right) \cdot (15 \text{ έτη}) = 58927500 \text{ km}$$

5.3.3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΘΕΙΣΑΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΖΩΗΣ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Επισημαίνεται ότι για την εκτίμηση της διάρκειας ζωής των οχημάτων, θα πρέπει να καθορισθεί ένα εύρος τιμών μεταξύ των οποίων θα κυμαίνεται η ισοδύναμη δαπανηθείσα διάρκεια ζωής.

- ✚ Για λόγους ασφάλειας και μόνο, υποθέτουμε ότι ένα όχημα εισέρχεται για ανακατασκευή, όταν δεν έχει φτάσει τελείως στο τέλος της διάρκειας ζωής του και σε επίπεδο πλήρους κατάρρευσης που να εγκυμονεί κινδύνους για το προσωπικό. Γι' αυτό το λόγο και καθαρά με υποκειμενικά κριτήρια θεωρείται ότι ένα όχημα εισέρχεται για ανακατασκευή, όταν έχει φτάσει στο 80% της δαπανηθείσας διάρκειας ζωής του.
- ✚ Αντίστοιχα, όμως, για οικονομικούς λόγους θα πρέπει να καθορισθεί ένα ελάχιστο κατώτατο όριο της ισοδύναμης δαπανηθείσας διάρκειας ζωής. Γι' αυτό το λόγο και καθαρά με υποκειμενικά κριτήρια θεωρείται ότι ένα όχημα εισέρχεται για ανακατασκευή, όταν ξεπεράσει το 60% της δαπανηθείσας διάρκειας ζωής του.
- ✚ Στα γραφήματα που θα ακολουθήσουν, τα προαναφερθέντα όρια κυμάνσεως της ισοδύναμης δαπανηθείσας διάρκειας ζωής αποτυπώνονται με δύο οριζόντιες ευθείες.
- ✚ Επισημαίνεται, για λόγους αποσαφήνισης του όρου της ισοδύναμης δαπανηθείσας διάρκειας ζωής, ότι η μετατροπή του σε ποσοστό επί τοις εκατό (%) επιτυγχάνεται διαιρώντας την προκύπτουσα τιμή της ELC με τη συνολική ποσότητα του δείγματος των οχημάτων.

5.3.4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑ ΚΟΠΩΣΗΣ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Ο παράγοντας κόπωσης, ο οποίος λαμβάνει τιμές από 0 έως 1 ($0 < f < 1$), εκφράζει την επιπλέον δομική καταπόνηση που υφίσταται ένα όχημα λόγω των ειδικών συνθηκών που λειτουργεί (περιβαλλοντολογικών και

επιχειρησιακών). Ο παράγοντας αυτός δεν είναι μοναδικός, αλλά διαφοροποιείται σημαντικά ανάλογα με τον τύπο του οχήματος και τις συνθήκες κάτω από τις οποίες λειτουργεί. Επειδή η διαδικασία εκτίμησης αυτού του παράγοντα δεν ακολουθεί συγκεκριμένο υπολογιστικό μοντέλο, θα εξεταστούν διάφορες ενδεικτικές τιμές αυτού και για κάθε περίπτωση θα αποτυπωθούν τα αντίστοιχα διαγράμματα.

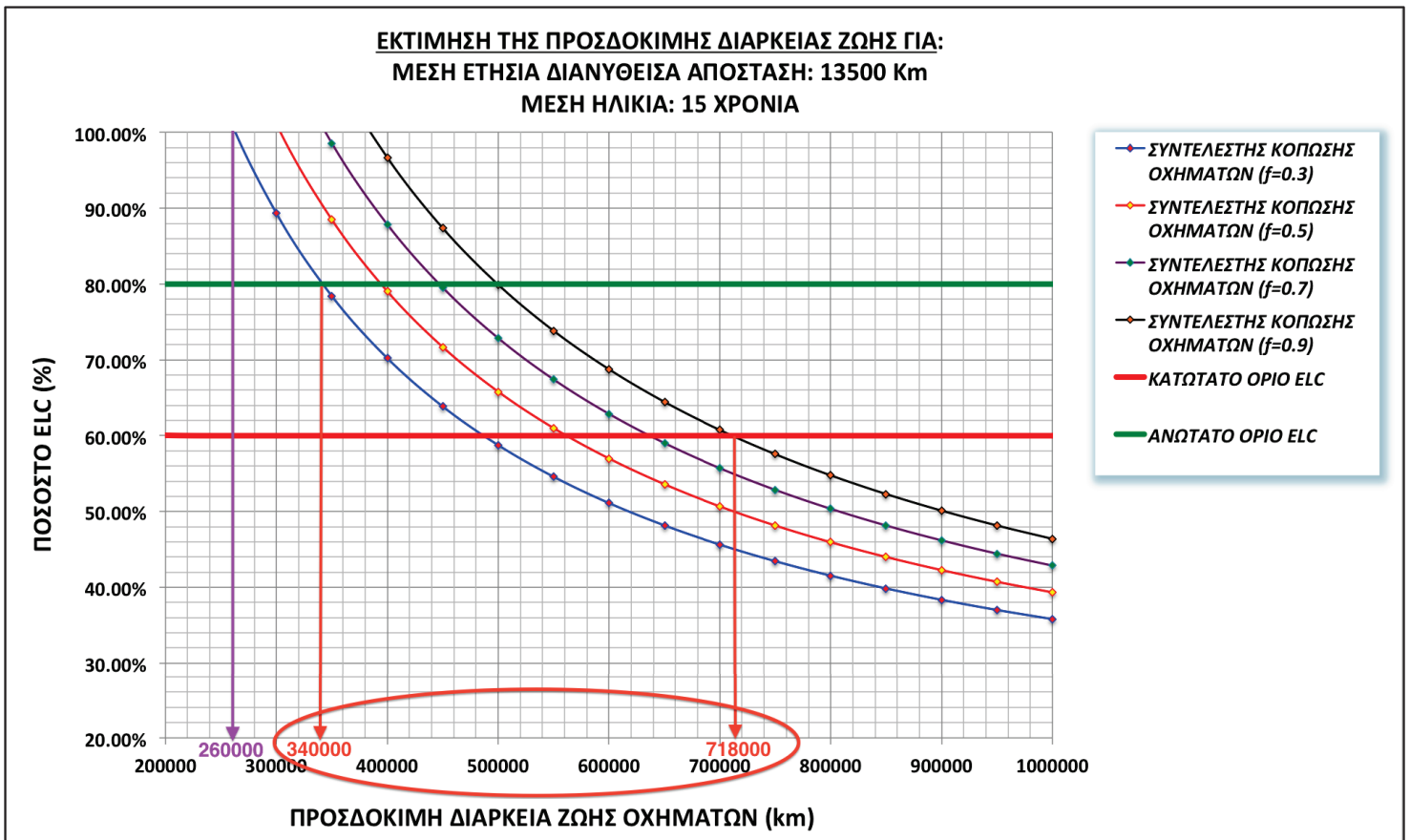
5.3.5. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΔΟΚΙΜΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗΣ ΔΑΠΑΝΗΘΕΙΣΑΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΖΩΗΣ

Τονίζεται ότι τα δεδομένα τα οποία παραμένουν αμετάβλητα στο διάγραμμα που ακολουθεί, παρουσιάζονται συνολικά στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 5.1: Πίνακας που περιλαμβάνει τα αμετάβλητα πραγματικά δεδομένα για την εκτίμηση της ισοδύναμης δαπανηθείσας διάρκειας ζωής (ELC) των οχημάτων του δείγματος.

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	334
ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	43
ΕΝΕΡΓΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	291
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ (km)	58927500
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΗΛΙΚΙΑΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ (ΕΤΗ)	15
ΕΥΡΟΣ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ELC	60%-80%

Σύμφωνα με την εξίσωση που παρατέθηκε στην ανάλυση του συγκεκριμένου μοντέλου, για τον καθορισμό της ισοδύναμης δαπανηθείσας διάρκειας ζωής, δημιουργείται το ακόλουθο διάγραμμα και αποτυπώνεται το βέλτιστο εύρος προσδόκιμης διάρκειας ζωής των οχημάτων, αντίστοιχα, για διάφορες τιμές του συντελεστή κόπωσης, όπως φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 5.1: Διάγραμμα που αναπαριστά το εύρος εκτίμησης της προσδόκιμης διάρκειας ζωής των οχημάτων του δείγματος σε σχέση με το ποσοστό ELC.

Παρατηρήσεις:

✚ Για οποιαδήποτε τιμή του συντελεστή κόπωσης και για το εύρος του ποσοστού ELC που επιλέχθηκε, διαπιστώνεται με σαφήνεια ότι τα οχήματα του δείγματος που εισήλθαν για ανακατασκευή και διένυσαν ετησίως κατά μέσο όρο 13500 km επί 15 χρόνια λειτουργίας, είχαν προσδόκιμη διάρκεια ζωής μεταξύ των τιμών 340000 km και 718000 km, όπως παρουσιάζεται στο παραπάνω σχήμα.

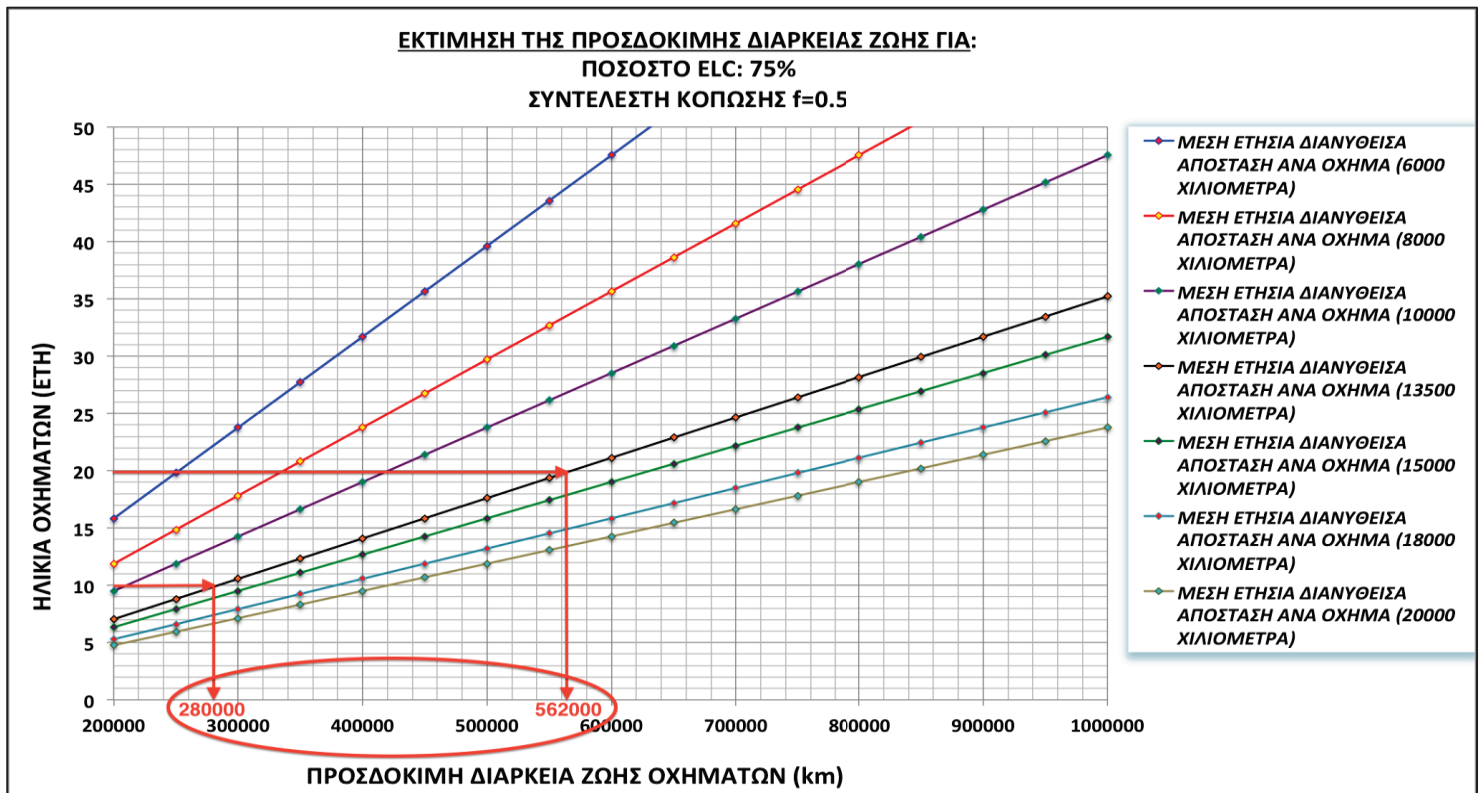
✚ Ακόμη και στην περίπτωση που επιλεγεί το δυσμενέστερο ποσοστό ELC 100% (αφορά στα πλήρως κατεστραμμένα οχήματα και αποφεύγεται για λόγους αξιοπιστίας και ασφάλειας, όπως προαναφέρθηκε), διαπιστώνεται με ακρίβεια ότι, για οποιαδήποτε τιμή

του συντελεστή κόπωσης, η ελάχιστη προσδόκιμη διάρκεια ζωής των οχημάτων του δείγματος ανέρχεται στα 260000 km.

Τονίζεται ότι τα συμπεράσματα που εξήχθησαν αφορούν στα συγκεκριμένα και μόνο δεδομένα. Είναι προφανές ότι παρόμοια διαδικασία δύναται να εφαρμοστεί για πολλούς συνδυασμούς δεδομένων, οπότε και θα εξαχθούν διαφορετικά συμπεράσματα.

5.3.6. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΔΟΚΙΜΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΗΛΙΚΙΑ ΤΟΥΣ

Εναλλακτικά, μία διαφορετική προσέγγιση της ίδιας μεθοδολογίας αποτελεί και η περίπτωση κατά την οποία μεταβάλλονται διαφορετικοί παράγοντες σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση και οι οποίοι αποτυπώνονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 5.2: Διάγραμμα που αναπαριστά την εκτίμηση της προσδόκιμης διάρκειας ζωής των οχημάτων του δείγματος σε σχέση με την ηλικία τους σε έτη.

Παρατηρήσεις:

- ✚ Για συγκεκριμένη τιμή του συντελεστή κόπωσης ($f=0.5$) και του ποσοστού ELC (75.00%), λαμβάνεται κάποιο τυχαίο, αλλά λογικό, εύρος ηλικίας οχημάτων από 10 έως 20 έτη (καθώς δεν είναι γνωστή η μέση ηλικία του δείγματος οχημάτων). Στο παραπάνω διάγραμμα διαφαίνεται ότι για ετήσια διανυθείσα απόσταση του δείγματος οχημάτων π.χ. 13500 km, η προσδόκιμη διάρκεια ζωής των οχημάτων προκύπτει μεταξύ των τιμών 280000 km και 562000 km.

Τονίζεται ότι τα συμπεράσματα που εξήχθησαν αφορούν στα συγκεκριμένα και μόνο δεδομένα. Είναι προφανές ότι παρόμοια διαδικασία δύναται να εφαρμοστεί για πολλούς συνδυασμούς δεδομένων, οπότε και θα εξαχθούν διαφορετικά συμπεράσματα.

5.3.7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟΥ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

Η συγκεκριμένη μεθοδολογία, αν προσεγγιστεί με διαφορετικό τρόπο, μπορεί να επιφέρει τεράστια οφέλη όσον αφορά στην εκτίμηση της επιχειρησιακής κατάστασης ενός στόλου οχημάτων. Ειδικότερα, αν από πραγματικό δείγμα οχημάτων καθοριστούν τα κάτωθι:

- ✚ Συνολικά διανυθέντα χιλιόμετρα για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα λειτουργίας.
- ✚ Απώλειες που θα διαπιστωθούν κατά το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα λειτουργίας.
- ✚ Συντελεστή κόπωσης για το συγκεκριμένο δείγμα και το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα λειτουργίας.
- ✚ Προσδόκιμη διάρκεια ζωής οχημάτων.

Είναι εφικτό να υπολογιστεί το ποσοστό της ισοδύναμης δαπανηθείσας διάρκειας ζωής (*Equivalent Lives Consumed-ELC*), η υπολειπόμενη διάρκεια

ζωής των οχημάτων και κατά συνέπεια να είναι γνωστή ανά πάσα χρονική στιγμή η λειτουργική κατάσταση ενός στόλου οχημάτων.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΤΡΙΤΟ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

6.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το μαθηματικό αυτό μοντέλο υλοποιήθηκε, με σκοπό να εντοπιστούν και να περιγραφούν τα εργαλεία υποστήριξης της λήψης αποφάσεων, έτσι ώστε το τμήμα συντήρησης να μπορεί να τα χρησιμοποιήσει για να μειώσει την αβεβαιότητα σε ζητήματα λήψης αποφάσεων που αφορούν βαρύ εξοπλισμό.

Το τμήμα συντήρησης πρέπει να αποφασίσει για την ποιότητα και τη συχνότητα της προληπτικής συντήρησης. Η προληπτική συντήρηση ορίζεται ως οι συνήθεις περιοδικές εργασίες που αναλαμβάνονται για την ελαχιστοποίηση του κόστους επισκευής ή την παράταση της διάρκειας ζωής της μηχανής. Επόμενο σημαντικό στάδιο αποτελούν οι αποφάσεις περί

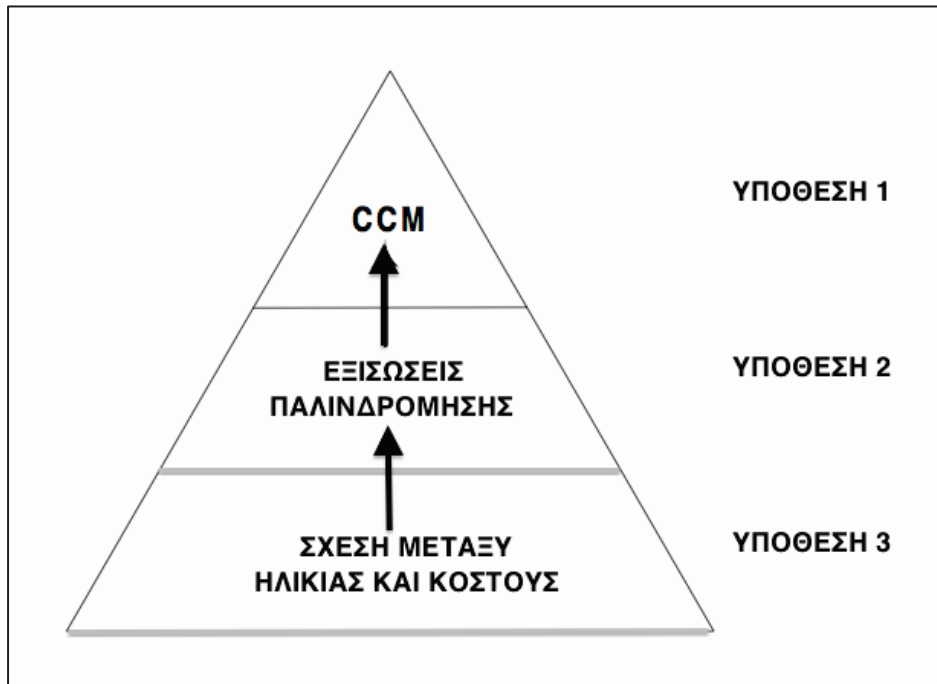
επισκευών όταν το όχημα ή εξαρτήματα αυτού υποστούν κάποια αστοχία κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους. Το αμέσως επόμενο αντικείμενο ενδιαφέροντος είναι ο καθορισμός των αποφάσεων για την ανακατασκευή τους, με απώτερο σκοπό την επέκταση της διάρκειας ζωής τους. Το πιο δύσκολο, όμως, πρόβλημα για το τμήμα συντήρησης είναι όταν ένα μηχάνημα πλησιάζει το τέλος της *“Οικονομικής Διάρκειας Ζωής”* και πρέπει να αποφανθεί περί επικείμενης αντικατάστασής του ή μη. Οι περισσότερες από αυτές τις αποφάσεις είναι αρκετά σύνθετες και γι’ αυτό το λόγο θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή σε τέτοιου είδους ζητήματα.

Οι αποφάσεις που περιγράφονται παραπάνω είναι οικονομικής φύσεως. Υπάρχουν, επίσης, δύο άλλες κατηγορίες αποφάσεων που αφορούν στον εξοπλισμό. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τις αποφάσεις της επιχειρησιακής φύσης (*δηλαδή, το κατά πόσο ένα όχημα δύναται να εκτελέσει, επιτυχώς, την αποστολή του, κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες*). Η δεύτερη κατηγορία είναι αυτή των μηχανικών αποφάσεων (*δηλαδή, το κατά πόσο διασφαλίζεται η απαιτούμενη αξιοπιστία ενός οχήματος*).

Όσον αφορά στις αποφάσεις περί οικονομικών, η μείωση της αρχικής αξίας αγοράς ενός οχήματος με την ταυτόχρονη αύξηση του λειτουργικού κόστους, οδηγεί στην έννοια της οικονομικής ζωής. Υπάρχει, θεωρητικά, μια βέλτιστη ηλικία για να αντικατασταθεί ή να ανακατασκευαστεί μια μηχανή. Αυτή η ηλικία, είναι η ηλικία που καθορίζεται από την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους (*συνδυασμός του μέσου κόστους ιδιοκτησίας και λειτουργίας*).

Έχει αποδειχθεί ότι το τμήμα συντήρησης έρχεται συχνά αντιμέτωπο με δύσκολες και πολύπλοκες αποφάσεις. Αυτές οι αποφάσεις αφορούν στη διαδραστική επίδραση μεταξύ κόστους κατοχής του εξοπλισμού και λειτουργικού κόστους, οι οποίες, όχι μόνο δε μπορούν να αγνοηθούν, αλλά επιβάλλεται να αναζητηθεί μια βέλτιστη λύση. Το λειτουργικό κόστος είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη, τόσο στο χρονοδιάγραμμά του, όσο και στο μέγεθός του.

Η εν λόγω μελέτη βασίζεται σε τρεις διαφορετικές υποθέσεις. Οι υποθέσεις αυτές είναι αλληλένδετες μεταξύ τους. Η ισχύς της πρώτης υπόθεσης αποτελεί προϋπόθεση για την εγκυρότητα του δεύτερης, όπως και η ισχύς της δεύτερης αποτελεί προϋπόθεση για την ισχύ της τρίτης. Η σχέση μεταξύ των τριών υποθέσεων απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 6.1: Γράφημα που αναπαριστά την αλληλουχία των τριών υποθέσεων.

Οι προαναφερθείσες υποθέσεις αναλύονται, παρακάτω, ως εξής:

✚ Υπόθεση 1:

Υπάρχει μαθηματική σχέση μεταξύ του κόστους επισκευής και της ηλικίας ενός οχήματος.

Αυτή η σχέση μπορεί να περιγραφεί από ένα, σχετικά, απλό πολυώνυμο της μορφής:

$$C_r = a + b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3 + \dots + e^x \quad (6.1)$$

όπου: C_r : αθροιστικά κόστη επισκευών.
 a, b, c, d : αριθμητικοί συντελεστές

x : ηλικία εξοπλισμού
 e : βάση του νεπέρειου λογάριθμου

Η παραπάνω εξίσωση αποτελεί ένα παράδειγμα και η πραγματική εξίσωση διαφοροποιείται ανάλογα με τον τύπο του εξοπλισμού.

Υπόθεση 2:

Είναι πιθανόν η πραγματική εξίσωση της σχέσης μεταξύ κόστους και ηλικίας να προσεγγιστεί μέσω κατάλληλων γραμμικοποιημένων εξισώσεων (εξισώσεις παλινδρόμησης).


Τα πραγματικά στοιχεία που έχουν συλλεχθεί, υφίστανται αυστηρή στατιστική ανάλυση για να καθοριστεί η πραγματική σχέση μεταξύ κόστους και ηλικίας. Οι όροι που δεν είναι σημαντικοί θα πρέπει να παραληφθούν. Η εν λόγω μελέτη περιορίζεται σε γραμμικά ή μη γραμμικά μοντέλα που μπορούν να μετατραπούν σε γραμμικά μοντέλα.

Υπόθεση 3:

Είναι πιθανόν να ενσωματωθούν οι γραμμικοποιημένες εξισώσεις (κόστους επισκευής-ηλικίας) στο Συγκεντρωτικό Μοντέλο Κόστους.

Το Συγκεντρωτικό Μοντέλο Κόστους δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ορθά, αν δεν οριστούν τα βασικά στοιχεία του. Με το συνδυασμό των εξισώσεων γραμμικοποίησης του κόστους επισκευής με άλλα γνωστά κόστη που αφορούν στα κόστη ιδιοκτησίας και στα κόστη λειτουργίας του εξοπλισμού, είναι εφικτό να εξαχθούν οι κατάλληλες εξισώσεις για τα οχήματα.

Για την υλοποίηση της μελέτης θα πρέπει να καθοριστούν και να επιτευχθούν οι ακόλουθοι τέσσερις στόχοι:

 Τα δεδομένα που σχετίζονται με τη συντήρηση και επισκευή των οχημάτων θα πρέπει να συλλέγονται και να κανονικοποιούνται.

 Ανάπτυξη στατιστικής μεθοδολογίας, η οποία:

➤ Θα χρησιμοποιεί τα δεδομένα που συλλέγονται.

- Θα καταδεικνύει τους παράγοντες γραμμικοποίησης που είναι σημαντικοί για τον καθορισμό του κόστους επισκευής όσον αφορά στην ηλικία της μηχανής του εξοπλισμού.

- ✚ Ανάπτυξη και περιγραφή μεθοδολογίας για την ενσωμάτωση των εξισώσεων γραμμικοποίησης στο Συγκεντρωτικό Μοντέλο Κόστους. Αυτό το μοντέλο κόστους περιγράφεται από την αλγεβρική έκφραση του Δείκτη Συνολικού Κόστους (CCI), όπου:

$$CCI_t = \frac{\sum_0^t \text{Ακαθάριστες Δαπάνες}}{\text{Κόστος Αγοράς}_0} \quad (6.2)$$

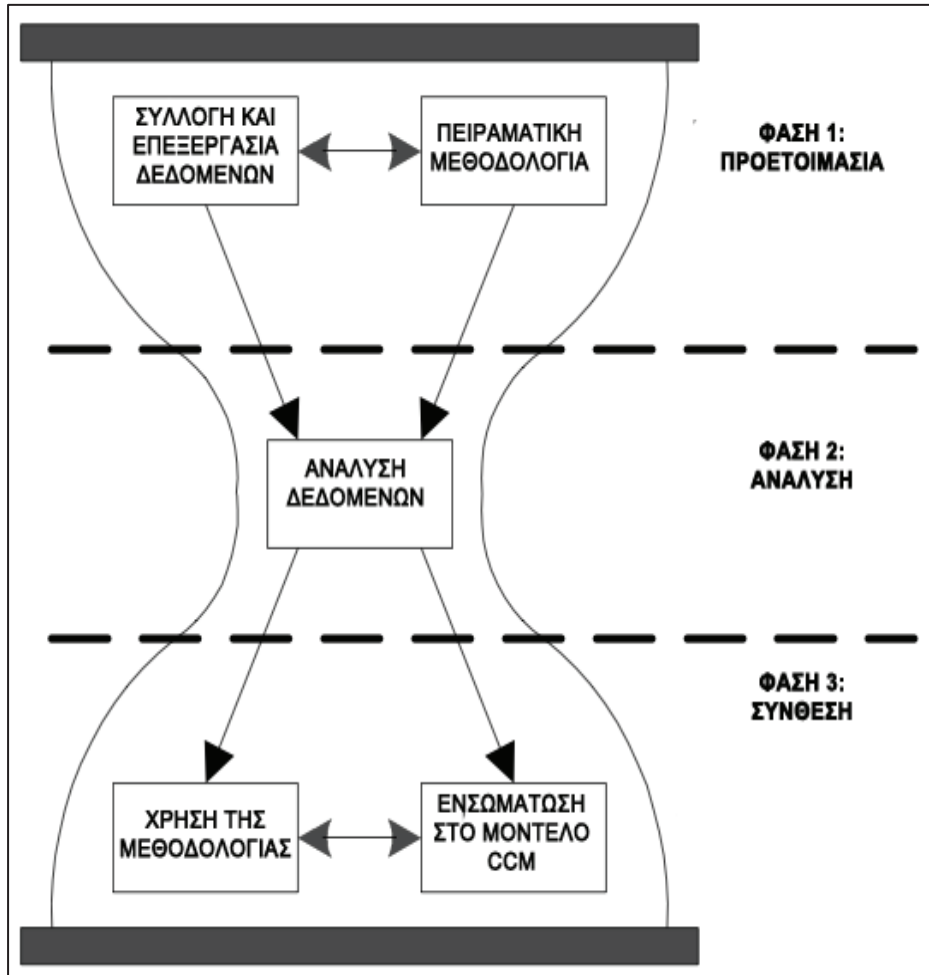
Η παραπάνω εξίσωση αποτελεί το λόγο των συνολικών ακαθάριστων δαπανών για την επισκευή του εξοπλισμού (κόστη ανταλλακτικών, εργατώρες, κ.τ.λ.) προς το αρχικό κόστος αγοράς. Τονίζεται, επίσης, ο δείκτης αυτός αποτελεί και μέτρο σύγκρισης μεταξύ διαφορετικών τύπου εξοπλισμού.

- ✚ Απεικόνιση του τρόπου με τον οποίο το Συγκεντρωτικό Μοντέλο Κόστους μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βοηθήσει στη διαδικασία λήψης αποφάσεων, όσον αφορά στα οικονομικά στοιχεία του εξοπλισμού.

Η πρώτος στόχος είναι μια συνηθισμένη απαίτηση. Ο δεύτερος στόχος (ανάπτυξη και δοκιμή της μεθοδολογίας) αποτελεί τον πρωταρχικό σκοπό της έρευνας. Οι δύο τελευταίοι δευτερεύοντες στόχοι αφορούν στην εφαρμογή της μεθοδολογίας στο Συγκεντρωτικό Μοντέλο Κόστους.

Η μεθοδολογία που θα χρησιμοποιηθεί για την επίτευξη των προαναφερθέντων στόχων διαχωρίζεται σε τρεις διακριτές φάσεις. Οι φάσεις είναι οι εξής: προετοιμασία, ανάλυση και σύνθεση. Οι εργασίες που πρέπει να υλοποιηθούν είναι: συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων, ανάπτυξη της μεθοδολογίας δοκιμών, ανάλυση, ανάπτυξη της ευχρηστίας της μεθοδολογίας

και ενσωμάτωση στο Συγκεντρικό Μοντέλο Κόστους (CCM). Αυτές οι φάσεις και οι αντίστοιχες εργασίες απεικονίζονται παρακάτω:



Σχήμα 6.2: Γράφημα που αναπαριστά την ανάλυση των φάσεων και των αντίστοιχων εργασιών.

6.2. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΓΙΑ ΤΗ ΛΗΨΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

6.2.1. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Οι αποφάσεις για την αντικατάσταση ή μη ενός εξοπλισμού πρέπει να λαμβάνονται με βάση υγιείς οικονομικές αρχές και όχι με βάση τα συναισθήματα ή τη διαίσθηση.

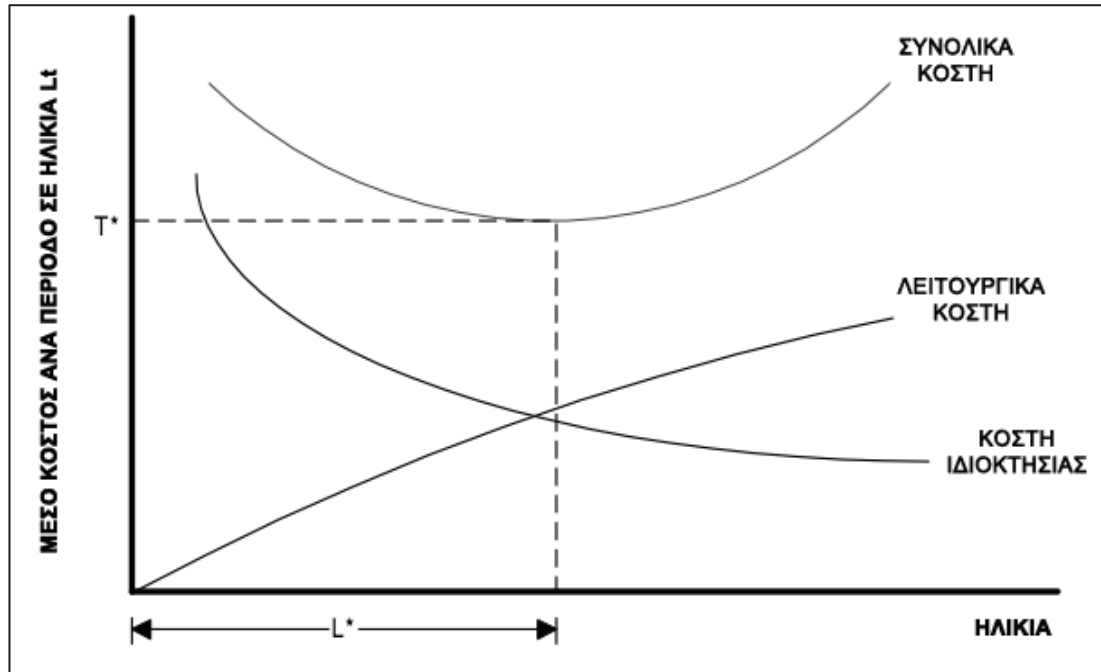
Υπάρχουν βασικές θεωρίες στον τομέα της οικονομικής αντικατάστασης, που είναι απαραίτητες για την κατανόηση της παρούσας μελέτης. Συγκεκριμένα θα αναπτυχθούν: το μοντέλο ελαχιστοποίησης του κόστους και το μοντέλο καθορισμού του ορίου επισκευής.

6.2.1.1. ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ

Η θεωρία της ελαχιστοποίησης του κόστους μπορεί να εξηγηθεί πολύ καλά γραφικά. Τα βασικότερα έξοδα που σχετίζονται με έναν εξοπλισμό ανήκουν σε δύο κατηγορίες:

- ✚ Κόστος κτήσης εξοπλισμού. Το μέσο κόστος κτήσης μειώνεται όσο περισσότερο “γηράσκει” ο εξοπλισμός (κόστη που σχετίζονται με άδειες, τέλη κυκλοφορίας, ασφάλειες, κόστη υποβάθμισης, αρχικό κόστος οχήματος, πληθωρισμός, κ.τ.λ.).
- ✚ Κόστος λειτουργίας εξοπλισμού. Αντιθέτως, το μέσο κόστος λειτουργίας αυξάνεται όσο περισσότερο “γηράσκει” ο εξοπλισμός (κόστη που σχετίζονται με καύσιμα, λιπαντικά, ελαστικά επίσωτρα, διάφορα άλλα αναλώσιμα, ανταλλακτικά, εργατοώρες, κόστη ανακατασκευών, κόστος διακοπής λειτουργίας λόγω συντήρησης, αστοχιών, χαμηλής παραγωγικότητας, κ.τ.λ.).

Η ελαχιστοποίηση του κόστους αποσκοπεί στον καθορισμό της ισορροπίας μεταξύ της μείωσης του κόστους κτήσης και της αύξησης του κόστους λειτουργίας ενός εξοπλισμού. Το μοντέλο ελαχιστοποίησης του κόστους απεικονίζεται γραφικά στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 6.3: Μοντέλο ελαχιστοποίησης κόστους.

Στο παραπάνω γράφημα απεικονίζονται οι τρεις ακόλουθες καμπύλες:

$$\text{Μέσο κόστος ιδιοκτησίας ανά ηλικία} = \frac{P_0 - S_t}{L_t} \quad (6.3)$$

$$\text{Μέσο λειτουργικό κόστος ανά ηλικία} = \frac{\sum_0^t E_P}{L_t} \quad (6.4)$$

$$\text{Μέσο κόστος ανά ηλικία} = \frac{P_0 + \sum_0^t E_P - S_t}{L_t} \quad (6.5)$$

όπου: P_0 : αρχική τιμή αγοράς ενός εξοπλισμού.
 E_P : έξοδα σε μια χρονική περίοδο.
 S_t : κόστος απόσβεσης τη χρονική στιγμή t
 L_t : ηλικία εξοπλισμού τη χρονική στιγμή t

Τα μέση κόστη υπολογίζονται λαμβάνοντας τις συνολικές δαπάνες που πραγματοποιήθηκαν μέχρι κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, η οποία αντιπροσωπεύει την ηλικία του εξοπλισμού, και διαιρώντας αυτές με την προαναφερθείσα ηλικία του εξοπλισμού. Οι καμπύλες του μέσου συνολικού

κόστους προκύπτουν από το άθροισμα των καμπυλών του μέσου κόστους ιδιοκτησίας και λειτουργίας. Διαπιστώνεται κάποια χρονική στιγμή, κατά την οποία το μέσο συνολικό κόστος ελαχιστοποιείται στην τιμή T^* . Ειδικότερα, τονίζεται ότι το σημείο αυτό αποτελεί σημείο μηδενικής κλίσης της καμπύλης του μέσου συνολικού κόστους. Το χρονικό διάστημα L^* , όπως φαίνεται στο γράφημα, αποτελεί τη βέλτιστη οικονομική ζωή του εξοπλισμού.

6.2.1.2. ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΟΡΙΟΥ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ

Μία διαφορετική προσέγγιση για την οικονομική λήψη της απόφασης περί αντικατάστασης ενός εξοπλισμού, διατυπώθηκε το 1967, σύμφωνα με αυτή τη θεωρία, το όριο επισκευής ορίζεται ως εξής:

"Το όριο επισκευής είναι ένα όριο που αφορά στο ποσό των χρημάτων, τα οποία μπορούν να δαπανηθούν για την επισκευή του οχήματος σε οποιαδήποτε συγκεκριμένη εργασία. Οι τιμές του ορίου επισκευής εξαρτώνται από τον τύπο, την ηλικία, και σε ορισμένες περιπτώσεις από τις συνθήκες λειτουργίας του οχήματος."

Η θεωρία για το όριο επισκευής δεν εφαρμόζεται, αν δεν έχει παρουσιαστεί κάποια βλάβη. Η κεντρική ιδέα της θεωρίας αυτής βασίζεται στον καθορισμό ενός συγκεκριμένου ποσού χρημάτων r , κάτω από το οποίο είναι οικονομικά επικερδής η επισκευή του οχήματος. Αν όμως, το εκτιμώμενο κόστος επισκευής είναι μεγαλύτερο του προκαθορισμένου ποσού χρημάτων r , η επισκευή δεν εκτελείται και το όχημα πρέπει να αντικατασταθεί.

Αν το όχημα επισκευάζεται, η ακόλουθη εξίσωση αντιπροσωπεύει το μελλοντικό κόστος ανά έτος:

$$\frac{r + m(t)}{g(t)} \quad (6.6)$$

όπου: r : οικονομικό όριο επισκευής.

$m(t)$: αναμενόμενη συνολικό κόστος μελλοντικών επισκευών από τη χρονική στιγμή t και μετά.

$g(t)$: αναμενόμενη υπολειπόμενη διάρκεια ζωής από τη χρονική στιγμή t και μετά.

t : χρονική στιγμή κατά την οποία αξιολογείται (εξετάζεται) το όριο επισκευής.

Θεωρούμε ότι, για ένα βεβλαμένο όχημα που αποσυναρμολογείται πλήρως, το μελλοντικό κόστος ανά έτος είναι θ , το οποίο καθορίζεται από το μέσο ετήσιο μέλλοντικό κόστος του συστήματος αντικατάστασης. Το μέγεθος που προκύπτει από την εξίσωση (6.6) συγκρίνεται με το θ .

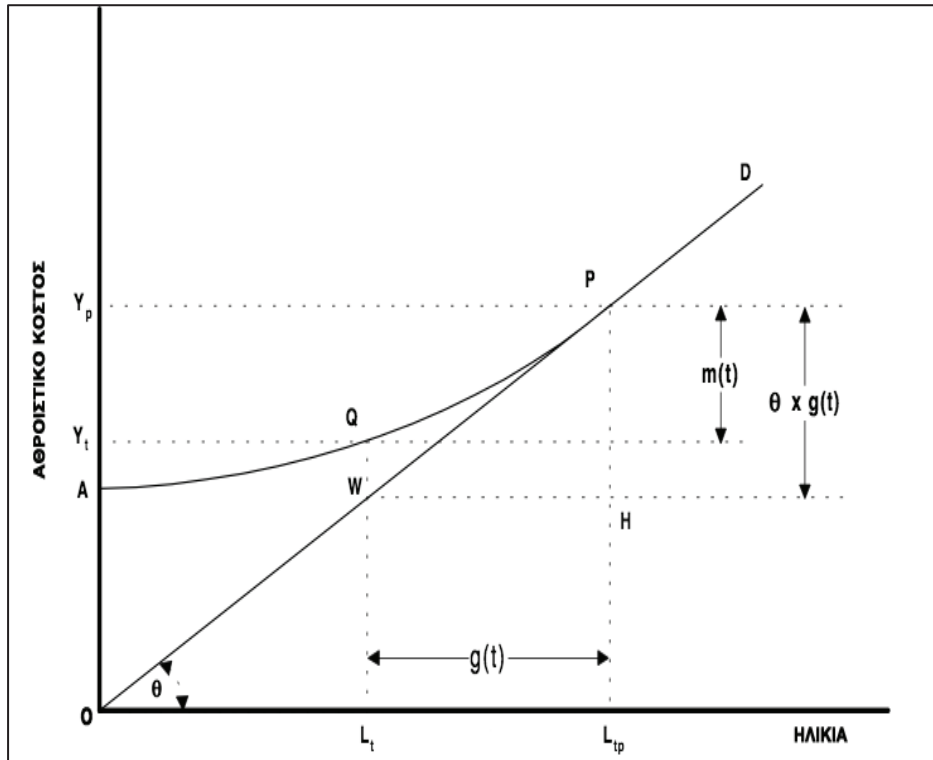
$$\text{Εάν } \frac{r + m(t)}{g(t)} < \theta \quad (6.7)$$

Τότε το όχημα πρέπει να επισκευαστεί και να επιστρέψει σε λειτουργία, όσο το δυνατόν συντομότερα. Αν δεν ισχύει η ανισότητα, τότε το όχημα θα πρέπει να διαλυθεί και να αντικατασταθεί.

Το όριο επισκευής είναι εκείνη η τιμή του r για την οποία τα δύο μέλη της παραπάνω ανισότητας είναι ίσα. Έτσι, επιλύοντας ως προς r προκύπτει ότι:

$$r_0(t) = [\theta \cdot g(t)] - m(t) \quad (6.8)$$

Η παραπάνω εξίσωση απεικονίζεται γραφικά στο παρακάτω σχήμα. Έχει, επίσης, εισαχθεί στο γράφημα μία καμπύλη (OAD) συνολικού κόστους επισκευής συναρτήσει της ηλικίας του οχήματος. Η ποσότητα (OA) αντιπροσωπεύει το αρχικό κόστος αγοράς του οχήματος, ενώ η καμπύλη (AQPD) αντιπροσωπεύει το συνολικό κόστος επισκευής συναρτήσει της ηλικίας του οχήματος. Η κλίση θ αναπαριστά το μέσο κόστος όμοιων οχημάτων, συγκρινόμενο με το όχημα που μας ενδιαφέρει (αξιολογείται). Αυτή η επικλινή ευθεία γραμμή είναι εφαπτόμενη με την αθροιστική καμπύλη κόστους στο σημείο P. Το μέσο συνολικό κόστος επισκευής σε οποιοδήποτε σημείο της καμπύλης συνολικού κόστους δίνεται από την κλίση της γραμμής που χαράσσεται από εκείνο το σημείο μέχρι την αρχή των αξόνων.



Σχήμα 6.4: Μοντέλο οικονομικού ορίου επισκευής.

Σε μία τυχαία χρονική στιγμή της διάρκειας ζωής του οχήματος L_t , η κατακόρυφη γραμμή (QW) αντιπροσωπεύει το όριο επισκευής. Πέρα από το όριο ηλικίας L_{tp} , το όριο επισκευής μηδενίζεται. Οι ακόλουθες σχέσεις απεικονίζονται στο γράφημα που προηγήθηκε:

$$g(t) = L_{tp} - L_t \quad (6.9)$$

$$m(t) = Y_p - Y_t \quad (6.10)$$

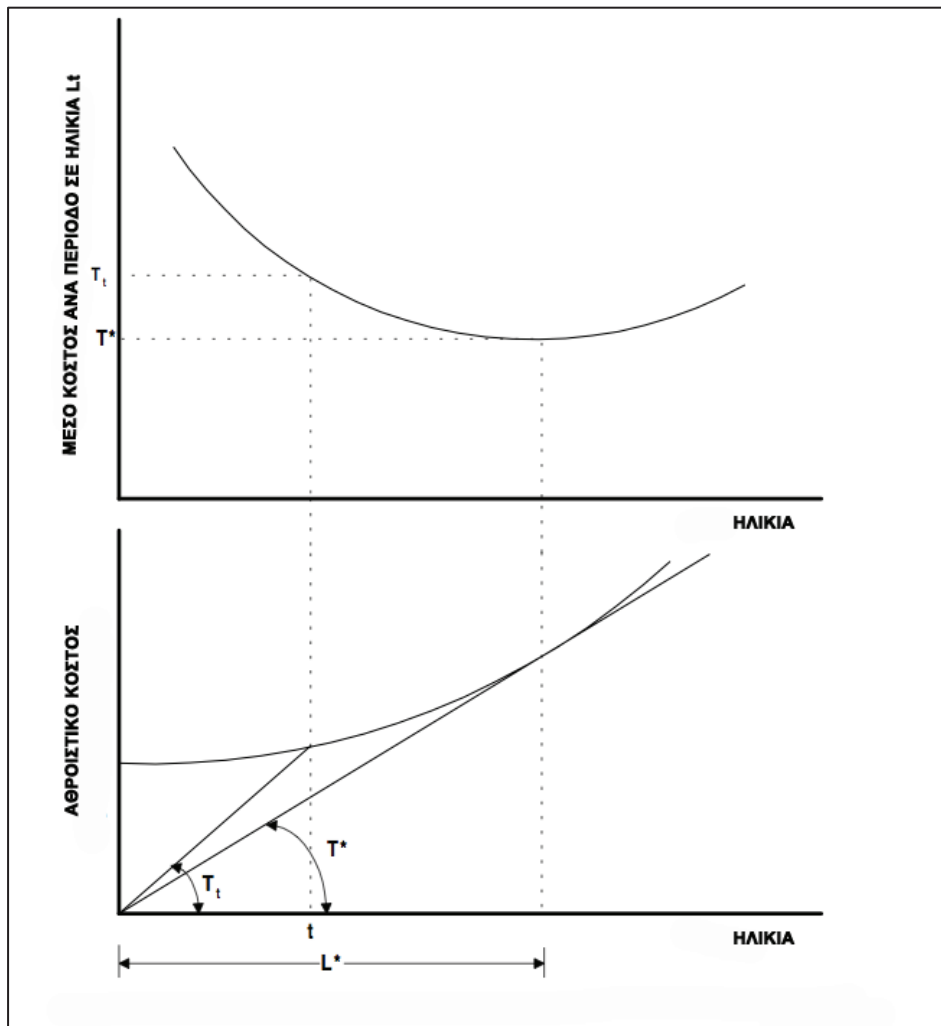
6.3. ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ

6.3.1 ΤΟ ΒΑΣΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Το Μοντέλο Αθροιστικού Κόστους, το οποίο αποτελεί το βασικό μοντέλο της παρούσας μελέτης, παρέχει αριθμητική λύση σε προβλήματα αντικατάστασης εξοπλισμών. Η αριθμητική λύση είναι αρκετά σημαντική, διότι μέσω αυτής

είναι δυνατή η ανάπτυξη συγκεκριμένης “πολιτικής αντικατάστασης”, η οποία θα παρέχει το μέγιστο δυνατό κέρδος.

Το εν λόγω μοντέλο παρέχει μια έγκυρη αριθμητική λύση και μια διαισθητική γραφική απεικόνιση του προβλήματος που αναλύεται. Επιπλέον, κρίνεται απαραίτητο να αναφερθεί ότι το συγκεκριμένο μοντέλο συμβάλλει στην πλήρη κατανόηση εννοιών, όπως συνολικά κόστη, μέση κόστη και οριακά κόστη. Το CCM είναι το μοναδικό οικονομικό μοντέλο αντικατάστασης, το οποίο ενσωματώνει και την θεωρία του οικονομικού ορίου επισκευής. Η χρήση του αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους (ή εναλλακτικά στη μεγιστοποίηση του κέρδους στην περίπτωση μεταπώλησης ή ενοικίασης του εξοπλισμού).



Σχήμα 6.5: Γράφημα που αναπαριστά συγκεντρωτικά το μοντέλο ελαχιστοποίησης κόστους και το μοντέλο αθροιστικού κόστους.

Στο παραπάνω γράφημα απεικονίζεται η γεωμετρική σύγκριση του CCM και του μοντέλου ελαχιστοποίησης κόστους. Διαπιστώνεται από το γράφημα ότι και στα δύο μοντέλα απώτερος σκοπός είναι η εύρεση της βέλτιστης ηλικίας του εξοπλισμού. Και στα δύο γραφήματα, τα βέλτιστα σημεία ορίζονται από γεωμετρικές εφαπτόμενες προς τις καμπύλες του κόστους. Το μοντέλο ελαχιστοποίησης κόστους χρησιμοποιεί μία οριζόντια εφαπτόμενη προς την καμπύλη του μέσου συνολικού κόστους για να οριστεί το ελάχιστο μέσο κόστος T^* και αντίστοιχα η βέλτιστη οικονομική ζωή του εξοπλισμού L^* . Αντιθέτως το CCM χρησιμοποιεί μία εφαπτόμενη προς το συνολικό κόστος, η οποία άρχεται από την αρχή των αξόνων. Αυτή η εφαπτομένη (η οποία δεν είναι οριζόντια) ορίζει την ίδια βέλτιστη οικονομική ζωή του εξοπλισμού, όπως πριν.

Το μέσο κόστος λειτουργίας T_t , για δεδομένο χρόνο t , μπορεί να βρεθεί γραφικά για καθένα από τα δύο μοντέλα από τις κατάλληλες γραμμές σχεδίασης. Για το μοντέλο ελαχιστοποίησης του κόστους, το T_t βρίσκεται χαράσσοντας οριζόντια γραμμή από το σημείο της καμπύλης για χρόνο t μέχρι τον κατακόρυφο άξονα. Για το CCM, χαράσσεται ευθεία γραμμή αρχόμενη από την αρχή των αξόνων μέχρι εκείνο το σημείο της καμπύλης, το οποίο αντιστοιχεί σε χρόνο t . Η κλίση της σχηματιζόμενης γωνίας αποτελεί το T_t .

Τονίζεται ότι, ο οριζόντιος άξονας και στα δύο μοντέλα, είναι η ηλικία του εξοπλισμού εκφρασμένη είτε σε ημερολογιακά έτη, είτε σε συνολικές ώρες λειτουργίας του εξοπλισμού (ή διανυθείσα απόσταση σε χιλιόμετρα για τα οχήματα).

Στο γράφημα που ακολουθεί αποτυπώνεται μία απλοποιημένη έκδοση του CCM, λεπτομερώς, για τέσσερις περιόδους. Οι ευθείες γραμμές χρησιμοποιούνται στη θέση των καμπυλών για σκοπούς επεξήγησης και μόνο. Στο γράφημα αυτό απεικονίζεται ο πλήρης κύκλος ζωής ενός εξοπλισμού. Στις τέσσερις περιόδους που εμφανίζονται φαίνεται η σκέψη για πώληση του εξοπλισμού, αλλά μόνο στην τέταρτη περίοδο υλοποιείται η πώληση. Η

γραμμή OPRS, η οποία είναι η Γραμμή Ακαθάριστων Δαπανών (*Gross Expenditure Line-GEL*), αυξάνει απότομα τη χρονική στιγμή μηδέν, εξαιτίας της αρχικής αγοράς του εξοπλισμού. Στη συνέχεια, αυξάνει ομαλά λόγω εμφάνισης και των υπόλοιπων κατηγοριών κόστους, κατά τη διάρκεια ζωής του εξοπλισμού. Όταν μελετάται η πώληση (*υπάρχει σκέψη για πώληση*) ή τελικά ο εξοπλισμός πωλείται, η εν λόγω γραμμή μειώνεται απότομα. Η γραμμή OS είναι η Γραμμή Καθαρών Δαπανών (NEL). Ορισμένοι ορισμοί που αναφέρονται στο γράφημα που ακολουθεί, παρατίθενται παρακάτω:

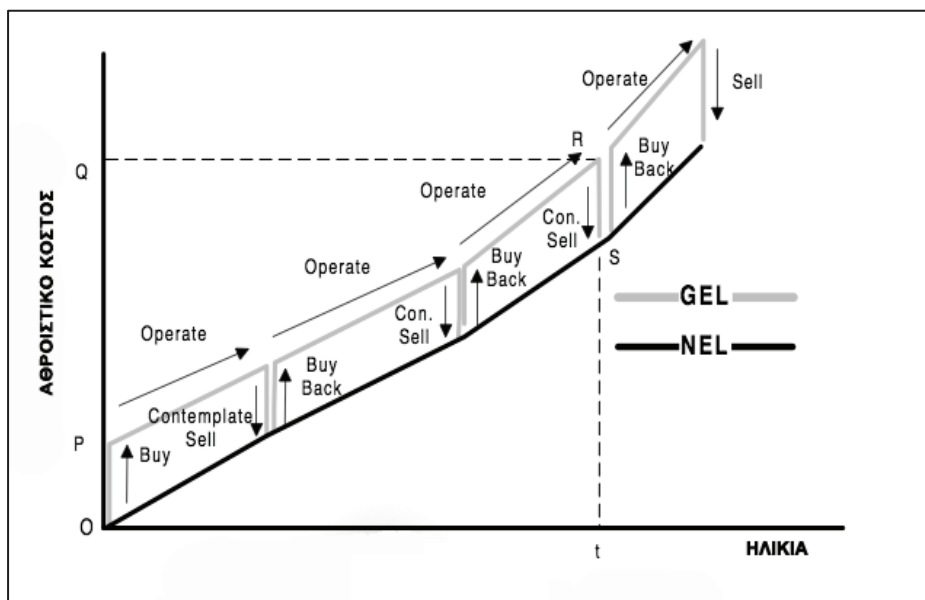
$$OP: \text{Αρχικό πραγματικό κόστος αγοράς } (P_0) \quad (6.11)$$

$$PQ: \text{Έξοδα για την περίοδο } t \text{ (} \Sigma E_p \text{)} \quad (6.12)$$

$$RS: \text{Κόστος υποβάθμισης τη χρονική στιγμή } t \text{ (} S_t \text{)} \quad (6.13)$$

$$St: \text{Καθαρά έξοδα για την περίοδο } t \text{ (} P_0 + \Sigma E_p - S_t \text{)} \quad (6.14)$$

$$OS: \text{Γραμμή ανάκτησης (URL)} \quad (6.15)$$



Σχήμα 6.6: Γράφημα που αναπαριστά λεπτομερώς το μοντέλο αθροιστικού κόστους.

6.3.2 ΤΟ CCM ΣΕ ΒΑΘΟΣ

Η ανάλυση του CCM είναι δυνατό να υλοποιηθεί σε βάθος, αφού έχουν προαναφερθεί οι βασικές έννοιες. Στο γράφημα που ακολουθεί αναφέρονται κάποιες λεπτομέρειες των ορισμών που ακολουθούν, οι οποίες δεν παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο γράφημα:

$$P, R_1, R_2, \dots, R_t: \text{Γραμμή ακαθάριστων εξόδων (GEL)} \quad (6.16)$$

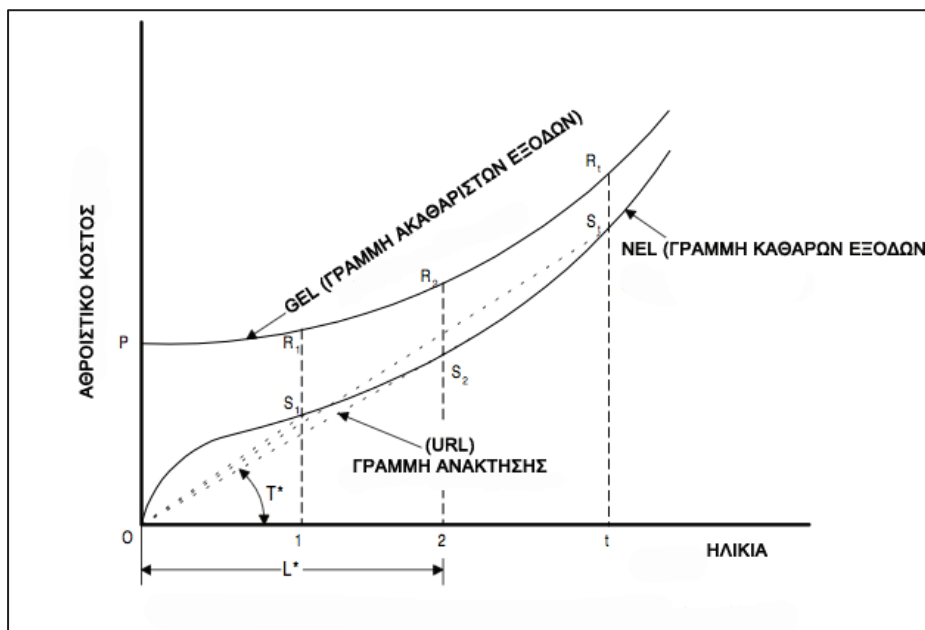
$$O, S_1, S_2, \dots, S_t: \text{Γραμμή καθαρών εξόδων (NEL)} \quad (6.17)$$

$$OS_1, OS_2, \dots, OS_t: \text{Γραμμές ανάκτησης (URLs)} \quad (6.18)$$

$$\text{Εφαπτομένη: } \tan(\widehat{tOS}_t) = \text{Κλίση της γραμμής ανάκτησης τη χρονική στιγμή } t \text{ ή το μέσο κόστος προς το } t \text{ (} T_t \text{)} \quad (6.19)$$

$$T^*: \text{Ελάχιστη τιμή της κλίσης της γραμμής ανάκτησης ή το βέλτιστο μέσο κόστος} \quad (6.20)$$

$$L^*: \text{Βέλτιστη οικονομική διάρκεια ζωής} \quad (6.21)$$



Σχήμα 6.7: Μοντέλο αθροιστικού κόστους (GEL-NEL).

Η Γραμμή Καθαρών Δαπανών (*Net Expenditure Line-NEL*) είναι ίση με τη Γραμμή Ακαθάριστων Δαπανών (*Gross Expenditure Line-GEL*) μείον το

κόστος απόσβεσης του εξοπλισμού τη χρονική στιγμή t . Η "καμπούρα" στη Γραμμή Καθαρών Δαπανών (*NEL*) ερμηνεύεται από την απότομη μείωση του κόστους απόσβεσης του εξοπλισμού στην αρχή της διάρκειας ζωής του. Καθώς το κόστος απόσβεσης μειώνεται, η *NEL* συγκλίνει με την *GEL*. Σύμφωνα με τη θεωρία του 1967, που προαναφέρθηκε, η υπολειμματική αξία του εξοπλισμού σε οποιαδήποτε δεδομένη στιγμή θα πρέπει να προσεγγίζει το όριο επισκευής εκείνη τη στιγμή. Διακρίνεται, επίσης, ότι η ελάχιστη τιμή T_t , επιτυγχάνεται όταν η Ομοιόμορφη Γραμμή Ανάκτησης (*Uniform Recovery Line-URL*) είναι εφαπτόμενη στη Γραμμή Καθαρών Δαπανών (*NEL*). Αυτή είναι η κλίση T^* , που παρουσιάστηκε νωρίτερα. Η συνολική ηλικία L^* ορίζεται από την τομή της Γραμμής Καθαρών Δαπανών (*NEL*) με την Ομοιόμορφη Γραμμή Ανάκτησης (*Uniform Recovery Line-URL*).

Κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι, ο καθορισμός της Γραμμής Ακαθάριστων Δαπανών (*Gross Expenditure Line-GEL*) είναι σχετικά εύκολη διαδικασία, διότι περιλαμβάνει το κόστος αρχικής αγοράς καθώς και όλα τα υπόλοιπα λειτουργικά κόστη, τα οποία δύναται να συλλεχθούν μακροπρόθεσμα. Αντιθέτως, ο καθορισμός της Γραμμής Καθαρών Δαπανών (*Net Expenditure Line-NEL*) αποτελεί εξαιρετικά δύσκολη διαδικασία. Παρόλο που η γραμμή *NEL* προκύπτει από την αφαίρεση του κόστους απόσβεσης από την γραμμή *GEL*, ο υπολογισμός του κόστους απόσβεσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Μερικοί από αυτούς είναι οι ώρες λειτουργίας ενός εξοπλισμού, ηλικία ενός εξοπλισμού, χρόνοι υλοποίησης ανακατασκευών, εξωτερική κατάσταση του εξοπλισμού, συνθήκες αγοράς, κ.τ.λ.. Γι'αυτό το λόγο, η εκτίμηση αυτής της γραμμής *NEL* αποτελεί, αρκετά, δύσκολη διαδικασία και η απεικόνισή αυτής πιθανόν να μην είναι ακριβής. Το γεγονός αυτό επιφέρει σημαντικές ανακρίβειες όσον αφορά στην εύρεση της εφαπτομένης προς τη γραμμή *NEL* και στον καθορισμό της βέλτιστης οικονομικής διάρκειας ζωής L^* , με βάση αυτή τη γραμμή.

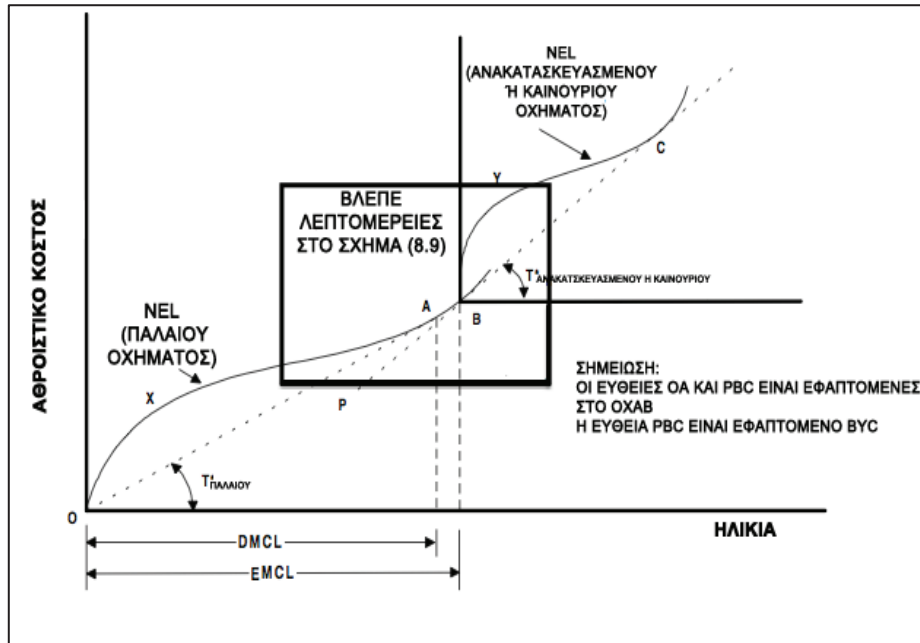
Τονίζεται, όμως, ότι η υπάρχουσα βιβλιογραφία, καθορίζει ότι η βέλτιστη οικονομική διάρκεια ζωής L^* θα βρίσκεται με βάση τη γραμμή *NEL*, δεδομένου ότι αυτή θα είναι και η μικρότερη διάρκεια ζωής, καθώς η υπολειμματική αξία

μειώνεται με την αύξηση της ηλικίας των οχημάτων και έτσι οδηγεί τη γραμμή NEL να συγκλίνει σταδιακά με τη γραμμή GEL.

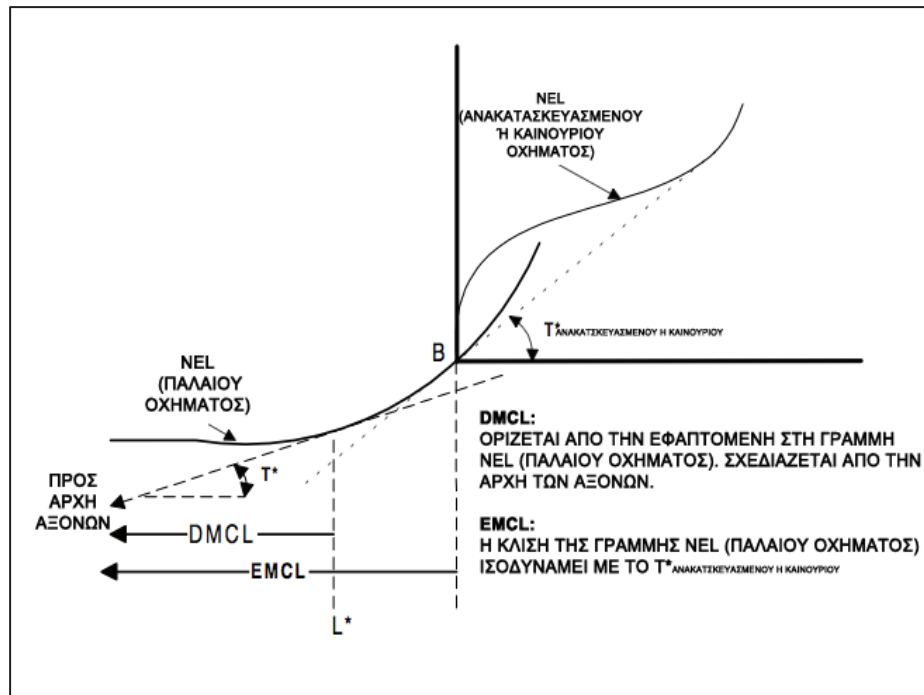
Για την καλύτερη κατανόηση του μοντέλου αθροιστικού κόστους είναι απαραίτητο να δοθούν οι εξής ορισμοί:

- ✚ Έλαχιστο κόστος ζωής ($DMCL \equiv L^*$): Είναι εκείνη η χρονική περίοδος, η οποία λήγει, όταν το μέσο ετήσιο κόστος του παλιού οχήματος (πριν από την ανακατασκευή) ελαχιστοποιείται.
- ✚ Ίσο οριακό κόστος ζωής ($EMCL$): Είναι εκείνη η χρονική περίοδος, η οποία λήγει, όταν το οριακό κόστος διατήρησης για μία ακόμη περίοδο, του παλιού οχήματος (πριν από την ανακατασκευή), υπερβαίνει συστηματικά το μέσο ετήσιο κόστος που αναμένεται από το ανακατασκευασμένο όχημα.

Οι παραπάνω ορισμοί απεικονίζονται γραφικά στα παρακάτω σχήματα (6.8) και (6.9). Σε αυτά τα σχήματα είναι δυνατό να απεικονιστούν και διαφορετικοί τύποι οχημάτων, στην περίπτωση που ένα νέο όχημα αντικαταστήσει κάποιο παλιό, μη όμοιό του. Σε κάθε περίπτωση (είτε όταν πρόκειται για όμοια οχήματα ή μη, είτε όταν πρόκειται για ανακατασκευή κάποιου συγκεκριμένου οχήματος χωρίς την αντικατάστασή του από κάποιο άλλο), αυτά τα σχήματα απεικονίζουν, τι συμβαίνει σε ένα όχημα με την πάροδο του χρόνου. Τονίζεται ότι οι άξονες των δύο καμπυλών θα πρέπει να είναι της ίδιας κλίμακας. Στα παρακάτω σχήματα, η γραφική παράσταση του εξετασθέντος (ανακατασκευασθέντος ή καινούριου) οχήματος άρχεται στο σημείο που αντιστοιχεί στο EMCL για την καλύτερη απεικόνιση της οικονομικής ζωής ενός οχήματος. Είναι δυνατό, όμως, να απεικονιστεί σε οποιοδήποτε σημείο κατά μήκος της γραμμής NEL του παλιού οχήματος (πριν από την ανακατασκευή).



Σχήμα 6.8: Γράφημα όπου απεικονίζεται το ελάχιστο κόστος ζωής και το ίσο οριακό κόστος ζωής ($DMCL-EMCL$).



Σχήμα 6.9: Γράφημα όπου απεικονίζεται λεπτομερώς το ελάχιστο κόστος ζωής και το ίσο οριακό κόστος ζωής ($DMCL-EMCL$).

6.4. ΑΠΟΦΑΣΕΙΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΖΟΜΕΝΕΣ ΑΠΟ ΤΟ CCM

Ένας από τους βασικότερους λόγους που η CCM είναι τόσο ελκυστική, οφείλεται στο ευρύ πεδίο αποφάσεων που υποστηρίζει, οι οποίες επιγραμματικά είναι η αγορά, συντήρηση, επισκευή, ανακατασκευή, απόσυρση, κ.τ.λ. Τονίζεται ότι οι προαναφερθείσες αποφάσεις θα πρέπει να εξετάζονται έχοντας ως βάση το χρονικό σημείο της βέλτιστης οικονομικής διάρκειας ζωής, που αποτελεί και σημείο σύγκρισης.

6.4.1. ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

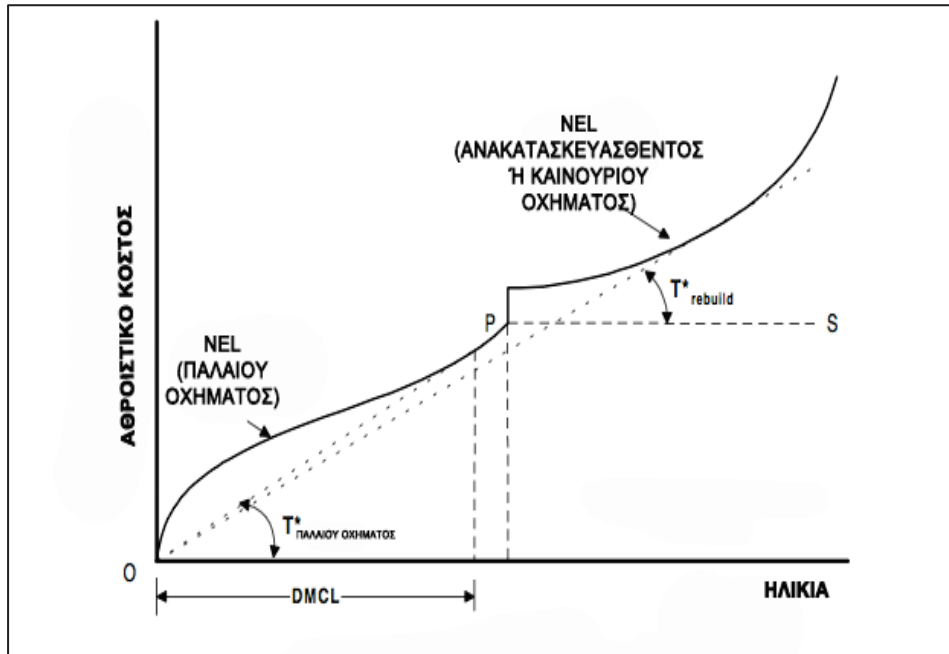
Οι ανακατασκευές αποσκοπούν στην επέκταση της διάρκειας ζωής ενός εξοπλισμού. Παρά το γεγονός ότι μία ανακατασκευή μπορεί να παρατείνει τη φυσική ζωή ενός εξοπλισμού, δεν είναι απόλυτο ότι θα μειωθεί το μέσο κόστος λειτουργίας. Υπάρχουν δύο γενικά σενάρια ανακατασκευών:

- ✚ Προγραμματισμένη ανακατασκευή.
- ✚ Ανακατασκευή λόγω τυχαίας αστοχίας.

Σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, υπάρχουν τρεις πιθανές επιλογές που μπορούν να υλοποιηθούν από το τμήμα συντήρησης και σχετίζονται με την προγραμματισμένη ανακατασκευή:

- ✚ ο εξοπλισμός θα πρέπει να συνεχίσει να λειτουργεί στην τρέχουσα κατάστασή του.
- ✚ ο εξοπλισμός θα πρέπει να ανακατασκευαστεί.
- ✚ ο εξοπλισμός θα πρέπει να αποσυρθεί.

Από τις παραπάνω επιλογές, η καταλληλότερη είναι αυτή που αποδίδει τη χαμηλότερη Ομοιόμορφη Γραμμή Ανάκτησης (*Uniform Recovery Line-URL*). Στην περίπτωση, όμως, που ο εξοπλισμός έχει αστοχήσει, η πρώτη επιλογή δεν είναι διαθέσιμη.



Σχήμα 6.10: Γράφημα που απεικονίζει την απόφαση ανακατασκευής.

Η κλίση της Ομοιόμορφης Γραμμής Ανάκτησης (*Uniform Recovery Line-URL*) υπολογίζεται, χαράσσοντας μία εφαπτόμενη γραμμή προς τη Γραμμή Καθαρών Δαπανών (*Net Expenditure Line-NEL*), όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Αυτή η κλίση αναφέρεται ως $T_{rebuild}^*$. Το σημείο στο οποίο η ανακατασκευή υλοποιείται, αποτυπώνεται με απότομη κατακόρυφη αύξηση στη γραμμή NEL, η οποία αποτελεί το κόστος της ανακατασκευής. Στη συνέχεια η γραμμή NEL ακολουθεί, σταδιακά, ανοδική πορεία. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η $T_{rebuild}^*$ καθορίζεται με βάση την πραγματική αρχική αγορά του εξοπλισμού και όχι με βάση αυτή που προκύπτει μετά την ανακατασκευή.

ΚΑΝΟΝΑΣ: Για τη λήψη ορθής απόφασης ανακατασκευής, δύο προϋποθέσεις πρέπει να πληρούνται:

- ✚ Το $T_{rebuild}^*$ του ανακατασκευασθέντος εξοπλισμού πρέπει να είναι μικρότερο του T^* (κλίση της γραμμής URL πριν από την ανακατασκευή του), για την περίπτωση που δεν έχει ξεπεραστεί το L^* . Αντιθέτως, στην περίπτωση που έχει ξεπεραστεί το L^* , το $T_{rebuild}^*$ συγκρίνεται με

το τρέχον T^* (ΠΡΟΣΟΧΗ!: Είναι διαφορετικό από το T^* που αντιστοιχεί στο L^*).

- ✚ Το T_{rebuild}^* του ανακατασκευασθέντος εξοπλισμού, πρέπει να είναι μικρότερο του T^* (κλίση της γραμμής URL του καινούριου εξοπλισμού που αντικαθιστά τον παλαιότερο).

6.5. ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΔΟΚΙΜΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΖΩΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΥ ΟΡΙΟΥ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ

6.5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΓΕΝΙΚΑ

Για την αποτύπωση της ανάλυσης του προαναφερθέντος μοντέλου CCM, λαμβάνεται το ίδιο δείγμα οχημάτων με αυτό του κεφαλαίου (4.4). Ειδικότερα, το δείγμα περιλαμβάνει 150 οχήματα, για τα οποία έχει προκύψει ότι το κόστος υποστήριξης συναρτήσει της ηλικίας των οχημάτων (σε μήνες) ακολουθεί την παρακάτω εξίσωση:

$$\text{Κόστος υποστήριξης} = 100 \cdot t + 0.4 \cdot t^2 \quad (6.22)$$

Τονίζεται ότι για την απλούστευση και καλύτερη κατανόηση του παραδείγματος, λαμβάνεται ως μέσο λειτουργικό κόστος αυτό που περιγράφεται από την παραπάνω εξίσωση. Αυτή η παραδοχή θεωρείται αποδεκτή, διότι έχει αποδειχθεί σε προηγούμενα κεφάλαια ότι, για φυσιολογική χρήση των οχημάτων, τα υπόλοιπα κόστη λειτουργίας (π.χ. κόστος που αναλογεί στη διακοπή λειτουργίας λόγω συντηρήσεων, κ.τ.λ.) είναι αρκετά μικρότερα συγκριτικά με το κόστος υποστήριξης αυτών. Συνεπώς, θα ισχύει ότι:

$$\text{Μέσο λειτουργικό κόστος} = 100 \cdot t + 0.4 \cdot t^2 \quad (6.23)$$

6.5.2. ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ

Επιπλέον, σύμφωνα με τα δεδομένα που ελήφθησαν στο παράδειγμα του κεφαλαίου 4 για το κόστος απόσβεσης και εφαρμόζοντας τις εξισώσεις του συγκεκριμένου μοντέλου (6.3), (6.4), (6.5) λαμβάνονται οι ακόλουθοι πίνακες και το διάγραμμα μοντέλου ελαχιστοποίησης κόστους, όπου αποτυπώνονται τα απαραίτητα κόστη:

Πίνακας 6.1: Πίνακας όπου αποτυπώνονται το κόστος απόσβεσης, το ετήσιο μέσο κόστος κτήσης, το μέσο κόστος κτήσης, το μέσο λειτουργικό κόστος και το συνολικό κόστος συναρτήσει της ηλικίας των οχημάτων.

ΜΗΝΕΣ	ΚΟΣΤΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ $S(t)$	ΕΤΗΣΙΟ ΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΤΗΣΗΣ (ΕΤΗΣΙΟ ΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ)	ΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΤΗΣΗΣ (ΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ)	ΜΕΣΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ
0	40,000.00 €	0.00 €	0.00 €	0.00 €	0.00 €
12	35,320.00 €	4,680.00 €	4,680.00 €	1,257.60 €	5,937.60 €
24	31,270.00 €	4,050.00 €	8,730.00 €	2,630.40 €	11,360.40 €
36	27,820.00 €	3,450.00 €	12,180.00 €	4,118.40 €	16,298.40 €
48	24,670.00 €	3,150.00 €	15,330.00 €	5,721.60 €	21,051.60 €
60	21,970.00 €	2,700.00 €	18,030.00 €	7,440.00 €	25,470.00 €
72	19,570.00 €	2,400.00 €	20,430.00 €	9,273.60 €	29,703.60 €
84	17,470.00 €	2,100.00 €	22,530.00 €	11,222.40 €	33,752.40 €
96	14,970.00 €	2,500.00 €	25,030.00 €	13,286.40 €	38,316.40 €
108	13,270.00 €	1,700.00 €	26,730.00 €	15,465.60 €	42,195.60 €
120	11,670.00 €	1,600.00 €	28,330.00 €	17,760.00 €	46,090.00 €
132	10,270.00 €	1,400.00 €	29,730.00 €	20,169.60 €	49,899.60 €
144	8,970.00 €	1,300.00 €	31,030.00 €	22,694.40 €	53,724.40 €
156	7,770.00 €	1,200.00 €	32,230.00 €	25,334.40 €	57,564.40 €
168	6,670.00 €	1,100.00 €	33,330.00 €	28,089.60 €	61,419.60 €
180	5,670.00 €	1,000.00 €	34,330.00 €	30,960.00 €	65,290.00 €
192	4,732.50 €	937.50 €	35,267.50 €	33,945.60 €	69,213.10 €
204	3,857.50 €	875.00 €	36,142.50 €	37,046.40 €	73,188.90 €
216	3,057.50 €	800.00 €	36,942.50 €	40,262.40 €	77,204.90 €
228	2,307.50 €	750.00 €	37,692.50 €	43,593.60 €	81,286.10 €
240	1,617.50 €	690.00 €	38,382.50 €	47,040.00 €	85,422.50 €
247.43	1,209.00 €	408.50 €	38,791.00 €	49,231.64 €	88,022.64 €
264	1,209.00 €	0.00 €	38,791.00 €	54,278.40 €	93,069.40 €
276	1,209.00 €	0.00 €	38,791.00 €	58,070.40 €	96,861.40 €
288	1,209.00 €	0.00 €	38,791.00 €	61,977.60 €	100,768.60 €

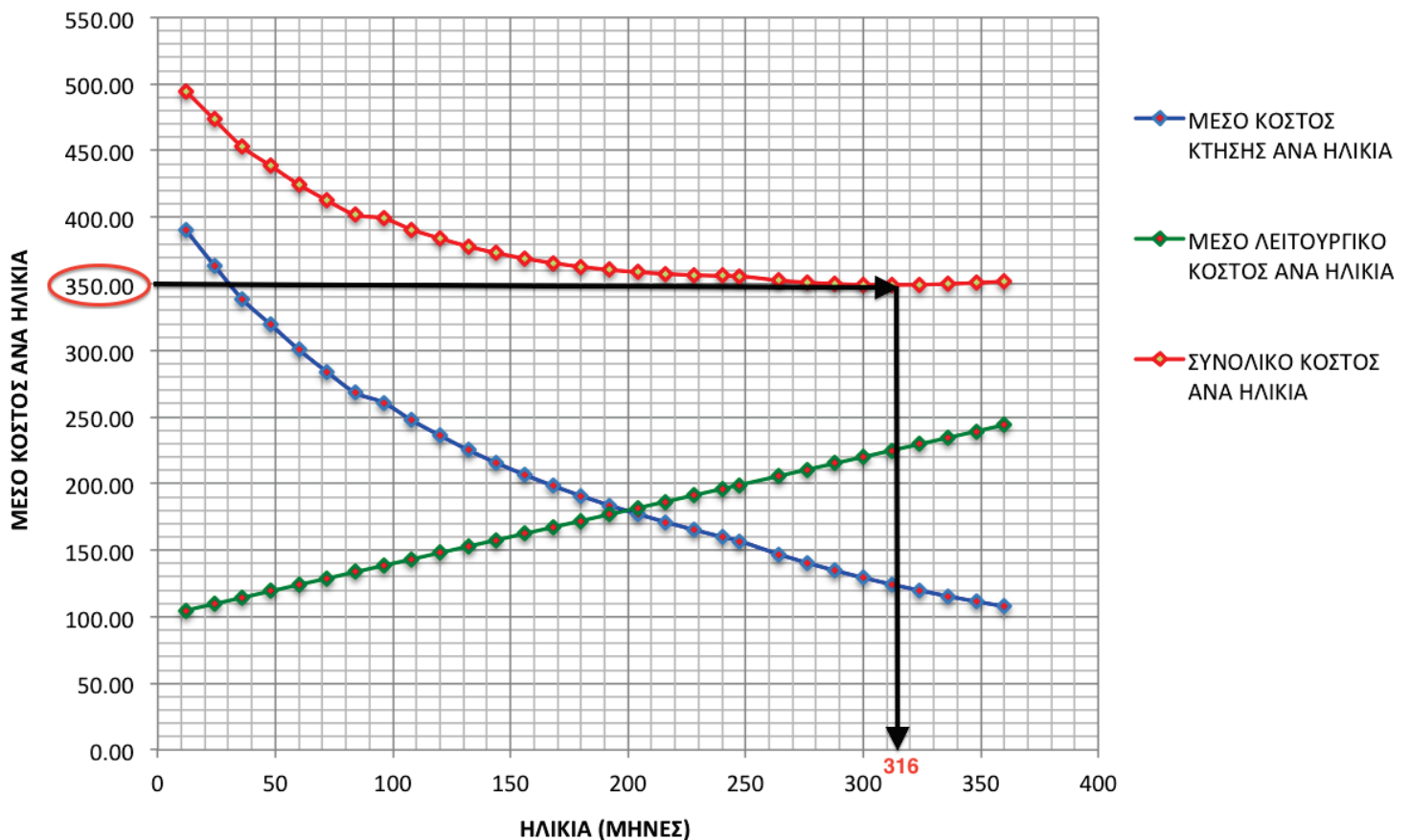
ΜΗΝΕΣ	ΚΟΣΤΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ $S(t)$	ΕΤΗΣΙΟ ΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΤΗΣΗΣ (ΕΤΗΣΙΟ ΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ)	ΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΤΗΣΗΣ (ΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ)	ΜΕΣΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ
300	1,209.00 €	0.00 €	38,791.00 €	66,000.00 €	104,791.00 €
312	1,209.00 €	0.00 €	38,791.00 €	70,137.60 €	108,928.60 €
324	1,209.00 €	0.00 €	38,791.00 €	74,390.40 €	113,181.40 €
336	1,209.00 €	0.00 €	38,791.00 €	78,758.40 €	117,549.40 €
348	1,209.00 €	0.00 €	38,791.00 €	83,241.60 €	122,032.60 €
360	1,209.00 €	0.00 €	38,791.00 €	87,840.00 €	126,631.00 €

Πίνακας 6.2: Πίνακας όπου αποτυπώνονται το μέσο κόστος κτήσης, το μέσο λειτουργικό κόστος και το συνολικό κόστος ανά ηλικία των οχημάτων.

ΜΗΝΕΣ	ΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΤΗΣΗΣ ΑΝΑ ΗΛΙΚΙΑ (ΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ ΑΝΑ ΗΛΙΚΙΑ)	ΜΕΣΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΗΛΙΚΙΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΗΛΙΚΙΑ
12	390.00	104.80	494.80
24	363.75	109.60	473.35
36	338.33	114.40	452.73
48	319.38	119.20	438.58
60	300.50	124.00	424.50
72	283.75	128.80	412.55
84	268.21	133.60	401.81
96	260.73	138.40	399.13
108	247.50	143.20	390.70
120	236.08	148.00	384.08
132	225.23	152.80	378.03
144	215.49	157.60	373.09
156	206.60	162.40	369.00
168	198.39	167.20	365.59
180	190.72	172.00	362.72
192	183.68	176.80	360.48
204	177.17	181.60	358.77
216	171.03	186.40	357.43
228	165.32	191.20	356.52
240	159.93	196.00	355.93
247.43	156.78	198.97	355.75
264	146.94	205.60	352.54
276	140.55	210.40	350.95

ΜΗΝΕΣ	ΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΤΗΣΗΣ ΑΝΑ ΗΛΙΚΙΑ (ΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ ΑΝΑ ΗΛΙΚΙΑ)	ΜΕΣΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΗΛΙΚΙΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ ΗΛΙΚΙΑ
288	134.69	215.20	349.89
300	129.30	220.00	349.30
312	124.33	224.80	349.13
324	119.73	229.60	349.33
336	115.45	234.40	349.85
348	111.47	239.20	350.67
360	107.75	244.00	351.75

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΛΑΧΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΟΣΤΟΥΣ



Σχήμα 6.11: Διάγραμμα μοντέλου ελαχιστοποίησης κόστους.

Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα (6.11), παρατηρείται ότι το ελάχιστο μέσο κόστος T^* του τυχαίου δείγματος οχημάτων είναι 350 €/μήνα και η βέλτιστη οικονομική διάρκεια ζωής L^* αυτών λαμβάνει, προσεγγιστικά, την τιμή των 316 μηνών.

6.5.3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΓΡΑΜΜΩΝ GEL ΚΑΙ NEL

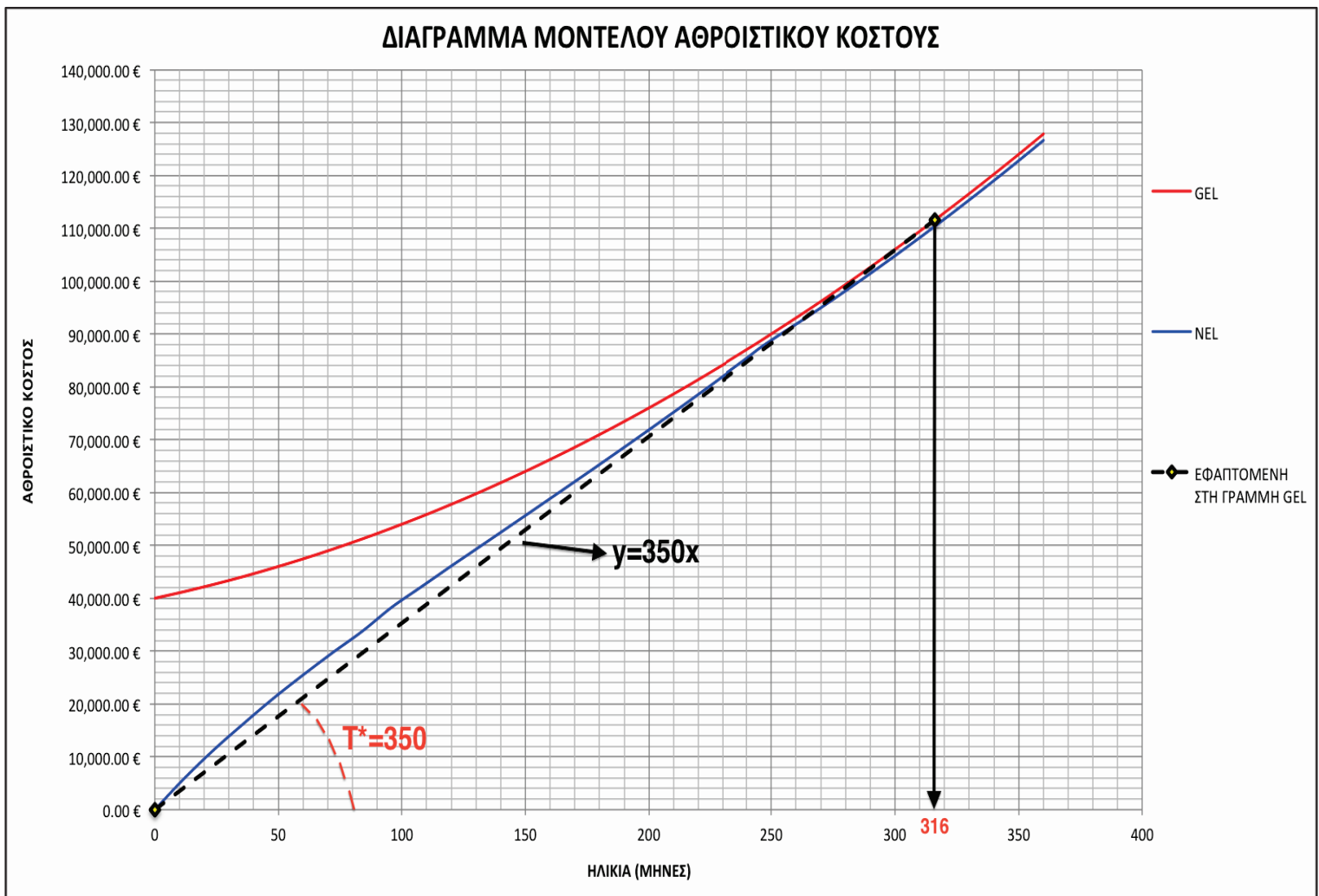
Εναλλακτικά, κρίνεται σκόπιμο να επισημανθεί ότι κοινά αποτελέσματα με τα προηγούμενα, εξάγονται και στην περίπτωση που χρησιμοποιηθούν τα κόστη των γραμμών GEL και NEL.

Με τη βοήθεια του πίνακα (6.5) και με βάση όσα αναφέρθηκαν στην ανάλυση του κεφαλαίου, και αφορούν στους ορισμούς των GEL και NEL, παρατίθεται ο παρακάτω πίνακας με τις τιμές αυτών και το αντίστοιχο διάγραμμα:

Πίνακας 6.3: Πίνακας όπου αποτυπώνονται τα κόστη GEL και NEL συναρτήσει της ηλικίας των οχημάτων.

ΜΗΝΕΣ	GEL	NEL
12	40,000.00 €	0.00 €
24	41,257.60 €	5,937.60 €
36	42,630.40 €	11,360.40 €
48	44,118.40 €	16,298.40 €
60	45,721.60 €	21,051.60 €
72	47,440.00 €	25,470.00 €
84	49,273.60 €	29,703.60 €
96	51,222.40 €	33,752.40 €
108	53,286.40 €	38,316.40 €
120	55,465.60 €	42,195.60 €
132	57,760.00 €	46,090.00 €
144	60,169.60 €	49,899.60 €
156	62,694.40 €	53,724.40 €
168	65,334.40 €	57,564.40 €
180	68,089.60 €	61,419.60 €
192	70,960.00 €	65,290.00 €
204	73,945.60 €	69,213.10 €
216	77,046.40 €	73,188.90 €

ΜΗΝΕΣ	GEL	NEL
228	80,262.40 €	77,204.90 €
240	83,593.60 €	81,286.10 €
247.43	87,040.00 €	85,422.50 €
264	89,231.64 €	88,022.64 €
276	94,278.40 €	93,069.40 €
288	98,070.40 €	96,861.40 €
300	101,977.60 €	100,768.60 €
312	106,000.00 €	104,791.00 €
324	110,137.60 €	108,928.60 €
336	114,390.40 €	113,181.40 €
348	118,758.40 €	117,549.40 €
360	123,241.60 €	122,032.60 €



Σχήμα 6.12: Διάγραμμα μοντέλου αθροιστικού κόστους.

Η ανάλυση της εν λόγω μεθοδολογίας προϋποθέτει την εύρεση της βέλτιστης οικονομικής διάρκειας ζωής L^* με βάση τη γραμμή NEL. Ωστόσο, όπως διαφαίνεται από το σχήμα (6.12), οι εφαπτόμενες προς τις γραμμές GEL και NEL αντιστοιχούν σε παραπλήσιες τιμές για τη βέλτιστη οικονομική διάρκεια ζωής L^* . Για λόγους καλύτερης ευκρίνειας, και μόνο, επιλέγεται ως L^* , η υπολογιζόμενη από τη γραμμή GEL.

Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα (6.12), παρατηρείται ότι η εφαπτόμενη (διακεκομμένη γραμμή) στη γραμμή GEL, που διέρχεται και από την αρχή των αξόνων, έχει εξίσωση $y = 350 \cdot x$ και αντιστοιχεί σε 316 μήνες. Έτσι, το ελάχιστο μέσο κόστος T^* του τυχαίου δείγματος οχημάτων είναι 350 €/μήνα και η βέλτιστη οικονομική διάρκεια ζωής L^* προκύπτει 316 μήνες, σε απόλυτη αντιστοιχία με τα προηγούμενα αποτελέσματα της ελαχιστοποίησης του κόστους.

6.5.4. ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΟΡΙΟΥ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ

Από την ανάλυση του συγκεκριμένου μοντέλου δύναται να εξαχθεί το όριο οικονομικής επισκευής, το οποίο προσδιορίζεται από την ακόλουθη εξίσωση και γραφικά αποτυπώνεται στο παρακάτω σχήμα:

$$r_0(t) = [\theta \cdot g(t)] - m(t) \quad (6.24)$$

$$\text{όπου: } g(t) = L_{tp} - L_t$$

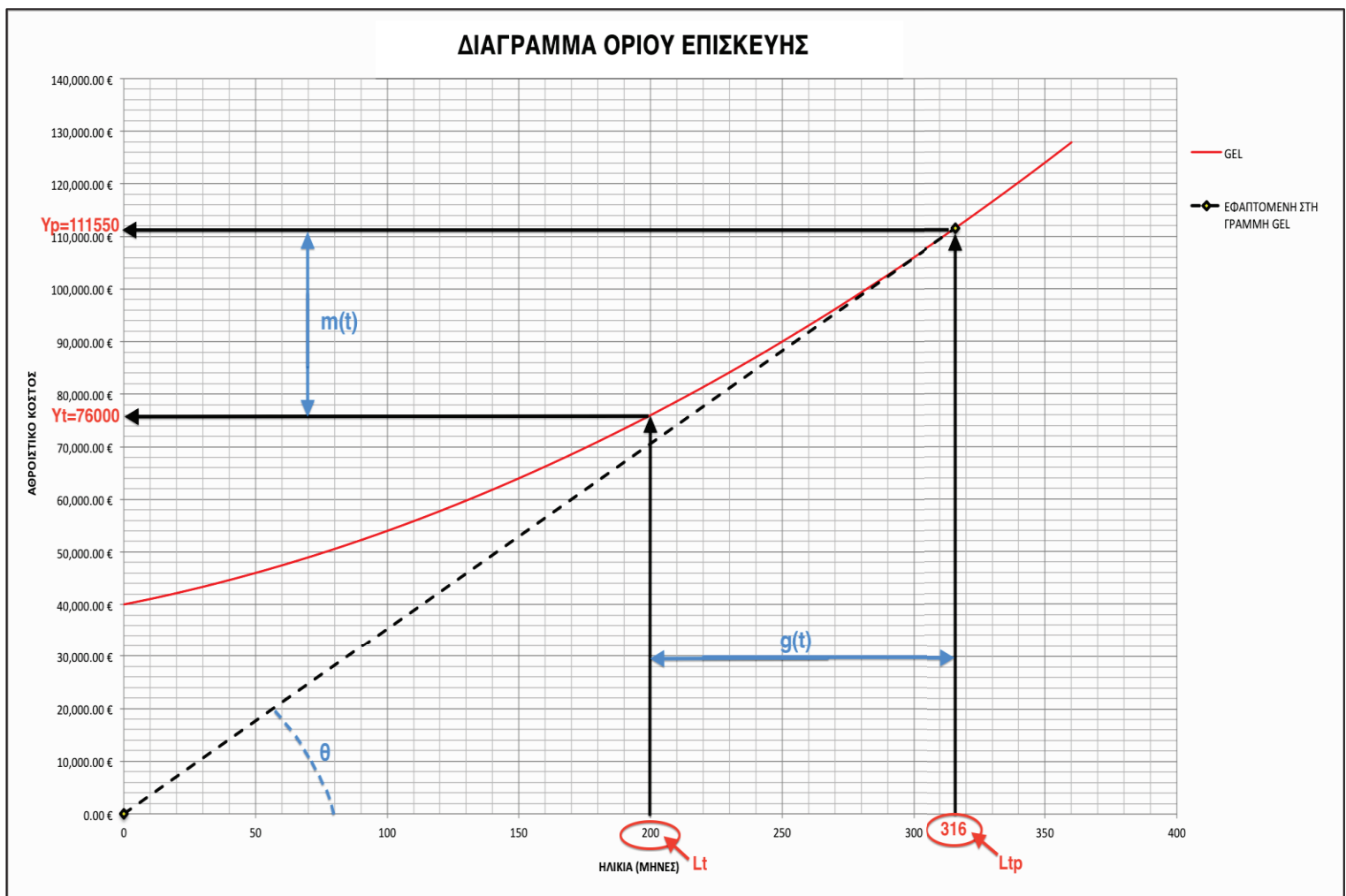
$$m(t) = Y_p - Y_t$$

Εφόσον το L^* αποτελεί τη βέλτιστη οικονομική διάρκεια ζωής του δείγματος οχημάτων που μελετήθηκε, αυτό αναπόφευκτα οδηγεί στο συμπέρασμα ότι θα πρέπει να λαμβάνεται ως σημείο αναφοράς για οποιαδήποτε απόφαση που αφορά είτε στην προμήθεια καινούριου οχήματος, είτε στην έναρξη της διαδικασίας ανακατασκευής, είτε σε ενδεχόμενη απόσυρση.

Έτσι, θεωρούμε στα πλαίσια του παραδείγματος και μόνο, ότι ως όριο ηλικίας των οχημάτων του δείγματος καθορίζεται:

$$L_{tp} = L^* = 316 \text{ μήνες} \quad (6.25)$$

Στο σχήμα (6.13) που ακολουθεί, για μία οποιαδήποτε τυχαία χρονική στιγμή L_t , είναι δυνατό να εκτιμηθεί το αντίστοιχο Y_t και κατόπιν να βρεθεί το οικονομικό όριο επισκευής, σύμφωνα με τη σχέση (6.24).



Σχήμα 6.13: Διάγραμμα ορίου επισκευής.

Από το παραπάνω διάγραμμα και για τυχαία χρονική στιγμή $L_t = 200$ μήνες, υπολογίζεται το αντίστοιχο οικονομικό όριο επισκευής r_0 . Έτσι θα ισχύει ότι:

$$\begin{aligned}
 r_0(t) &= [\theta \cdot g(t)] - m(t) \Rightarrow r_0(200) = [\theta \cdot (L_{tp} - L_t)] - (Y_p - Y_t) \Rightarrow \\
 &\Rightarrow r_0(t) = [\theta \cdot (L_{tp} - L_t)] - (Y_p - Y_t) \Rightarrow \\
 &\Rightarrow r_0(t) = [350 \cdot (316 - 200)] - (111550 - 76000) \Rightarrow \\
 &\Rightarrow r_0 = 5057 \text{ €} \qquad \qquad \qquad (6.26)
 \end{aligned}$$

Εκτός από την εκτίμηση του οικονομικού ορίου επισκευής, ξεχωριστά για κάθε χρονική στιγμή, μέσω της παραπάνω γραφικής απεικόνισης, κρίνεται απαραίτητη η πλήρης διατύπωση της μαθηματικής του έκφρασης συναρτήσει της ηλικίας των οχημάτων. Κατά συνέπεια, το διάγραμμα κατανομής του οικονομικού ορίου επισκευής έχει την ακόλουθη μορφή:






Σχήμα 6.14: Διάγραμμα κατανομής οικονομικού ορίου επισκευής.

Η καμπύλη του παραπάνω διαγράμματος αποτυπώνει την αναμενόμενη, άλλωστε, μορφή που πρέπει να ακολουθεί το οικονομικό όριο επισκευής ενός οχήματος. Διαφαίνεται ότι, ένα όχημα στα πρώτα έτη της οικονομικής διάρκειας ζωής του, επιβάλλεται να έχει πολύ υψηλό οικονομικό όριο επισκευής, προκειμένου αυτό να λειτουργεί αποτρεπτικά στην περίπτωση που τεθεί ενδεχόμενο ζήτημα περί ανακατασκευής ή αντικατάστασής του. Επισημαίνεται, επίσης, ότι η καμπύλη αυτού του ορίου πρέπει να έχει μόνιμα πτωτική τάση, καθώς “γηράσκει” ένα όχημα. Στα τελευταία έτη της οικονομικής διάρκειας ζωής του, προσεγγίζει τη μηδενική τιμή, το οποίο σημαίνει ότι δε θα πρέπει να δαπανηθούν επιπλέον χρήματα για περαιτέρω επισκευές.

6.5.5. ΑΠΟΦΑΣΗ ΓΙΑ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Στην παρούσα ενότητα, η απόφαση για ανακατασκευή ή μη, θα ληφθεί με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού προγράμματος. Τονίζεται ότι ο υπολογισμός των ποσοτικών μεγεθών υλοποιήθηκε με τη χρήση της γραμμής GEL για τους προαναφερθέντες λόγους.

Στο σημείο αυτό, κρίνεται σκόπιμο να απαντηθούν τρεις σημαντικές ερωτήσεις, που σχετίζονται με την απόφαση της ανακατασκευής:

-  Πότε;
-  Πόσο;
-  Τι κερδήθηκε;

Στην παρούσα μελέτη θεωρούμε ότι η καμπύλη του αθροιστικού κόστους του ανακατασκευασμένου οχήματος έχει την ίδια μορφή με αυτήν που ίσχυε πριν την ανακατασκευή. Αυτή η καμπύλη (του ανακατασκευασμένου οχήματος) είναι μετατοπισμένη οριζόντια και κατακόρυφα σε σχέση με την αρχική. Οι απαντήσεις στα παραπάνω τρία ερωτήματα προσεγγίζονται ως εξής:

- ✚ Η απάντηση στην ερώτηση “Πότε” ορίζεται ως η ηλικία του οχήματος κατά την οποία εξετάζεται η ανακατασκευή του (δηλαδή, για το παράδειγμα που ακολουθεί είναι 180 μήνες). Αυτό το σημείο αποτελεί το οριζόντιο σημείο αναφοράς για την καμπύλη GEL Rebuild.
- ✚ Η απάντηση στην ερώτηση “Πόσο” ορίζεται ως το ποσό που δαπανάται για την ανακατασκευή του οχήματος (δηλαδή, για το παράδειγμα που ακολουθεί είναι 10000 €). Αυτό το ποσό αποτελεί την κατακόρυφη διαφορά μεταξύ των GEL και GEL Rebuild, στη συγκεκριμένη ηλικία που εκτιμάται η υλοποίηση της ανακατασκευής (απάντηση στην ερώτηση “Πότε”);).
- ✚ Η απάντηση στην ερώτηση “Τι κερδήθηκε” ορίζεται ως η διάρκεια ζωής, η οποία “κερδήθηκε” με την ολοκλήρωση της ανακατασκευής, διότι στο τέλος αυτής το όχημα συμπεριφέρεται ως νεότερο (δηλαδή, για το παράδειγμα που ακολουθεί είναι $180-36=144$ μήνες). Πρόκειται για υποκειμενικό παράγοντα και εκτιμάται μόνο από τα επισκευαστικά τμήματα που υλοποιούν τις ανακατασκευές.

Στα παραδείγματα που ακολουθούν με τα αντίστοιχα διαγράμματά τους, εισάγονται τα εξής δεδομένα:

- ✚ Συντελεστής του πρωταβάθμιου όρου x της εξίσωσης του συνολικού κόστους του οχήματος.
- ✚ Συντελεστής του δευτεροβάθμιου όρου x^2 της εξίσωσης του συνολικού κόστους του οχήματος.
- ✚ Ηλικία του οχήματος κατά την οποία εξετάζεται η ανακατασκευή.
- ✚ Κόστος ανακατασκευής.
- ✚ “Ηλικία” μετά την ανακατασκευή.

Ενδεικτικά, παρακάτω αποτυπώνονται, με τη βοήθεια του υπολογιστικού προγράμματος, ορισμένοι συνδυασμοί κάποιων περιπτώσεων:

ΕΙΣΑΓΟΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ:

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ x^2 :	0.4	ΗΛΙΚΙΑ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ:	180
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ x :	100	ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΗΛΙΚΙΑΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗ:	36
		ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ:	10,000.00 €
		ΑΡΧΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ:	40,000.00 €

ΕΞΑΓΟΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ:

ΠΡΟΓΝΩΣΗ: **Rebuild!**

L^* :	316.23	T^* :	352.9823092
$L_{REBUILD}^*$:	420.52	$T_{REBUILD}^*$:	321.2190464



Σχήμα 6.15: Διάγραμμα στο οποίο απεικονίζεται θετική απόφαση ανακατασκευής για ηλικία ανακατασκευής 180 μήνες και πρόβλεψη ηλικίας μετά την ανακατασκευή 36 μήνες.

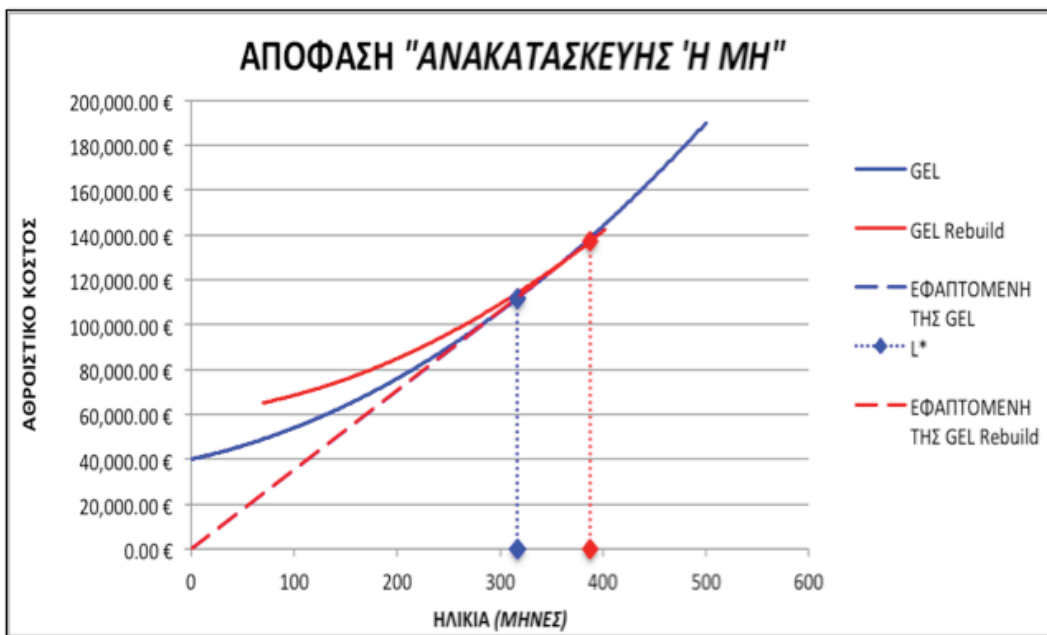
ΕΙΣΑΓΟΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ:

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ x^2 :	0.4	ΗΛΙΚΙΑ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ:	180
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ x :	100	ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΗΛΙΚΙΑΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗ:	110
		ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ:	10,000.00 €
		ΑΡΧΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ:	40,000.00 €

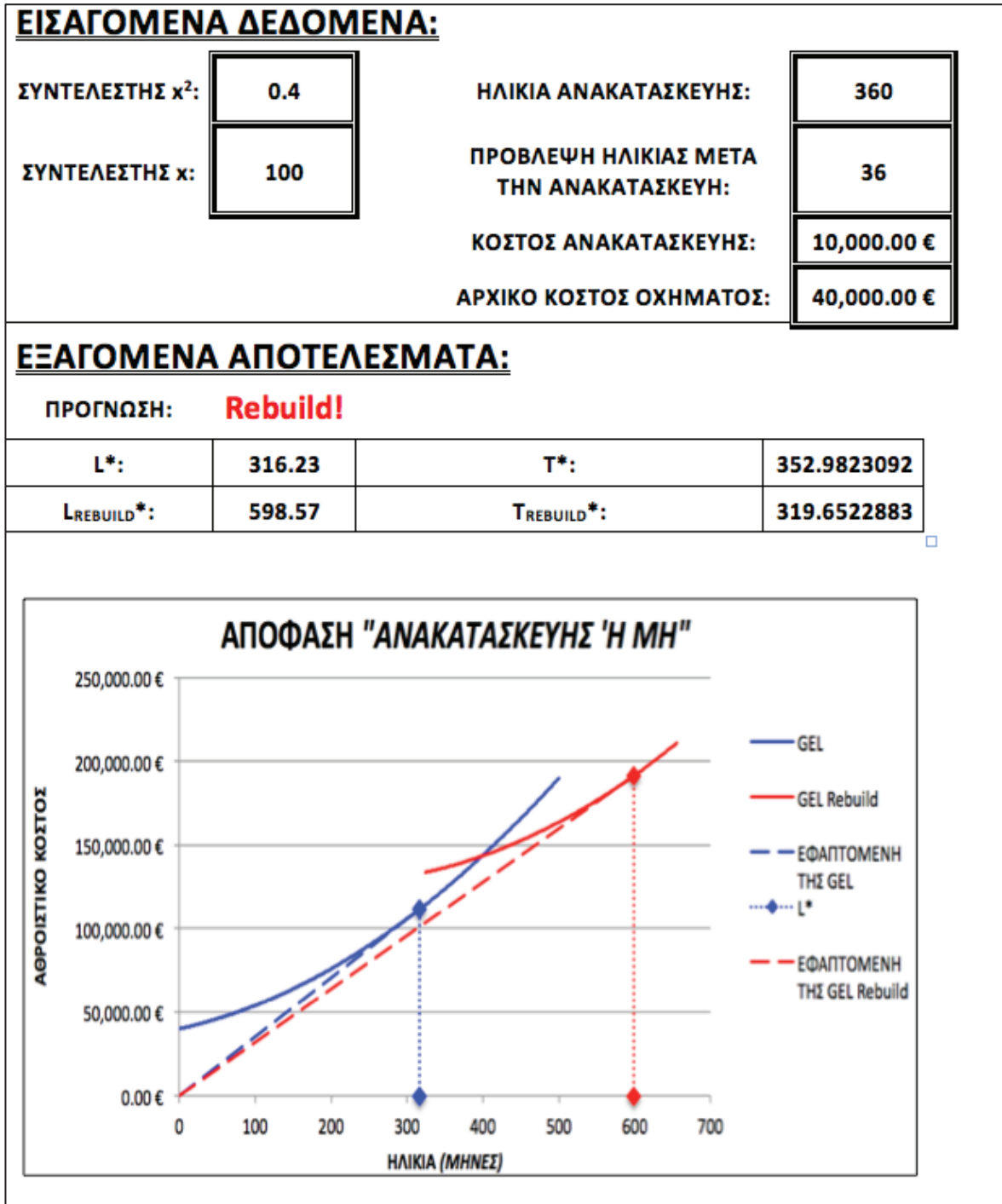
ΕΞΑΓΟΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ:

ΠΡΟΓΝΩΣΗ: **Don't Rebuild!**

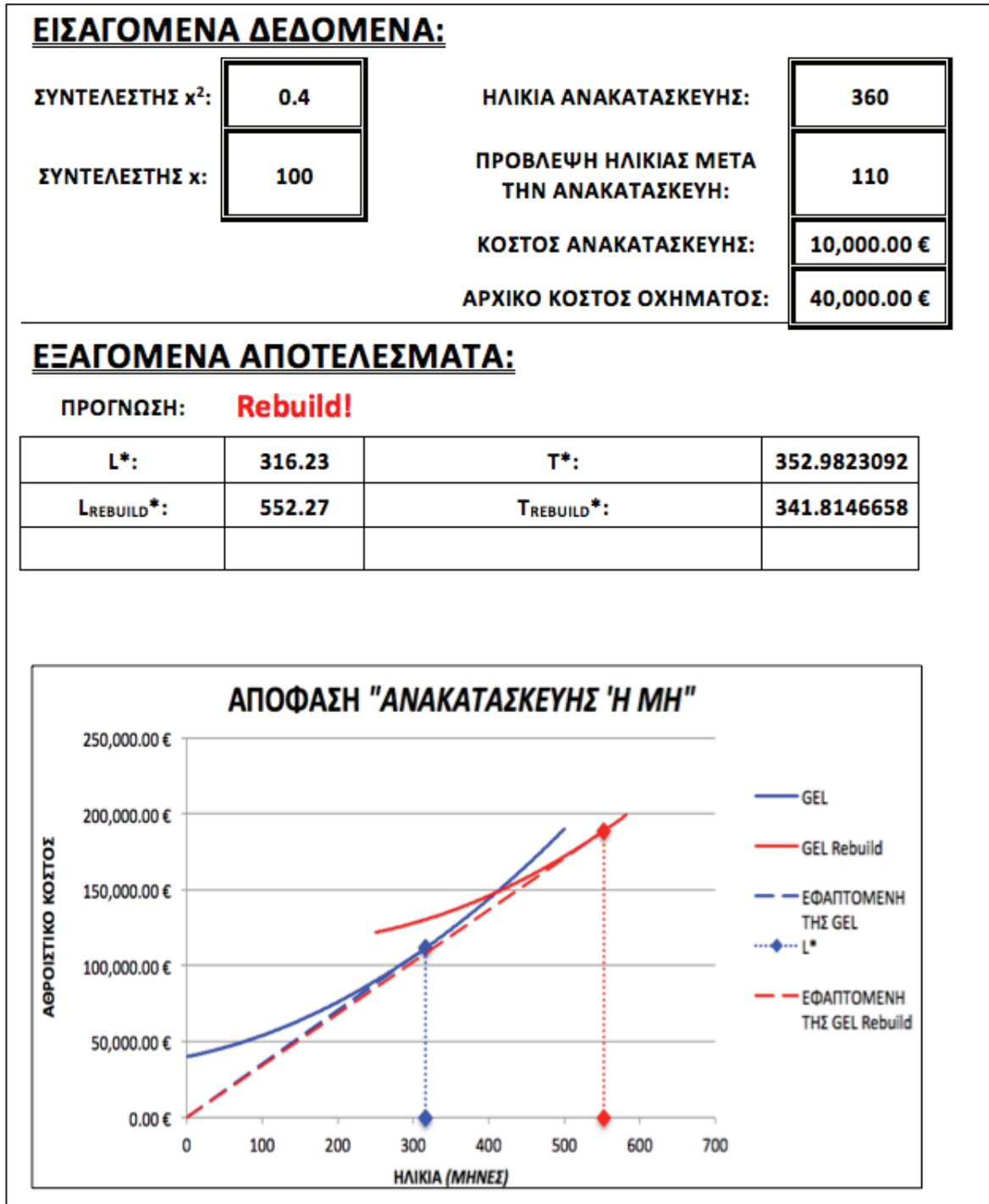
L^* :	316.23	T^* :	352.9823092
$L_{REBUILD}^*$:	387.56	$T_{REBUILD}^*$:	354.0453495



Σχήμα 6.16: Διάγραμμα στο οποίο απεικονίζεται αρνητική απόφαση ανακατασκευής για ηλικία ανακατασκευής 180 μήνες και πρόβλεψη ηλικίας μετά την ανακατασκευή 110 μήνες.



Σχήμα 6.17: Διάγραμμα στο οποίο απεικονίζεται θετική απόφαση ανακατασκευής για ηλικία ανακατασκευής 360 μήνες και πρόβλεψη ηλικίας μετά την ανακατασκευή 36 μήνες (Σημείωση: Στην περίπτωση αυτή το $T_{rebuild}^*$ συγκρίθηκε με το τρέχον T^*).



Σχήμα 6.18: Διάγραμμα στο οποίο απεικονίζεται αρνητική απόφαση ανακατασκευής για ηλικία ανακατασκευής 360 μήνες και πρόβλεψη ηλικίας μετά την ανακατασκευή 110 μήνες. (Σημείωση: Στην περίπτωση αυτή το $T_{rebuild}^*$ συγκρίθηκε με το τρέχον T^*).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΩΝ ΠΟΣΟΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ

7.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό κρίνεται απαραίτητο να αναφερθούν οι βασικότεροι εκείνοι παράγοντες, καθώς και τα κατάλληλα εκείνα ποσοτικά μεγέθη, μέσω των οποίων δύναται να πραγματοποιηθεί η αξιολόγηση της ανακατασκευής των οχημάτων. Αναμφισβήτητα, η διαδικασία των ανακατασκευών για τα οχήματα αποτελεί μια εξαιρετικά επίπονη, χρονοβόρα και πολυδάπανη στρατηγική, αλλά παράλληλα και άκρως απαραίτητη, διότι υποκαθιστά την αγορά καινούριων οχημάτων, η οποία απαιτεί ακόμη μεγαλύτερο προϋπολογισμό. Η "πολιτική" των ανακατασκευών εφαρμόζεται ευρέως σε παγκόσμιο επίπεδο, διότι είναι κατά πολύ πιο επικερδής συγκριτικά με την αγορά καινούριων οχημάτων και καθιστά τα οχήματα πλήρως λειτουργικά, αξιόπιστα και ανταγωνιστικά σε σχέση με τα καινούρια. Ωστόσο, πρέπει να τονιστεί ότι τα προαναφερθέντα ισχύουν, εφόσον η ανακατασκευή εκτελείται από εξειδικευμένο τεχνικό προσωπικό και με τον κατάλληλο τεχνικό εξοπλισμό.

Στις επόμενες παραγράφους ανάλυσης του μοντέλου αξιολόγησης της ανακατασκευής παρατίθενται τα κάτωθι στοιχεία:

- ✚ Περιγραφή της μεθοδολογίας και επισήμανση των παραδοχών που πραγματοποιήθηκαν κατά την ανάλυση δεδομένων.
- ✚ Πραγματοποίηση της ανάλυσης των δεδομένων της αξιοπιστίας για τα ανακατασκευασμένα οχήματα, του κόστους κύκλου ζωής και του κόστους ανακατασκευής αυτών.

Απώτερος σκοπός του παρόντος μοντέλου είναι να αναδείξει την πορεία υλοποίησης της διαδικασίας ανακατασκευής και να την συγκρίνει με την απόφαση προμήθειας καινούριων οχημάτων.

7.2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η μεθοδολογία ανάλυσης καλύπτει δύο βασικούς τομείς:

- ✚ Ποσοτική ανάλυση.
- ✚ Ποιοτική ανάλυση.

Η ποσοτική ανάλυση καθορίζει τα γενικά κριτήρια υλικοτεχνικής υποδομής των ανακατασκευασμένων οχημάτων. Περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της επιχειρησιακής διαθεσιμότητας, το αναμενόμενο κόστος του κύκλου ζωής των ανακατασκευασμένων οχημάτων, καθώς και μια σύγκριση του κόστους κύκλου ζωής των καινούριων οχημάτων με εκείνη των ανακατασκευασμένων. Εκτός από αυτά τα κριτήρια, μία περιγραφική ανάλυση πραγματοποιήθηκε για να προσδιορίσει τις κύριες τάσεις και τα χαρακτηριστικά των ανακατασκευασμένων οχημάτων. Η ανάλυση αξιολογεί τη διαδικασία της ανακατασκευής με βάση την αξιοπιστία και μέσω ποσοτικών μεγεθών, όπως ο μέσος χρόνος μέχρι τη βλάβη, η διαθεσιμότητα του εξοπλισμού, καθώς και ο χρόνος που έχει παρέλθει στη συντήρηση των οχημάτων. Οι επιπτώσεις του κόστους της ανακατασκευής ενός οχήματος και το κόστος του κύκλου ζωής του έχουν επίσης διερευνηθεί.

7.2.1. ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

7.2.1.1. ΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

Επιχειρησιακή Διαθεσιμότητα

Η επιχειρησιακή διαθεσιμότητα εξαρτάται από τη δυνατότητα συντήρησης, η οποία περιλαμβάνει παράγοντες εκτός του περιβάλλοντος του σχεδιασμού, όπως ο ανεπαρκής αριθμός ανταλλακτικών, οι ανεπαρκώς εκπαιδευμένοι επιθεωρητές και τεχνικό προσωπικό, καθώς και έλλειψη των κατάλληλων εργαλείων και διαδικασιών για την εκτέλεση των ενεργειών συντήρησης. Η επίτευξη εξαιρετικής συντήρησης απαιτεί ορθό σχεδιασμό, έλεγχο, ένα κατάλληλο λογιστικό σύστημα για τις προμήθειες των ανταλλακτικών, καθώς και την απαραίτητη κατάρτιση σε τεχνικό προσωπικό. Έτσι, λοιπόν, ως "Επιχειρησιακή διαθεσιμότητα είναι η πιθανότητα ενός εξοπλισμού να λειτουργήσει ικανοποιητικά σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, όταν χρησιμοποιείται υπό δεδομένες συνθήκες σε ένα ιδανικό περιβάλλον, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η προληπτική δράση". Η διαθεσιμότητα υπολογίζεται από τα δεδομένα που συγκεντρώνονται από τη βάση δεδομένων και δείχνει ότι τα περισσότερα από τα οχήματα μεταφέρονται για συντήρηση, όταν ένα σημαντικό δομικό στοιχείο παρουσιάζει βλάβη. Ο τύπος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της επιχειρησιακής διαθεσιμότητας είναι:

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + MDT} \quad (7.1)$$

όπου: A_o : επιχειρησιακή διαθεσιμότητα ενός συστήματος, υποσυστήματος ή στοιχείου (*Operational Availability*).

$MTBM$: μέσος χρόνος μεταξύ διαδοχικών συντηρήσεων (*Mean Time Between Maintenance*).

MDT : μέσος χρόνος διακοπής λειτουργίας λόγω της συντήρησης (*Mean Downtime*).




Ο μέσος χρόνος μεταξύ διαδοχικών συντηρήσεων (*MTBM*) περιλαμβάνει όλες τις διορθωτικές και προληπτικές ενέργειες (σε σύγκριση με το *MTBF-Mean Time Between Failure* που περιλαμβάνει μόνο το μέσο χρόνο μεταξύ των βλαβών). Η μέσος χρόνος διακοπής λειτουργίας περιλαμβάνει όλες εκείνες τις χρονικές στιγμές, κατά τις οποίες το όχημα δε λειτουργεί λόγω επισκευών ή εργασιών συντήρησης, συμπεριλαμβανομένης και της υλικοτεχνικής υποδομής (συγκριτικά με το μέσο χρόνο για την επισκευή *MTTR-Mean Time To Repair*, που είναι ο μέσος χρόνος για επισκευή και μόνο). Ο μέσος χρόνος (*MTTR*) υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τους χρόνους που απαιτούνται για την υλοποίηση της κάθε διορθωτικής συντήρησης και των προληπτικών εργασιών συντήρησης του συστήματος για κάθε επίπεδο συντήρησης.

Μέσος χρόνος μεταξύ διαδοχικών συντηρήσεων (*MTBM*)

Ο μέσος χρόνος μεταξύ διαδοχικών συντηρήσεων αποτελεί το δεύτερο βασικότερο ποσοτικό μέγεθος, για το οποίο πρέπει να γίνει μία εκτίμηση για κάθε όχημα του δείγματος που επιλέχθηκε. Έπειτα, κρίνεται σκόπιμο να αποτυπωθούν όλα τα αποτελέσματα σε κατάλληλο γράφημα και να εκτιμηθεί μία μέση τιμή για το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ διαδοχικών συντηρήσεων για τα οχήματα του δείγματος.

7.2.1.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

Μετά την εκτίμηση των λογιστικών μεγεθών, τα οποία αναφέρθηκαν προηγουμένως, επιβάλλεται στη συνέχεια να υλοποιηθεί μία λεπτομερής ανάλυση του κόστους. Ειδικότερα, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα κάτωθι στοιχεία:

-  Το συνολικό κόστος των ανταλλακτικών.
-  Το κόστος των εργατωρών.
-  Οι συνολικές εργατοώρες.

- ✚ Το κόστος μεταφοράς των ανταλλακτικών (Ε/όχημα) (αν υφίσταται).
- ✚ Το λειτουργικό κόστος του κύκλου ζωής μετά την ανακατασκευή για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Αφού εκτιμηθούν όλα τα προαναφερθέντα στοιχεία, δύναται να υπολογιστεί το συνολικό κόστος του κύκλου ζωής των οχημάτων. Σύμφωνα με την ανάλυση κόστους του κύκλου ζωής, το κόστος του κύκλου ζωής ορίζεται ως το σύνολο του προεξοφλημένου ποσού χρημάτων του κόστους ιδιοκτησίας, λειτουργίας, συντήρησης και διάθεσης του κάθε οχήματος κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου. Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει να εκτιμηθεί το κόστος κύκλου ζωής των ανακατασκευασμένων οχημάτων και στη συνέχεια να συγκριθεί με το αντίστοιχο αναμενόμενο κόστος κύκλου ζωής για την περίπτωση προμήθειας καινούριων οχημάτων. Στη συνέχεια, θα πρέπει να εκτιμηθεί με ικανοποιητική ακρίβεια το μέγεθος της επιχειρησιακής διαθεσιμότητας A_0 , το οποίο ορίστηκε προηγουμένως, και να συγκριθεί με αυτό των καινούριων οχημάτων. Είναι κατανοητό ότι η επιχειρησιακή διαθεσιμότητα των ανακατασκευασμένων οχημάτων θα πρέπει να προσεγγίζει αυτή των καινούριων οχημάτων, διότι αντιθέτως η διαδικασία της ανακατασκευής θεωρείται ανεπαρκής. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να γίνουν σημαντικές τροποποιήσεις στον τρόπο υλοποίησής της, με απώτερο σκοπό της αύξηση της επιχειρησιακής διαθεσιμότητας και επομένως την εξοικονόμηση σημαντικών χρηματικών ποσών.

7.2.1.3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΛΑΒΩΝ

Μετά την ανάλυση του κόστους κύκλου ζωής, κρίνεται απαραίτητο να συλλεχθούν και να αποτυπωθούν σε κατάλληλο πίνακα τα παρακάτω στοιχεία:

- ✚ Ο τύπος των παρατηρούμενων βλαβών, μετά την ανακατασκευή.
- ✚ Ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων ανταλλακτικών για την κάθε βλάβη.

- ✚ Ο χρόνος διακοπής λειτουργίας του οχήματος για την επισκευή της κάθε βλάβης (δηλαδή είναι ο χρόνος σε μέρες που απαιτείται για την επισκευή της βλάβης).
- ✚ Το κόστος των ανταλλακτικών.
- ✚ Το ποσοστό του κάθε ανταλλακτικού συναρτήσει του συνόλου αυτών.

Για να απεικονιστούν καλύτερα οι πιο συνηθισμένες κατηγορίες βλαβών, είναι προτιμότερο να χωριστούν σε τέσσερις ομάδες. Αναλυτικότερα, έχουμε:

- ✚ Πρώτη ομάδα:
Βλάβες στον κινητήρα και στο κιβώτιο ταχυτήτων.
- ✚ Δεύτερη ομάδα:
Άλλες μηχανικές βλάβες, όπως στο σύστημα του συμπλέκτη, στο σύστημα εκκίνησης, καθώς και βλάβη του συστήματος πέδησης.
- ✚ Τρίτη ομάδα:
Ηλεκτρικές βλάβες.
- ✚ Τέταρτη ομάδα:
Όλα τα υπόλοιπα διαφορετικά είδη βλαβών.

Από τις παραπάνω τέσσερις ομάδες βλαβών, είναι κατανοητό ότι το επίκεντρο του ενδιαφέροντος θα πρέπει να εστιάζεται στις βλάβες που αφορούν στον κινητήρα και στο κιβώτιο ταχυτήτων, διότι αυτές δύναται να ακινητοποιήσουν ένα όχημα άμεσα.

- Βλάβες κινητήρα και κιβωτίου ταχυτήτων.
Πρόκειται για βασικές βλάβες που αξίζει να μελετηθούν, επειδή είναι οι πιο δαπανηρές για επισκευή. Επίσης, είναι ενδεικτικές της ανθρώπινης εργασίας και μπορούν να υποδείξουν μετέπειτα κακή χρήση. Μία βλάβη στον κινητήρα ή στο κιβώτιο ταχυτήτων σε μικρή διανυθείσα απόσταση υποδεικνύει συνήθως κακή κατασκευή. Ο μέσος χρόνος (σε km) μεταξύ διαδοχικών βλαβών των κύριων στοιχείων ανέρχεται στα 10.000 km τόσο για τον κινητήρα όσο και για το κιβώτιο ταχυτήτων, σύμφωνα με το δείγμα οχημάτων που

μελετά η παρούσα ενότητα. Αυτό σημαίνει ότι αυτές οι βλάβες συμβαίνουν χρονικά κοντά στην πρώτη προγραμματισθείσα προληπτική συντήρηση και είναι πολύ δύσκολο να αποτραπούν. Σε περίπτωση, όμως, που διαπιστωθεί κύρια βλάβη σε πολύ μικρή διανυθείσα απόσταση (π.χ της τάξης των 2000 Km), τότε το γεγονός αυτό χαρακτηρίζεται ως μη φυσιολογικό και υποδεικνύει κακή ποιότητα κατασκευής.

Εκτός από την ποσοτική ανάλυση της μεθοδολογίας, η οποία αναλύθηκε προηγουμένως και περιλαμβάνει την εκτίμηση μερικών λογιστικών μεγεθών, την ανάλυση του κόστους κύκλου ζωής και την αναλυτική περιγραφή όλων των παρατηρούμενων βλαβών, κρίνεται απαραίτητη να γίνει και κάποια ποιοτική ανάλυση.

7.2.2. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ


Ο ρόλος της ποιοτικής ανάλυσης αποσκοπεί κατά κύριο λόγο στην επιτυχία της διαδικασίας ανακατασκευής. Υπάρχουν μερικά κριτήρια, τα οποία πρέπει να ληφθούν υπόψη και συνοψίζονται στα κάτωθι:

- ✚ Η επίτευξη των στόχων του σχεδιασμού.
- ✚ Τα οφέλη τελικής χρήσης.
- ✚ Κύρια όψη διαχείρισης της επιτυχίας του έργου.

Στην περίπτωση ενός έργου ανακατασκευής, θα υπάρχουν πράγματα όπως η δυνατότητα για μελλοντική ένταξη της ανακατασκευής επιλεγμένων οχημάτων σε μία στρατηγική διαχείρισης του στόλου για την αύξηση της διαθεσιμότητας του εξοπλισμού, την Αο. Για τη βελτίωση της ανακατασκευής, επιβάλλεται να συζητηθούν ζητήματα που σχετίζονται με τα κάτωθι:

✚ Άδειες τεχνικού προσωπικού:

Η γνώση ανά πάσα χρονική στιγμή του διαθέσιμου προσωπικού και η προσπάθεια αύξησής του θα βελτιώσει σίγουρα τη διαδικασία της ανακατασκευής.

 Σαφής κατανομή των καθηκόντων.

 Ανταλλακτικά:

Η προμήθεια των απαιτούμενων ανταλλακτικών θα πρέπει να είναι άμεση και χωρίς να μεσολαβούν μεγάλες χρονικές καθυστερήσεις.

 Εκπαίδευση των χειριστών:

Η επιτυχία μίας ανακατασκευής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό και από τον τρόπο χρήσης των οχημάτων. Η κακή χρήση και πολλές φορές η άγνοια των χειριστών σε βασικά θέματα συντήρησης προκαλεί μείωση της επιχειρησιακής διαθεσιμότητας των οχημάτων πολύ γρηγορότερα από ό,τι αναμενόταν στην πραγματικότητα, μετά την υλοποίηση της ανακατασκευής αυτών.

 Επικοινωνία-Συνεργασία:

Υπάρχουν αρκετοί ακόμα παράγοντες, που δύναται να επηρεάσουν την εξέλιξη της διαδικασίας της ανακατασκευής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο βαθμός επικοινωνίας και συνεργασίας που επιτυγχάνεται μεταξύ των επιμέρους επισκευαστικών τμημάτων, το οποίο μπορεί να μειώσει κατά πολύ το χρόνο υλοποίησης της ανακατασκευής.

 Άλλοι παράγοντες.

7.3. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

7.3.1. ΚΥΡΙΑ ΕΡΩΤΗΣΗ

Μετά την ολοκλήρωση της ανακατασκευής των οχημάτων και αφού προηγουμένως πραγματοποιήθηκε η ποσοτική και ποιοτική ανάλυση του έργου, κρίνεται απαραίτητο να απαντηθούν ορισμένα ερωτήματα, όσον αφορά

στην επιτυχία ή μη της ανακατασκευής. Το πρωταρχικό ερώτημα που πρέπει να μελετηθεί είναι: "Άξιζε τον κόπο το έργο ανακατασκευής των οχημάτων;" Για να δοθεί ακριβής απάντηση στο εν λόγω ερώτημα, επιβάλλεται να διερευνηθούν οι παρακάτω παράγοντες:

- ✚ Πρέπει να γίνει εκτίμηση του μεγέθους της διαθεσιμότητας των οχημάτων μετά την ανακατασκευή τους. Η επιτυχία ή μη της ανακατασκευής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα επιθυμητά όρια που έχουν τεθεί για τη διαθεσιμότητα, πριν την έναρξη της ανακατασκευής.

- ✚ Εκτίμηση του μέσου χρόνου μεταξύ διαδοχικών εργασιών συντήρησης των ανακατασκευασμένων οχημάτων. Επισημαίνεται ότι χαμηλός μέσος χρόνος μεταξύ συντηρήσεων για τα ήδη ανακατασκευασμένα οχήματα σημαίνει χαμηλή ποιότητα της ανακατασκευής. Άρα, θα πρέπει το μέγεθος (*MTBM*) να λαμβάνει σχετικά υψηλές τιμές, το οποίο αποτελεί σημαντική ένδειξη της αποτελεσματικότητας της ανακατασκευής.

- ✚ Πρέπει να γίνει σύγκριση του κόστους κύκλου ζωής των ανακατασκευασμένων οχημάτων με αυτό των νέων οχημάτων για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Αναμφισβήτητα, η περίπτωση κατά την οποία τα ανακατασκευασμένα οχήματα έχουν μικρότερο κόστος κύκλου ζωής, συγκριτικά με τα καινούρια για το ίδιο χρονικό διάστημα, χαρακτηρίζεται ως η επιθυμητή.

7.3.2. ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΕΣ ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

7.3.2.1. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Όσον αφορά στο σχεδιασμό του έργου της ανακατασκευής, μία σημαντική ερώτηση που πρέπει να εξεταστεί είναι: "Ποιοι ήταν οι σαφείς στόχοι που τέθηκαν κατά την ανακατασκευή;"

Για την πληρέστερη απάντηση στο εν λόγω ερώτημα, θα πρέπει να καθορισθεί με σαφήνεια, αν ο κύριος στόχος είναι η εξοικονόμηση κόστους ή κάποιος άλλος στόχος ή ακόμα και συνδυασμός πολλών. Το κόστος δεν παίζει πάντα τον πρωταρχικό ρόλο σε μια ανακατασκευή και αυτό συμβαίνει, διότι πολύ συχνά μας ενδιαφέρουν περισσότερο παράγοντες, όπως η αξιοπιστία των οχημάτων, η απόδοσή τους και η ανταγωνιστικότητα αυτών. Προτού μια εταιρεία ή μια ομάδα αναλάβει ένα έργο, πρέπει να προσδιορίσει τις απαιτήσεις και τους στόχους του έργου και στη συνέχεια να τους κρατήσει ως κορυφαίες προτεραιότητές της. Η ανικανότητά της να καθορίσει σαφείς στόχους μπορεί να οδηγήσει στην αποτυχία του έργου και την απώλεια όλων των κερδών. Ένας καλός διαχειριστής του έργου πρέπει να ξεκινήσει με τον προσδιορισμό του προβλήματος, τις απαιτήσεις και τους στόχους που πρέπει να επιτευχθούν.

Επιπροσθέτως, κρίνεται απαραίτητο να διερευνηθεί το εξής ερώτημα: *"Έχει σχεδιαστεί το έργο της ανακατασκευής με λεπτομέρεια, ώστε να ακολουθήσει το χρονοδιάγραμμα και να παραμείνει εντός του προϋπολογισμού;"*

Σχετικά με το παραπάνω ερώτημα, πρέπει να μελετηθούν ζητήματα που αφορούν στη διαθεσιμότητα των ανταλλακτικών, καθώς και τους τρόπους προμήθειας και μεταφοράς αυτών.

7.3.2.2. ΣΤΟΧΟΙ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Όσον αφορά στους τελικούς στόχους του έργου, επιβάλλεται να εκτιμηθεί αν ικανοποιήθηκαν και σε ποιο βαθμό. Τονίζεται ότι ο στόχος του έργου για την επίτευξη μικρότερου κόστους από αυτό της απόκτησης νέων οχημάτων βασίζεται κατά κύριο λόγο στην ορθότητα εκτίμησης της ανάλυσης του κόστους κύκλου ζωής. Αντιθέτως, όταν οι κύριοι στόχοι του έργου της ανακατασκευής εστιάζονται στην επίτευξη του μεγαλύτερου δυνατού βαθμού επιχειρησιακής διαθεσιμότητας και ταυτόχρονα σε έναν υψηλό μέσο χρόνο

μεταξύ διαδοχικών συντηρήσεων, τότε η ανάλυση του κόστους κύκλου ζωής δε διαδραματίζει τον μείζονα ρόλο.

7.4. ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΑΚΑΣΙΑΣ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

7.4.1. ΜΕΣΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΤΑΞΥ ΔΙΑΔΟΧΙΚΩΝ ΒΛΑΒΩΝ (ΜΤΒΜ)- ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ (Α₀)

Υποθέτουμε ότι από δειγματοληψία 27 ανακατασκευασμένων οχημάτων ενός τυχαίου δείγματος ελήφθησαν στοιχεία, τα οποία αφορούν στο μέσο χρόνο μεταξύ διαδοχικών συντηρήσεων και στο μέσο χρόνο διακοπής λειτουργίας αυτών, λόγω συντηρήσεων (για χρονικό διάστημα 3 ετών λειτουργίας μετά την ολοκλήρωση της ανακατασκευής τους). Έτσι, η εκτίμηση της επιχειρησιακής διαθεσιμότητας αυτών προκύπτει, σύμφωνα με τη σχέση (7.1) και τα εν λόγω στοιχεία συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 7.1: Πίνακας όπου αποτυπώνονται ο μέσος χρόνος μεταξύ διαδοχικών συντηρήσεων, ο μέσος χρόνος διακοπής λειτουργίας, λόγω συντηρήσεων και η επιχειρησιακή διαθεσιμότητα αυτών.

Α/Α	ΜΕΣΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΤΑΞΥ ΔΙΑΔΟΧΙΚΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΕΩΝ-ΜΤΒΜ (ΗΜΕΡΕΣ)	ΜΕΣΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΔΙΑΚΟΠΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ-MDT (ΗΜΕΡΕΣ)	ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ-Α ₀ (%)
1	27	21	56.40%
2	84	7	92.60%
3	107	4	96.50%
4	57	3	94.30%
5	59	10	86.00%
6	51	23	69.30%
7	40	7	85.40%
8	83	13	86.10%
9	63	12	84.10%
10	55	8	87.30%
11	26	11	70.00%
12	29	8	78.90%
13	80	12	86.80%
14	92	6	94.30%

Α/Α	ΜΕΣΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΤΑΞΥ ΔΙΑΔΟΧΙΚΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΕΩΝ-ΜΤΒΜ (ΗΜΕΡΕΣ)	ΜΕΣΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΔΙΑΚΟΠΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ-ΜΔΤ (ΗΜΕΡΕΣ)	ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ-Α ₀ (%)
15	29	18	61.10%
16	148	3	98.20%
17	39	24	62.40%
18	78	16	83.20%
19	27	3	90.60%
20	33	22	60.00%
21	161	15	91.60%
22	79	6	92.50%
23	71	12	85.50%
24	27	15	65.00%
25	82	5	94.60%
26	27	0.45	98.40%
27	143	13	91.70%

Στον πίνακα που ακολουθεί (7.2) συνοψίζονται τα ποσοτικά μεγέθη του μέσου χρόνου μεταξύ διαδοχικών συντηρήσεων και της διαθεσιμότητας του δείγματος των οχημάτων και προκύπτουν οι μέσοι όροι αυτών:

$$A_0 = 83.07\% \quad (7.2)$$

$$MTBM = 67 \text{ εργάσιμες ημέρες} \quad (7.3)$$

Πίνακας 7.2: Πίνακας όπου αποτυπώνονται τα ποσοτικά μεγέθη του μέσου χρόνου μεταξύ διαδοχικών συντηρήσεων και της διαθεσιμότητας του δείγματος των οχημάτων.

ΠΟΣΟΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ	ΜΤΒΜ (ΗΜΕΡΕΣ)	Α ₀ (%)
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	67	83.07%
ΔΙΑΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΚΑΙ ΕΛΑΧΙΣΤΗΣ ΤΙΜΗΣ	135	42.00%
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	26	56.40%
ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	161	98.40%

Για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων, τα στοιχεία της διαθεσιμότητας για τα ανακατασκευασθέντα οχήματα ομαδοποιήθηκαν σε

τρεις κατηγορίες. Παρατηρείται ότι το 41% των οχημάτων του δείγματος είχε επιχειρησιακή διαθεσιμότητα άνω του 90%, το 30% είχε επιχειρησιακή διαθεσιμότητα 80%-90% και το υπόλοιπο 29% αυτών κάτω του 80%. Τα προαναφερθέντα αποτελέσματα αποτυπώνονται στο σχήμα που ακολουθεί (7.1).



Σχήμα 7.1: Γράφημα που αναπαριστά την κατανομή της επιχειρησιακής διαθεσιμότητας του δείγματος των 27 οχημάτων.

Αντίστοιχα, για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων, τα στοιχεία του μέσου χρόνου μεταξύ διαδοχικών συντηρήσεων του δείγματος των 27 οχημάτων, ομαδοποιήθηκαν και διαπιστώθηκε ότι το 48% των οχημάτων του δείγματος παρουσίασε τουλάχιστον μία βλάβη σε περισσότερες από 60 ημέρες, το 15% αυτών παρουσίασε τουλάχιστον μία βλάβη σε διάστημα 45 έως 60 εργάσιμων ημερών και το υπόλοιπο 37% εμφάνισε τουλάχιστον μία βλάβη σε λιγότερες από 45 εργάσιμες μέρες. Η κατανομή τους απεικονίζεται στο ακόλουθο σχήμα (7.2).



Σχήμα 7.2: Γράφημα που αναπαριστά την κατανομή του μέσου χρόνου μεταξύ διαδοχικών συντηρήσεων του δείγματος των 27 οχημάτων.

Η διαδικασία της ανακατασκευής αξιολογείται με βάση τους κύριους στόχους που έχουν προκαθοριστεί όσον αφορά στο ποσοστό της διαθεσιμότητας των οχημάτων. Για να θεωρηθεί ικανοποιητική η ανακατασκευή του συγκεκριμένου δείγματος οχημάτων (σύμφωνα με τις επιχειρησιακές ανάγκες και τις απαιτήσεις του στόλου των οχημάτων), υποθέτουμε ότι ως αποδεκτή τιμή της επιχειρησιακής διαθεσιμότητας καθορίζεται η τιμή:

$$A_0 = 90.00\% \quad (7.4)$$

Με μοναδικό κριτήριο αυτό το μέγεθος, διαπιστώνεται ότι η διαδικασία της ανακατασκευής του εν λόγω δείγματος δεν ήταν ικανοποιητική και χρήζει περαιτέρω βελτίωσης. Σε αυτήν την περίπτωση, θα ήταν προτιμότερη η προμήθεια καινούριων οχημάτων.

7.4.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΤΩΝ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Εκτός από τους προαναφερθέντες παράγοντες που περιγράφηκαν για την αξιολόγηση της ανακατασκευής, κρίνεται απαραίτητη η εκτίμηση του κόστους κύκλου ζωής του δείγματος οχημάτων, σύμφωνα με την ανάλυση που προηγήθηκε στο θεωρητικό μέρος του συγκεκριμένου μοντέλου. Επειδή, στην παρούσα φάση δεν προέχει η εκτενής περιγραφική ανάλυση των διαπιστωμένων βλαβών κατά την ανακατασκευή των οχημάτων, κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστεί ο τρόπος απεικόνισης και γι' αυτό το λόγο, παρακάτω παρατίθεται ενδεικτικός πίνακας με τα απαραίτητα στοιχεία που θα πρέπει να συλλέγονται για την εκτίμηση του κόστους κύκλου ζωής.

Πίνακας 7.3: Ενδεικτικός πίνακας με τα απαραίτητα στοιχεία που θα πρέπει να συλλέγονται για την εκτίμηση του κόστους κύκλου ζωής.

Α/Α	ΤΥΠΟΣ ΒΛΑΒΗΣ	ΜΕΣΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΔΙΑΚΟΠΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ-MDT (ΗΜΕΡΕΣ)	ΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΤΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ	ΤΕΜΑΧΙΑ ΑΝΤΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ
1	ΠΛΑΤΗ ΚΑΘΙΣΜΑΤΟΣ	1	43 €	4
2	ΜΑΣΚΑ ΠΡΟΦΥΛΑΚΤΗΡΑ	1	103 €	2
...
...

Στη συνέχεια, κρίνεται απαραίτητη η ομαδοποίηση των παρατηρούμενων βλαβών, σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση που προηγήθηκε στο θεωρητικό μέρος αυτού του κεφαλαίου. Η διαδικασία αυτή συμβάλλει στην καλύτερη κατανόηση της σημαντικότητας των βλαβών.

Αφού υλοποιηθεί η περιγραφική ανάλυση των βλαβών, επιβάλλεται σε τελικό στάδιο να γίνει σύγκριση του κόστους κύκλου ζωής των ανακατασκευασμένων οχημάτων με αυτό των αντίστοιχων ιδίου τύπου καινούριων οχημάτων. Έτσι,

τα απαραίτητα στοιχεία θα πρέπει να συνοψίζονται σε ενδεικτικό πίνακα, όπως αυτόν που ακολουθεί:

Πίνακας 7.4: Ενδεικτικός πίνακας που αποτυπώνει τη σύγκριση μεταξύ κόστους ανακατασκευής-αγοράς οχημάτων.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΟΣΤΟΥΣ	ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΟ ΟΧΗΜΑ	ΚΑΙΝΟΥΡΙΟ ΟΧΗΜΑ
ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΗ ΑΞΙΑ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	10000 €	40000 €
ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΤΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ	8000 €	∅ €
ΚΟΣΤΟΣ ΕΡΓΑΤΟΩΡΩΝ	2000 €	∅ €
ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΑΝΤΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ	1000 €	∅ €
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	2000 €	∅ €
ΑΘΡΟΙΣΜΑ	23000 €	40000 €

Παρατηρείται ότι το κόστος κύκλου ζωής για την περίπτωση που πραγματοποιηθεί ανακατασκευή των οχημάτων είναι αρκετά μικρότερο συγκριτικά με τα καινούρια οχήματα και κατά συνέπεια, με μοναδικό κριτήριο αυτό το μέγεθος, διαπιστώνεται ότι η διαδικασία της ανακατασκευής για το εν λόγω δείγμα κρίνεται αρκετά ικανοποιητική και οικονομικά συμφέρουσα. Σε αντίθετη περίπτωση, αν το συνολικό κόστος ανακατασκευής προέκυπτε μεγαλύτερο του κόστους προμήθειας καινούριων οχημάτων, τότε θα ήταν προτιμότερη η προμήθεια καινούριων οχημάτων.

Τονίζεται ότι για τη σωστή αξιολόγηση και την ορθή λήψη απόφασης μεταξύ ανακατασκευής ή αγοράς ενός οχήματος, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ταυτόχρονα και οι τρεις προαναφερθέντες παράγοντες που αναπτύχθηκαν παραπάνω. Υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες οι διαχειριστές των αποφάσεων καθορίζουν εξ'αρχής ποιό ή ποιά από αυτά τα τρία κριτήρια προκρίνονται ως πιο σημαντικά για την αξιολόγηση της ανακατασκευής.

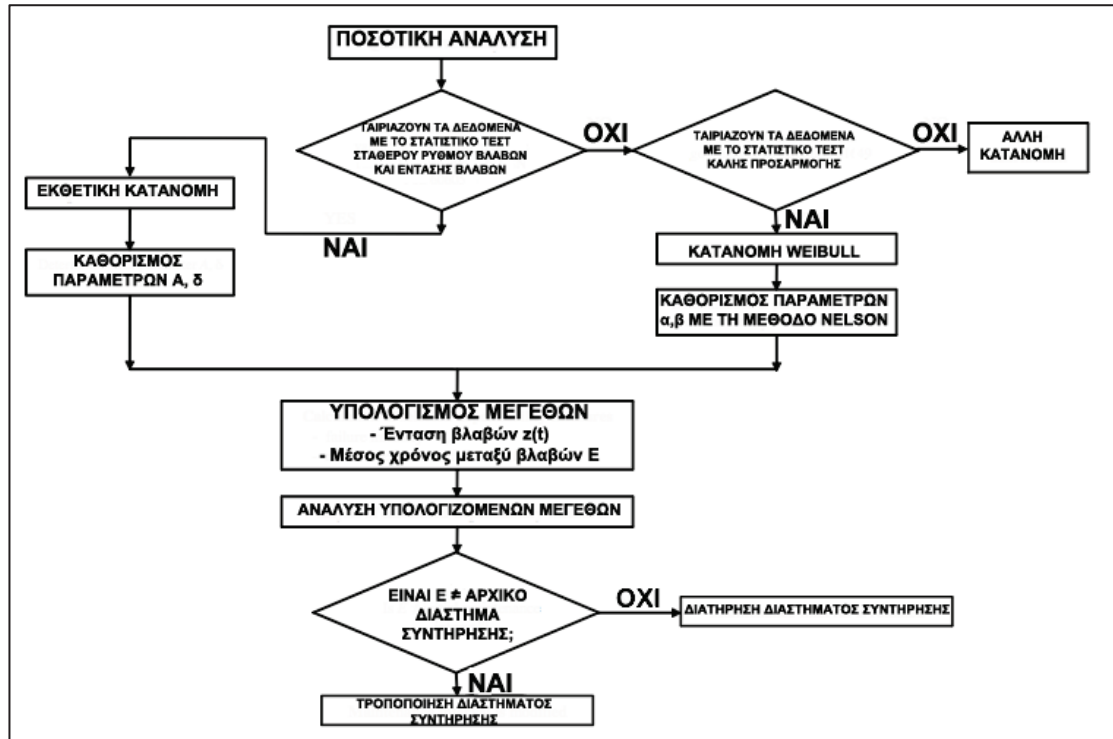


ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΠΟΥ ΒΑΣΙΖΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ

Α.1. ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Στην παρούσα ενότητα αποτυπώνεται, αρχικά, ένα λογικό διάγραμμα ροής της ποσοτικής ανάλυσης, το οποίο αποτελεί σημαντικό μέρος του τρέχοντος προγράμματος συντήρησης.



Σχήμα Α.1: Λογικό διάγραμμα ροής ποσοτικής ανάλυσης.

A.1.1. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΤΥΠΟΥ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

Για τον προσδιορισμό μιας συνεχούς τύπου κατανομής, αυτό το μαθηματικό μοντέλο βασίζεται σε τρεις διαφορετικές δοκιμές. Πραγματοποιούνται, λοιπόν, οι εξής έλεγχοι:

- ✚ Στατιστικό τεστ περί εγκυρότητας του σταθερού ρυθμού βλαβών.
- ✚ Στατιστικό τεστ περί εγκυρότητας της σταθερότητας της έντασης των βλαβών.
- ✚ Στατιστικό τεστ περί καλής προσαρμογής των δεδομένων στην κατανομή Weibull.

Τα αποτελέσματα από τις παραπάνω δοκιμές, αποτελούν τη βάση για την επιλογή της κατάλληλης συνεχούς κατανομής και κατά συνέπεια και για τον υπολογισμό του μέσου χρόνου μεταξύ των βλαβών. Μετά τον προσδιορισμό του καταλληλότερου τύπου κατανομής, η οποία θα περιγράφει τις ιδιότητες ενός οχήματος, απαιτείται να γίνει επαλήθευση της τάσης του ποσοστού των

βλαβών για τα στοιχεία του οχήματος που δεν επισκευάζονται, καθώς και της έντασης των βλαβών για τα επισκευάσιμα εξαρτήματα.

A.1.1.1.ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟ ΤΕΣΤ ΠΕΡΙ ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΒΛΑΒΩΝ

Η δοκιμή αυτή έχει ως στόχο τον προσδιορισμό της εγκυρότητας της υπόθεσης περί σταθερού ρυθμού βλαβών για τα στοιχεία εκείνα ενός οχήματος, που δεν είναι επισκευάσιμα. Στο εν λόγω μαθηματικό μοντέλο, θεωρήθηκε, ότι το όχημα συμπεριφέρεται ως μη επισκευάσιμος εξόπλισμός και πρέπει να αποσυρθεί από την παρατήρηση, μετά την εμφάνιση της πρώτης βλάβης. Η δοκιμή που καθορίζεται με αυτόν τον τρόπο, προορίζεται για να διαπιστωθεί αν το ποσοστό των βλαβών στα οχήματα ακολουθεί εκθετική κατανομή ή είναι σταθερό. Για να θεωρηθεί η εν λόγω δοκιμή αξιόπιστη, κρίνεται απαραίτητη η καταγραφή τουλάχιστον δέκα διαφορετικών βλαβών, καθώς και οι χρονικές στιγμές που αυτές σημειώθηκαν. Επιπλέον, τονίζεται, ότι αν χρησιμοποιηθεί μικρός αριθμός δείγματος (n), είναι δυνατόν να ακολουθήσουμε, είτε υπολογιστική διαδικασία, είτε γραφική μέθοδο, αλλά σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να εξασφαλιστούν για ολόκληρο το δείγμα οι ίδιες συνθήκες επιχειρησιακού περιβάλλοντος. Επίσης, όσον αφορά στο δείγμα οχημάτων που θα επιλεγεί, δεν είναι απαραίτητο όλα τα οχήματα στο τέλος του χρονικού διαστήματος που θα υλοποιηθεί η δοκιμή να παρουσιάζουν κάποια βλάβη. Σε δεδομένη χρονική στιγμή, το σύνολο των καταγεγραμμένων βλαβών (ή αποτυχιών) επί του οχήματος ορίζεται ως r . Οι χρονικές στιγμές που σημειώθηκαν οι βλάβες διευθετούνται σε αύξουσα σειρά τιμών t_1, t_2, \dots, t_r .

Ο συνολικός χρόνος μέχρι την " i " βλάβη (ή αποτυχία) υπολογίζεται, σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$T_i = \sum_{k=1}^i t_k \quad (\text{A.1})$$

Διαδικασία για ένα δείγμα επιλογής, μεγαλύτερο από 40 ($r > 40$).

- ✚ Το χρονικό διάστημα μεταξύ του μηδενός και του συνολικού χρόνου της δοκιμής T^* διαιρείται σε m ίσα χρονικά διαστήματα μήκους w . Ο προσδοκώμενος αριθμός βλαβών (αποτυχιών) σε κάθε διάστημα θα είναι:

$$E = w \cdot \frac{d}{T^*} \quad (\text{A.2})$$

όπου: d : παράμετρος που σχετίζεται με τον αριθμό των πραγματικών βλαβών (αποτυχιών)

m : αριθμός ίσων χρονικών διαστημάτων μήκους w , επιλεγμένος κατά τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε το E να είναι μεγαλύτερο ή ίσο του 5

- ✚ Το στατιστικό τέστ υπολογίζεται ως εξής:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(O_i - E)^2}{E} \quad (\text{A.3})$$

όπου: O_i : παρατηρούμενος αριθμός βλαβών (αποτυχιών) στο χρονικό διάστημα i

Η υπολογιζόμενη τιμή χ^2 από την παραπάνω εξίσωση θα συγκριθεί με τη θεωρητική τιμή $\chi^2(\nu)$, η οποία δίνεται από το [2], για $\nu = m - 1$.

- ✚ Το μονόπλευρο στατιστικό τέστ πραγματοποιείται για επίπεδο εμπιστοσύνης 10%, χρησιμοποιώντας το [2], ως εξής:

- Εάν $\chi^2 > \chi_{0.90}^2(\nu)$, τότε η υπόθεση του σταθερού ρυθμού βλαβών απορρίπτεται.
- Σε αυτή τη διαδικασία δεν είναι δυνατόν να εκτιμηθεί αν το ποσοστό βλαβών (αποτυχιών) αυξάνεται ή μειώνεται.
- Στην περίπτωση που το ποσοστό των βλαβών, είτε αυξάνεται είτε μειώνεται (δηλαδή, δεν έχει μόνο ανοδική ή πτωτική τάση), τότε η υπόθεση του σταθερού ρυθμού βλαβών απορρίπτεται

και πάλι και έτσι για παράδειγμα δε μπορεί να ληφθεί υπόψη εκθετική κατανομή.

A.1.1.2.ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟ ΤΕΣΤ ΠΕΡΙ ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΒΛΑΒΩΝ

Αυτό το στατιστικό τεστ χρησιμοποιείται για τα εξαρτήματα του οχήματος που επισκευάζονται και εφαρμόζεται πλήρως σε αυτά. Για το στατιστικό τεστ επιλέγεται ένα όχημα, στο οποίο παρακολουθείται η εμφάνιση βλαβών και η σοβαρότητα αυτών. Προτείνεται να επιλεγεί όχημα με τα περισσότερα διανυθέντα χιλιόμετρα και με τις περισσότερες παρατηρούμενες βλάβες.

Η σταθερότητα της έντασης των βλαβών, που αποδεικνύεται από αυτό το στατιστικό τεστ, σημαίνει ότι οι χρόνοι μεταξύ των διαδοχικών βλαβών δεν παρουσιάζουν ούτε αυξητική αλλά και ούτε πτωτική τάση. Για τον υπολογισμό αυτόν, είναι απαραίτητο να καθοριστεί η προϋπόθεση ότι τουλάχιστον έξι διαδοχικές βλάβες πρέπει να υπάρξουν και να καταγραφούν κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου της δοκιμής.

Η διαδικασία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε τη χρονική στιγμή εμφάνισης της τελευταίας βλάβης T_r , είτε οποιαδήποτε άλλη επόμενη χρονική στιγμή T^* , κατά την οποία το δείγμα συνεχίζει να ακολουθεί την ίδια συνάρτηση.

Βήμα 1:

Για κάθε αθροιστική χρονική στιγμή T_i εμφάνισης μίας βλάβης, ορίζεται ένα μέγεθος U , το οποίο υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Εάν } T^* > T_r, \text{ τότε: } U = \frac{[\sum_{i=1}^r (T_i)] - r \cdot \frac{T^*}{2}}{T^* \cdot \sqrt{\frac{r-1}{12}}} \quad (\text{A.4})$$

$$\text{Εάν } T^* = T_r, \text{ τότε: } U = \frac{[\sum_{i=1}^{r-1} (T_i)] - (r-1) \cdot \frac{T_r}{2}}{T_r \cdot \sqrt{\frac{r-1}{12}}} \quad (\text{A.5})$$

Βήμα 2:

Μία επιτρεπτή παράμετρος κινδύνου α της λανθασμένης απόρριψης της υπόθεσης περί σταθερότητας της έντασης των βλαβών, θα πρέπει να καθορισθεί, αν και στην πραγματικότητα είναι σταθερή. Συνιστώμενες τιμές για το α δίνονται στο [36].

Βήμα 3:

Εάν η απόλυτη του U είναι μεγαλύτερη από μια κρίσιμη τιμή που δίνεται στον πίνακα [37], τότε η υπόθεση περί σταθερότητας της έντασης των βλαβών πρέπει να απορριφθεί. Σε αντίθετη περίπτωση, η υπόθεση αυτή ισχύει. Δηλαδή:

Εάν $|U| > U_{\text{critical}}$, τότε: Ένταση των βλαβών δεν είναι σταθερή

Εάν $|U| \leq U_{\text{critical}}$, τότε: Ένταση των βλαβών είναι σταθερή

A.1.1.3.ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟ ΤΕΣΤ ΠΕΡΙ ΚΑΛΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ WEIBULL

Βήμα 1:

Όλες οι καταγεγραμμένες βλάβες (ή αποτυχίες) r ταξινομούνται σε αύξουσα σειρά και λογαριθμίζονται ως εξής:

$$\ln(t_1) = x_1, \ln(t_2) = x_2, \dots, \ln(t_r) = x_r \quad (\text{A.6})$$

Ισχύει ότι: $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_r$

 **Βήμα 2:**

Υπολογίζονται από την ακόλουθη αναδρομική σχέση οι επιμέρους τιμές l_i από $i = 1$ έως $i = r - 1$:

$$l_i = \frac{x_{i+1} - x_i}{\ln \left\{ \frac{\ln \left[\frac{4 \cdot (n - i + 1) + 3}{4 \cdot n + 1} \right]}{\ln \left[\frac{4 \cdot (n - i) + 3}{4 \cdot n + 1} \right]} \right\}} \quad (\text{A.7})$$

 **Βήμα 3:**

Η τιμή H υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση, χρησιμοποιώντας τις τιμές της προηγούμενης αναδρομικής σχέσης:

$$H = \frac{\sum_{i=\lfloor r/2 \rfloor + 1}^{(r-1)} \frac{l_i}{\lfloor \frac{r-1}{2} \rfloor}}{\sum_{i=1}^{\lfloor r/2 \rfloor} \frac{l_i}{\lfloor \frac{r}{2} \rfloor}} \quad (\text{A.8})$$

όπου: $\lfloor r/2 \rfloor$: συμβολίζει τον πλησιέστερο ακέραιο που είναι μικρότερος ή ίσος με την τιμή $r/2$. (π.χ. αν οι βλάβες είναι $r = 15$, τότε $r/2 = 7.5$. Αλλά επιλέγω $\lfloor r/2 \rfloor = 7$.)

$\lfloor (r - 1)/2 \rfloor$: συμβολίζει τον μεγαλύτερο πλησιέστερο ακέραιο που είναι μικρότερος ή ίσος με την τιμή $(r - 1)/2$. (π.χ. αν οι βλάβες είναι $r = 16$, τότε $(r - 1)/2 = 7.5$. Αλλά επιλέγω $\lfloor r/2 \rfloor = 7$.)

 **Βήμα 4:**

Εάν $H \geq F_\gamma(2 \cdot \lfloor (r - 1)/2 \rfloor, 2 \cdot \lfloor r/2 \rfloor)$, τότε η αρχική υπόθεση που υποστηρίζει ότι τα δεδομένα ακολουθούν την κατανομή Weibull, θα πρέπει να απορριφθεί για επίπεδο εμπιστοσύνης $\gamma \cdot 100\%$ και περαιτέρω ανάλυση δε δύναται να συνεχιστεί. Σε διαφορετική περίπτωση, δεν υπάρχουν στοιχεία για την απόρριψη της υπόθεσης

(δηλαδή ότι οι χρονικές στιγμές εμφάνισης των βλαβών ακολουθούν την κατανομή Weibull) και τότε η ανάλυση δύναται να συνεχιστεί.

A.1.2. ΚΑΤΑΝΟΜΗ WEIBULL-ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ α , β

Η ενότητα αυτή περιλαμβάνει εξισώσεις για την εκτίμηση των σημαντικότερων παραγόντων που σχετίζονται με την κατανομή Weibull, τόσο για τα στοιχεία των οχημάτων που επισκευάζονται, όσο και για εκείνα που δεν επισκευάζονται. Ένας αριθμός μηχανικών στοιχείων και άλλων εξοπλισμών, στα οποία η εκθετική κατανομή δε δύναται να εφαρμοστεί, έχουν λειτουργικό χρόνο μεταξύ των βλαβών που ακολουθεί την κατανομή Weibull, ειδικά για εκείνα τα μηχανικά μέρη στα οποία παρουσιάζεται μηχανική κόπωση και φθορά. Επιπλέον, μερικές μηχανικές ιδιότητες των υλικών, όπως η αντοχή τους, ακολουθούν κατανομή Weibull.

Υποθέτουμε αρχικά, ότι οι παράμετροι α και β δεν είναι αρνητικοί αριθμοί. Η παράμετρος α ορίζεται ως παράμετρος κλίμακας και η παράμετρος β ως παράμετρος γεωμετρίας.

Εάν η τιμή κατωφλίου είναι μηδέν ($c = 0$), τότε η κατανομή W (α , β) έχει μόνο δύο παραμέτρους και χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες εξισώσεις:

✚ Μέσος χρόνος $E(\tau)$ μεταξύ βλαβών:

$$E(\tau) = \alpha^{-\frac{1}{\beta}} \cdot K_{\beta} = \alpha^{-\frac{1}{\beta}} \cdot \Gamma(1 + 1/\beta) \quad (A.9)$$

✚ Διασπορά $D^2(\tau)$:

$$D^2(\tau) = \alpha^{-\frac{2}{\beta}} \cdot g_{\beta}^2 = \alpha^{-\frac{2}{\beta}} \cdot [\Gamma(1 + 2/\beta) - \Gamma^2(1 + 1/\beta)] \quad (A.10)$$

Το σύμβολο Γ δηλώνει τη συνάρτηση γάμμα, η οποία εκφράζεται ως εξής:

$$\Gamma(y) = \int_0^{\infty} x^{y-1} \cdot e^{-x} \cdot dx \quad (\text{A.11})$$

Οι τιμές K_{β} και g_b λαμβάνονται από το [38].

A.1.2.1.ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ α , b ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ WEIBULL ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΟΥ NELSON

Αυτή είναι μια από τις μεθόδους, κατάλληλη για ελεγχόμενα δείγματα.

Διατύπωση του προβλήματος.

Ο συνολικός χρόνος λειτουργίας $t \in \langle 0, T_S \rangle$ διαχωρίζεται σε δύο χαρακτηριστικά διαστήματα τύπου I και II.

Ο τύπος I αντιπροσωπεύει το περιορισμένο χρονικό διάστημα λειτουργίας, του οποίου τα δύο του όρια αποτελούν κάποιες βλάβες του στοιχείου. Αυτά τα χρονικά διαστήματα καλούνται “κλειστά”.

Ο τύπος II αντιπροσωπεύει το περιορισμένο χρονικό διάστημα λειτουργίας, του οποίου το ένα όριο αποτελεί κάποια βλάβη του στοιχείου, ενώ το άλλο όριο καθορίζεται από μία άλλη χρονική στιγμή στην οποία το τεστ παρακολούθησης τερματίζεται φτάνοντας στη χρονική στιγμή T_S^* , χωρίς την εμφάνιση κάποιας βλάβης. Αυτά τα χρονικά διαστήματα καλούνται “μη-κλειστά”.

Η εκτίμηση για τις παραμέτρους βασίζεται στη γραμμικοποίηση της σχέσης για το συνολικό ποσοστό βλαβών. Αυτή η λύση εφαρμόζεται στην κατανομή Weibull.

Η συνάρτηση κατανομής δύο παραμέτρων της κατανομής W δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$F_x(x) = 1 - \exp[-H(x)] \quad (\text{A.12})$$

όπου $H(x)$ είναι το συνολικό ποσοστό βλαβών για την κατανομή δύο παραμέτρων W και δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$H(x) = \int_0^x \lambda(t) \cdot dx = \int_0^x \frac{b}{\theta} \cdot \left(\frac{t}{\theta}\right)^{b-1} \cdot dt \quad (\text{A.13})$$

$$H(x) = \left(\frac{x}{\theta}\right)^b \quad (\text{A.14})$$

Λογαριθμίζοντας την παραπάνω σχέση (7.13), γίνεται γραμμικοποίηση της εξίσωσης ως εξής:

$$\ln H(x) = b \cdot \ln x - b \cdot \ln \theta \quad (\text{A.15})$$

Η παραπάνω εξίσωση είναι ήδη γραμμική, μεταξύ των παραμέτρων, και μπορεί να λυθεί με διαφορετικούς τρόπους:

- ✚ Γραφικά με τη χρήση λογαριθμικού χαρτιού.
- ✚ Αριθμητικά (π.χ. τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων)

A.1.2.2.ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟ α ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ β ΚΑΙ γ

Το αμφίπλευρο αυτό διάστημα εμπιστοσύνης $\langle \alpha_D, \alpha_H \rangle$, με συντελεστή εμπιστοσύνης $1-\alpha$, ορίζεται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$\alpha_D = \left[\frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \gamma)^\beta}{\chi_{1-\alpha/2}^2(2n)} \right]^{1/\beta} \quad (\text{A.16})$$

$$\alpha_H = \left[\frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \gamma)^\beta}{\chi_{\alpha/2}^2(2n)} \right]^{1/\beta} \quad (\text{A.17})$$

όπου $\chi_q^2(v)$ είναι η τιμή της κατανομής χ^2 με v βαθμούς ελευθερίας και επίπεδο εμπιστοσύνης q . Το παραπάνω μονόπλευρο διάστημα εμπιστοσύνης

με συντελεστή εμπιστοσύνης $1-\alpha$, καθορίζεται από τη σχέση για το α_D με α αντί για $\alpha/2$.

A.1.3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΕΝΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ

A.1.3.1. ΕΝΤΑΣΗ ΤΩΝ ΒΛΑΒΩΝ

Ένταση των βλαβών $z(t)$ ορίζεται το όριο του λόγου, εάν υπάρχει, του μέσου αριθμού βλαβών ενός επισκευάσιμου στοιχείου στο χρονικό διάστημα $(t, t + \Delta t)$ ως προς το μήκος του διαστήματος αυτού Δt .

$$z(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0^+} \frac{E[N(t + \Delta t) - N(t)]}{\Delta t} \quad (\text{A.18})$$

όπου: $N(t)$: αριθμός βλαβών στο χρονικό διάστημα $(0, t)$

E : προσδοκόμενη τιμή

$t + \Delta t$: χρονικό διάστημα

Χρησιμοποιώντας την παραπάνω εξίσωση δύναται να υπολογιστεί η ένταση των βλαβών, είτε για ολόκληρο το όχημα, είτε για τα υποεξαρτήματα αυτού.

A.1.3.2. ΜΕΣΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΤΑΞΥ ΒΛΑΒΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ WEIBULL

Ο υπολογισμός του μέσου χρόνου μεταξύ των βλαβών για ένα όχημα εκτελείται για μεγάλα χρονικά διαστήματα (π.χ. 50000 km). Αφού καθοριστούν οι τιμές σε αυτά τα χρονικά διαστήματα, δύναται να αποτυπωθεί η καμπύλη. Με αυτόν τον τρόπο, οι τιμές του μέσου χρόνου μεταξύ των βλαβών, από το χρονικό διάστημα, από την παραγωγή έως και την απόσυρσή του, υπολογίζονται σύμφωνα με την ακόλουθη διαδικασία:

- ✚ Οι βλάβες, σύμφωνα με τις συνέπειες που προκαλούν, επιλέγονται και χωρίζονται σε μεγάλα χρονικά διαστήματα (π.χ. 50000 km), ο

υπολογισμός περιλαμβάνει επίσης μη-κλειστά ζεύγη τιμών όταν η βλάβη δεν υφίσταται.

- + Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Nelson, υπολογίζεται το συνολικό ποσοστό βλαβών $H(x)$.
- + Χρησιμοποιώντας την κατανομή Weibull, το συνολικό ποσοστό βλαβών $H(x)$ επεξεργάζεται και απεικονίζεται σε σχέση με τα διανυθέντα χιλιόμετρα.
- + Οι παράμετροι α και β υπολογίζονται από την κατανομή Weibull.
- + Υπολογίζεται ο μέσος χρόνος μεταξύ βλαβών χρησιμοποιώντας την κατανομή Weibull και τις ήδη υπολογιζόμενες τιμές α και β .
- + Η καμπύλη υπολογίζεται προσεγγιστικά από τις προκύπτουσες τιμές. Με βάση θεωρητικές και πρακτικές γνώσεις καταλήγουμε σε μία γενική εξίσωση εκθετικής μορφής, που υπολογίζει το μέσο χρόνο μεταξύ βλαβών, σε χιλιόμετρα, και έχει την ακόλουθη μορφή:

$$y = b_1 \cdot e^{-\beta_1 \cdot x} + b_2 \cdot e^{-\beta_2 \cdot x} \quad (A.19)$$

όπου: y : μέσος χρόνος μεταξύ βλαβών σε χιλιόμετρα

x : λειτουργικός χρόνος σε χιλιόμετρα

b_1, b_2 : εκτίμηση παραμέτρων

β_1, β_2 : εκτίμηση παραμέτρων

A.1.4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΕΝΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ

A.1.4.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΒΛΑΒΩΝ

Ο υπολογισμός της έντασης των βλαβών προτείνεται να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του χρόνου ανθεκτικότητας του οχήματος. Αυτό είναι ένα πιθανό κριτήριο που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του χρόνου ανθεκτικότητας.

Από τη σχέση μεταξύ έντασης βλαβών-διανυθείσας απόστασης σε χιλιόμετρα, μπορεί να προσδιοριστεί η εμφάνιση κάποιας βλάβης σε συγκεκριμένο εύρος χιλιομέτρων. Κατά τη διάρκεια της ανάλυσης, μελετάται η εξέλιξη της καμπύλης και αναζητείται το σημείο όπου παρατηρείται μια απότομη αύξηση της έντασης των βλαβών. Ωστόσο, αυτή η αυξητική τάση πρέπει να είναι μόνιμου χαρακτήρα, όχι μόνο μια ξαφνική αύξηση που ακολουθείται από μείωση των τιμών έντασης των βλαβών.

A.1.4.2.ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΤΩΝ ΒΛΑΒΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ WEIBULL

Ο υπολογισμός του μέσου χρόνου μεταξύ των βλαβών προτείνεται να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό του διαστήματος μεταξύ των προληπτικών συντηρήσεων. Όπως είναι γενικά παραδεκτό, ένα όχημα αποτελεί ένα κομμάτι ενός εξοπλισμού για τα οποία το χρονικό διάστημα μεταξύ βλαβών ελαττώνεται με την αύξηση των διανυθέντων χιλιομέτρων.

Η ανάλυση αυτή βασίζεται στον προσδιορισμό του χρόνου ανθεκτικότητας του οχήματος. Ο μέσος χρόνος μεταξύ βλαβών υπολογίζεται στο δεδομένο σημείο και κατόπιν, με δεδομένη την παράμετρο β , υπολογίζεται το κατώτερο όριο του διαστήματος εμπιστοσύνης. Γνωρίζοντας, λοιπόν, την τιμή του διαστήματος εμπιστοσύνης, καθορίζεται και το διάστημα συντήρησης, το οποίο στρογγυλοποιείται σε μια συγκεκριμένη τιμή (σε χιλιάδες). Επισημαίνεται ότι κατά την τροποποίηση αυτού του διαστήματος, δεν πρέπει να παραλείπεται ο χρόνος ανθεκτικότητας του λαδιού του κινητήρα. Η αλλαγή λαδιού του κινητήρα ή του συστήματος μετάδοσης πρέπει να συμμορφώνεται με τα πολλαπλά διαστήματα συντήρησης.

A.1.5. ΑΠΟΦΑΣΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Η απόφαση για τον καθορισμό του βέλτιστου διαστήματος συντήρησης υλοποιείται μέσω της ανάλυσης του μέσου χρόνου μεταξύ των βλαβών, που υπολογίζεται με την κατανομή Weibull. Υπάρχουν δύο δυνατότητες:

- ✚ Άρνηση τροποποίησης του χρονικού διαστήματος συντήρησης, διότι το υπολογιζόμενο διάστημα είναι το ίδιο με αυτό που προτείνεται από τον κατασκευαστή ή αποδοχή τροποποίησης του χρονικού διαστήματος συντήρησης, διότι διαφαίνεται να είναι βέλτιστο. Αυτό σημαίνει ότι αν τα κόστη προληπτικής συντήρησης μειώνονται εντός του χρόνου ανθεκτικότητας του οχήματος, τα κόστη συντήρησης έως τη βλάβη δε θα πρέπει να αυξάνονται.
- ✚ Το χρονικό διάστημα εργασιών συντήρησης μειώνεται και ταυτόχρονα τα κόστη προληπτικής συντήρησης αυξάνονται, με την αναμενόμενη μείωση στα κόστη επιδιορθωτικής συντήρησης.

Για την επαλήθευση των παραπάνω υποθέσεων είναι απαραίτητο να συνεχιστεί η παρακολούθηση της εμφάνισης των βλαβών για το νέο προτεινόμενο χρονικό διάστημα, προκειμένου να εξαχθούν τα τελικά συμπεράσματα.

A.2. ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ






Η ποιοτική ανάλυση βασίζεται σε αρχές συντήρησης με βάση την αξιοπιστία. Η ακόλουθη ενότητα περιλαμβάνει ένα παράδειγμα καθορισμού των επιδράσεων των βλαβών και των βέλτιστων δράσεων, οι οποίες είναι απαραίτητες να εκτελεστούν κατά την προληπτική συντήρηση.

Στο πρώτο τμήμα της απόφασης του διαγράμματος ροής, υλοποιείται κατηγοριοποίηση των επιδράσεων των βλαβών και συναντώνται ερωτήσεις όπως “η εμφάνιση μίας λειτουργικής βλάβης κατά τη διάρκεια ενός απλού ελέγχου είναι φανερή από τον χειριστή;”.

A.3. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

Η ανάλυση του κόστους κύκλου ζωής αποτελεί μια διαδικασία με σκοπό την αξιολόγηση του συνολικού κόστους αγοράς, κατοχής και απόσβεσης ενός οποιουδήποτε εξαρτήματος. Η εν λόγω ανάλυση μπορεί να αφορά ολόκληρη τη διάρκεια ζωής ενός εξοπλισμού, ή σε ορισμένα εξαρτήματα αυτού ή ακόμα και για συγκεκριμένες περιόδους του κύκλου ζωής.

Υπάρχουν οι κάτωθι πέντε περίοδοι κύκλου ζωής ενός οχήματος:

-  Περίοδος του καθορισμού των απαιτήσεων (κόστη αγοράς).
-  Περίοδος του σχεδιασμού και ανάπτυξης (κόστη αγοράς).
-  Περίοδος της κατασκευής.
-  Περίοδος της λειτουργίας και της συντήρησης (κόστη κατοχής).
-  Περίοδος της απόσβεσης (κόστη απόσβεσης).

A.3.1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

$$C_{PAM} = C_{PA} + C_{OMC} + C_{OMP} \quad (A.20)$$

όπου: C_{PAM} : κόστος κύκλου ζωής.

C_{PA} : κόστος αγοράς και υποβάθμισης ενός οχήματος.


C_{OMC} : κόστος συντήρησης έως τη βλάβη

C_{OMP} : κόστος προληπτικής συντήρησης

A.3.1.1. ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ ΚΑΙ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ ΕΝΟΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Η πραγματική αξία ενός οχήματος κατά τη λειτουργία του υπολογίζεται από την αρχική αξία αγοράς του μειούμενη κατά το κόστος λόγω υποβάθμισής

του. Το εν λόγω κόστος περιλαμβάνει την "ηλικία" ενός οχήματος και τη διανυθείσα απόσταση.

 Κόστος αγοράς ενός οχήματος:

Το κόστος αγοράς ενός οχήματος μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω εξίσωση:

$$C_P = C_{CD} + C_{DD} + C_M + C_S + C_G \quad (A.21)$$

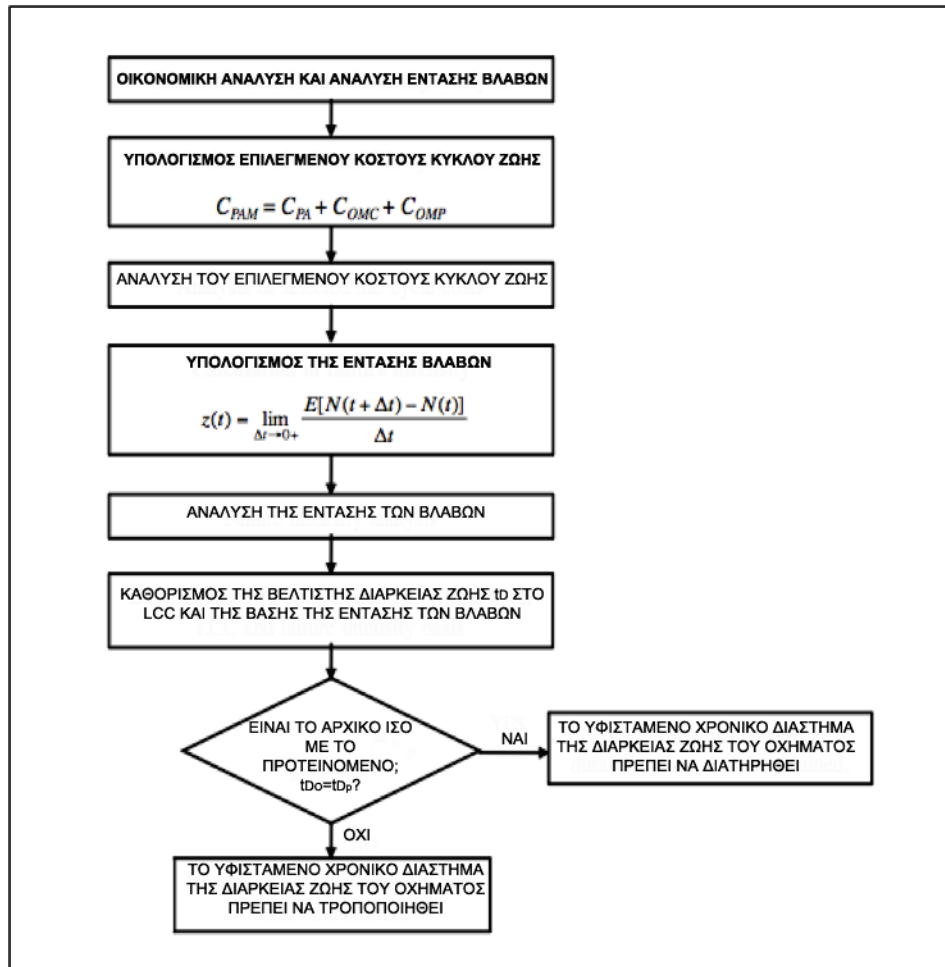
όπου: C_{CD} : κόστος της περιόδου καθορισμού των απαιτήσεων.

C_{DD} : κόστος της περιόδου σχεδιασμού και ανάπτυξης.

C_M : κόστος της περιόδου κατασκευής.

C_S : κόστος της περιόδου πώλησής.

C_G : κόστος επιβεβαιωμένων επισκευών κατά τη διάρκεια της εγγύησης.



Σχήμα Α.2: Λογικό διάγραμμα ροής οικονομικής ανάλυσης και έντασης των βλαβών.

Υπολειπόμενη αξία ενός οχήματος:

Το κόστος υποβάθμισης ενός οχήματος πρέπει να καθοριστεί με βάση το λειτουργικό χρόνο (*έτη λειτουργίας*) και τα διανυθέντα χιλιόμετρα. Για συγκεκριμένους τύπους οχημάτων το κόστος αυτό υπολογίζεται σύμφωνα με μία κλίμακα υποβάθμισης, στην οποία καθορίζονται τα ποσοστά υποβάθμισης του λειτουργικού χρόνου και της διανυθείσας απόστασης. Έτσι, η υπολειπόμενη αξία του οχήματος υπολογίζεται από τον αριθμητικό μέσο όρο των ακόλουθων τιμών:

$$C_{PA} = (C_{AT} + C_{AO})/2 \quad (A.22)$$

όπου: C_{PA} : υπολειπόμενη αξία ενός οχήματος.

C_{AT} : κόστος υποβάθμισης με βάση το λειτουργικό χρόνο.

C_{AO} : κόστος υποβάθμισης με βάση τη διανυθείσα απόσταση.

A.3.1.2. ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΕΝΟΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Κόστος συντήρησης έως τη βλάβη:

Τα συνολικά κόστη επισκευών ενός οχήματος κατά τη διάρκεια του λειτουργικού του χρόνου, εξαρτώνται από τον αριθμό βλαβών (οι οποίες συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του) και τα κόστη αυτών. Έτσι, τα συνολικά κόστη επισκευών υπολογίζονται ως εξής:

$$C_{OMC(j)} = \sum_{n=1}^{n=j} z_{(n)} \cdot i \cdot c_R \quad (A.23)$$

$$f_{C_{OMC}} = c_R \cdot \int_{t_0}^{t_n} \frac{t}{E_t} \cdot dt \quad (A.24)$$

$$C_{OMC} = \frac{c_R}{\phi} \cdot t \quad (A.25)$$

όπου: C_{OMC} : κόστος συντήρησης έως τη βλάβη για λειτουργικό χρόνο t .

t : λειτουργικός χρόνος σε χιλιόμετρα.

i : καθορισμένη τιμή χρονικού διαστήματος σε χιλιόμετρα.

j : αριθμός των καθορισμένων χρονικών διαστημάτων i .

$z_{(n)}$: ένταση βλαβών σε χρονικό διάστημα n .

E_t : μέσος χρόνος μεταξύ βλαβών με βάση τη διανυθείσα απόσταση, υπολογιζόμενος με την κατανομή Weibull.

ϕ : μέσος χρόνος μεταξύ βλαβών.

c_R : μέσο κόστος επισκευής μίας βλάβης, η οποία περιλαμβάνει το κόστος υλικών και το κόστος εργατωρών.

Κόστος προληπτικής συντήρησης:

Το εν λόγω κόστος δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$C_{OMP} = t \cdot \hat{c}_M \quad (A.26)$$

όπου: C_{OMP} : κόστος προληπτικής συντήρησης για λειτουργικό χρόνο t .

t : λειτουργικός χρόνος σε χιλιόμετρα.

\hat{c}_M : μέσο κόστος προληπτικής συντήρησης, το οποίο περιλαμβάνει το κόστος υλικών και το κόστος εργατωρών ανά χιλιόμετρο.

Συνολικό κόστος συντήρησης ενός οχήματος:


Το κόστος αυτό δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:


$$C_{OM} = C_{OMC} + C_{OMP} \quad (A.27)$$

A.3.2. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΖΩΗΣ ΕΝΟΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

A.3.2.1. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΖΩΗΣ ΕΝΟΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ (LIFE CYCLE COST)

Ο καθορισμός του χρόνου ζωής βασίζεται στο κόστος κύκλου ζωής και εκτιμάται με δύο τρόπους:

 Εξάγοντας το βέλτιστο κόστος του κύκλου ζωής απευθείας από το διάγραμμα.

 Καθορίζοντας το βέλτιστο κόστος του κύκλου ζωής χρησιμοποιώντας σημεία στο διάγραμμα διαμέσου των οποίων προκύπτει μία κατάλληλη

καμπύλη. Αυτή η καμπύλη εκφράζεται με μία συνάρτηση $f(x)$. Για την εύρεση αυτής της συνάρτησης δύναται να χρησιμοποιηθεί λογισμικό matlab ή οποιοδήποτε άλλο υπολογιστικό πρόγραμμα.

Περιγραφή διαδικασίας υπολογισμού.

- Εύρεση τοπικού ακρότατου x_0 της συνάρτησης στο χρονικό διάστημα $(0, T_D)$, όπου T_D είναι ο χρόνος ζωής του οχήματος. Ο υπολογισμός γίνεται μηδενίζοντας την πρώτη παράγωγο της συνάρτησης. Δηλαδή,

$$f'(x_0) = 0 \quad (\text{A.28})$$

- Εύρεση ολικού τοπικού ακρότατου x_0 της συνάρτησης στο χρονικό διάστημα $(0, T_D)$. Δηλαδή,

$$f''(x_0) > 0 \quad (\text{A.29})$$

Εφόσον καθοριστεί το ελάχιστο της συνάρτησης στο χρονικό διάστημα $(0, T_D)$, είναι απαραίτητο να καθοριστεί ο χρόνος ζωής του οχήματος. Προτείνεται να καθορίζεται ως βέλτιστο χρονικό διάστημα χρόνου ζωής εκείνο το χρονικό διάστημα που αντιστοιχεί σε κόστος 5%-10% μεγαλύτερο του υπολογιζόμενου ελάχιστου κόστους.

A.3.2.2.ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΖΩΗΣ ΕΝΟΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΕΝΤΑΣΗ ΒΛΑΒΩΝ

Η δεύτερη μέθοδος καθορισμού της βέλτιστης διάρκειας ζωής βασίζεται στον υπολογισμό της έντασης βλαβών.

A.4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατά συνέπεια, συνδυάζοντας τις δύο παραπάνω αναλύσεις προκύπτει ο βέλτιστος χρόνος ζωής ενός οχήματος. Ειδικότερα, αν τα δύο εξαγόμενα διαστήματα των βέλτιστων χρόνων ζωής συγκλίνουν, τότε θεωρούνται αποδεκτά. Σε διαφορετική περίπτωση, δηλαδή αν δε συγκλίνουν, τότε θα πρέπει να εφαρμοστεί πιο λεπτομερής ανάλυση των δεδομένων των δύο μεθόδων, έτσι ώστε να επιτευχθεί αλληλοεπικάλυψη των δύο διαστημάτων.



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β **ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΤΗΣ** **ΠΡΟΣΔΟΚΙΜΗΣ** **ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΖΩΗΣ** **ΕΝΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ** **ΥΠΟ ΚΑΘΟΡΙΣΜΕΝΕΣ** **ΣΥΝΘΗΚΕΣ**

Πίνακας Β.1: Πίνακας όπου αποτυπώνεται η διαδοχή των απαραίτητων πράξεων για τον υπολογισμό του e για την περίπτωση Α1, Β1, Γ1, Δ1.

<u>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ:</u>	A1 B1 Γ1 Δ1
<u>ΓΕΝΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ:</u>	$C_Y = N \cdot [U - V + D + S]$
<u>ΣΥΝΘΗΚΕΣ:</u>	$N = \frac{y}{e}$
	$V = b$
	$S = c_1 \cdot e$
	$D = 0$
<u>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ:</u>	$C_Y = \frac{y}{e} \cdot [U - b + c_1 \cdot e]$ όπου $U > b$
	$\frac{dC_Y}{de} = -\frac{y \cdot (U - b)}{e^2}$
	$C_Y \rightarrow \min.$ όταν $\frac{dC_Y}{de} = 0$
	Έτσι, $\frac{y \cdot (U - b)}{e^2} = 0$
	$e = \infty$

Πίνακας Β.2: Πίνακας όπου αποτυπώνεται η διαδοχή των απαραίτητων πράξεων για τον υπολογισμό του e για την περίπτωση A1, B2, Γ1, Δ1.

<u>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ:</u>	A1 B2 Γ1 Δ1
<u>ΓΕΝΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ:</u>	$C_Y = N \cdot [U - V + D + S]$
<u>ΣΥΝΘΗΚΕΣ:</u>	$N = \frac{y}{e}$
	$V = \frac{U}{1 + q \cdot e}$
	$S = c_1 \cdot e$
	$D = 0$
<u>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ:</u>	$C_Y = \frac{y}{e} \cdot \left[U - \frac{U}{1 + q \cdot e} + c_1 \cdot e \right]$
	$C_Y = \frac{y \cdot q \cdot U}{1 + q \cdot e} + y \cdot c_1$
	$\frac{dC_Y}{de} = -\frac{y \cdot q^2 \cdot U}{(1 + q \cdot e)^2}$
	$C_Y \rightarrow \min. \text{ όταν } \frac{dC_Y}{de} = 0$
	Έτσι, $\frac{y \cdot q^2 \cdot U}{(1 + q \cdot e)^2} = 0$
	$e = \alpha$

Πίνακας Β.3: Πίνακας όπου αποτυπώνεται η διαδοχή των απαραίτητων πράξεων για τον υπολογισμό του e για την περίπτωση Α1, Β3, Γ1, Δ1.

<u>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ:</u>	A1 B3 Γ1 Δ1
<u>ΓΕΝΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ:</u>	$C_Y = N \cdot [U - V + D + S]$
<u>ΣΥΝΘΗΚΕΣ:</u>	$N = \frac{y}{e}$
	$V = \frac{(U - b) \cdot (t_b - e)}{t_b + q \cdot e} + b$
	$S = c_1 \cdot e$
	$D = 0$
<u>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ:</u>	$C_Y = \frac{y}{e} \cdot \left[U - \frac{(U - b) \cdot (t_b - e)}{t_b + q \cdot e} - b + c_1 \cdot e \right]$ όπου $U > b$ και $q > 0$
	$C_Y = \frac{y \cdot (U - b) \cdot (1 + q)}{t_b + q \cdot e} + y \cdot c_1$
	$\frac{dC_Y}{de} = - \frac{y \cdot q \cdot (U - b) \cdot (1 + q)}{(t_b + q \cdot e)^2}$
	$C_Y \rightarrow \min.$ όταν $\frac{dC_Y}{de} = 0$
	Έτσι, $\frac{y \cdot q \cdot (U - b) \cdot (1 + q)}{(t_b + q \cdot e)^2} = 0$
	$e = \infty$

Πίνακας Β.4: Πίνακας όπου αποτυπώνεται η διαδοχή των απαραίτητων πράξεων για τον υπολογισμό του e για την περίπτωση A2, B1, Γ1, Δ1.

<u>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ:</u>	A2 B1 Γ1 Δ1
<u>ΓΕΝΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ:</u>	$C_Y = N \cdot [U - V + D + S]$
<u>ΣΥΝΘΗΚΕΣ:</u>	$N = \frac{y}{e}$
	$V = b$
	$S = c_1 \cdot e + c_2 \cdot e^2$
	$D = 0$
<u>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ:</u>	$C_Y = \frac{y}{e} \cdot [U - b + c_1 \cdot e + c_2 \cdot e^2]$ όπου $U > b$ και $c_2 > 0$
	$\frac{dC_Y}{de} = -\frac{y \cdot (U - b)}{e^2} + y \cdot c_2$
	$C_Y \rightarrow \min.$ όταν $\frac{dC_Y}{de} = 0$
	Έτσι, $e^2 = \frac{U - b}{c_2}$
	$e = \sqrt{\frac{U - b}{c_2}}$

Πίνακας Β.5: Πίνακας όπου αποτυπώνεται η διαδοχή των απαραίτητων πράξεων για τον υπολογισμό του e για την περίπτωση Α2, Β2, Γ1, Δ1.

<u>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ:</u>	A2 B2 Γ1 Δ1
<u>ΓΕΝΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ:</u>	$C_Y = N \cdot [U - V + D + S]$
<u>ΣΥΝΘΗΚΕΣ:</u>	$N = \frac{y}{e}$
	$V = \frac{U}{1 + q \cdot e}$
	$S = c_1 \cdot e + c_2 \cdot e^2$
	$D = 0$
<u>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ:</u>	$C_Y = \frac{y}{e} \cdot \left[U - \frac{U}{1 + q \cdot e} + c_1 \cdot e + c_2 \cdot e^2 \right]$
	$C_Y = \frac{y \cdot q \cdot U}{1 + q \cdot e} + y \cdot c_1 + y \cdot c_2 \cdot e$
	$\frac{dC_Y}{de} = -\frac{y \cdot q^2 \cdot U}{(1 + q \cdot e)^2} + y \cdot c_2$
	$C_Y \rightarrow \min. \text{ όταν } \frac{dC_Y}{de} = 0$
	Έτσι, $(1 + q \cdot e)^2 = \frac{q^2 \cdot U}{c_2}$
	$e = \sqrt{\frac{U}{c_2} - \frac{1}{q}}$

Πίνακας Β.6: Πίνακας όπου αποτυπώνεται η διαδοχή των απαραίτητων πράξεων για τον υπολογισμό του e για την περίπτωση A2, B3, Γ1, Δ1.

<u>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ:</u>	A2 B3 Γ1 Δ1
<u>ΓΕΝΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ:</u>	$C_Y = N \cdot [U - V + D + S]$
<u>ΣΥΝΘΗΚΕΣ:</u>	$N = \frac{y}{e}$
	$V = \frac{(U - b) \cdot (t_b - e)}{t_b + q \cdot e} + b$
	$S = c_1 \cdot e + c_2 \cdot e^2$
	$D = 0$
<u>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ:</u>	$C_Y = \frac{y}{e} \cdot \left[U - \frac{(U - b) \cdot (t_b - e)}{t_b + q \cdot e} - b + c_1 \cdot e + c_2 \cdot e^2 \right]$
	$C_Y = \frac{y \cdot (U - b) \cdot (1 + q)}{t_b + q \cdot e} + y \cdot c_1 + y \cdot c_2 \cdot e$
	$\frac{dC_Y}{de} = - \frac{y \cdot q \cdot (U - b) \cdot (1 + q)}{(t_b + q \cdot e)^2} + y \cdot c_2$
	$C_Y \rightarrow \min. \text{ όταν } \frac{dC_Y}{de} = 0$
	Έτσι, $(t_b + q \cdot e)^2 = \frac{q \cdot (U - b) \cdot (1 + q)}{c_2}$
	$e = \sqrt{\frac{(U - b) \cdot (1 + q)}{q \cdot c_2}} - \frac{t_b}{q}$

Πίνακας Β.7: Πίνακας όπου αποτυπώνεται η διαδοχή των απαραίτητων πράξεων για τον υπολογισμό του e για την περίπτωση Α2, Β1, Γ1, Δ2.

<u>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ:</u>	A2 B1 Γ1 Δ2
<u>ΓΕΝΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ:</u>	$C_Y = N \cdot [U - V + D + S]$
<u>ΣΥΝΘΗΚΕΣ:</u>	$N = \frac{y}{e}$
	$V = b$
	$S = c_1 \cdot e + c_2 \cdot e^2$
	$D = \left(\frac{j}{1-j}\right) \cdot U$
<u>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ:</u>	$C_Y = \frac{y}{e} \cdot \left[U - b + \left(\frac{j}{1-j}\right) \cdot U + c_1 \cdot e + c_2 \cdot e^2 \right]$
	$C_Y = \frac{y \cdot \left(\frac{U}{1-j} - b\right)}{e} + y \cdot c_1 + y \cdot c_2 \cdot e$
	$\frac{dC_Y}{de} = -\frac{y \cdot \left(\frac{U}{1-j} - b\right)}{e^2} + y \cdot c_2$
	$C_Y \rightarrow \min. \text{ όταν } \frac{dC_Y}{de} = 0$
	Έτσι, $e = \sqrt{\frac{\frac{U}{1-j} - b}{c_2}}$
	$e = \sqrt{\frac{U - (1-j) \cdot b}{(1-j) \cdot c_2}}$

Πίνακας Β.8: Πίνακας όπου αποτυπώνεται η διαδοχή των απαραίτητων πράξεων για τον υπολογισμό του e για την περίπτωση Α3, Β1, Γ1, Δ1.

<u>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ:</u>	Α3 Β1 Γ1 Δ1
<u>ΓΕΝΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ:</u>	$C_Y = N \cdot [U - V + D + S]$
<u>ΣΥΝΘΗΚΕΣ:</u>	$N = \frac{y}{e}$
	$V = b$
	$S = c_1 \cdot e + c_2 \cdot e^n$
	$D = 0$
<u>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ:</u>	$C_Y = \frac{y}{e} \cdot [U - b + c_1 \cdot e + c_2 \cdot e^n]$
	$\frac{dC_Y}{de} = \frac{y \cdot (U - b)}{e^2} + (n - 1) \cdot y \cdot c_2 \cdot e^{n-2}$
	$C_Y \rightarrow \min. \text{ όταν } \frac{dC_Y}{de} = 0$
	Έτσι, $e^n = \frac{U - b}{(n - 1) \cdot c_2}$
	$e = \left(\frac{U - b}{(n - 1) \cdot c_2} \right)^{\frac{1}{n}}$

Πίνακας Β.9: Πίνακας όπου αποτυπώνεται η διαδοχή των απαραίτητων πράξεων για τον υπολογισμό του e για την περίπτωση Α3, Β1, Γ1, Δ2.

<u>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ:</u>	Α3 Β1 Γ1 Δ2
<u>ΓΕΝΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ:</u>	$C_Y = N \cdot [U - V + D + S]$
<u>ΣΥΝΘΗΚΕΣ:</u>	$N = \frac{y}{e}$
	$V = b$
	$S = c_1 \cdot e + c_2 \cdot e^n$
	$D = \left(\frac{j}{1-j}\right) \cdot U$
<u>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ:</u>	$C_Y = \frac{y}{e} \cdot \left[U - b + \left(\frac{j}{1-j}\right) \cdot U + c_1 \cdot e + c_2 \cdot e^n \right]$
	$C_Y = \frac{y \cdot \left(\frac{U}{1-j} - b\right)}{e} + y \cdot c_1 + y \cdot c_2 \cdot e^{n-1}$
	$\frac{dC_Y}{de} = -\frac{y \cdot \left(\frac{U}{1-j} - b\right)}{e^2} + (n-1) \cdot y \cdot c_2 \cdot e^{n-2}$
	$C_Y \rightarrow \min. \text{ όταν } \frac{dC_Y}{de} = 0$
	Έτσι, $e^n = \frac{\frac{U}{1-j} - b}{(n-1) \cdot c_2}$
	$e = \left(\frac{U - (1-j) \cdot b}{(1-j) \cdot (n-1) \cdot c_2} \right)^{\frac{1}{n}}$



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]: Θεόδωρος Ν. Κωστόπουλος D.Sc, Διάγνωση Βλαβών και Συντήρηση Περιστρεφομένων Μηχανών, Εκδόσεις Συμείων, Αθήνα 2009.
- [2]: Σιμόπουλος Σ., Μετρήσεις Τεχνικών Μεγεθών, Β΄ Έκδοση, Αθήνα 1989.
- [3]: An Analysis of the Institutional Framework of the Commercial Vehicle Rebuilt Industry in Malaysia.
- [4]: <http://www.pallasmarket.gr/anakataskeves-anapalaiouseis/anakataskevi-anapalaiosi>.
- [5]: Optimal Replacement policies for a Ballistic Missibe.
- [6]: A proposed improved replacement policy for army vehicles.
- [7]: Useful life of transit buses and vans (FTA).
- [8]: Grant management requirements, Nov 1, 2008.
- [9]: Vehicle Replacement in the International Committee of the Red Cross.
- [10]: Transit Maintenance Program (Appendix G).
- [11]: Inspect Repair Only As Needed.
- [12]: <http://www.cmmspro.com/total-productive-maintenance-history.asp>.
- [13]: http://en.wikipedia.org/wiki/Reliability_centered_maintenance#Historical_background.
- [14]: Study of existing Reliability Centered Maintenance (RCM) Approaches Used In Different Industries.
- [15]: <http://www.reliableplant.com/Read/12495/preventive-predictive-maintenance>.
- [16]: <http://www.wisegeek.com/what-is-predictive-maintenance.htm>.
- [17]: Design Out For Reliability & Long Term Profitability.

- [18]: Influence of Modification of Design out Maintenance & Design Out Information System For Maintenance Cost Control & A Lucrative Business (*With Case Study*).
- [19]: Ground Vehicle Fleet Health.
- [20]: Maintenance Optimization for Substations with Aging Equipment, Haifeng Ge, University of Nebraska at Lincoln.
- [21]: Power System Equipment Aging.
- [22]: The Replacement of Road Transport Vehicles (*C.A.NASH*).
- [23]: Reliability-Centered Maintenance by F.S.Nowlan.
- [24]: The Transition from MTTF Reliability Predictions to Physics of Failure Reliability Assessments, James McLeish.
- [25]: Optimal Maintenance Service Contract Negotiation with Aging Equipment, Canek Jackson *, Rodrigo Pascual.
- [26]: Two probabilistic Life-Cycle Maintenance Models for Deteriorating Civil. Infrastructures, Jan M.Van Noortwijk.
- [27]: Guidelines for Making Repair Expenditure Decisions, Logistics Management Institute, Nov 1968.
- [28]: Διπλωματική Εργασία-Αξιολόγηση του Κόστους Κύκλου Ζωής Αμυντικών Συστημάτων.
- [29]: Κοστολόγηση Κύκλου Ζωής (LCC)-ένα εργαλείο για την υποβοήθηση της λήψης αποφάσεων.
- [30]: Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής-Εισαγωγή, Στόχοι και Οφέλη (*ΚΑΠΕ*)
- [31]: Life Cycle Costing Guideline, Sep 2004.
- [32]: A Statistical Analysis Of Construction Equipment Repair Costs Using Field Data & The Cumulative Cost Model.
- [33]: Military Equipment Useful Life Study - Phase II-Final Report.

- [34]:** Design of Operational Vehicle Maintenance Programme Based on Life Cycle Cost and Reliability Centred Maintenance, J. Furch*.
- [35]:** Was It Really Worth the Pain? Refurbishment of Mercedes-Benz Trucks by Botswana Defence Force, MBA PROFESSIONAL REPORT.
- [36]:** Czech Standard ČSN IEC 60605-6 Equipment reliability testing – Part 6: Tests for the validity of the constant failure rate or constant failure intensity assumptions.
- [37]:** Czech Standard ČSN IEC 61649 Goodness-of-fit tests, confidence intervals and lower confidence limits for Weibull distributed data.
- [38]:** Czech Standard ČSN 01 0224 Applied statistics. The rules of determination of estimates and confidence bounds for Weibull's distribution parameters.