

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ Ή ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ
ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ



ΤΟΥΡΟΥΝΤΖΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
Α.Ε.Μ. 210

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Δρ Ι. ΜΠΑΚΟΥΡΟΣ

ΚΟΖΑΝΗ 2005

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ Ή ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΣΕ
ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ

Α.Π.Θ. - ΤΜΗΜΑ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Αριθμ. Εισαγ.: 1897

Ημερομηνία: 19/11/06



ΤΟΥΡΟΥΝΤΖΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
Α.Ε.Μ. 210

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Δρ Ι. ΜΠΑΚΟΥΡΟΣ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο τμήμα Μηχανικών Διαχείρισης Ενεργειακών Πόρων του πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας . Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές του τμήματος για τις γνώσεις που μου πρόσφεραν, καθώς επίσης και για την καθοδήγηση που μου πρόσφεραν κατά την διάρκεια των σπουδών μου . Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Δρ. Ι. Μπακούρο για την σημαντική του βοήθεια στην εκπλήρωση της διπλωματικής εργασίας .Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου Ερμιόνη και Ιωάννη Τουρουντζή για την υποστήριξη που μου πρόσφεραν κατά την διάρκεια των σπουδών μου

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

.....ΣΕΛ01

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

.....ΣΕΛ02

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

.....ΣΕΛ05

1.ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟΙ ΑΓΩΓΟΙ

.....ΣΕΛ07

1.1.ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

.....ΣΕΛ10

1.2.ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

.....ΣΕΛ11

1.3.ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

.....ΣΕΛ12

1.4.ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟΙ ΑΓΩΓΟΙ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

.....ΣΕΛ12

2.ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΑΓΩΓΩΝ

.....ΣΕΛ17

2.1.ΓΕΝΙΚΑ

.....ΣΕΛ17

2.2.ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ

.....ΣΕΛ21

2.2.1.ΕΠΙΠΕΔΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ

.....ΣΕΛ22

2.2.2.ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ

.....ΣΕΛ23

2.2.3.ΒΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

.....ΣΕΛ25

2.3.ΑΙΤΙΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗΣ ΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

.....ΣΕΛ13

2.3.1.ΦΘΟΡΑ	ΣΕΛ25
2.3.1.1.ΠΙΕΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΣΕΛ26
2.3.1.2.ΕΝΤΑΣΕΙΣ	ΣΕΛ27
2.3.2.ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ	ΣΕΛ31
2.3.3.ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ	ΣΕΛ33
2.4.ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΓΩΓΩΝ	ΣΕΛ35
2.5.ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΓΩΓΩΝ	ΣΕΛ36
3.ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	ΣΕΛ39
3.1.ΓΕΝΙΚΑ	ΣΕΛ39
3.2.ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΒΛΑΒΩΝ	ΣΕΛ40
3.3.ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	ΣΕΛ42
3.4.ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΒΑΣΕΙ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ	ΣΕΛ43
3.5.ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	ΣΕΛ45
4.ΕΠΙΣΚΕΥΗ Ή ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΣΕΛ51
4.1.ΓΕΝΙΚΑ	ΣΕΛ51
4.2.ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ Ή ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	ΣΕΛ51

4.3.ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ Ή ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

.....	ΣΕΛ53
4.3.1.ΜΕΓΑΛΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣΣΕΛ53
4.3.2.ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣΣΕΛ55
4.3.3.ΜΙΚΡΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣΣΕΛ57
4.3.4 ΜΙΚΡΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΑΠΟΤΥΧΙΑΣ ΜΕ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝΣΕΛ59
4.3.5.ΜΕΓΑΛΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΑΠΟΤΥΧΙΑΣ ΜΕ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝΣΕΛ61

4.4.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

.....	ΣΕΛ63
-------	-------

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

1.WEIBULL

.....	ΣΕΛ68
-------	-------

2.ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

.....	ΣΕΛ70
-------	-------

3.ΠΙΝΑΚΕΣ

.....	ΣΕΛ73
-------	-------

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

.....	ΣΕΛ105
-------	--------

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τη ανάπτυξη των μεταφορών, ενεργειακών και μη, μέσω δικτύων αγωγών έγινε επιτακτική ανάγκη να διασφαλιστεί η συνεχής λειτουργία τους με το λιγότερο κόστος. Για τον λόγο αυτό έπρεπε να είμαστε σε θέση να μπορούμε να υπολογίσουμε με ακρίβεια το κόστος συντήρησης ενός δικτύου αγωγών.

Για τον λόγο αυτό θα πρέπει πρώτα να αναλογιστούμε τι ρόλο παίζουν οι υποθαλάσσιοι αγωγοί στην ζωή μας. Τόσο δηλαδή στις μεταφορές, όσο και στις ενεργειακές ανάγκες κάποιου τόπου. Επίσης θα πρέπει να δούμε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των αγωγών και να τους χρησιμοποιήσουμε βάσει αυτών. Ακόμα το περιβάλλον θα πρέπει να είναι ένα σημαντικό κομμάτι της μελέτης μας.

Το ποιο σημαντικό όμως από τα πλεονεκτήματα των αγωγών είναι το μικρό κόστος λειτουργίας, σε σχέση με άλλα μέσα μεταφοράς για τις ίδιες αποστάσεις. Το μεγαλύτερο μέρος από το κόστος λειτουργίας είναι αυτό που δίνεται στην συντήρηση του δικτύου. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να μελετήσουμε πρώτα την τον βασικότερο συντελεστή του κόστους συντήρησης, την αξιοπιστία. Η αξιοπιστία με την σειρά της μπορεί να οριστεί ως εξής :

‘Αξιοπιστία είναι η πιθανότητα ένα εξάρτημα, μία συσκευή ή ένα σύστημα να πραγματοποιήσει την προκαθορισμένη αποστολή του, χωρίς αποτυχίες για ένα ορισμένο διάστημα, όταν λειτουργεί σωστά σε ένα προκαθορισμένο περιβάλλον.’

Αφού ορίσαμε τι είναι αξιοπιστία, στην συνέχεια αναλύουμε τον ορισμό της. Μετά ορίζουμε πως πρέπει να κάνουμε μια βάση δεδομένων αξιοπιστίας. Δουλεύοντας πάνω σε αυτό το πρότυπο, ορίζουμε τις περισσότερο πιθανές αιτίες αποτυχίας στους αγωγούς που είναι :

- Φθορά
- Ατυχήματα
- Φυσικές καταστροφές

Στην συνέχεια ενώνουμε τα διάφορα κομμάτια και υπολογίζουμε την συνολική αξιοπιστία που μπορεί να έχει κάποιος αγωγός. Καθώς επίσης και

την πιθανότητα αποτυχίας. Η αξιοπιστία, όμως ενός αγωγού δεν μπορεί να είναι κοινή για όλο το δίκτυο και όλο το δίκτυο δεν αποτελείται μόνο από αγωγούς για τον λόγο αυτό υπολογίζουμε και την αξιοπιστία του δικτύου αγωγών.

Αφού έχουμε υπολογίσει την αξιοπιστία του δικτύου πλέον είμαστε έτοιμοι να υπολογίσουμε το κόστος συντήρησης του δικτύου. Για να γίνει όμως κάτι τέτοιο θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας ποια μέθοδο συντήρησης θα ακολουθήσουμε. Η μέθοδοι που αναπτύσσονται είναι οι εξής :

- Προληπτική συντήρηση
- Συντήρηση βάσει προδιαγραφών
- Ομοιόμορφη συντήρηση
- Συντήρηση αποκατάστασης βλαβών

Η αναφορά γίνεται βάσει χρονολογικής σειράς χρησιμοποίησης της μεθόδου και προσπαθούμε να δούμε ποιες από τις τέσσερις είναι κατάλληλες για τα δίκτυα αγωγών.

Καθώς μελετάμε τα συστήματα συντήρησης βρίσκουμε ένα ερώτημα :

«Θα πρέπει να επισκευάσουμε ή να αντικαταστήσουμε το κατεστραμμένο αγωγό ; »

Η απάντηση σε ορισμένες περιπτώσεις είναι πολύ εύκολη καθώς οι αγωγοί δεν μπορούν να επισκευαστούν, παρά μόνο να αντικατασταθούν. Αυτές οι περιπτώσεις όμως είναι λίγες. Στις περισσότερες καταστροφές αγωγών η επισκευή μπορεί να γίνει.

Έτσι θα πρέπει να φτιάξουμε ένα μαθηματικό μοντέλο το οποίο μέσω μιας καμπύλης θα μπορεί να μας πει πότε θα πρέπει να κάνουμε αντικατάσταση ή επισκευή.

1. ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟΙ ΑΓΩΓΟΙ

Τα δίκτυα αγωγών αναπτύχθηκαν στις αρχές του 20^{ου} αιώνα σαν εναλλακτικά συστήματα μεταφορών από τις εταιρίες πετρελαίου . Στην αρχή ξεκίνησαν ως δίκτυα που μετέφεραν το πετρέλαιο από τις πετρελαιοπηγές στα διυλιστήρια, αργότερα στα λιμάνια και στο τέλος εξελίχθηκαν ως παγκόσμια δίκτυα . Ένας ακόμα λόγος που βοήθησε την ανάπτυξη τους ήταν το γεγονός, ότι ανακαλύφθηκαν κοιτάσματα πετρελαίου στην θάλασσα που να είναι αξιοποιήσιμα (π.χ. Βόρεια θάλασσα, κόλπος του Μεξικού) . Τα κράτη βλέποντας την σπουδαιότητα των δικτύων στον ασφαλή ενεργειακό εφοδιασμό τους, μετά το τέλος του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου πήραν την κυριότητα των δικτύων .

Πίνακας 1.1 Μεταφορές στις Η.Π.Α. κατά το 1993, 1997, 2000

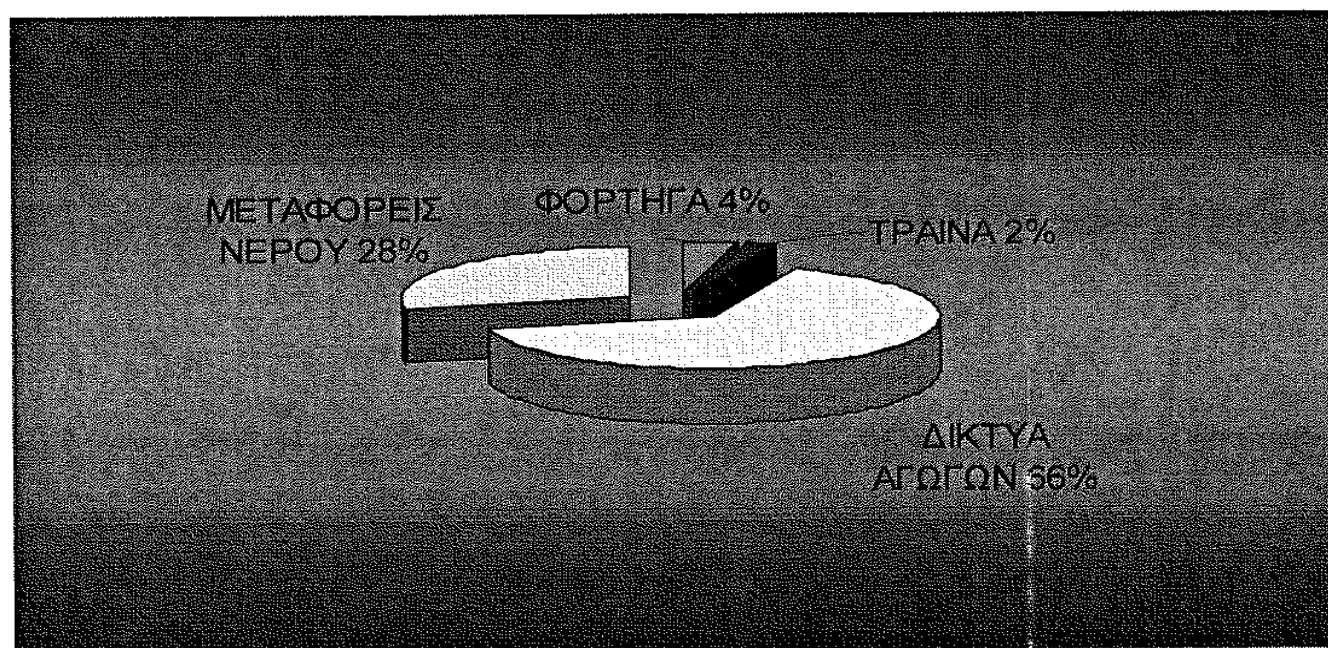
ΤΡΟΠΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ	1993			1997			2002		
	ΑΞΙΑ	ΤΟΝΟΙ	ΤΟΝΟΙ/ΜΙΛΙΑ	ΑΞΙΑ	ΤΟΝΟΙ	ΤΟΝΟΙ/ΜΙΛΙΑ	ΑΞΙΑ	ΤΟΝΟΙ	ΤΟΝΟΙ/ΜΙΛΙΑ
ΦΟΡΤΗΓΑ	65,1	54,5	25,6	61,9	59,5	28,4	63,7	58,2	32,1
ΤΡΕΝΑ	3,9	11,8	26,5	4,3	10,9	27,3	3,7	12	27,8
ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ	8,6	15,9	24,3	8,8	15,4	20,8	8,3	14,8	16,3
ΑΕΡΙΕΣ	5,5	0,1	0,2	7,7	0,1	0,4	7,4	0,1	0,3
ΔΙΚΤΥΑ ΑΓΩΓΩΝ	4,3	11,9	16,3	2,7	9,7	15,8	2,7	10,5	16,7
ΟΛΟΙ ΟΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ	9,2	1,7	4,6	11	1,5	5,4	10,6	1,3	5
ΑΛΛΑ ΚΑΙ ΑΓΝΩΣΤΑ	3,4	4	2,5	3,6	3	1,9	3,6	3,2	1,7

Τα κυριότερα προϊόντα που μεταφέρουν είναι :

- Πετρέλαιο
- Προϊόντα πετρελαίου
- Φυσικό αέριο
- Υγροποιημένο άνθρακα
- Χημικά

Ρίχνοντας μία ματιά στον πίνακα 1.1 μπορούμε να παρατηρήσουμε, ότι τα δίκτυα αγωγών έρχονται τέταρτα σε μεταφερόμενους τόνους και σε αξία προϊόντων . Επίσης μπορούμε να παρατηρήσουμε, ότι οι μεταφερόμενοι τόνοι παραμένουν σταθεροί ενώ η αξία των προϊόντων πέφτει, το οποίο οφείλεται στην πτώση των τιμών του πετρελαίου κατά το διάστημα 1993-2000 . Επίσης στον πίνακα 1.2 μπορούμε να παρατηρήσουμε, ότι το 66% του πετρελαίου στις Η.Π.Α. μεταφέρεται με δίκτυα αγωγών .

Διάγραμμα 1.1 Ποσοστά διαφόρων ειδών μεταφοράς πετρελαίου στις Η.Π.Α. 1993-2000



Τα κυριότερα αγαθά που μεταφέρονται μπορούμε να τα χωρίσουμε σε τέσσερις κατηγορίες υλικών :

- Για οχήματα
 - Κηροζίνη
 - Πετρέλαιο Diesel
 - Γκαζολίνη
 - Καύσιμο αεροπλάνων
- Για θέρμανση κατοικιών
 - Πετρέλαιο θέρμανσης
 - Φυσικό αέριο
 - Προπάνιο
- Πρώτες ύλες για καταναλωτικά προϊόντα

- Για την γεωργία
 - Αμμωνία
 - Πετρέλαιο Diesel

Από τον πίνακα 1.3 μπορούμε να δούμε το μέγεθος του δικτύου των Η.Π.Α.

Πίνακας 1.2 Μέγεθος δικτύου των Η.Π.Α. ανά χρόνο

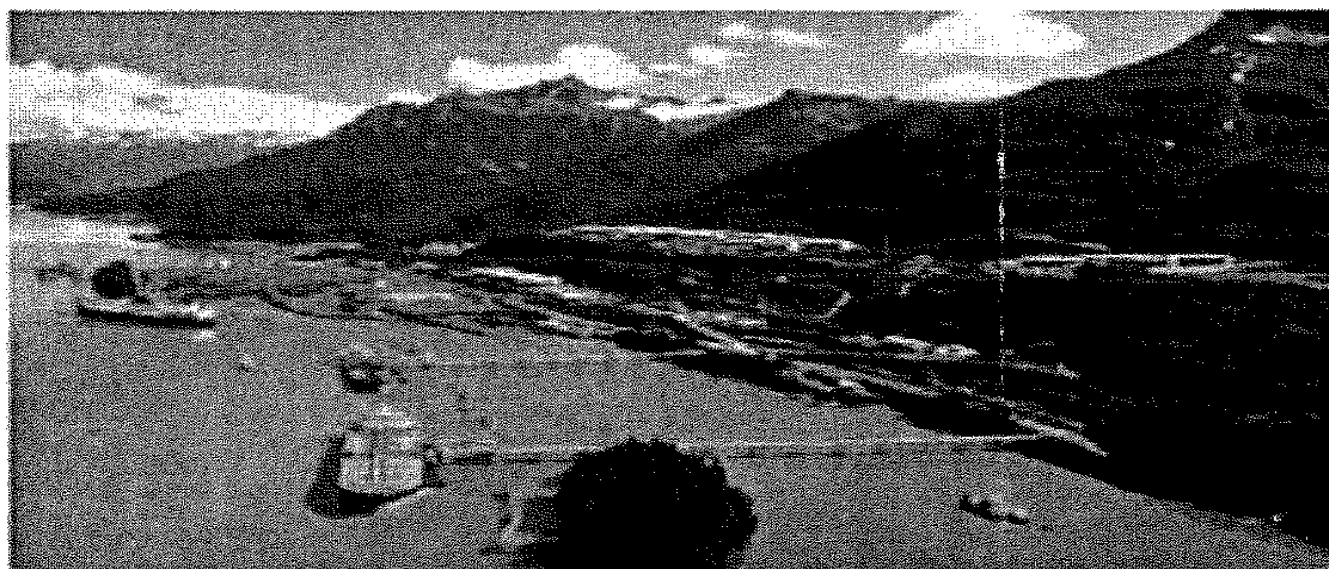
ΑΓΩΓΟΙ (000)	
ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	ΜΙΛΙΑ
1960	191
1970	219
1980	218
1985	214
1990	209
1995	201
2000	177

Όπως μπορούμε να δούμε μέχρι το 1985 έχουμε αύξηση του δικτύου ενώ μετά έχουμε μία μείωση στα 177 μίλια μέχρι το 2000

Ένα δίκτυο αγωγών αποτελείται από :

Το Τερματικό (εικόνα 1.1). Στο οποίο μπορεί να περιέχονται αποθηκευτικοί χώροι και άλλων ειδών προσβάσεις.

Εικόνα 1.1 Τερματικό



- Το δίκτυο αγωγών. Όπου αποτελείται από τους αγωγούς, τις βαλβίδες ασφαλείας και τις συνδέσεις.
- Τους σταθμούς ανύψωσης της πίεσης.
- Ένα κέντρο ελέγχου (εικόνα 1.2).

Εικόνα 1.2 Κέντρο ελέγχου



1.1.ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ

Το πετρέλαιο αποτελείται κυρίως από υδρογονάνθρακες και συνήθως βρίσκεται σε σημαντικά βάθη κάτω από την επιφάνεια της γης. Το αργό πετρέλαιο περιέχει ευρύ φάσμα υδρογονανθράκων οι οποίοι ποικίλουν ανάλογα με την περιοχή εξόρυξη του.

Η σημασία του πετρελαίου σαν ενεργειακή πηγή, είναι τεράστια δεδομένου ότι καλύπτει κατά ένα μεγάλο ποσοστό τις ενεργειακές ανάγκες της σύγχρονης κοινωνίας και τείνει να αντικαταστήσει όλες τις υπόλοιπες μορφές ενέργειας, παρά τις κινήσεις προς καθαρότερες μορφές ενέργειας που όμως παραμένουν ακριβότερες από τα προϊόντα του πετρελαίου. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι στην αρχή του αιώνα κατείχε το 1% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας και έφτασε να κατέχει περίπου το 60% σε διάφορες περιόδους.

Το αργό πετρέλαιο και το φυσικό αέριο θα είναι για πολλά χρόνια ακόμα η βασική πηγή ενέργειας του πολιτισμού μας. Για να ικανοποιηθεί η αυξανόμενη ζήτηση και ταυτόχρονα να μειωθεί η πιθανότητα εξάντλησης των

υπάρχων πηγών, έγινε επιτακτική ανάγκη η ανακάλυψη νέων κοιτασμάτων καθώς επίσης και η περαιτέρω αξιοποίηση των ήδη υπαρχόντων. Έτσι οι βιομηχανίες ωθήθηκαν στην έρευνα για υποθαλάσσια κοιτάσματα. Η ανακάλυψη τέτοιου είδους κοιτασμάτων σε περιοχές όπως η Βόρεια θάλασσα, η Αλάσκα, ο κόλπος του Μεξικού, βοήθησε τις ανεπτυγμένες χώρες να μειώσουν την εξάρτηση τους, σε κάποιο βαθμό, από την Μέση Ανατολή όσον αφορά τον εφοδιασμό τους σε πετρέλαιο.

Η εκμετάλλευση των υποθαλάσσιων κοιτασμάτων δημιούργησε την ανάγκη ανάπτυξης κατάλληλης τεχνολογίας για την μεταφορά του πετρελαίου και του φυσικού αερίου από τα σημεία εξόρυξης τους στα κέντρα κατανάλωσης. Το σημαντικότερο μέσο που εξυπηρετεί τον παραπάνω σκοπό είναι οι υποθαλάσσιοι αγωγοί μεταφοράς πετρελαίου και φυσικού αερίου.

1.2.ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

1. Είναι συνήθως ο πιο οικονομικός τρόπος μεταφοράς αφού εξασφαλίζουν μικρότερη σε έκταση διαδρομή των τάνκερ και είναι πλεονεκτικότερος για λιμάνια τα οποία είναι υποχρεωμένα να δέχονται μόνο μικρά σε μέγεθος και άρα αντιοικονομικότερα τάνκερς.
2. Το κόστος τους δεν είναι τόσο ευάλωτο σε προβληματικές καταστάσεις στις τιμές του πετρελαίου, αφού το κύριο μέρος τους αποτελείται από τη δαπάνη κεφαλαίου ενώ το κόστος λειτουργίας είναι σχετικά χαμηλό. Επιπλέον περίπου το 50% των δαπανών λειτουργίας αποτελείται από σταθερά στοιχεία όπως : συντήρηση, φορολογία κ.τ.λ.
3. Σε σύγκριση με άλλες μορφές μεταφοράς, οι αγωγοί έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν υπόκεινται σε αύξηση του κόστους λειτουργίας τους κατά τις περιόδους εισόδου και εξόδου του εμπορεύματος. Αντίθετα τα τάνκερς υπόκεινται σε φορολογία κατά την προσάραξη τους σε λιμάνι.
4. Οι λειτουργίες των αγωγών δεν είναι ευπαθείς σε ανθρώπινα λάθη. Αυτό γιατί τα περισσότερα συστήματα λειτουργούν αυτόματα και δεν απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή.

5. Οι θαμμένοι αγωγοί στο βυθό της θάλασσας δεν αποτελούν εμπόδιο για την ναυσιπλοΐα.
6. Λόγω του ότι είναι τοποθετημένοι κάτω από το έδαφος δεν καταστρέφουν το περιβάλλον.
7. Είναι πολύ ασφαλείς απέναντι σε ενδεχόμενη δολιοφθορά, καθώς είναι θαμμένοι στον βυθό.
8. Η αξιοπιστία των αγωγών είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερη από όλα τα άλλα μέσα μεταφοράς.

1.3.ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

1. Το αρχικό κόστος κεφαλαίου είναι συνήθως υψηλό, οπότε αν δεν είμαστε βέβαιοι για την έκταση της ζήτησης θα πρέπει αυτή να υποτεθεί σε κάποιο βαθμό, ώστε να καθοριστεί το μέγεθος των αγωγών.
2. Αλλαγή της διαδρομής εγκατεστημένων αγωγών, δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί χωρίς να προκαλέσει υπερβολικά κόστη. Αντίθετα μπορεί να εξασφαλίσει αύξηση της χωρητικότητας με σχετικά χαμηλό κόστος.
3. Ενδέχεται να παρουσιαστούν ορισμένα προβλήματα σχετικά με την άντληση στερεών, υγρών και αερίων τα οποία είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε δυσλειτουργία των αγωγών.
4. Είναι συχνά δύσκολο να εντοπιστεί η πηγή μικρών διαρροών ή μπλοκαρισμάτων σε μεγάλου μήκους αγωγούς.
5. Η συντήρηση και επισκευή αγωγών τοποθετημένων κάτω από το έδαφος είναι πάντα δύσκολη.
6. Οι αγωγοί συνήθως δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μεταφορά περισσοτέρων του ενός υλικών, παρότι υπάρχουν αγωγοί μεταφοράς πολλών προϊόντων που λειτουργούν σε ομαδική βάση.

1.4.ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟΙ ΑΓΩΓΟΙ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

1.4.1.Η ΡΥΠΑΝΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΩΝ ΓΕΝΙΚΑ

Το νερό κατέχει την πρώτη θέση στη ζωή μας, η ποσότητα του οποίου είναι συνάρτηση του είδους της ζωής που υπηρετεί. Η ρύπανση του νερού, που είναι ουσιώδες συστατικό της ζωής, μπορεί να δημιουργήσει σοβαρές επιπτώσεις όχι μόνο στην υγεία του ανθρώπου αλλά και στο περιβάλλον που ζει, ιδιαίτερα όταν η ρύπανση γίνεται από παθογόνα υλικά.

Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δίνεται στη ρύπανση του ύδατος που προέρχεται από ελαιώδεις ουσίες (π.χ. πετρελαιοειδή) και επίσης από χλωριωμένες οργανικές ενώσεις (π.χ. εντομοκτόνα) που δεν υδρολύονται στο νερό.

Η ρύπανση του νερού χαρακτηρίζεται συνήθως από μια ή περισσότερες από τις εξής καταστάσεις

- Περιεκτικότητα σε στερεά
- Χρώμα
- Οσμή
- Γεύση
- Τοξικότητα
- Παθογένεια
- Θερμική ρύπανση
- Αποξυγόνωση

Το φαινόμενο του ευτροφισμού είναι η περιβαλλοντική συνθήκη που οδηγεί στην ελάττωση του διαλυμένου οξυγόνου, ενώ συγχρόνως δημιουργείται υπερβολική βιολογική δραστηριότητα με αποτέλεσμα την ανάπτυξη φυτών και αλγών. Οι πιο πάνω καταστάσεις συνήθως συνυπάρχουν στο υδάτινο περιβάλλον αυτό και τα προβλήματα γίνονται πιο πολύπλοκα και το οικονομικό κόστος που απαιτείται για το καθαρισμό είναι μεγαλύτερο.

Στα υποθαλάσσια δίκτυα αγωγών όταν αναφερόμαστε για περιβάλλον αυτό που μας έρχεται στο μυαλό είναι μόλυνση από πετρέλαιο. Πράγματι το μεγαλύτερο μέρος των αγωγών μεταφέρουν πετρέλαιο ή παράγωγά του ή γενικά υδρογονάνθρακες όπως το φυσικό αέριο. Άλλες χημικές ουσίες δύσκολα μεταφέρονται με αγωγούς λόγω των περιορισμένων ποσοτήτων τους. Επίσης θα πρέπει να πούμε ότι η μόλυνση που προκαλείται από αγωγούς είναι από διαρροές, δηλαδή σε περίπτωση βλάβης και όχι στην

κανονική λειτουργία τους. Για τον λόγο αυτό θα ασχοληθούμε αποκλειστικά με το πετρέλαιο.

1.4.2. ΡΥΠΑΝΣΗ ΑΠΟ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ

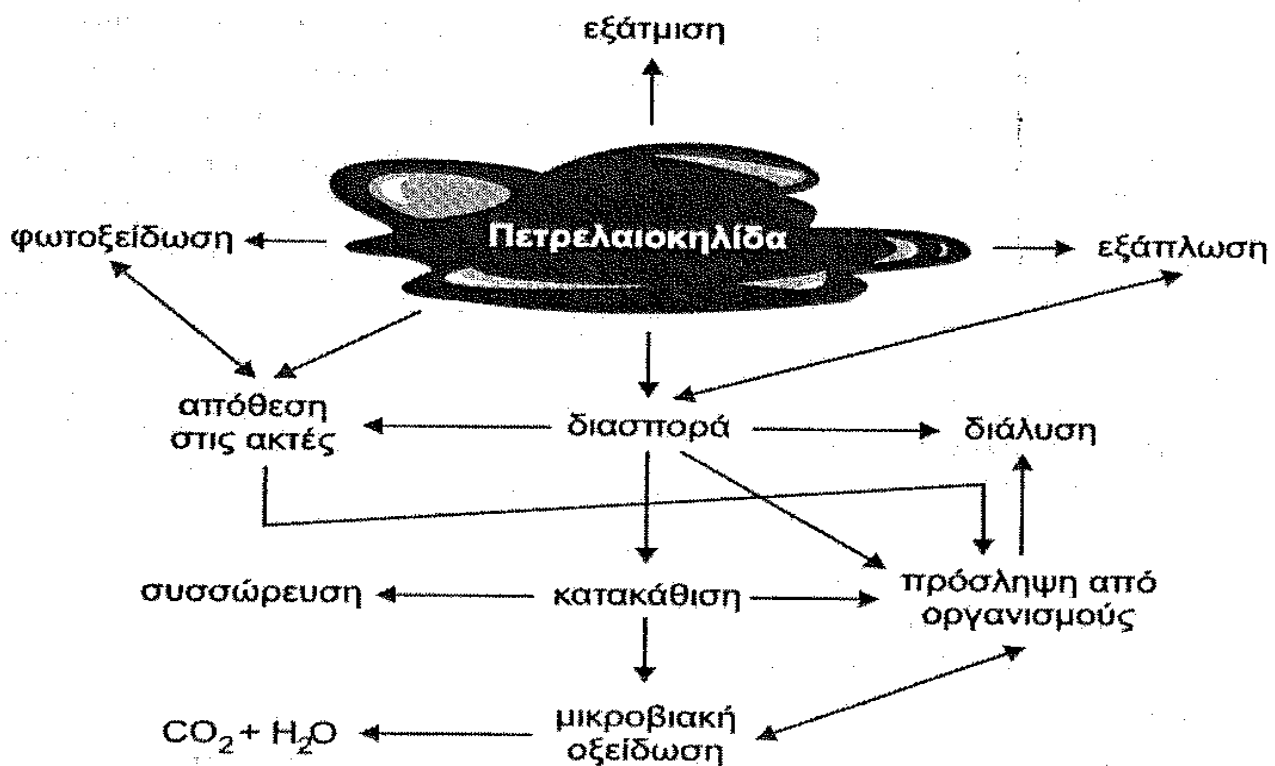
Ένα από τα πιο μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα είναι η ρύπανση των επιφανειακών υδάτων κυρίως των θαλασσινών από πετρελαιοειδή. Συνολικά, κάθε χρόνο μερικά εκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου καταλήγουν στις θάλασσες. Οι κυριότερες από τις πηγές, που συμμετέχουν στην ρύπανση είναι :

- Οι απώλειες κατά την εκφόρτωση και φόρτωση.
- *Οι διαρροές από αγωγούς και εγκαταστάσεις μεταφοράς και άντλησης πετρελαίου μέσα στη θάλασσα.*
- Το πλύσιμο και η αποβολή του έρματος των δεξαμενόπλοιων (συμμετοχή περίπου 50%).
- Τα αστικά λύματα και τα απόβλητα πολλών βιομηχανιών.
- Ναυτικά ατυχήματα.
- Ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις. Η ποσότητα των υδρογονανθράκων που χάνεται απευθείας στη θάλασσα είναι μικρή σε σχέση με την ποσότητα που εξατμίζεται ή υπόκειται σε ατελή καύση. Ένα μέρος των παραπάνω δεν φωτοξειδώνεται και παραμένει με την μορφή σταγονιδίων ή προσροφάτε από σωματίδια της ατμόσφαιρας. Τα υγρά και στερεά σωματίδια μπορούν να κατακαθίσουν ή να ξεπλυθούν με τις βροχοπτώσεις με αποτέλεσμα να επιβαρύνονται σημαντικά οι θάλασσες.

Μετά την απόχυση πετρελαίου στη θάλασσα σχηματίζεται πετρελαιοκηλίδα, η οποία καταλαμβάνει τεράστιες διαστάσεις (ένα λίτρο πετρελαίου καλύπτει περίπου 1000 m² έκταση). Στη συνέχεια το πετρέλαιο υφίσταται διάφορες διεργασίες όπως : εξατμηση, διάλυση, γαλακτοματοποίηση, οξείδωση, καθίζηση, και παραλαβή από ζώντες οργανισμούς. Οι διεργασίες αυτές αλλοιώνουν τη σύσταση της πετρελαιοκηλίδας με την απομάκρυνση και μεταφορά διαφόρων συστατικών της.

Κάθε τύπος πετρελαίου περιέχει πτητικά συστατικά, τα οποία όμως εξατμίζονται. Έτσι μέσα σε λίγες μέρες ο όγκος μιας τυπικής πετρελαιοκηλίδας ελαττώνεται κατά 25% περίπου. Επιπλέον, τα χαμηλού μοριακού βάρους συστατικά απομακρύνονται εξαιτίας της μεγάλης διαλυτότητας τους στο νερό. Με την πάροδο του χρόνου στο εκτεθειμένο στις ατμοσφαιρικές συνθήκες πετρέλαιο παρατηρείται εμπλουτισμός με πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες (PAH) με 4 και 5 δακτυλίους, ενώσεις που είναι μεταλλαξιογόνες και καρκινογόνες. Επειδή οι ενώσεις αυτές είναι ελάχιστα υδατοδιαλυτές δε φαίνονται να έχουν επίδραση στην υδροχαρή βιοκοινωνία. Αντίθετα, αυτό το αλλοιωμένης σύστασης πετρέλαιο αναμιγμένο με ιζήματα, είναι πιο επικίνδυνο για βενθικά είδη.

Σχήμα 10.01. Παράγοντες που επηρεάζουν την σύσταση μιας πετρελαιοκηλίδας.



Η σύσταση του πετρελαίου αλλοιώνεται επιπλέον με την ρόφηση των υδρογονανθράκων στα αιωρούμενα σωματίδια των υδάτων και τα ιζήματα.

Τα υπολείμματα του πετρελαίου συνήθως σχηματίζουν πρισσώδεις σβώλους, που επιπλέον και συνήθως εκβράζονται στις ακτές. Τέτοιες πρισσώδεις μάζες αντιπροσωπεύουν το 10 – 30% του αρχικού πετρελαίου και περιέχουν 30% περίπου PAH με κύρια ένωση το περυλένιο και μικρές ποσότητες φλουορανθενίου και πυρενίου. Εμφανίζουν μεγάλη αντοχή στην

επίδραση των κλιματολογικών συνθηκών και η διάρκεια παραμονής τους είναι περίπου 1 χρόνος. Οι πισσώδεις σβόλοι προκαλούν επί πλέον αισθητική ρύπανση των ακτών με σοβαρές οικονομικές επιπτώσεις.

Οι επιπτώσεις που προκαλούνται από την απόσχιση του πετρελαίου στα επιφανειακά ύδατα είναι πολλές ενώ αρκετές είναι άγνωστες. Ορισμένες από αυτές είναι :

1. Μείωση της διαπερατότητας του φωτός. Η μείωση αυτή είναι σημαντική και φτάνει μέχρι και 90%. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αναστολή της φωτοσύνθεσης των υποθαλάσσιων φυτών.
2. Μείωση της διαλυτότητας του οξυγόνου. Η λεπτή στοιβάδα πετρελαίου εμποδίζει τη διάχυση του οξυγόνου του αέρα στο νερό. Αυτό δημιουργεί ασφυκτικές καταστάσεις για τους υδρόβιους οργανισμούς.
3. Προσβολή των πτηνών. Αυτό γίνεται με τρεις τρόπους : Α) Με την επικάλυψη οι θερμομονωτικές ουσίες των φτερών διαλύονται στο πετρέλαιο. Έτσι τα πτηνά κινδυνεύουν να πεθάνουν από απώλεια θερμότητας. Β) Τα καλυμμένα με πετρέλαιο φτερά συγκολλούνται μεταξύ τους, μειώνεται ο όγκος των πτηνών κι αυτά κινδυνεύουν από πνιγμό και Γ) Η συνήθεια των πτηνών να καθαρίζουν με το ράμφος τους τα λερωμένα φτερά τους τα οδηγεί σε εισαγωγή πετρελαίου στο στομάχι.
4. Τοξικές δράσεις στους ζώντες οργανισμούς. Οι υδρογονάνθρακες πετρελαίου προσλαμβάνονται από ζωντανούς οργανισμούς και μεταβολίζονται σε τοξικές καρκινογόνες ή μεταλλαξιογόνες ουσίες.

Η τοξικότητα των διαφόρων κλασμάτων του πετρελαίου ποικίλει και σε γενικές γραμμές ακολουθεί την σειρά :

Παραφίνες < Ναφθένια < Ολεφίνες < Αρωματικά

2. ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΑΓΩΓΩΝ

2.1. ΓΕΝΙΚΑ

Αξιοπιστία είναι η πιθανότητα ένα εξάρτημα, μία συσκευή ή ένα σύστημα να πραγματοποιήσει την προκαθορισμένη αποστολή του, χωρίς αποτυχίες για ένα ορισμένο διάστημα, όταν λειτουργεί σωστά σε ένα προκαθορισμένο περιβάλλον.

Λόγω της τεράστιας σημασίας που έχει η έννοια της πιθανότητας στον ορισμό της αξιοπιστίας γίνεται εδώ μία γρήγορη ανασκόπηση της έννοιας της. Η λέξη πιθανότητα γίνεται συχνά αποδεκτή με σκεπτικισμό, γιατί εύλογα κάποιος μπορεί να αναρωτιέται πόσο ακριβείς είναι ή μπορούν να είναι οι υπολογισμοί με τις πιθανότητες. Μπορούν να δώσουν απαντήσεις, οι οποίες να είναι κοντά στην πραγματικότητα; Οι περισσότεροι κατανοούν την έννοια της πιθανότητας σαν τύχη ή τζόγο. Το σημαντικό, όμως, είναι πως δεν είναι δυνατόν πάντοτε να γίνει μια πρόβλεψη ότι κάποιο γεγονός θα συμβεί με βεβαιότητα.

Καθημερινά γεγονότα π.χ. όπως η πρόβλεψη του καιρού, η υπόθεση του τι θα έλθει αν ρίξουμε ένα νόμισμα, η πρόβλεψη ενός στοιχήματος στις ιπποδρομίες είναι όλα γνωστά σαν τυχαία γεγονότα ή γεγονότα πιθανότητας. Άλλα γεγονότα όπως, η νύχτα θα διαδεχθεί την μέρα, αν ρίξουμε ένα αντικείμενο θα πέσει στο έδαφος είναι γνωστά σαν καθορισμένα γεγονότα.

Για τους λόγους αυτούς τα μαθηματικά της πιθανότητας είναι τα μαθηματικά της αβεβαιότητας με τα οποία ποτέ δεν θα μπορέσουμε να εξηγήσουμε πλήρως όλους τους νόμους που διέπουν αυτά τα τυχαία γεγονότα. Αν και η μαθηματική επιστήμη των πιθανοτήτων έχει αναπτυχθεί πάρα πολύ, θα ασχοληθούμε μόνο με τα άκρως απαραίτητα για να κατανοήσουμε την αξιοπιστία.

Δεχόμενοι ότι η αξιοπιστία ενός εξαρτήματος είναι η πιθανότητα να επιτύχει να λειτουργεί ικανοποιητικά σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα εύρους t , κάτω από ορισμένες συνθήκες λειτουργίας, τότε αυτή η πιθανότητα μπορεί να εκτιμηθεί με πολύ ακριβείς στατιστικούς υπολογισμούς και υπολογισμούς πιθανότητας. Η εκτίμηση μπορεί να είναι πολύ κοντά στην

πραγματική αξιοπιστία του εξοπλισμού . Όταν συγκρίνουμε τις εκτιμήσεις με την πραγματική εμπειρία που αποκτάται από την λειτουργία του εξοπλισμού, βρίσκουμε ότι τα υπολογισμένα αποτελέσματα συσχετίζονται καλά με την εμπειρία για έναν μεγάλο αριθμό λειτουργιών, αλλά ο συσχετισμός είναι συνήθως φτωχός όταν μόνο μικρός αριθμός δοκιμών λαμβάνεται υπόψη .

Εξάρτημα είναι το μικρότερο μέρος ενός συστήματος το οποίο συνήθως αντικαθίσταται από ένα καινούργιο εάν χαλάσει. Τυπικά εξαρτήματα θα μπορούσαν να είναι ελατήρια βίδες κ.τ.λ. Αντίθετα, μια συσκευή θα μπορούσε να αποτελείται από δυο ή περισσότερα εξαρτήματα όπως αντλίες, συμπιεστές, κιβώτια ταχυτήτων . Τέλος, ένα σύστημα περιλαμβάνει πολλές συσκευές.

Η μαθηματική θεώρηση της αξιοπιστίας μπορεί να είναι διαφορετική για εξαρτήματα, συσκευές και συστήματα και για αυτό το λόγο θα πρέπει να γίνεται ακριβής προσδιορισμός τους όταν εξετάζονται.

Η αποστολή ενός εξαρτήματος, συσκευής ή συστήματος είναι η εργασία που έχουν αναθέσει στο συγκεκριμένο εξάρτημα, συσκευή ή σύστημα. Είναι γενικώς παραδεκτό ότι όσο μεγαλύτερη φόρτιση ασκείται πάνω σε ένα εξάρτημα, μια συσκευή, ένα σύστημα τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να πάθει βλάβη, δηλαδή να μην μπορέσει να φέρει σε πέρας την αποστολή του . Για παράδειγμα, ένα αυτοκίνητο το οποίο οδηγείται στο όριο των δυνατοτήτων του είναι πιθανό να χαλάσει πιο γρήγορα από ένα άλλο που οδηγείται συντηρητικά .

Ο όρος αποτυχίες χρησιμοποιείται αντί των όρων αστοχία ή βλάβη . Ο όρος βλάβη χρησιμοποιείται μόνο όταν αναφερόμαστε σε κάποιο εξάρτημα ή σύστημα, γιατί δεν μπορούμε να πούμε ότι το εξάρτημα απέτυχε, αλλά ότι έπαθε βλάβη.

Μια άλλη παράμετρος η οποία συνήθως διαχωρίζει την έννοια της μηχανικής και της ηλεκτρονικής αξιοπιστίας έγκειται στον ορισμό της ανικανότητας ενός μηχανήματος να επιτελέσει την αποστολή του. Έτσι, ενώ σ' ένα ηλεκτρονικό εξάρτημα το να χαλάσει ένα κύκλωμα αποτελεί σημαίνει διακοπή λειτουργίας, σ' ένα μηχανικό εξάρτημα το να χαλάσει κάτι δεν σημαίνει απαραίτητα βλάβη . Η ερώτηση του τι πράγματι είναι αδυναμία ενός εξαρτήματος ή μιας συσκευής να επιτελέσει την αποστολή του είναι το

σημαντικότερο σημείο το οποίο θα πρέπει να καθοριστεί και να αποτελέσει αντικείμενο έρευνας των συνεπειών της αποτυχίας.

Ας πάρουμε για παράδειγμα έναν αγωγό που παρουσιάζει διαρροή νερού . Αν αυτή η διαρροή είναι μικρή τότε μπορούμε να μην την θεωρήσουμε βλάβη . Αν όμως είναι πολύ μεγάλη τότε κατατάσσεται στις βλάβες . Σε περίπτωση που υπάρχει διαρροή ενός τοξικού, δηλητηριώδους ή εύφλεκτου προϊόντος τότε και η παραμικρή διαρροή απαιτεί άμεση επέμβαση πράγμα που την κατατάσσει αυτόματα στην κατηγορία των βλαβών . Για να βελτιώσουμε την κατάσταση των αποτυχιών αποτελεί κοινή πρακτική ο συσχετισμός τους με τις μορφές βλαβών (τρόπος, αιτία, επιπτώσεις). Ο τύπος βλαβών είναι ο τρόπος με τον οποίο ένα εξάρτημα ή συσκευή εμφανίζει αυτή τη βλάβη . Είναι επίσης ο τρόπος που γίνεται αντιληπτή η βλάβη .

Τέλος για να χαρακτηριστεί ένα συμβάν σαν βλάβη θα πρέπει οι επιπτώσεις του να εμποδίζουν το εξάρτημα ή τη συσκευή να ολοκληρώσει την προκαθορισμένη αποστολή του.

Η εμφάνιση, ή αλλιώς ο ρυθμός αποτυχιών – βλαβών θα πρέπει να μεταβάλλεται με τρεις βασικούς τρόπους συναρτήσεως του χρόνου, κι αυτό εκφράζεται βάσει του ρυθμού αποτυχιών : μπορεί να μειώνονται, να αυξάνονται ή να παραμένουν σταθερές .

- Ένας σταθερός ρυθμός αποτυχιών προκύπτει συνήθως όταν η φόρτιση υπερβαίνει την αντοχή του στοιχείου κατά ένα σταθερό ποσοστό .
- Ο ρυθμός αποτυχιών είναι φθίνουσα συνάρτηση, όταν η πιθανότητα εμφάνισης βλαβών μειώνεται με τον χρόνο . Αυτό είναι ένα σύνηθες φαινόμενο σε ηλεκτρικά στοιχεία.
- Οι αυξητικές τάσεις του ρυθμού αποτυχιών θεωρούνται φυσιολογικές σε μηχανικά εξαρτήματα πέρα από κάποια χρονική διάρκεια, αποτελούν ένδειξη φθοράς και γήρανσης των εξαρτημάτων.

Η συνάρτηση του ρυθμού αποτυχιών είναι η οριακή πιθανότητα να αποτύχει ένα εξάρτημα στο επόμενο χρονικό διάστημα δεδομένου ότι δεν έχει αποτύχει μέχρι την αρχή αυτού του διαστήματος όταν το πλάτος του εν λόγω διαστήματος τείνει στο μηδέν .

Αν ορίσουμε ως εξής :

$P(t)$: Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας αποτυχιών

$R(t)$: Η αξιοπιστία

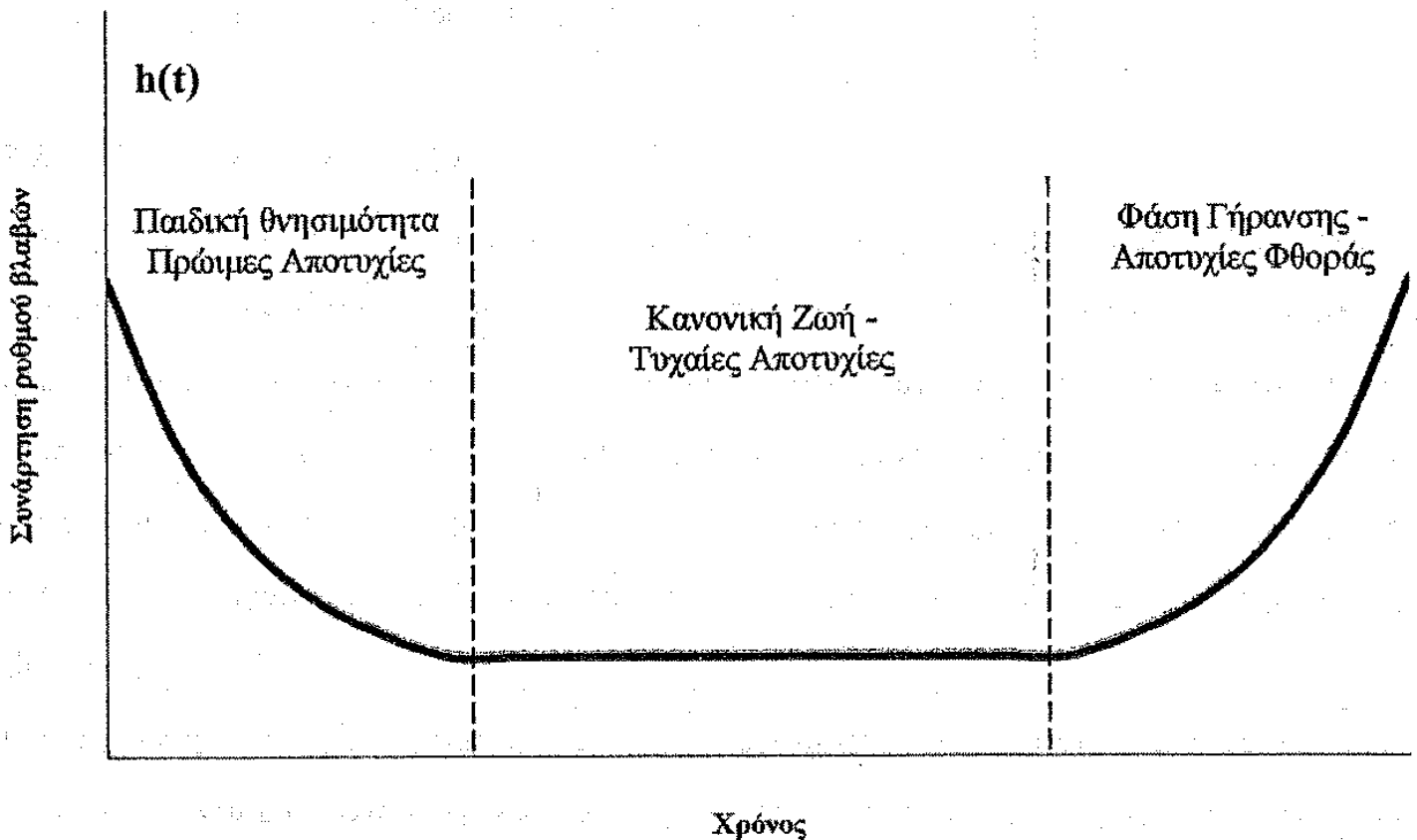
$H(t)$: Ο ρυθμός βλαβών

Τότε έχουμε ότι ο ρυθμός βλαβών ισούται με :

$$H(t) = \frac{P(t)}{R(t)}$$

Ο ρυθμός αποτυχιών μπορεί να περιγραφεί και με το παρακάτω διάγραμμα 2.1 που ονομάζεται και καμπύλη μπανιέρας.

Διάγραμμα 2.1. Καμπύλη μορφή λεκάνης



Αν και το πιο πάνω διάγραμμα είναι χρήσιμο δεν πρέπει να το λαμβάνουμε και σαν αλάνθαστο . Και αυτό γιατί όλες οι μονάδες δεν παθαίνουν βλάβες με ρυθμούς που εκφράζονται από την παραπάνω καμπύλη.

Η έννοια του χρόνου στην αξιοπιστία ποικίλει πολύ από περίπτωση σε περίπτωση. Η μέτρηση του χρόνου στην αξιοπιστία γίνεται ασφαλώς με τις παραδοσιακές μονάδες μέτρησης χρόνου όπως λεπτά, ώρες, μήνες, χρόνια .

Μερικές φορές όμως ο αριθμός των κύκλων λειτουργίας ενός εξαρτήματος αποτελεί τον καθοριστικό παράγοντα που επηρεάζει την αξιοπιστία του, έτσι ώστε η μέτρηση όλων αυτών των on – off λειτουργιών να αποτελεί τη μονάδα μέτρησης του χρόνου, ενώ σε άλλες η μεταφερόμενη ποσότητα υλικού . Είναι ενδιαφέρον επίσης ότι πολλές φορές μετράται ο χρόνος λειτουργίας ή ο χρόνος αναμονής και λειτουργίας . Τέλος στην περίπτωση κινουμένων συσκευών, μηχανών, το καλυπτόμενο διάστημα είναι η ενδεικνυόμενη μέτρηση του χρόνου στην αξιοπιστία.

Επίσης είναι φανερό ότι η λάθος ή η βίαιη χρήση μίας μηχανής ή ενός εξαρτήματος επηρεάζουν την αξιοπιστία του . Είναι λοιπόν απαραίτητο να καθοριστούν τα όρια μέσα στα οποία το κάθε εξάρτημα θα πρέπει να χρησιμοποιείται ή να λειτουργεί . Ακόμα θα πρέπει να υπάρχει και το κατάλληλο προσωπικό που να ξέρει πώς να χειριστεί το κάθε εξάρτημα .

Ακόμα, όταν ένα εξάρτημα μία συσκευή καλείτε να λειτουργήσει εκτός των ορίων ενός καθορισμένου περιβάλλοντος ή όταν η φόρτιση ενός εξαρτήματος ή μιας συσκευής γίνεται μεγαλύτερη από την προκαθορισμένη κατά τον σχεδιασμό και παραγωγή τους τότε η πιθανότητα να αποτύχουν γίνεται πολύ μεγαλύτερη .

Τέλος, εφόσον η πιθανότητα να αποτύχει ένα αντικείμενο μέσα σε ένα χρονικό διάστημα είναι συμπληρωματική της πιθανότητας να επιζήσει στο ίδιο διάστημα τότε έχουμε :

$$P(t) + R(t) = 1$$

2.2.ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ

Η ποσοτικοποίηση της αξιοπιστίας προϋποθέτει την ύπαρξη δεδομένων που αφορούν όχι μόνο μηχανικές αποτυχίες, αλλά και αποτυχίες που σχετίζονται με τις συνέπειες ενός απρόβλεπτου γεγονότος.

Δεδομένο αξιοπιστίας για τις ανάγκες ενός μηχανικού στον εργοστασιακό χώρο είναι κυρίως ο ρυθμός βλαβών (αποτυχιών) ενός εξαρτήματος, μίας συσκευής ή ενός συστήματος. Είναι ακόμη πληροφορίες όσον αφορά την βλάβη, όπως η αιτία του συμβάντος, το είδος της βλάβης κ.τ.λ.

2.2.1.ΕΠΙΠΕΔΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ

Μπορεί κανείς να διαστρώσει τα δεδομένα της αξιοπιστίας σε διάφορα επίπεδα . Έτσι, έχουμε δεδομένα που προέρχονται γενικά από την «κρίση των ειδικών» ή την γενική εμπειρία . Κατόπιν, υπάρχουν δεδομένα που προέρχονται από εμπειρία στο συγκεκριμένο χώρο εργασίας και τελικά υπάρχουν συστηματικές συλλογές και αναλύσεις δεδομένων από γεγονότα σε διαφορετικά εργοστάσια . Αυτά τα γεγονότα αφορούν συνήθως αποτυχίες, επισκευές και αντικαταστάσεις εξαρτημάτων.

Τα δεδομένα του πρώτου επιπέδου σχολιάστηκαν από τον Eric Green στις αρχές του 1970 . Αυτό βρήκε ότι τα χαρακτηριστικά αποτυχιών των βαλβίδων θα μπορούσαν να ληφθούν με μεγάλη ακρίβεια από μια μελέτη επαγγελματιών μηχανικών αξιοπιστίας .

Το δεύτερο επίπεδο της συλλογής δεδομένων θα μπορούσε να ονομαστεί : «ρώτα τον άνθρωπο που έχει ένα τέτοιο εξάρτημα» . Η συλλογή δεδομένων αυτού του είδους είναι δημοφιλής στους μηχανικούς, οι οποίοι είναι συνηθισμένοι να παίρνουν πάνω από το 70% των πληροφοριών που χρειάζονται ρωτώντας ένα άτομο το οποίο νομίζουν ότι έχει την απάντηση . Τα δεδομένα αυτού του επιπέδου δεν περιέχουν ακριβείς περιγραφές, κατασκευαστική προέλευση και προδιαγραφές για κάθε εξάρτημα σε κάθε εργοστάσιο.

Σε αντίθεση τα δεδομένα του τρίτου επιπέδου περιέχουν πληροφορίες που αφορούν τον χρήστη όπως :

- Αναγνώριση του εξαρτήματος
- Αναγνώριση της επισκευής και των χαρακτηριστικών
- Κατάσταση του εξαρτήματος πριν το γεγονός
- Περιγραφή του γεγονότος.

Τέλος αποτελούν σημαντική πηγή πληροφόρησης του τμήματος συντήρησης και άλλων συναφών τμημάτων ενός εργοστασίου.

2.2.2.ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ

Τα δεδομένα αξιοπιστίας μπορεί να προέρχονται από δύο κυρίως πηγές :

- Δημοσιευμένα δεδομένα διαθέσιμα παγκοσμίως από έναν αριθμό πηγών . Αυτά μπορούν να διακριθούν σε δημοσιευμένα πρωτογενή που είναι τα δεδομένα που μπορεί κανείς να βρει στην βιβλιογραφία και αναφέρονται σε γενικές συνθήκες εφαρμογής και σε εφαρμοσμένα πρωτογενή, που είναι τα δεδομένα που αναφέρονται σε λιγότερο ή περισσότερο καθορισμένες συνθήκες λειτουργίας και εφαρμογής, και βρίσκονται και αυτά στην βιβλιογραφία .
- Ενδοεταιρικά δεδομένα συντήρησης και ειδικής ανάλυσης για αξιοπιστία, των εταιριών για δική τους χρήση.

Οποιαδήποτε και αν η πηγή, τα δεδομένα για μηχανικά συστήματα και εξαρτήματα είναι μια περιοχή ιδιαίτερα δύσκολη και υπόκειται σε ικανή αβεβαιότητα. Όταν χρησιμοποιούμε δεδομένα αξιοπιστίας καινούργιων συστημάτων, είναι πάντα καλύτερο να χρησιμοποιήσουμε δεδομένα των εταιριών, καθώς η πηγή των δεδομένων και το περιβάλλον στο οποίο έγινε η συλλογή τους είναι γνωστά και είναι περισσότερο πιθανό να είναι σχετικά με τις ανάγκες του νέου εργοστασίου.

Για να ληφθούν υψηλής ποιότητας δεδομένα αξιοπιστίας, χρειάζεται η συλλογή και η ανάλυση αποτυχίας του κάθε εξαρτήματος από έναν αντιπροσωπευτικό πληθυσμό που λειτουργεί κάτω από ίδιες συνθήκες.

Μόνο σε πολύ εξαιρετικές περιπτώσεις συλλέγονται δεδομένα αξιοπιστίας σε πολύ λεπτομερές επίπεδο, παρόλη την εξάπλωση των συστημάτων με ηλεκτρονικούς υπολογιστές . Στις περισσότερες περιπτώσεις, ιστορικά δεδομένα, προερχόμενα από πρόσφατα αρχεία, αναφορές δοκιμών και βιβλία λειτουργίας παρέχουν την βάση για ανάλυση δεδομένων αξιοπιστίας.

Οι αβεβαιότητες που προκύπτουν από την ανάλυση των ιστορικών στοιχείων σε τμήματα συντήρησης μπορεί να είναι σημαντικές . Συνήθως, οι πληροφορίες θα έχουν συλλεχθεί για να υποστηρίξουν τον προγραμματισμό της συντήρησης . Η έμφαση έτσι θα πέφτει στις ενέργειες για την αποκατάσταση των βλαβών και όχι στην αιτία και το αποτέλεσμα κάθε αποτυχίας. Για να ληφθούν στατιστικά δεδομένα αποτυχιών από τα αρχεία συντήρησης, τα οποία χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των δεδομένων αξιοπιστίας πάντα απαιτεί χρόνο και αρκετά ,μεγάλη εμπειρία και αντίληψη

του μηχανικού . Επίσης συνήθως απαιτούνται επιπρόσθετες πληροφορίες από αναφορές δοκιμών, βιβλία λειτουργίας και καταλόγους κατασκευαστών, για να συμπληρωθεί η εικόνα και να ελαττωθούν οι αβεβαιότητες .

Άλλες αιτίες αβεβαιότητας εμφανίζονται από τις μεταβολές στις λειτουργικές, περιβαλλοντικές και συνθήκες επισκευών που σχετίζονται με μεμονωμένα στοιχεία του εξοπλισμού . Το εργοστάσιο σπάνια θα είναι καινούργιο, και η ηλικία του εξοπλισμού και η προηγούμενη ιστορία των επισκευών συχνά δεν θα είναι εύκολα προσδιορίσιμη . Επίσης, ο αριθμός των δειγμάτων θα είναι μικρός, λόγω του ότι τα στοιχεία αυτά θα αφορούν ένα μεμονωμένο εργοστάσιο.

Ο τρόπος και η λεπτομέρεια με την οποία συλλέγονται τα δεδομένα αξιοπιστίας εξαρτάται από έναν αριθμό παραγόντων . Αυτοί κανονικά θα είναι οργανωτικοί περιορισμοί, Για παράδειγμα κόστη, διαθέσιμη ανθρωποδύναμη, διαθεσιμότητα συστημάτων υπολογιστών, οι χρήσεις στις οποίες τα δεδομένα θα αποκτηθούν κ.τ.λ., είναι πρωταρχικής σημασίας.

Τέλος η μελλοντική συλλογή δεδομένων είναι ουσιώδης και για τους μηχανικούς και για το ειδικό προσωπικό για την αξιοπιστία . Ο μηχανικός συντήρησης απαιτεί συστηματική ανατροφοδότηση αποτυχιών που συμβαίνουν στο εργοστάσιο για να προσδιορίσει αυτά τα εξαρτήματα που προκαλούν υπερβολικό χάσιμο χρόνου, προσπάθεια συντήρησης και κόστος υλικών . Επίσης τα ποσοτικοποιημένα δεδομένα λειτουργικών αποτυχιών μπορούν να παρέχουν γρήγορο προσδιορισμό προβλημάτων κατά τη συντήρηση και μπορούν να βοηθούν το προσωπικό, ώστε να έρχεται σε επαφή με τους προμηθευτές για να αντιμετωπίζονται τα λειτουργικά προβλήματα του εργοστασίου . Ο μηχανικός αξιοπιστίας χρειάζεται μια πηγή που να παρέχει ακριβή δεδομένα για να επιτρέψει στον σχεδιασμό να εκτιμήσει και να βελτιώσει τα τυχόν προβληματικά σημεία για τα μελλοντικά εργοστάσια με ένα μεγάλο αριθμό εμπιστοσύνης σ' αυτή την εκτίμηση .Όμως τα ακατέργαστα δεδομένα πρέπει να υπόκεινται σε μια διαδικασία μετατροπής και να αναλυθούν πριν χρησιμοποιηθούν ευθέως για πρόβλεψη της αξιοπιστίας.

2.2.3ΒΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν από το τμήμα συντήρησης ή κάποιο άλλο συναφές τμήμα στον εργασιακό χώρο, προκειμένου να δημιουργηθεί ένα σύστημα συλλογής δεδομένων είναι τα εξής :

1. Προσδιορισμός των ομάδων αντικειμένων για τα οποία απαιτούνται δεδομένα αξιοπιστίας.
2. Ορισμός των φυσικών ορίων της κάθε ομάδας
3. Σχηματοποίηση καταλόγων ετικετών για τους πληθυσμούς της κάθε ομάδας .
4. Ορισμός μικρότερου μεγέθους δείγματος και των παραμέτρων αξιοπιστίας που αναζητούνται.
5. Καταγραφή των εισερχόμενων στοιχείων που απαιτούνται για τον υπολογισμό των εξερχόμενων παραμέτρων αξιοπιστίας
6. Καταγραφή των υποθέσεων που πρέπει να γίνουν για την ανάλυση των δεδομένων και των δοκιμών που προτείνονται για την επιβεβαίωση αυτών των υποθέσεων.
7. Ορισμός των όρων και ανάπτυξη της χρησιμοποιούμενης κωδικοποίησης στις φόρμες συλλογής των δεδομένων.
8. Ανάπτυξη πληροφοριακών διαγραμμάτων ροής με έμφαση στις διαδρομές από την εισαγωγή των βασικών δεδομένων στις εξερχόμενες παραμέτρους αξιοπιστίας.
9. Ανάπτυξη διαδικασιών για συλλογή και εισαγωγή δεδομένων στο σύστημα .
10. Ενημέρωση και ένταξη όλων των εμπλεκόμενων στο πρόγραμμα .

Λειτουργία μιας άσκησης πιλότου για να εντοπιστεί οποιασδήποτε προβληματική περιοχή, διαφοροποίηση των διαδικασιών, εάν είναι απαραίτητο και αρχή της συλλογής των δεδομένων.

2.3.ΑΙΤΙΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗΣ ΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Είναι σημαντικό πριν εξετάσουμε την αξιοπιστία να καταλάβουμε τους λόγους που προκαλούν μία βλάβη . Μέσα από μελέτες έχει βρεθεί ότι οι σημαντικότεροι λόγοι που προκαλούνται οι βλάβες είναι οι παρακάτω :

- Φθορά

- Ατυχήματα
- Φυσικές καταστροφές

Τέλος θα πρέπει να πούμε ότι η εργασία αυτή ασχολείται εξολοκλήρου με riggable αγωγούς και αυτό γιατί το υπουργείο μεταλλευμάτων των Η.Π.Α. αποφάσισε ότι όλοι οι αγωγοί θα πρέπει να κατασκευάζονται με αυτόν τον τρόπο . Βέβαια υπάρχουν ακόμα non – riggable αγωγοί αλλά στο μέλλον θα αντικατασταθούν .

2.3.1. ΦΘΟΡΑ

Η φθορά στους υποθαλάσσιους αγωγούς είναι ο πιο γνωστός και συνηθισμένος παράγοντας παρουσίασης βλάβης . Αυτό οφείλεται λόγω της μηχανικής καταστροφής που υπόκεινται οι σωληνώσεις . Διαιρείται σε δύο κατηγορίες , οι οποίες είναι :

- Εσωτερική φθορά
- Εξωτερική φθορά

Οι παράγοντες που την επηρεάζουν είναι :

- Τα υλικά κατασκευής των αγωγών
- Αν οι αγωγοί μεταφέρουν πολυφασικό μίγμα
- Αν υπάρχει καθοδική προστασία
- Αν υπάρχει παρουσία βακτηριδίων
- Η ηλικία του αγωγού
- Οι συνθήκες λειτουργίας του αγωγού

Σε γενικές γραμμές θα μπορούσαμε να δούμε την φθορά που προκαλείται σαν ατέλεια του σωλήνα και να την κατηγοριοποιήσουμε ως εξής

- Γενική φθορά ,εδώ παρατηρείτε ένα σταδιακό χάσιμο βάθους στο τοίχωμα του αγωγού .
- Τοπική φθορά λακκούβας ,εδώ παρατηρείτε μείωση του βάθους του αγωγού ,σε ένα σημείο ,σε σχέση με το σχεδιασμένο .
- Sulfide stress corrosion cracking, συμβαίνει κυρίως σε χαλύβδινους αγωγούς όταν δέχονται ελαστικές εντάσεις.

- Hydrogen stress corrosion cracking, συμβαίνει σε χαμηλές ή μηδαμινές εντάσεις εσωτερικά με μεγάλες εξωτερικές συμπιεστικές εντάσεις.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να πούμε ότι η φθορά από μόνη της δεν μπορεί να δημιουργήσει βλάβη ,αλλά θα πρέπει να βρίσκεται σε συνδυασμό και με άλλους παράγοντες όπως η πίεση λειτουργίας και τις εντάσεις που δέχεται .

2.3.1.1. ΠΙΕΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η πιθανότητα να καταστραφεί μία σωλήνα από την πίεση λειτουργίας είναι όταν αυτή ξεπεράσει την πίεση λειτουργίας της σωλήνας . Η πίεση αποτυχίας δηλαδή μπορεί να εκφραστεί ως εξής :

$$P_f = P [P_o \geq P_B] \quad (2.01)$$

$P_o \rightarrow$ Πίεση λειτουργίας

$P_B \rightarrow$ Πίεση καταστροφής

Η πίεση καταστροφής μπορεί να εκφραστεί ως εξής :

$$P_B = B_{BP}^2 \frac{S_Y}{D} (t - d) \quad (2.02)$$

$B_{BP} \rightarrow$ Παράγοντας Bias

$S_Y \rightarrow$ Συγκεκριμένη ελάχιστη δύναμη από το υλικό

$D \rightarrow$ Διάμετρος σωλήνα

$d \rightarrow$ Μέγιστο βάθος του αποτελέσματος της φθοράς

Ασκώντας λογαριθμική συνάρτηση κανονικής κατανομής στην εξίσωση (2.01) έχουμε ένα δείκτη ασφάλειας ο οποίος είναι :



$$\beta = \frac{\ln[B_{BP}^2 \frac{Sy}{DPo} (t-d)]}{\sigma_{\ln PB}^2 + \sigma_{\ln Po}^2} \quad (2.03)$$

$\sigma_{\ln PB}$ → Τυπική απόκλιση πίεσης καταστροφής

$\sigma_{\ln Po}$ → Τυπική απόκλιση πίεσης λειτουργίας

Έτσι τελικά θα έχουμε την πιθανότητα καταστροφής του αγωγού :

$$R\pi = 1 - \Phi(\beta) \quad (2.04)$$

Αν τώρα ορίσουμε σαν αξιοπιστία το $R\pi$ αυτό ορίζεται ως :

$$R\pi = 1 - P_{failure} = \Phi(\beta) \quad (2.05)$$

Και ο ρυθμός βλαβών $H\pi$

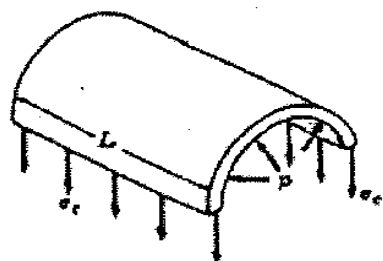
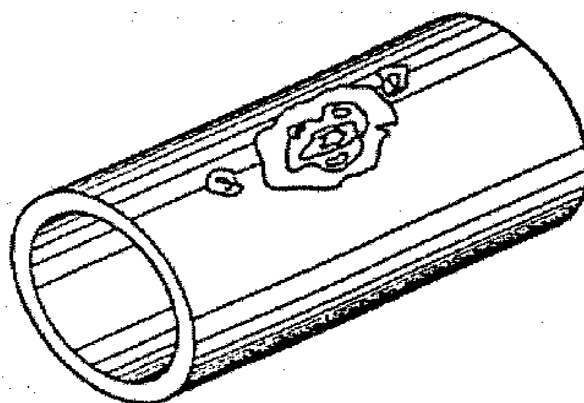
$$H\pi = \frac{P_{failure}}{R\pi} = \frac{1 - \Phi(\beta)}{\Phi(\beta)} \quad (2.06)$$

2.3.1.2. ΕΝΤΑΣΕΙΣ

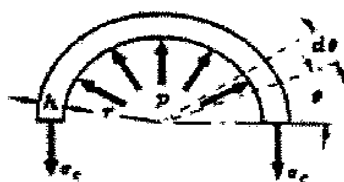
Οι σημερινές διαδικασίες σχεδιασμού δικτύων αγωγών έχουν να κάνουν με την απόδοση των ορίων των δυνάμεων σαν βασικά κριτήρια δύναμης για δακτυλιοειδής εντάσεις. Οι δακτυλιοειδής δυνάμεις επηρεάζονται από την εσωτερική πίεση και επηρεάζουν την ακεραιότητα του δικτύου. Έχει παρατηρηθεί ότι μικρή αύξηση στις δακτυλιοειδείς εντάσεις προκαλεί μεγάλη αύξηση στην καταπόνηση του δικτύου. Έτσι σε συνδυασμό με τον φθαρμένο αγωγό έχουμε μεγαλύτερη αύξηση εντάσεων στα σημεία όπου έχουμε φθορά.

Εκτός από τις δακτυλιοειδείς εντάσεις όλες οι υπόλοιπες είναι δευτερεύουσας σημασίας με εξαίρεση την περίπτωση όπου και έχουμε μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας .

ΕΙΚΟΝΑ 2.1 : ΦΘΑΡΜΕΝΟΣ ΑΓΩΓΟΣ



(α)



(β)



(γ)

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΑΚΤΥΛΙΟΕΙΔΩΝ ΕΝΤΑΣΕΩΝ (α ,β) ΚΑΙ ΕΠΙΜΗΚΩΝ ΕΝΤΑΣΕΩΝ . ΟΙ ΔΑΚΤΥΛΙΟΕΙΔΕΙΣ ΕΙΝΑΙ ΔΥΟ ΦΟΡΕΣ ΠΟΙΟ ΙΣΧΥΡΕΣ ΤΩΝ ΕΠΙΜΗΚΩΝ ΕΝΤΑΣΕΩΝ .

Έστω ότι

$$P_f = P [\sigma_{Op} \geq \sigma_F] \quad (2.07)$$

σ_{Op} → δακτυλιοειδείς εντάσεις λειτουργίας

σ_F → δακτυλιοειδείς εντάσεις καταστροφής

$$\sigma_{Op} = \frac{PD_o}{2(t-d)} \quad (2.08)$$

D_o → εξωτερική διάμετρος σωλήνα

$$P = P_i - P_{ex}$$

$P_i \rightarrow$ Εσωτερική πίεση

$P_{ex} \rightarrow$ Εξωτερική πίεση

$$\sigma_F = \bar{\sigma} \frac{1 - \frac{A}{Ao}}{1 - \frac{A}{Ao} M^{-1}} \quad (2.09)$$

$\bar{\sigma} \rightarrow$ Ροή έντασης του υλικού = 1.1 SMYS

$A \rightarrow$ Περιοχή σπασίματος ή ατέλεια

$Ao = Lt$

$L \rightarrow$ Αξονική επέκταση της φθοράς

$$M = \sqrt{1 - \frac{0.8L^2}{Dt}}$$

Ο όρος A μπορεί να γραφτεί ως συνάρτηση της αξονική επέκταση της φθοράς L και του μέγιστου βάθους της φθοράς d . Έτσι μπορούμε να πούμε ότι :

$$A = \frac{2}{3} Ld$$

αντικαθιστώντας στην σχέση (2.09) θα έχουμε :

$$\sigma_F = \bar{\sigma} \frac{1 - \frac{2d}{3t}}{1 - \frac{2d}{3t} M^{-1}} \quad (2.10)$$

Ασκώντας λογαριθμική συνάρτηση κανονικής κατανομής στην εξίσωση (2.10) έχουμε ένα δείκτη ασφάλειας ο οποίος είναι :

$$\beta = \frac{\ln\left[B_{BP}^2 \frac{Sy}{DPo} (t-d) \left(\frac{1-\frac{2d}{3t}}{1-\frac{2d}{3t}M^{-1}}\right)\right]}{\sigma_{\ln \sigma F}^2 + \sigma_{\ln \sigma op}^2} \quad (2.11)$$

Τελικά έχουμε :

$$P_E = \Phi(-\beta) \quad (2.12)$$

Ορίζω την αξιοπιστία με R_E και έχω

$$R_E = 1 - \Phi(-\beta) \quad (2.13)$$

Και ο ρυθμός βλαβών είναι H_E

$$H_E = \frac{\Phi(-\beta)}{1 - \Phi(-\beta)} \quad (2.14)$$

2.3.2. ΑΤΥΧΗΜΑΤΑ

Ως ατυχήματα ορίζονται όλες οι βλάβες που προκύπτουν από την ανθρώπινη δραστηριότητα στην περιοχή. Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία τα ατυχήματα είναι ο τρίτος σε συχνότητα εμφάνισης παράγοντας καταστροφής αγωγών .

Τα ατυχήματα μπορούμε να τα χωρίσουμε σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την προέλευση της ανθρώπινης δραστηριότητας.

- Ατυχήματα που προκαλούνται από το εργατικό προσωπικό και
- Ατυχήματα που οφείλονται σε τριτογενείς παράγοντες.

Στην πρώτη περίπτωση τα ατυχήματα μπορούν να αποφευχθούν με καλύτερη εκπαίδευση του προσωπικού, αλλά και τηρώντας του κανόνες ασφαλείας . Εδώ πάλι μπορούμε να τα κατηγοριοποιήσουμε ως εξής :

- Ατυχήματα που οφείλονται σε κατασκευαστικά λάθη
- Ατυχήματα που οφείλονται στα υλικά κατασκευής και

- Ατυχήματα που οφείλονται σε λανθασμένους χειρισμούς

Οι τριτογενείς παράγοντες μπορεί να είναι πολλοί και διάφοροι . Σε γενικές γραμμές, όμως μπορούμε να τους χωρίσουμε σε :

- Συγκρούσεις και
- Άγνωστα

Στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει κάποιος συγκεκριμένος τρόπος αντιμετώπισης, αλλά ο κάθε παράγοντας που εμφανίζεται θέλει ειδική αντιμετώπιση.

Αν ορίσουμε την πιθανότητα να γίνει κάποιο ατύχημα με P_{AT} τότε αυτή θα ακολουθεί κατανομή WEIBULL. Άρα η πιθανότητα να γίνει κάποιο ατύχημα θα είναι:

$$P_{AT} = \frac{\beta}{n} \left[\frac{t - \gamma}{n} \right]^{\beta-1} e^{-\left[\frac{t-\gamma}{n} \right]^\beta} \quad (2.15)$$

$t \rightarrow$ χρόνος

$n \rightarrow$ Παράμετρος κλίμακας γνωστή και σαν χαρακτηριστική ζωή. Είναι ίση με την τιμή της διάρκειας ζωής $t - \gamma$ στην οποία υπάρχει μια πιθανότητα περίπου στα 2/3 το εξάρτημα να έχει πάθει βλάβη . Η πιθανότητα αυτή είναι :

$$F(n+\gamma) = 1 - e^{-1} = 0.6321 \quad (2.16)$$

$t > \gamma$ και

$\gamma \rightarrow$ Παράμετρος θέσεως που εκφράζει τον χρόνο που πρέπει να περάσει για να συμβεί βλάβη. Σε πολλές εφαρμογές η τιμή της παραμέτρου γ θεωρείται ίση με το μηδέν .

$\beta \rightarrow$ Παράμετρος μορφής .Εδώ το $\beta > 1$ και θα κυμαίνεται από 1,01 έως 3,9 . Όπου 1,01 έχουμε ελάχιστη ανθρώπινη δραστηριότητα και όπου 3,9 έχουμε πολύ μεγάλη ανθρώπινη δραστηριότητα .

Η αξιοπιστία στην προκειμένη περίπτωση θα είναι :

$$R_{AT} = \exp\left[-\frac{t-\gamma}{n}\right]^{\beta} \quad (2.17)$$

Τέλος ο ρυθμός βλαβών είναι :

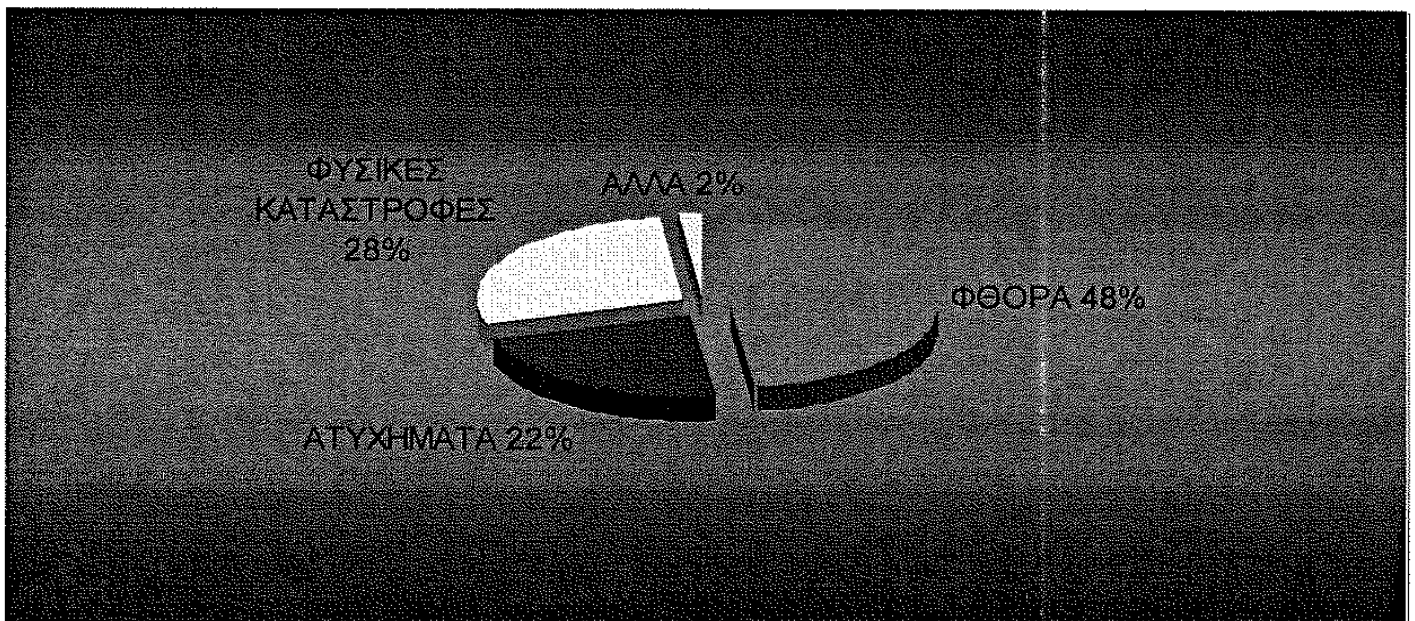
$$H_{AT} = \frac{\beta}{n} \left[\frac{t-\gamma}{n}\right]^{\beta-1} \quad (2.18)$$

2.3.3. ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ

Οι φυσικές καταστροφές προκαλούνται συνήθως από ακραία καιρικά φαινόμενα (καταιγίδες, ανεμοστρόβιλους, κ.τ.λ.), σεισμούς καθώς επίσης και άλλα φαινόμενα, όπως π.χ. μετακίνηση παγόβουνων, ισχυρά υποθαλάσσια ρεύματα κ.τ.λ. . Πάντα όμως εξαρτώνται από την τοποθεσία του δικτύου και το ιστορικό της περιοχής.

Η μελέτη τους είναι πολύ σημαντική για την εξαγωγή συμπερασμάτων στην αξιοπιστία . Αυτό φαίνεται και από τα ακόλουθα διαγράμματα, όπου είναι ο δεύτερος λόγος καταστροφής των αγωγών .

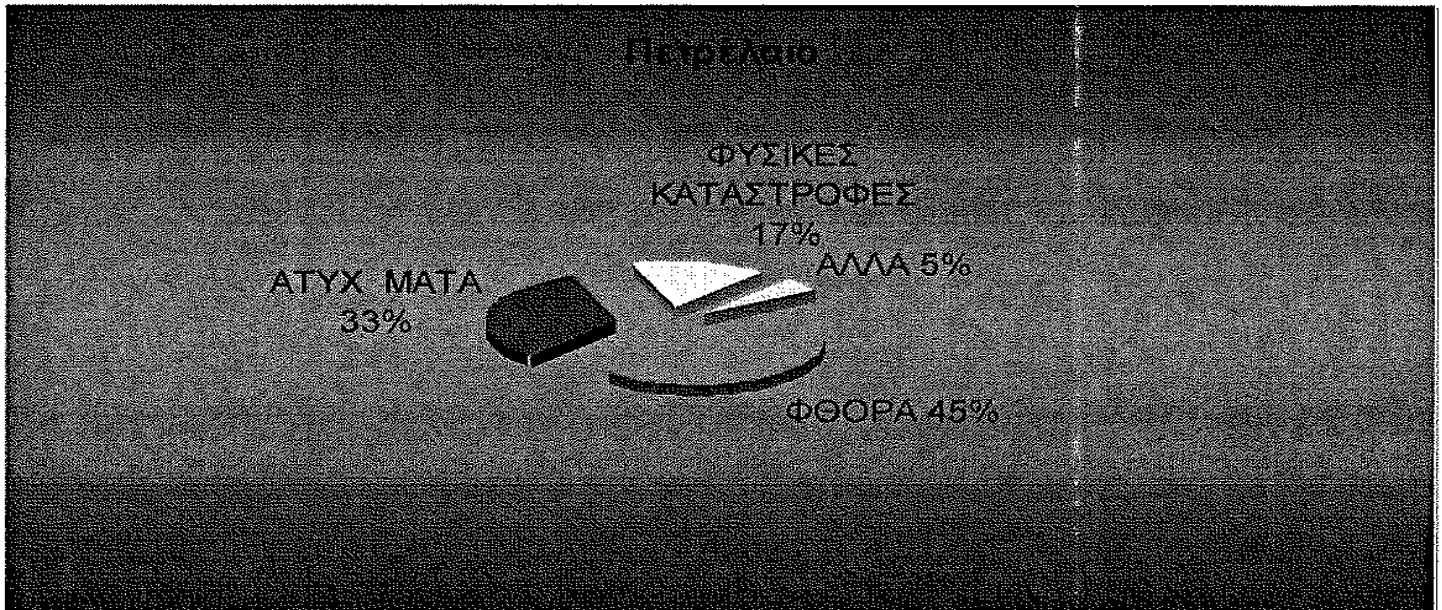
Διάγραμμα 2.2 Λόγοι βλαβών Στον κόλπο του Μεξικού



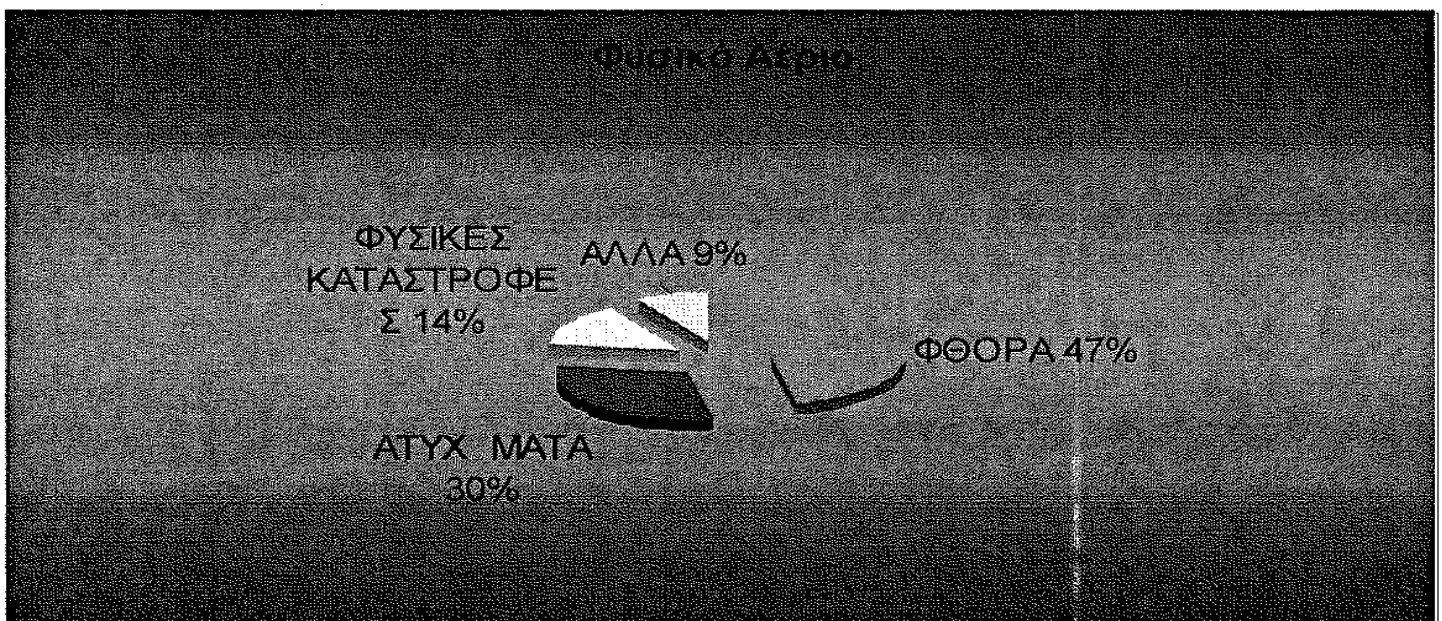
Βέβαια τα πράγματα αλλάζουν στην περίπτωση όπου έχουμε μεταφορά πετρελαίου ή φυσικού αερίου, όπου και τα ατυχήματα είναι

συχνότερα από τις φυσικές καταστροφές. Τα προηγούμενα στοιχεία ισχύουν για τον κόλπο του Μεξικού απλώς παρατίθενται σαν παράδειγμα .

Διάγραμμα 2.3 Βλάβες στον κόλπο του Μεξικού κατά την μεταφορά πετρελαίου



Διάγραμμα 2.4 Βλάβες στον κόλπο του Μεξικού κατά την μεταφορά φυσικού αερίου



Δεδομένου, ότι όσα περισσότερα και μεγαλύτερα, σε ένταση, φυσικά φαινόμενα έχουμε τόσο αυξάνεται η πιθανότητα να πάθει βλάβη ένας αγωγός, καθώς επίσης και, ότι τα φυσικά φαινόμενα έχουν μία περιοδικότητα, ο ρυθμός βλαβών θα είναι σταθερός, άρα η πιθανότητα να πάθει βλάβη ένας

αγωγός ακολουθεί εκθετική κατανομή. Αν ορίσουμε την πιθανότητα βλάβης σε έναν αγωγό από φυσικά φαινόμενα $P_{\Phi\Phi}$ Τότε αυτό θα ισούται με :

$$P_{\Phi\Phi} = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.19)$$

$\lambda \rightarrow$ Μέση τιμή πιθανότητας εμφάνισης προηγούμενων βλαβών

Αρα η αξιοπιστία είναι $R_{\Phi\Phi}$

$$R_{\Phi\Phi} = e^{-\lambda t} \quad (2.20)$$

Και ο ρυθμός βλαβών

$$H_{\Phi\Phi} = \lambda \quad (2.21)$$

2.4. ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Για να βρούμε την συνολική αξιοπιστία θα πάρουμε τον τύπο :

$$P(t) + R(t) = 1 \quad (2.22)$$

Αρα αν βρούμε την συνολική πιθανότητα να πάθει βλάβη μπορούμε να υπολογίσουμε την συνολική αξιοπιστία. Η συνολική πιθανότητα θα ισούται με:

$$P(t) = P_{\Phi\Phi} \cup P_{ΑΤ} \cup P_E \cup P_{\Pi} \quad (2.23)$$

Αναλύοντας θα έχουμε :

$$P(t) = P_{\Phi\Phi} + P_{ΑΤ} + P_E + P_{\Pi} - \sum (P_i \cap P_j) \quad (2.24)$$

Όπου i και j $\Phi\Phi, ΑΤ, Ε, \Pi$, και $i \neq j$

Όμως

$$(P_i \cap P_j) = P_i P_j \approx 0$$

Και αυτό γιατί μπορεί να υπάρχει η πιθανότητα να υπάρχει π.χ. και θύελλα αλλά και φθορά και να συμβούν δύο αποτυχίες ταυτόχρονα αλλά η πιθανότητα αυτή είναι πολύ μικρή . Επίσης, ακόμα και αν συμβούν και οι δύο ταυτόχρονα η μια αρκεί για να καταστραφεί ο αγωγός . Άρα ο τύπος (2.24) γίνεται :

$$P(t) = P_{\Phi\Phi} + P_{AT} + P_E + P_{\Pi} \quad (2.25)$$

Άρα η αξιοπιστία του αγωγού θα είναι :

$$R(t) = 1 - (P_{\Phi\Phi} + P_{AT} + P_E + P_{\Pi}) \quad (2.26)$$

Τέλος ο ρυθμός βλαβών θα είναι :

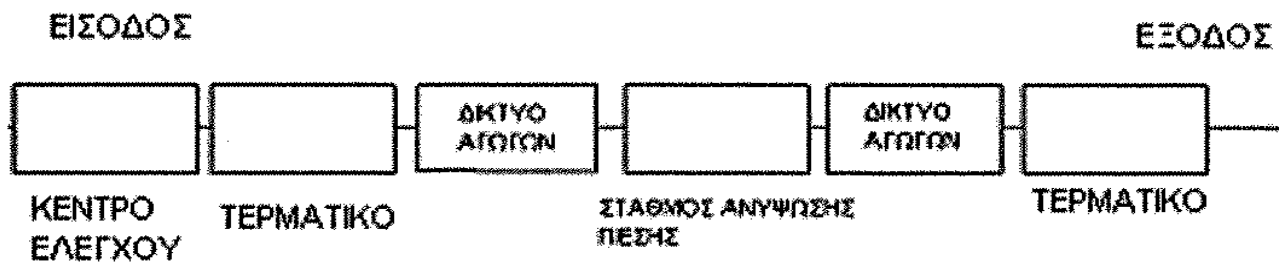
$$H(t) = \frac{P(t)}{R(t)} = \frac{P_{\Phi\Phi} + P_{AT} + P_E + P_{\Pi}}{1 - (P_{\Phi\Phi} + P_{AT} + P_E + P_{\Pi})} \quad (2.27)$$

2.5. ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

Ένα δίκτυο αγωγών δεν αποτελείται μόνο από το δίκτυο των σωληνώσεων αλλά και από τρίτα μέρη που περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 1. Έτσι θα πρέπει να υπολογιστεί η συνολική αξιοπιστία του συστήματος αν θέλουμε να υπολογίσουμε με ακρίβεια τη λειτουργικότητα του.

Αρχικά θα φτιάξουμε ένα διάγραμμα ροής αρκετά απλοϊκό, όπου θα υπολογίζουμε την αξιοπιστία του συστήματός μας. Ένα τέτοιο διάγραμμα θα μπορούσε να είναι το παρακάτω.

Διάγραμμα 2.5 Απλό σύστημα αγωγών.



Από το διάγραμμα μπορούμε να δούμε ότι σε περίπτωση βλάβης ενός από τα στοιχεία που περιέχει το δίκτυο τότε θα έχουμε πλήρη αποτυχία του συστήματος για μεταφορά προϊόντων. Έτσι μπορούμε να πούμε ότι έχουμε ένα σύστημα σε σειρά. Τελικά η αξιοπιστία του συστήματος θα είναι :

$$R_1 = R_{KE} \times R_{TE} \times R_{\Delta A} \times R_{\Sigma \Delta \Pi} \times \dots \times R_{\Delta A} \times R_{\Sigma \Delta \Pi} \times R_{TE} \quad (2.28)$$

R_{KE} → Αξιοπιστία κέντρου ελέγχου

R_{TE} → Αξιοπιστία τερματικού

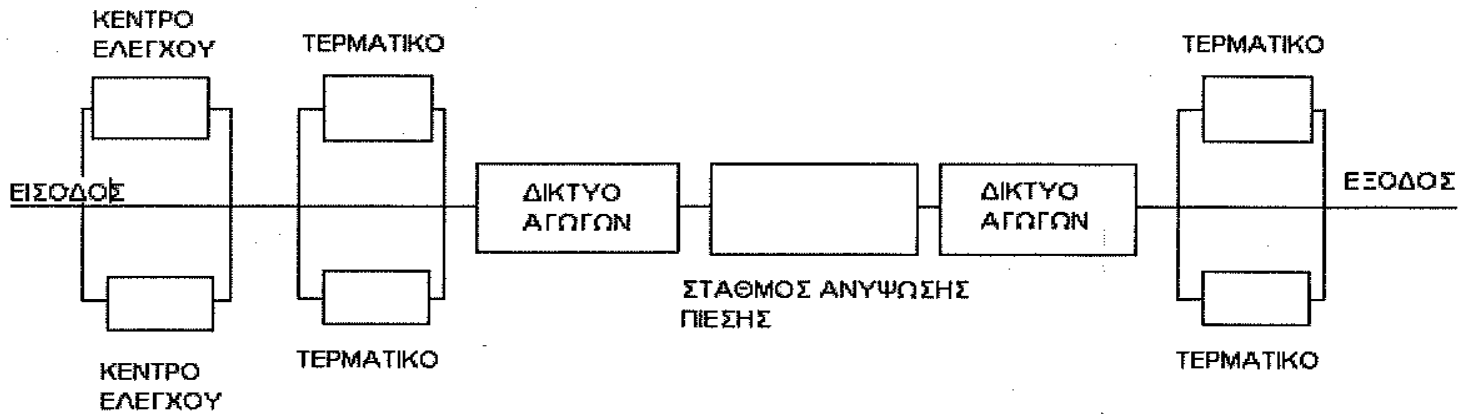
$R_{\Delta A}$ → Αξιοπιστία δικτύου αγωγού

$R_{\Sigma \Delta \Pi}$ → Αξιοπιστία σταθμού ανύψωσης

Η αξιοπιστία του κέντρου ελέγχου, του τερματικού και του σταθμού ανύψωσης της πίεσης μπορούν να βρεθούν από βάσεις δεδομένων που βρίσκονται είτε στο internet είτε μπορεί να αποκτηθούν με ανταλλαγή δεδομένων είτε από τον κατασκευαστή. Η αξιοπιστία του δικτύου αγωγών μπορεί να υπολογιστεί βάσει αυτών που αναπτύξαμε προηγουμένως.

Βέβαια όμως στο προηγούμενο απλό σύστημα δεν πήραμε υπόψη μας το αρχικό κόστος κεφαλαίου. Όταν έχουμε ένα σύστημα σε σειρά η αξιοπιστία του μειώνεται με αποτέλεσμα η λειτουργικότητα του συστήματος να είναι μικρότερη. Για να μεγαλώσουμε την αξιοπιστία του συστήματος μπορούμε να φτιάξουμε ένα διάγραμμα ροής με εφεδρείες, έτσι ώστε να δημιουργήσουμε ένα παράλληλο σύστημα για τα περισσότερα στοιχεία του συστήματος. Αν πάρουμε υπόψη μας το αρχικό κόστος κεφαλαίου τότε μπορούμε να δούμε ότι το κόστος του κέντρου ελέγχου και του τερματικού είναι πολύ μικρά. Οπότε μπορούμε να δημιουργήσουμε μία εφεδρεία από αυτά τα δύο. Άρα το διάγραμμα ροής θα γίνει :

Διάγραμμα 2.6 Σύνθετο σύστημα αγωγών.



Με τον τρόπο αυτό η αξιοπιστία του συστήματος γίνεται παίρνει την μορφή :

$$R_2 = [R_{KE} + R_{KE} - R_{KE}^2] \times [R_{TE} + R_{TE} - R_{TE}^2] \times R_{\Delta\Delta} \times R_{\Sigma\Delta\Pi} \times \dots \times R_{\Delta\Delta} \times R_{\Sigma\Delta\Pi} \times [R_{TE} + R_{TE} - R_{TE}^2] \quad (2.29)$$

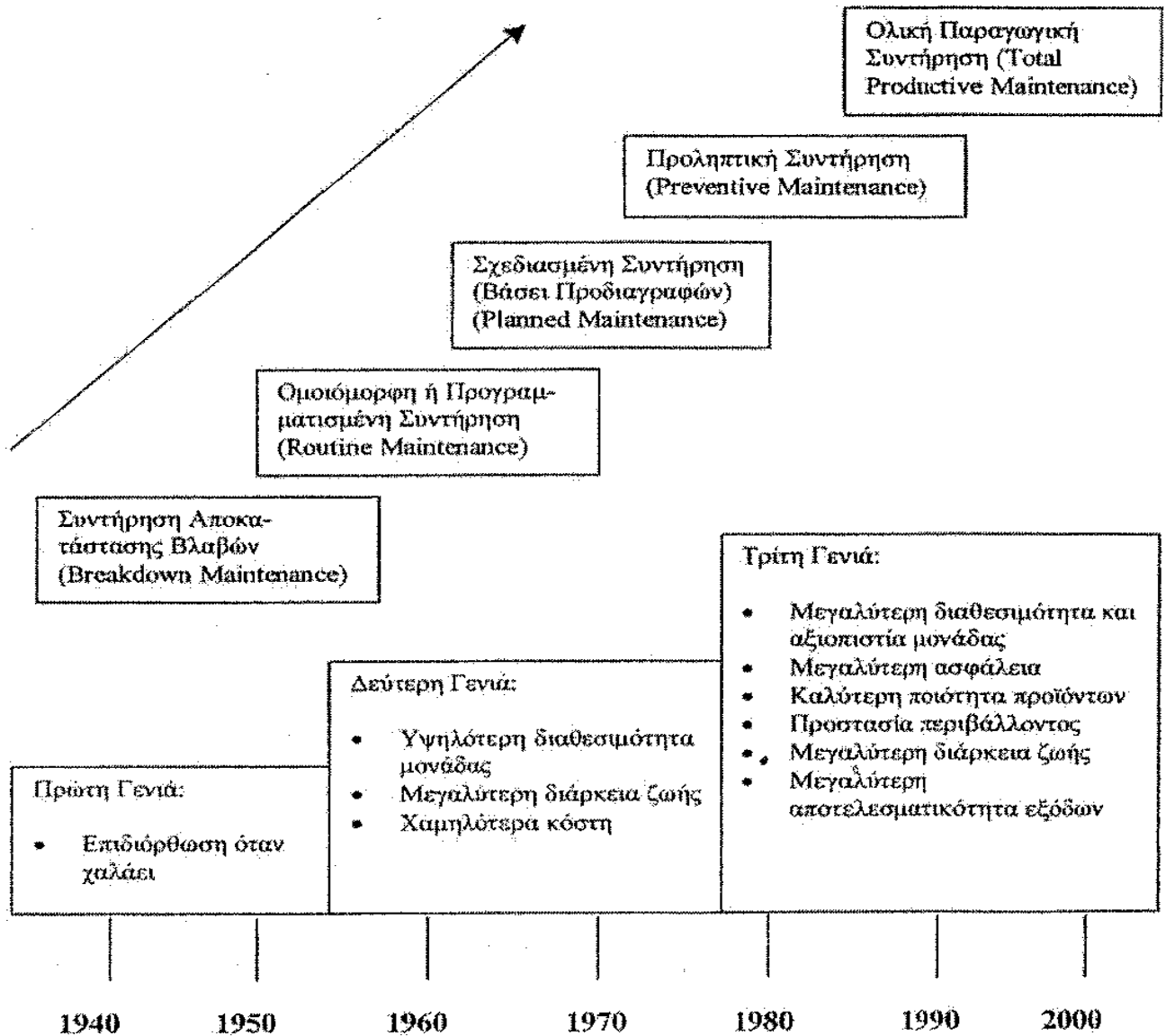
Επειδή όμως η αξιοπιστία είναι πιθανότητα και πάντα $R \leq 1$ έτσι θα ισχύει πάντα $R_2 \leq R_1$

3.ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΑΓΩΓΩΝ

3.1.ΓΕΝΙΚΑ

Η επιλογή της καλύτερης μεθόδου για την συντήρηση ενός δικτύου αγωγών, είναι ένας από τους πρωταρχικούς στόχους της προσπάθειας οργάνωσης συστηματικής συντήρησης. Στο σχήμα 3.1 βλέπουμε την ιστορική εξέλιξη της συντήρησης.

Σχήμα 3.1 Ιστορική εξέλιξη της συντήρησης.



Από τους 5 αυτούς τύπους θα μελετήσουμε τους 4 πρώτους γιατί ο τελευταίος ξεφεύγει από τα όρια αυτής της εργασίας.

3.2.ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΒΛΑΒΩΝ

Πρόκειται για το απλοϊκότερο σύστημα συντήρησης που εφαρμόζεται στην πράξη, όλο και ποιο περιορισμένα. Σε μεγάλη κλίμακα εφαρμόστηκε μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1950 και συνιστάται στην επιδιόρθωση ενός στοιχείου του εξοπλισμού μόνο στην περίπτωση που αυτό δεν θα μπορεί να λειτουργεί άλλο. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιήθηκε και αναπτύχθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο και εδώ θα αναφερθούν μόνο τα χαρακτηριστικά του.

- Το σύστημα αυτό δεν απαιτεί ιδιαίτερη οργάνωση. Είναι η ελάχιστη απαίτηση που μπορεί να έχει ένα εργοστάσιο από μια υπηρεσία συντήρησης και το μόνο αναγκαίο είναι να υπάρχει προσωπικό, εργαλεία και ανταλλακτικά.
- Η επέμβαση του τμήματος συντήρησης γίνεται κάθε φορά που εκδηλώνεται μια βλάβη και η προσπάθεια αποσκοπεί στο να επαναλειτουργήσει ο εξοπλισμός όσο γίνεται πιο γρήγορα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η απόδοση του συστήματος να εξαρτάται κυρίως από την ποιότητα και τον αριθμό του προσωπικού το οποίο πρέπει να εργαστεί βιαστικά για να επισκευάσει τη βλάβη.
- Ο χρονικός προγραμματισμός της παραγωγής είναι αδύνατος γιατί οι απροσδόκητες βλάβες αναγκάζουν το προσωπικό να τρέχει από την μια βλάβη στην άλλη χωρίς να προτεραιότητα επισκευής.
- Βασικό επίσης μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η αύξηση της πιθανότητας πρόκλησης εργατικού ατυχήματος.
- Τέλος, το σύστημα δημιουργεί καταστάσεις που μπορεί να επηρεάσουν τη λειτουργία της βιομηχανίας για πολλά χρόνια.

Εδώ θα πρέπει να τονιστεί ότι όμως υπάρχουν και περιπτώσεις στις οποίες θα μπορούσε να προτιμηθεί η συντήρηση μετά από βλάβη, όπως π.χ. ένα μεγάλο κόστος διακοπής λειτουργίας ενός μηχανήματος, για λόγους περιοδικής συντήρησης ή ένα πολύ υψηλό κόστος ανταλλακτικών, οι οποίες επιβάλλουν την επέμβαση μόνο σε περιπτώσεις βλάβης. Αυτό όμως θα μπορούσε να προβλέπεται από το σχεδιασμό του εργοστασίου, όπως με την εγκατάσταση εφεδρικών συστημάτων.

Το κόστος συντήρησης είναι μια μεταβλητή που είναι συνάρτηση των μονάδων που βρίσκονται στο σύστημα. Τέτοιες μονάδες είναι οι αγωγοί, οι σταθμοί ανύψωσης και άλλα. Όλες αυτές οι μονάδες επηρεάζουν το κόστος βάση της αξιοπιστίας τους. Παραδείγματος αν κάποιος αποφασίσει να χρησιμοποιήσει αγωγούς με μικρή αξιοπιστία τότε το κόστος συντήρησης θα είναι πολύ μεγαλύτερο από το αν διαλέξει αγωγούς με μεγάλη αξιοπιστία. Έστω ότι συντηρούμε τον κάθε αγωγό κάθε φορά που παρατηρείται βλάβη, τότε το κόστος συντήρησης θα είναι ίσο με την πιθανότητα να πάθει βλάβη ένας αγωγός επί το κόστος αποκατάστασης της βλάβης. Δηλαδή ίσο με :

$$K_{\text{ΚΣ}} = K \alpha_j \quad (3.01)$$

Κα → Κόστος αποκατάστασης σε περίπτωση βλάβης

Όπου j είναι ο τύπος βλάβης που παρουσιάστηκε κατά την επιδιόρθωση. Τι γίνεται όμως στην περίπτωση που θέλουμε να υπολογίσουμε το κόστος συντήρησης σε έναν αγωγό ή σε όλο το δίκτυο για μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Τότε θα ισχύει ο τύπος (3.02).

$$K_{\text{ΚΣ}} = K \alpha (1 - R) \quad (3.02)$$

Όπου $(1-R)$ είναι η πιθανότητα να πάθει βλάβη ο αγωγός. Βέβαια παρόλο που η προηγούμενη μαθηματική σχέση είναι σωστή, δεν μπορούμε να την χρησιμοποιήσουμε παρά μόνο αν οι αγωγοί μας παρουσίαζαν ένα είδος βλάβης ή όλες οι βλάβες επιδιορθώνονται με τον ίδιο τρόπο ή έχουν το ίδιο κόστος αποκατάστασης.

Ας εξετάσουμε τώρα το γεγονός ότι έχουμε διάφορα είδη βλαβών και με διαφορετικά κόστη το καθένα. Στην περίπτωση αυτή τότε η πιθανότητα βλάβης θα είναι η ίδια, αλλά θα αλλάζει το κόστος συντήρησης. Έτσι ο τύπος (3.01) θα γίνεται ως εξής :

$$K_{\text{ΚΣ}} = (1 - R) K \alpha_j \quad (3.03)$$

Αθροίζουμε όλες τις βλάβες γιατί δεν βλέπουμε μεμονωμένα περιστατικά αλλά όλο το δίκτυο μαζί. Βέβαια εδώ παρουσιάζεται ένα βασικό πρόβλημα, ότι δεν μπορούμε να προβλέψουμε με ακρίβεια ποια βλάβη θα παρουσιαστεί την συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Για τον σκοπό αυτό από τις

βάσεις δεδομένων αξιοπιστίας μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα σχετικά με την πιθανότητα να παρουσιαστεί κάποιο είδος βλάβης στην περίπτωση που έχουμε αποτυχία του αγωγού. Έτσι αν θέσουμε την πιθανότητα να παρουσιαστεί κάποιο συγκεκριμένο είδος βλάβης ίση με F_{be} και έχω από 1 έως k βλάβες, τότε μπορούμε να ξαναγράψουμε την σχέση (3.02) ως εξής :

$$K_{\text{ΚΣ}} = (1 - R) \sum_j^{1-k} F_{be_j} K \alpha_j \quad (3.03)$$

Όπου k ο αριθμός βλάβης που μπορεί να συμβεί στον αγωγό που θέλουμε να υπολογίσουμε το κόστος συντήρησης του.

Τα προηγούμενα ισχύουν γιατί όμως κάναμε μια θεώρηση, ότι όλοι οι αγωγοί έχουν το ίδιο κόστος επιδιόρθωσης για την ίδια βλάβη. Αυτό όμως δεν ισχύει και ένα παράδειγμα είναι ότι όλοι οι αγωγοί δεν είναι στο ίδιο βάθος, αλλά και ούτε εκτίθενται κατά την συντήρησή τους στα ίδια φυσικά φαινόμενα. Άρα η προηγούμενη σχέση ισχύει για κάθε αγωγό, αλλά όχι για όλο το δίκτυο των αγωγών. Το κόστος για όλο το δίκτυο θα είναι το άθροισμα από τα κόστη όλων των αγωγών πολλαπλασιασμένο με την πιθανότητα βλάβης όλου του δικτύου αγωγών (3.04).

$$K_{\text{ΚΣ δικτύου}} = \sum K_{\text{ΚΣ}} \quad (3.04)$$

Εδώ παρατηρούμε ότι όσο υψηλότερη αξιοπιστία έχουμε τόσο μικρότερο είναι το κόστος συντήρησης.

3.3.ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Η ομοιόμορφη συντήρηση αποτελεί ακόμα και σήμερα ένα από τα πλέον συνηθισμένα συστήματα συντήρησης.

Έτσι για παράδειγμα μια προκαθορισμένη ημέρα της εβδομάδας συντηρούνται ορισμένα μηχανήματα που δουλεύουν όλη την εβδομάδα ή συντηρούνται ορισμένα μηχανήματα μετά από ορισμένο χρόνο λειτουργίας.

Σε κάθε περίοδο συντήρησης υπάρχουν κάποιες προκαθορισμένες εργασίες συντήρησης. Ελέγχονται και επισκευάζονται σημεία της μηχανής για τα οποία υπάρχει ένδειξη βλάβης από την προηγούμενη συντήρηση. Ακόμα,

όταν ανοίγει η μηχανή για κάποια συγκεκριμένη εργασία, γίνονται μια σειρά επιθεωρήσεων και σε μέρη που δεν έχουν παρουσιάσει πρόβλημα και ανάλογα με τις παρατηρήσεις, γίνονται και άλλες εργασίες ή προγραμματίζονται για την επόμενη φορά.

Το σύστημα αυτό είναι απλό στην οργάνωση και εφαρμογή του, απαιτεί ελάχιστη υποστηρικτική γραφική εργασία και – το σημαντικότερο – επιτυγχάνει ένα υψηλό βαθμό προληπτικότητας γιατί ανακαλύπτει και εντοπίζει τις επικείμενες βλάβες. Στο σύστημα αυτό δίνουμε έμφαση στην έκδοση απλών οδηγιών με εύκολη εφαρμογή, οι οποίες καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος των μηχανημάτων του εργοστασίου, θυσιάζοντας τις ειδικές λεπτομέρειες και απαιτήσεις για χάρη της ομοιομορφίας.

Τα βασικά πλεονεκτήματα είναι :

- Είναι απλό στην οργάνωση
- Απαιτεί ελάχιστη βοηθητική εργασία
- Επιτυγχάνεται αρκετή πρόληψη

Τα βασικά μειονεκτήματα είναι :

- Δεν είναι κατάλληλο για μεγάλες μονάδες
- Δεν δίνει αξιόλογα στοιχεία συμπεριφοράς του μηχανολογικού εξοπλισμού

Η μέθοδος αυτή, δεν είναι αποδεκτή για τα δίκτυα αγωγών, για δυο βασικούς λόγους. Ο πρώτος είναι, ότι το μήκος των αγωγών είναι τεράστιο, καθώς διασχίζουν θάλασσες ή ωκεανούς. Βάση αυτού η προληπτική συντήρηση σε όλο ή ένα κομμάτι του δικτύου θα κρατούσε μήνες. Ο δεύτερος είναι, ότι στις περισσότερες περιπτώσεις αγωγών με τον όρο συντήρηση εννοείται η αντικατάσταση του αγωγού. Αν τώρα λάβουμε υπόψη μας ότι το κόστος του δικτύου αγωγών είναι σχεδόν ίσο με το κόστος επένδυσης, τότε κάθε φορά που κάνουμε ομοιόμορφη συντήρηση θα πρέπει να ξαναπληρώνουμε το κόστος επένδυσης.

3.4.ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΒΑΣΕΙ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ

Από το 1950 κάποιες ομάδες Αμερικανών μηχανικών δοκίμασαν να υιοθετήσουν μια διαφορετική αντιμετώπιση του προβλήματος της συντήρησης

η οποία οδήγησε στη δημιουργία του συστήματος της συντήρησης βάσει προδιαγραφών.

Με το σύστημα αυτό αποδίδεται εξαιρετική σημασία στις πραγματικές ανάγκες συντήρησης του συγκεκριμένου στοιχείου του εξοπλισμού. Λαμβάνονται σοβαρά υπόψη οι οδηγίες του κατασκευαστή, οι συνθήκες εκμετάλλευσης, οι συνθήκες περιβάλλοντος και γενικά όλοι οι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τη λειτουργία και τη φθορά της μηχανής.

Το σύστημα προϋποθέτει την έκδοση λεπτομερών οδηγιών και τον προσεκτικό χρονικό προγραμματισμό των συντηρήσεων που, με την ευρύτερη έννοια, περιλαμβάνουν περιοδικές επιθεωρήσεις και ρυθμίσεις. Η πείρα από προηγούμενες συντηρήσεις καθώς και η καταγραφή των στοιχείων που προκύπτουν, αναλύονται και αξιοποιούνται για την αύξηση ή την μείωση των περιόδων συντήρησης, ώστε οι εργασίες να εκτελούνται όσο γίνεται πιο ορθολογικά.

Το κόστος συγκρότησης και λειτουργίας ενός τέτοιου συστήματος είναι σημαντικό, και θα πρέπει να δικαιολογείται από το κόστος κτήσης της μηχανής, στην περίπτωση των αγωγών δικαιολογείται απόλυτα, στην οποία εφαρμόζεται ή από τον σοβαρό ρόλο της στην παραγωγική δραστηριότητα.

Έστω τώρα ότι ο τύπος αγωγών που διαλέξαμε έχει βάσει των προδιαγραφών αξιοπιστία R , η οποία είναι εξίσωση του χρόνου t , τότε το κόστος θα είναι :

$$K_{\text{ΚΣ}} = (1 - R) \sum_j^{1-k} F(be)_j K\alpha_j + R \times K\beta \quad (3.05)$$

$K\beta \rightarrow$ Κόστος προληπτικής συντήρησης αγωγού

Στην περίπτωση που ο αγωγός μας δεν παρουσιάζει βλάβη, θα πρέπει να πούμε, ότι θα αλλάξει η αξιοπιστία του συστήματος, αφού ο αγωγός μας θα έχει ξεπεράσει τις προβλεπόμενες εβδομάδες λειτουργίας. Ο αγωγός αυτός μπορεί να πάει στο τμήμα συντήρησης και να γίνουν οι κατάλληλες διεργασίες που θα ανανεώσουν τον χρόνο ζωής του ή να κάνουμε μερική συντήρηση χωρίς να τον απομακρύνουμε από το σημείο που βρίσκεται. Το πρόβλημα στις περιπτώσεις αυτές είναι ότι και στις δυο επιλογές, θα έχουμε δημιουργία νέων προδιαγραφών που συνεπάγεται και νέα αξιοπιστία. Με τον

τρόπο αυτό μετά από καιρό το σύστημα συντήρησης χάνει την αξιοπιστία του μιας και τα αποτελέσματα του έχουν μεγάλη απόκλιση από τα πραγματικά γεγονότα.

3.5.ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Στην δεκαετία του 60 αφού έχει γίνει πλέον αποδεκτό από όλους ότι τα υπάρχοντα συστήματα συντήρησης δεν είναι αποδοτικά, δημιουργείται η ανάγκη ενός συστήματος το οποίο να έχει την δυνατότητα να προβλέπει με μεγάλη ακρίβεια μια επικείμενη βλάβη. Έτσι αναπτύσσεται η προληπτική συντήρηση η οποία στη συνέχεια βρίσκει αρκετά μεγάλη ανταπόκριση στη βιομηχανία.

Η εφαρμογή της προληπτικής συντήρησης αποβλέπει στην αποκατάσταση της λειτουργικής πληρότητας της συγκεκριμένης μηχανής με την εξεύρεση και αποκατάσταση των φθαρμένων – πραγματικά ή ‘στατικά’ – εξαρτημάτων που θα έβαζαν σε κίνδυνο την ομαλή λειτουργία της.

Για το σκοπό αυτό η προληπτική συντήρηση βασίζεται σε ένα προσεκτικά καταστρωμένο δίκτυο επιθεωρήσεων και ρυθμίσεων, με τις οποίες διαπιστώνεται, κατά το δυνατό, η λειτουργική πληρότητα του εξοπλισμού και εντοπίζονται οι πιθανές αδυναμίες για περισσότερη ή λιγότερη επέμβαση.

Το σύστημα αυτό αποτελεί τη βάση της οργάνωσης της λειτουργίας της συντήρησης. Στηρίζεται σε μια λεπτομερειακή περιγραφή περιοδικών επιθεωρήσεων και ρυθμίσεων που σαν σκοπό έχουν την εξεύρεση και αποκατάσταση της λειτουργίας των εξαρτημάτων ή μηχανημάτων. Κύριο χαρακτηριστικό του συστήματος αυτού είναι η εφαρμογή της προληπτικής συντήρησης σε σταθερά χρονικά διαστήματα.

Η προληπτική συντήρηση είναι μια φιλοσοφία και όχι απλά ένας τεχνικός όρος. Αποτελεί την εξέλιξη οποιουδήποτε συστήματος συντήρησης που ακολουθείται ειδικά κάτω από τις ανταγωνιστικές συνθήκες λειτουργίας που αντιμετωπίζει η βιομηχανία.

Δεν είναι μια εύκολη αλλαγή. Προϊστάμενοι και προσωπικό, δεν αλλάζουν εύκολα συνήθειες και τρόπο σκέψης. Παρόλα αυτά η Π. Σ. πρέπει

να γίνει μέρος του ευρύτερου προγράμματος λειτουργίας της βιομηχανίας, μιας και το κόστος της εξαρτάται άμεσα απ' αυτό της συντήρησης.

Το λειτουργικό κόστος μιας βιομηχανίας επηρεάζεται άμεσα από τον ωφέλιμο χρόνο παραγωγής, ο οποίος με την σειρά του επηρεάζεται από την αξιοπιστία του εξοπλισμού. Η αξιοπιστία όμως εξαρτάται από τον βαθμό συντήρησης του.

Σαν πλεονεκτήματα της προληπτικής συντήρησης μπορούμε να πούμε τα εξής :

- Μείωση του κόστους. Η εφαρμογή της προληπτικής συντήρησης μπορεί να εξασφαλίσει σαφώς καλύτερα οικονομικά αποτελέσματα κυρίως γιατί το κόστος για μια προγραμματισμένη αντικατάσταση είναι μικρότερο από μια απρογραμμάτιστη.
- Διοικητικοί Έλεγχοι. Η προληπτική συντήρηση έχει τη δυνατότητα να οργανωθεί από πριν και αυτό σημαίνει διοίκηση πρόβλεψης αντί διοίκηση αντίδρασης. Το φορτίο εργασίας μπορεί να προγραμματιστεί ώστε ο εξοπλισμός να είναι διαθέσιμος για προληπτική συντήρηση σε λογικούς χρόνους.
- Υπερωρία. Η υπερωρία μπορεί να μειωθεί ή να εξαλειφθεί λόγω της μείωσης των ξαφνικών γεγονότων.
- Φορτίο Εργασίας. Το φορτίο εργασίας μπορεί να εξισορροπηθεί είτε ρυθμίζοντας τη ζήτηση ανάλογα με τα διατιθέμενα μέσα, είτε χρησιμοποιώντας εξωτερικούς συνεργάτες και εξοπλισμό για να αντιμετωπισθεί η ζήτηση.
- Διαθεσιμότητα του εξοπλισμού. Είναι βέβαιο ότι με την προληπτική συντήρηση ο εξοπλισμός θα συμπεριφέρεται καλύτερα και θα παρουσιάζει μεγαλύτερη διαθεσιμότητα και αξιοπιστία όταν αυτό θα χρειαστεί.
- Παραγωγή. Η επέμβαση στον εξοπλισμό συνήθως περιορίζεται σε συγκεκριμένους χρόνους που επιβάλλονται από τις απαιτήσεις της παραγωγής. Η προληπτική συντήρηση βοηθάει στο να εξασφαλίσει την καλύτερη αξιοποίηση των οικονομικά αποδοτικών λειτουργιών.

- **Τυποποίηση.** Οι εργασίες προληπτικής συντήρησης είναι από τη φύση τους επαναλαμβανόμενες και επομένως είναι δυνατό να βελτιωθεί η μέθοδος και να αναπτυχθεί η επιδεξιότητα. Είναι δυνατόν να μελετηθεί η διαδικασία εκτέλεσης εργασίας και να επιτευχθούν συγκεκριμένοι χρονικοί στόχοι.
- **Αποθέματα ανταλλακτικών.** Αφού η προληπτική συντήρηση επιτρέπει τον προγραμματισμό ανταλλακτικών υλικών, οι απαιτήσεις για τα υλικά αυτά μπορεί να προγραμματιστούν έτσι ώστε να είναι διαθέσιμα όταν ακριβώς θα χρειαστούν.
- **Εφεδρικός εξοπλισμός.** Παρά το ότι και με την προληπτική συντήρηση είναι ανάγκη να υπάρχουν εφεδρείες, γενικά η ανάγκη αυτή και η επένδυση σε εφεδρικό εξοπλισμό είναι μικρότερη.
- **Ασφάλεια και Μόλυνση του περιβάλλοντος.** Έχοντας πρόγραμμα προληπτικών επιθεωρήσεων ενσωματωμένο ή σύστημα παρακολούθησης της κατάστασης, ο εξοπλισμός μπορεί να είναι ασφαλής και να μην δημιουργεί μόλυνση.
- **Ποιότητα.** Για τους ίδιους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω, η σωστή εφαρμογή της προληπτικής συντήρησης βοηθάει να εξασφαλιστεί παραγωγή καλής ποιότητας.
- **Υποστήριξη των χρηστών.** Με την κατάλληλη δημοσιοποίηση η προληπτική συντήρηση βοηθάει στο επιδεχθεί στους χειριστές του παραγωγικού εξοπλισμού, στη διεύθυνση παραγωγής και σε άλλους χρήστες του παραγωγικού εξοπλισμού ότι με τη λειτουργία της συντήρησης επιδιώκεται η εξασφάλιση ενός υψηλού επιπέδου υποστήριξης.

Από την άλλη πλευρά βέβαια τα μειονεκτήματα είναι :

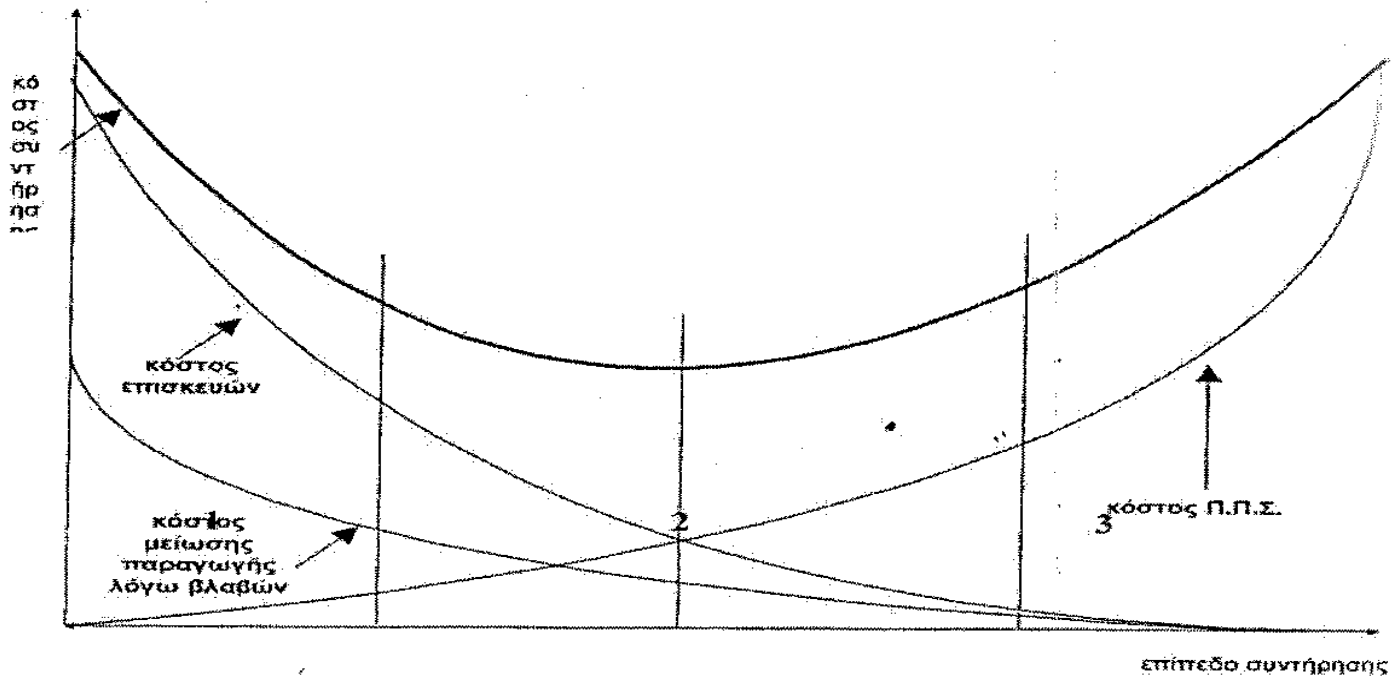
- **Δυνατότητα ζημιάς.** Κάθε φορά που γίνεται επέμβαση στον εξοπλισμό υπάρχει φόβος να γίνει ζημιά λόγω αδιαφορίας, άγνοιας, παραβίασης ή εφαρμογής λανθασμένης διαδικασίας.
- **Παιδική θνησιμότητα.** Τα καινούργια ανταλλακτικά έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να είναι ελαττωματικά ή να

παρουσιάσουν πρόβλημα από ότι τα εξαρτήματα και υλικά που είναι ήδη σε χρήση.

- Χρησιμοποίηση ανταλλακτικών. Η προληπτική αντικατάσταση ανταλλακτικών στην προληπτική συντήρηση, προφανώς αχρηστεύει την εναπομένουσα ζωή τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η προληπτική συντήρηση να έχει μεγαλύτερο κόστος ανταλλακτικών από άλλα συστήματα συντήρησης.
- Αρχικό κόστος. Λαμβάνοντας υπόψη τη διαχρονική αξία του χρήματος και τον πληθωρισμό, τότε πρέπει να αναγνωρισθεί ότι κατά την επένδυση της προληπτικής συντήρησης διατηρούμε το επενδυμένο κεφάλαιο σε ανταλλακτικά για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.
- Πρόσβαση στον εξοπλισμό. Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα, όταν οι μηχανές λειτουργούν με προγράμματα υψηλών ρυθμών παραγωγής, είναι η δυνατότητα πρόσβασης της υπηρεσίας συντήρησης στον εξοπλισμό για την εκτέλεση προληπτικής συντήρησης.

Με την βοήθεια της γνωστής καμπύλης μορφής λεκάνης ή μπανιέρας αξιοπιστίας, διαπιστώνουμε ότι στην αρχική περίοδο λειτουργίας, ο ρυθμός βλαβών είναι αρκετά υψηλός. Στη συνέχεια ακολουθεί κανονική λειτουργική περίοδος, όπου ο ρυθμός βλαβών είναι χαμηλός, ενώ στη τρίτη περίοδο αυξάνει, οπότε λαμβάνεται η απόφαση της γενικής επισκευής και βελτίωσης ή της αντικατάστασης. Είναι λοιπόν σημαντικό να συντονίσουμε χρονικά την Προγραμματισμένη Προληπτική Συντήρηση σύμφωνα με την καμπύλη λεκάνης.

Διάγραμμα 9.03. Καμπύλη μορφής μπανιέρας χωρισμένη σε τρεις περιοχές.



Έτσι αν βρισκόμαστε στην περιοχή 1, παρατηρούμε ότι έχουμε υψηλό κόστος συντήρησης, υψηλό κόστος επισκευών και υψηλό κόστος λόγω μείωσης της παραγωγής εξαιτίας πολλών βλαβών. Στην περιοχή 3, έχουμε από την άλλη μεριά, υψηλό κόστος συντήρησης, χαμηλό κόστος επισκευών και χαμηλό κόστος μείωσης παραγωγής λόγω βλαβών. Αλλά το επίπεδο εδώ δεν ανήκει στην υπέρ-συντήρηση, το οποίο είναι πολύ δαπανηρό, τόσο, που μπορεί να είναι απαγορευτικό.

Ένα βασικό στοιχείο στη λήψη απόφασης για την εφαρμογή του προγράμματος συντήρησης, είναι το κόστος του σε σύγκριση με εκείνο του εξοπλισμού. Ένα κριτήριο που μπορεί να προσδιορίσει αν είναι οικονομικά αποδεκτή η υπαγωγή μηχανήματος ή συγκροτήματος σε ένα πρόγραμμα Π. Σ. είναι ο Συντελεστής Συντήρησης. Ο δείκτης αυτός είναι :

$$\Sigma. \Sigma. = \frac{K \times K\alpha}{K\beta \times E} \quad (3.06)$$

$K \rightarrow$ Αριθμός βλαβών ανά έτος

$E \rightarrow$ Αριθμός προληπτικών ελέγχων ανά έτος

Τα όρια του $\Sigma. \Sigma.$ καθορίζονται με βάση τα οικονομικά στοιχεία που θέτουμε και διαφέρουν ανάλογα με την εφαρμογή.

Ειδικότερα, ο καθορισμός των διαστημάτων στα οποία γίνεται προληπτική συντήρηση είναι ιδιαίτερα σημαντικός από οικονομική άποψη. Πολύ συχνά το κόστος επισκευής των μηχανών και το κόστος από την 'χαμένη' παραγωγή που συνεπάγεται η καθήλωση των μηχανών, αποτελεί σημαντικό ποσοστό του κόστους παραγωγής. Το κόστος αυτό μπορεί να συμπυκνωθεί σημαντικά αν ακολουθηθεί ένα πρόγραμμα προληπτικής συντήρησης.

Ο καθορισμός της συχνότητας της προληπτικής συντήρησης μπορεί να γίνει συγκρίνοντας το κόστος των μη προγραμματισμένων συντηρήσεων με το κόστος και τα οφέλη της προληπτικής συντήρησης.

Αν τώρα ορίσουμε ως $F(t)$ την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του χρόνου μεταξύ δυο αποτυχιών τότε από την εξίσωση (3.06)

$$\int_0^{T(a,b)} P(t) dt = 1 \quad (3.06)$$

μπορεί να αποδειχθεί ότι η τιμή του t που ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος ανά μονάδα χρόνου δίνεται από την σχέση.

$$t = \left[\frac{K \beta}{K \alpha \times a(b-1)} \right]^{1/b} \quad (3.07)$$

4.ΕΠΙΣΚΕΥΗ Ή ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

4.1.ΓΕΝΙΚΑ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο είδαμε τις διάφορες μορφές συντήρησης και υπολογίσαμε το κόστος που προκύπτει αν ακολουθήσουμε το κάθε είδος χωριστά. Για να υπολογίσουμε όμως το κόστος συντήρησης με ακρίβεια, θα πρέπει να ξέρουμε τι ενέργειες θα πρέπει να πράξουμε για να συντηρήσουμε το μηχάνημα ή εξάρτημα μας.

Στην περίπτωση μας το εξάρτημα είναι οι αγωγοί και οι ενέργειες είναι η επισκευή ή η αντικατάσταση του αγωγού. Θα πρέπει τώρα να δούμε ποια από τις δύο είναι η πιο συμφέρουσα έτσι ώστε να διαλέξουμε την οικονομικότερα αποδεκτή μέθοδο. Εδώ θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας ότι, ακόμα και αν διαλέξουμε να επιδιορθώνουμε τους αγωγούς, κάποιοι από αυτούς θα πρέπει να αντικατασταθούν. Αυτό γίνεται γιατί η ζημιά ή η παραμόρφωση που έχουν πάθει ο αγωγός μας είναι μη αντιστρέψιμη.

Το βασικότερο κριτήριο για να επιλέξουμε την ενέργεια που θα ακολουθήσουμε είναι το οικονομικό. Έτσι στο κεφάλαιο αυτό θα αναπτύξουμε ένα μαθηματικό πρότυπο με το οποίο θα μπορούμε να επιλέξουμε την κατάλληλη μέθοδο.

4.2.ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ Ή ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Πριν ξεκινήσουμε να καταλήξουμε σε κάποια σχέση θα πρέπει να πούμε ότι δεν πρέπει να συγχέουμε τη συντήρηση με την επισκευή. Καθώς επίσης και το κόστος συντήρησης δεν είναι ίσο με το κόστος επισκευής. Τα δυο αυτά είναι τελείως διαφορετικά μεταξύ τους.

Καταρχήν θα πρέπει να υπολογίσουμε το κόστος αποκατάστασης σε περίπτωση βλάβης (K_a) είτε κάνοντας την μια ενέργεια είτε την άλλη. Έτσι πρώτα ορίζουμε τα εξής :

$\Lambda \rightarrow$ Αριθμός αποτυχιών των υλικών στη διάρκεια ζωής του συστήματος

$C \rightarrow$ Κόστος μονάδας υλικού

K_{ar} → Σταθερό κόστος επισκευής (όπως το κόστος απόκτησης και συντήρησης των συσκευών ελέγχου και υποστήριξης, άλλων ευκολιών, τεχνικών εγχειριδίων, εκπαίδευσης, αρχικά αποθέματα)

K_{ad} → Κόστος αντικατάστασης (όπως διαχείρισης αποθήκης, εγκατάστασης αποθηκών, κόστος διαχείρισης αποθεμάτων) – θεωρούμε $K_{ar} > K_{ad}$

K_{br} → Κόστος επισκευής αποτυχίας (π.χ. εργατοώρες x μέγεθος συνεργείου συντήρησης κ.τ.λ.)

K_{bd} → Κόστος αντικατάστασης υλικών (π.χ. εργατοώρες x μέγεθος συνεργείου x χρόνος αφαιροτοποθέτησης κ.τ.λ.) – θεωρούμε $K_{br} > K_{bd}$

r → Η αναλογία των αγωγών που έχουν αποτύχει και δεν μπορούν να επισκευαστούν και πρέπει να αντικατασταθούν.

Έτσι τώρα στην περίπτωση που διαλέγουμε να επιδιορθώνουμε, η σχέση (4.01) είναι αυτή που θα μας δίνει το κόστος αποκατάστασης σε περίπτωση βλάβης.

$$K_{\alpha} = K_{or} + \Lambda \cdot K_{br} + r \cdot \Lambda \cdot C \quad (4.01)$$

Ενώ στην περίπτωση που θα διαλέγαμε να αντικαταστήσουμε, η σχέση (4.02), θα είναι αυτή που θα μας δώσει το κόστος αποκατάστασης.

$$K_{\alpha} = K_{ad} + \Lambda \cdot K_{bd} + \Lambda \cdot C \quad (4.02)$$

Τώρα αν εξισώσουμε την (4.01) και την (4.02) θα έχουμε την παρακάτω σχέση.

$$K_{or} + \Lambda \cdot K_{br} + r \cdot \Lambda \cdot C = K_{ad} + \Lambda \cdot K_{bd} + \Lambda \cdot C \quad (4.03)$$

Με πράξεις πάμε στην σχέση (4.04)

$$\Lambda \cdot (1-r) \cdot C = (K_{or} - K_{ad}) + \Lambda \cdot (K_{br} - K_{bd}) \quad (4.04)$$

Και τελικά καταλήγουμε στην σχέση (4.05) όπου

$$C = \frac{(K_{or} - K_{od})}{\Lambda(1-r)} + \frac{(K_{br} - K_{bd})}{(1-r)} \quad (4.05)$$

και τελικά μπορεί να γραφτεί ως εξής

$$C = Ae + Be \quad (4.06)$$

Με την σχέση μπορούμε να δημιουργήσουμε μια καμπύλη αντικατάστασης και μια συντήρησης αλλάζοντας μόνο το κόστος των υλικών και τον αριθμό των βλαβών.

4.3.ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ - ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Στο σημείο αυτό θα εξετάσουμε πως μεταβάλλεται το κόστος επισκευής και αντικατάστασης σε σχέση με τον αριθμό των βλαβών για τρεις διαφορετικές περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση το σταθερό κόστος επισκευής θα είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από το κόστος αντικατάστασης, στην δεύτερη περίπτωση το σταθερό κόστος αντικατάστασης θα παίρνει μέσες τιμές, σε σχέση με την πρώτη και τρίτη περίπτωση, και στην τρίτη περίπτωση θα δούμε μια μέση διαφορά ανάμεσα στα δύο κόστη. Για να έχουμε ποιο έγκυρα αποτελέσματα θα πρέπει να μεταβάλουμε το r έτσι ώστε να πάρουμε υπόψη μας όλες τις περιπτώσεις.

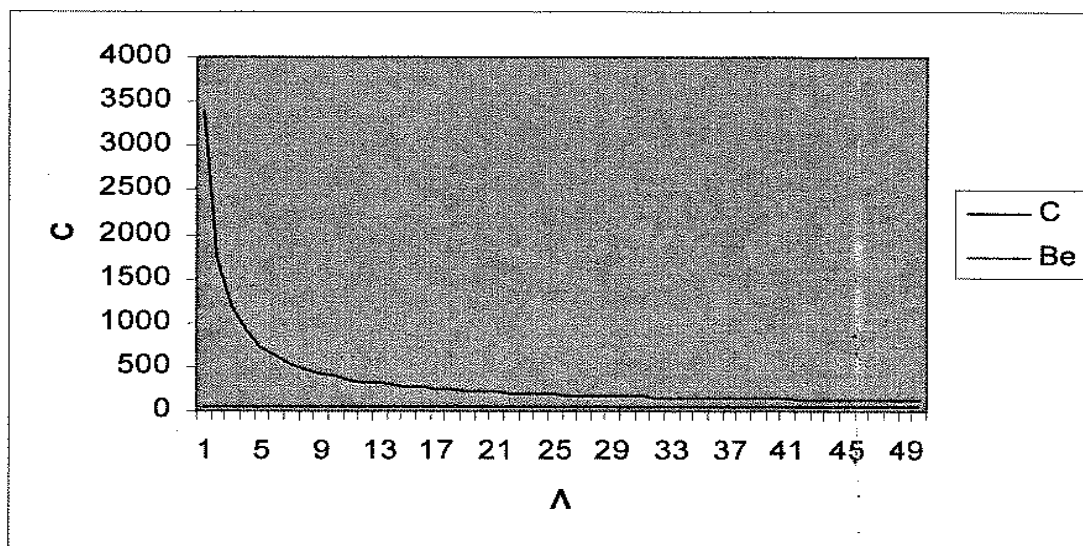
Με βάση όσα αναφέραμε και βάζοντας τυχαίους αριθμούς παίρνουμε τα παρακάτω διαγράμματα σε κάθε περίπτωση.

4.3.1.ΜΕΓΑΛΕΣ ΤΙΜΕΣ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

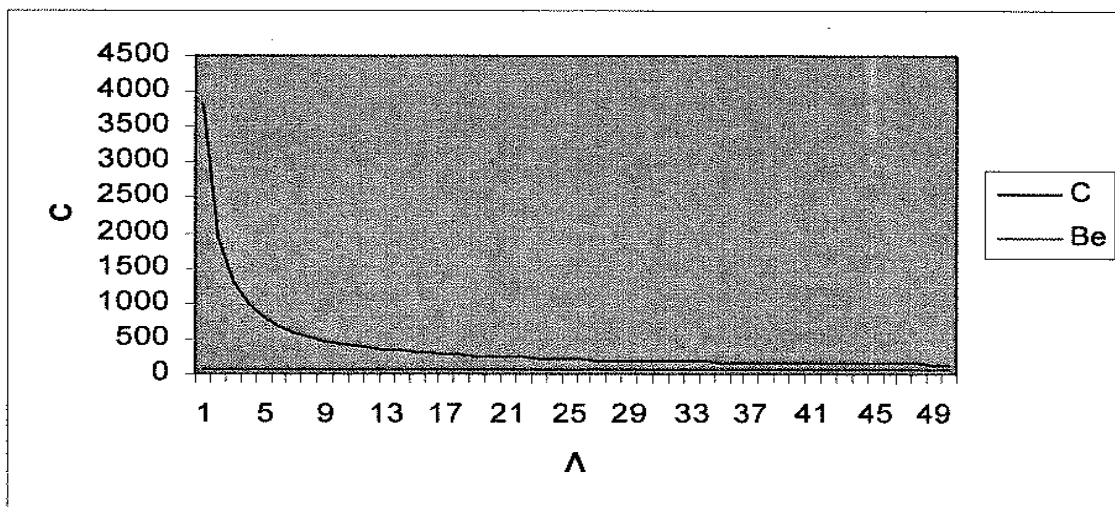
Παρατηρώντας τις πέντε παρακάτω καμπύλες της εξίσωσης (4.05), μπορούμε να δούμε ότι με αύξηση της αναλογίας των αγωγών που έχουν αποτύχει και δεν μπορούν να επισκευαστούν και πρέπει να αντικατασταθούν το C για κάθε παρόμοιο Λ αυξάνει. Επίσης όλες οι καμπύλες έχουν την ίδια μορφή παραβολής και το C δεν μπορεί να πάρει τιμές χαμηλότερες του

παράγοντα Be . Αυτό μας δείχνει ότι, όταν το C παίρνει τιμές κάτω του Be , τότε η αντικατάσταση είναι πάντα συμφέρουσα.

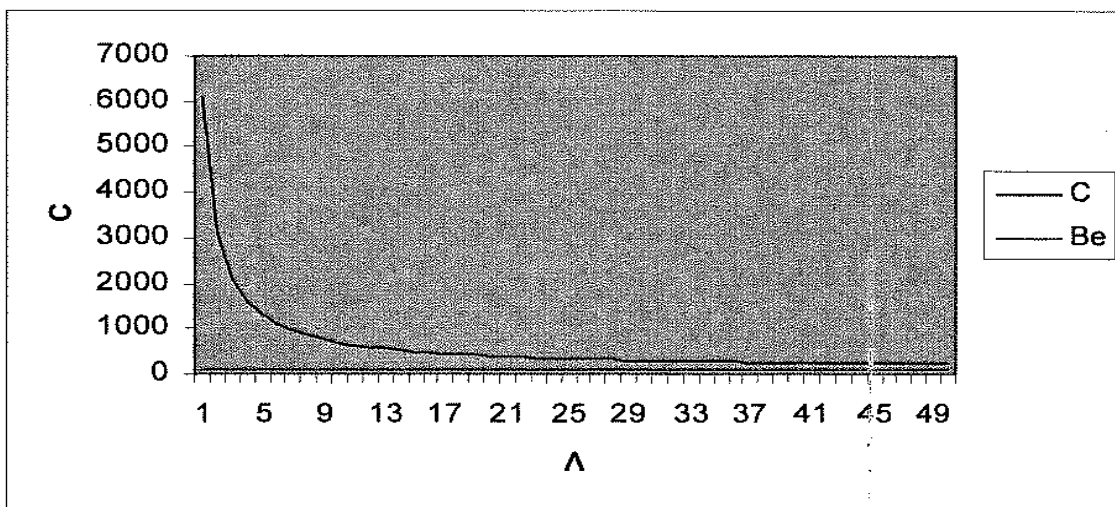
$r=0,1$



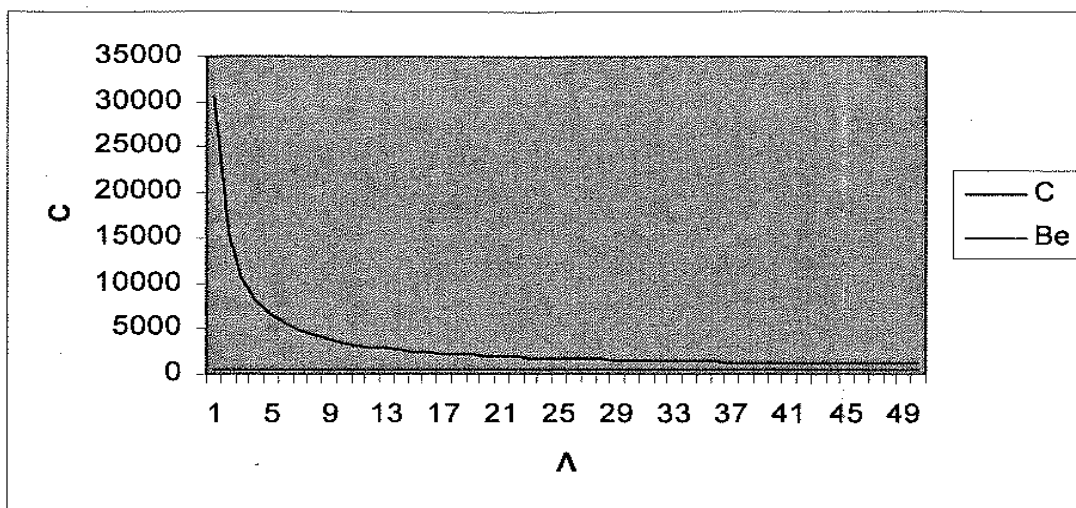
$r=0,2$



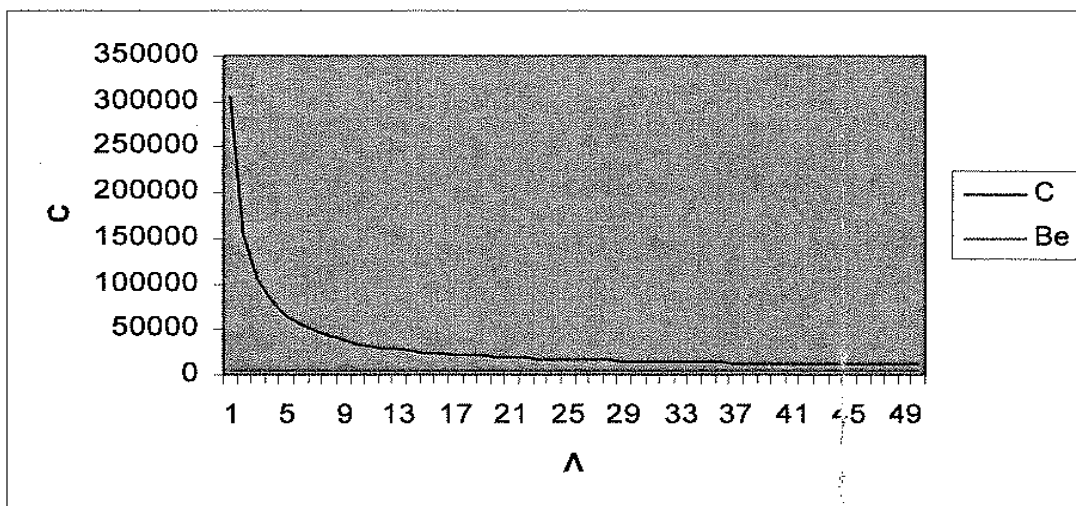
$r=0,5$



$r=0,9$



$r=0,99$

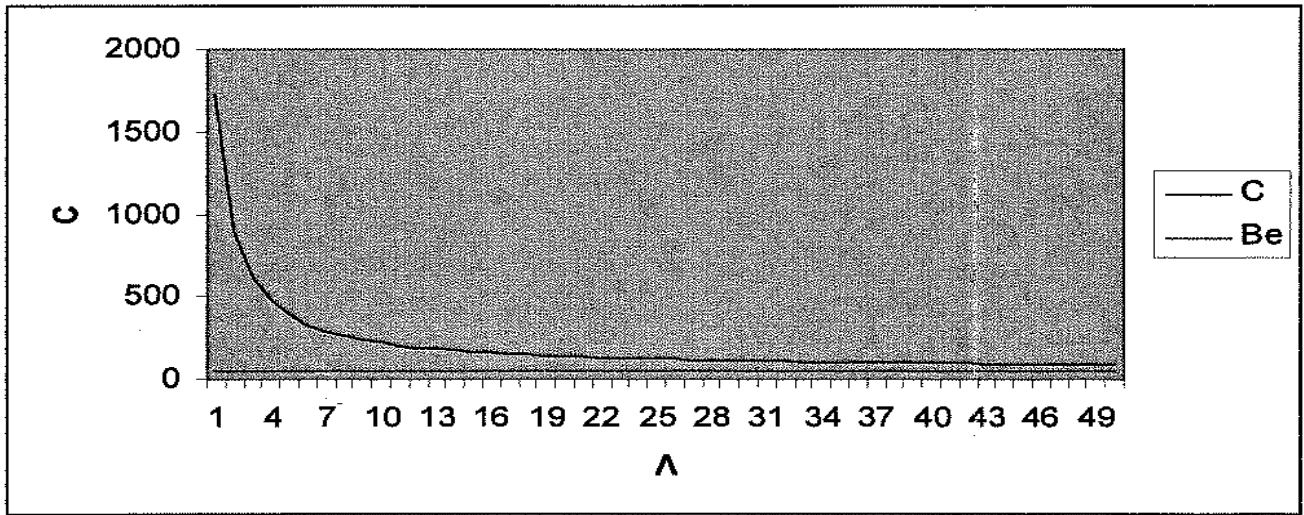


4.3.2. ΜΕΣΕΣ ΤΙΜΕΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

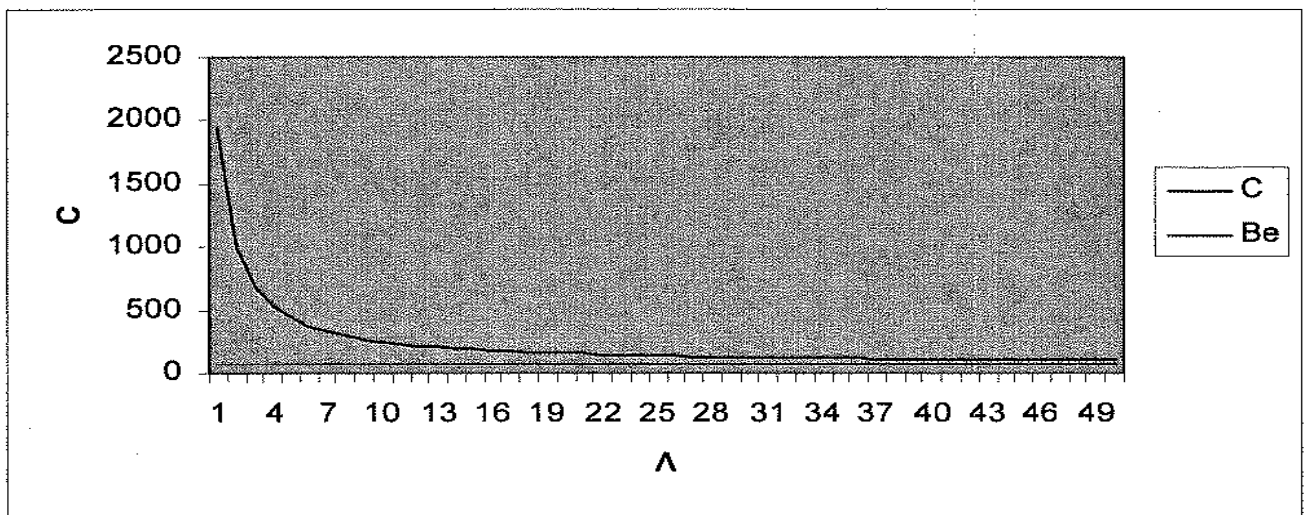
Όπως και στην παράγραφο 4.3.1, στις πέντε παρακάτω καμπύλες της εξίσωσης (4.05), μπορούμε να δούμε ότι με αύξηση της αναλογίας των αγωγών που έχουν αποτύχει και δεν μπορούν να επισκευαστούν και πρέπει να αντικατασταθούν το C για κάθε παρόμοιο Λ αυξάνει. Επίσης όλες οι καμπύλες έχουν την ίδια μορφή παραβολής και το C δεν μπορεί να πάρει τιμές χαμηλότερες του παράγοντα Be . Αυτό μας δείχνει ότι, όταν το C παίρνει τιμές κάτω του Be , τότε η αντικατάσταση είναι συμφέρουσα.

Σε σύγκριση με το προηγούμενο μπορούμε να πούμε, ότι η καμπύλη κρατάει την ίδια μορφή. Παρατηρούμε βέβαια το φαινόμενο ότι αν και αυξάνεται το C καθώς αυξάνει το r , είναι πάντα μικρότερο από τις αντίστοιχες τιμές που παίρνει στο κεφάλαιο 4.3.1.

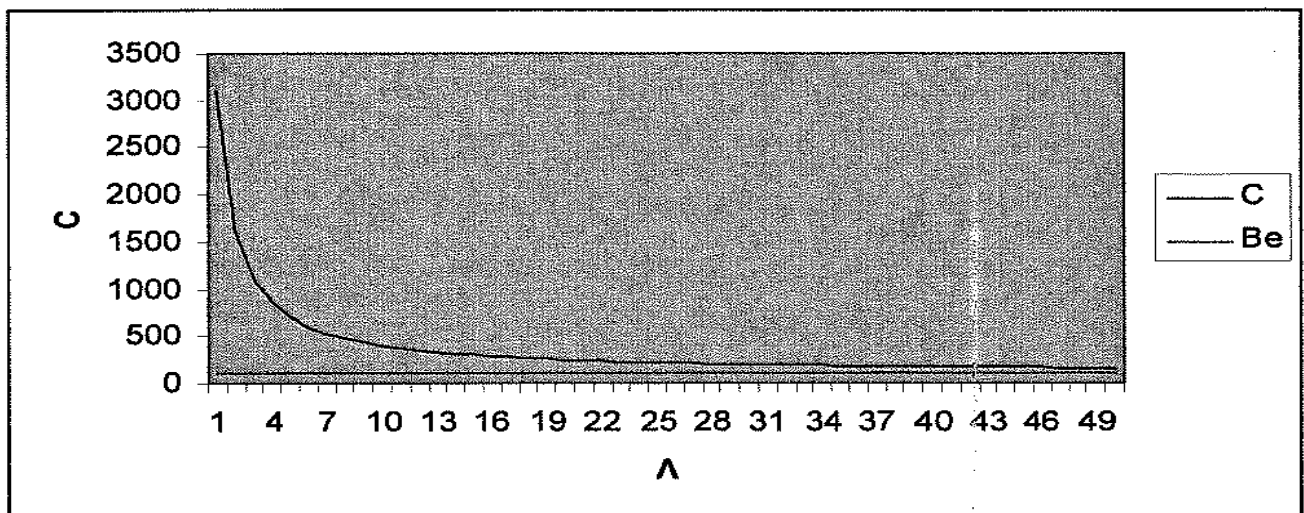
$r=0,1$



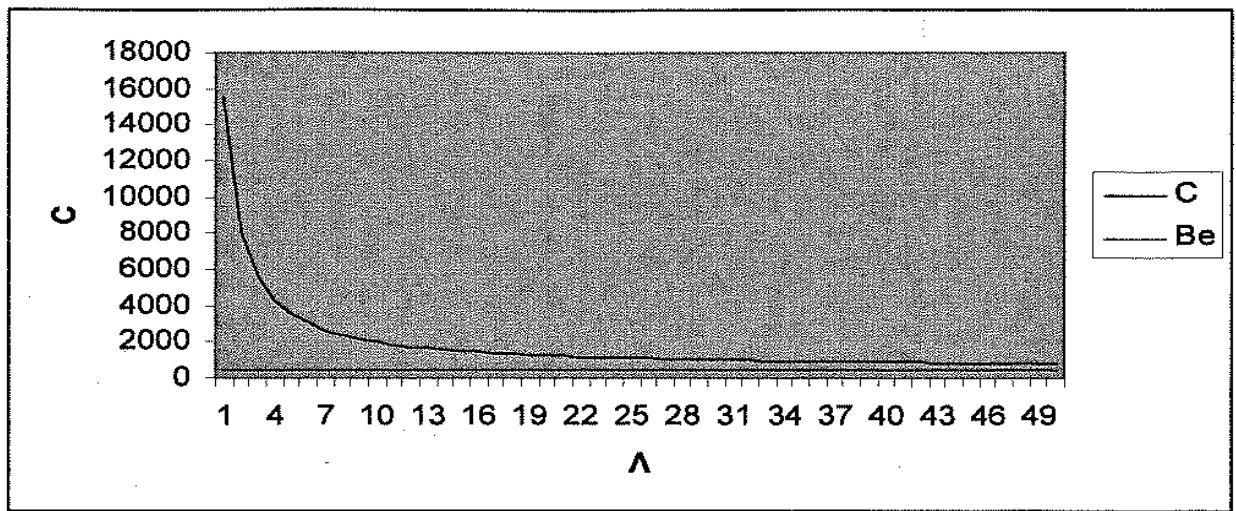
$r=0,2$



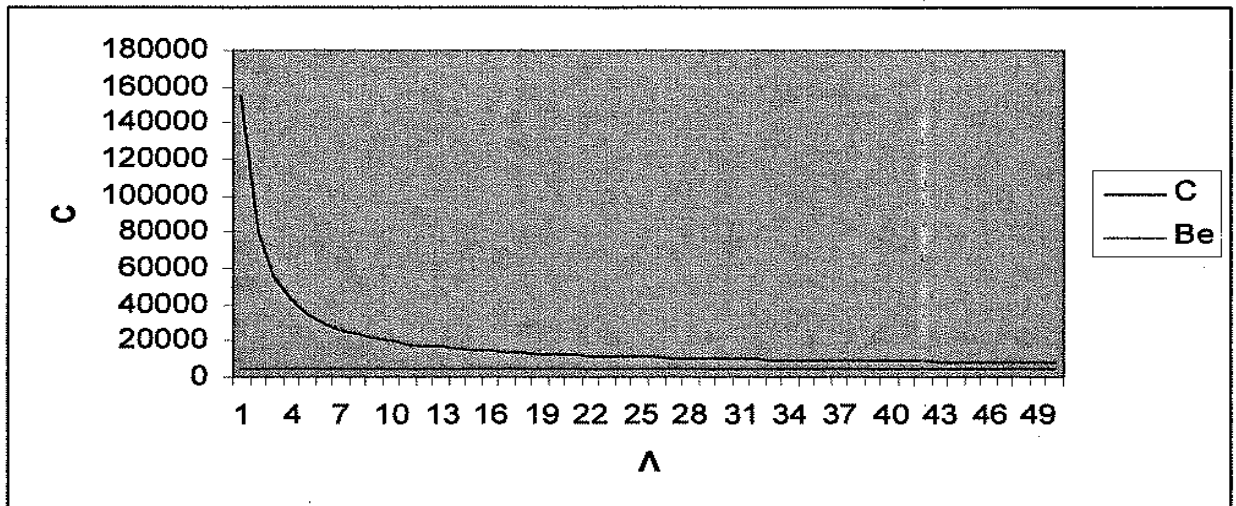
$r=0,5$



$r=0,9$



$r=0,99$

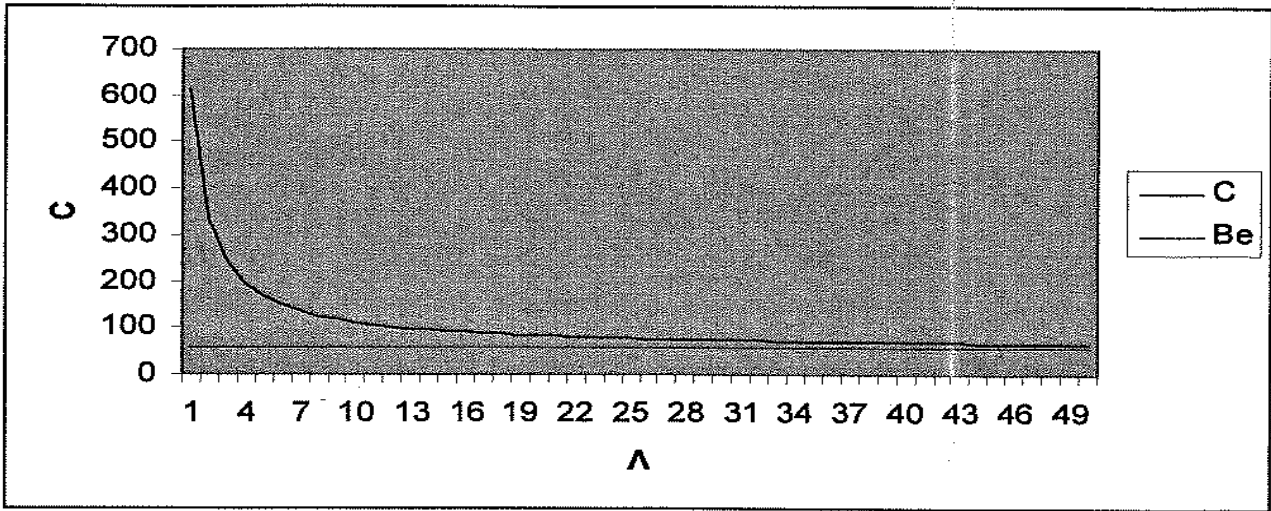


4.3.3. ΜΙΚΡΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

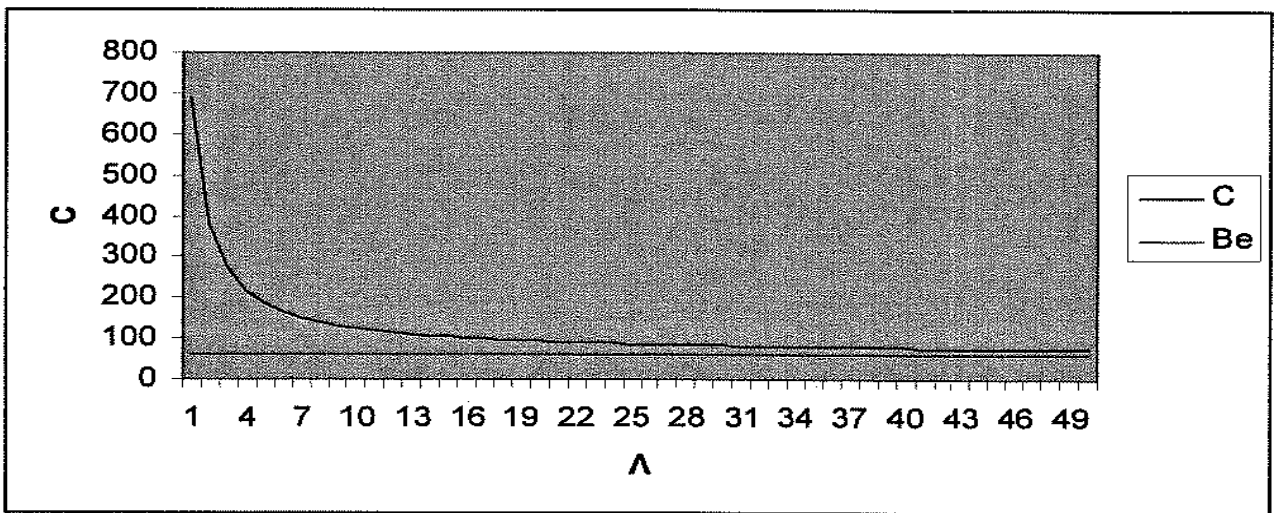
Οι πέντε παρακάτω καμπύλες της εξίσωσης (4.05), παρουσιάζουν την ίδια συμπεριφορά με τις καμπύλες που είδαμε στις δυο παραπάνω ενότητες. Εμφανίζουν όμως τις διαφορές που βλέπουμε στην επόμενη παράγραφο.

Σε σύγκριση με τις προηγούμενες μπορούμε να πούμε, ότι η καμπύλη κρατάει την ίδια μορφή. Παρατηρούμε βέβαια το φαινόμενο ότι αν και αυξάνεται το C καθώς αυξάνει το r , είναι πάντα μικρότερο από τις αντίστοιχες τιμές που παίρνει στο κεφάλαιο 4.3.1. και 4.3.2. Αυτό σημαίνει ότι οι καμπύλες η συντήρηση γίνεται για περισσότερες περιπτώσεις ελκυστική. Επίσης το Be μειώνεται με αποτέλεσμα οι περιπτώσεις της σίγουρης αντικατάστασης μειώνονται.

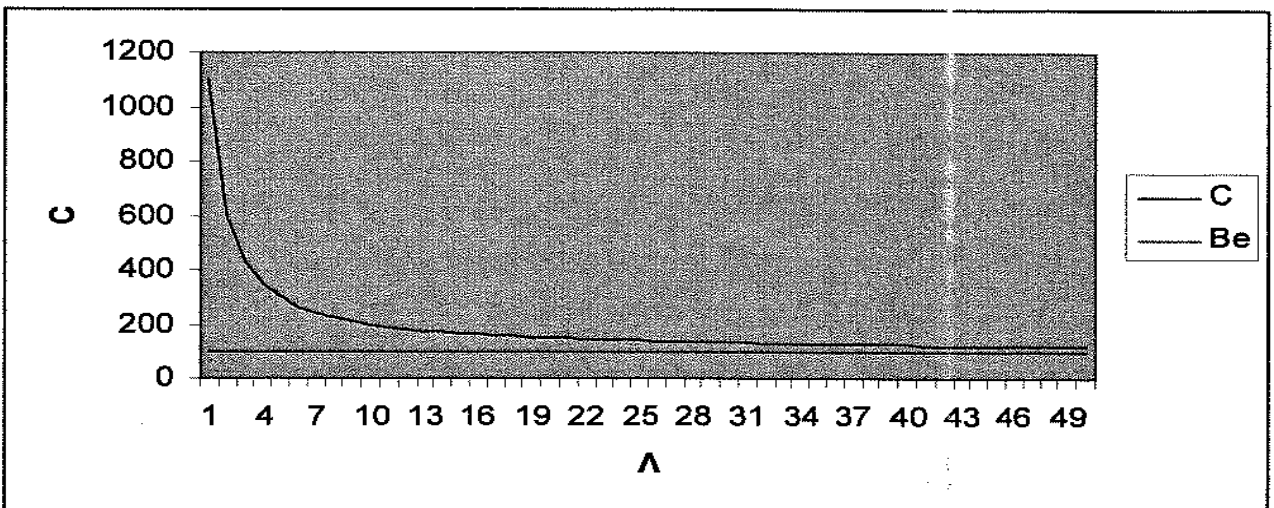
$r=0,1$



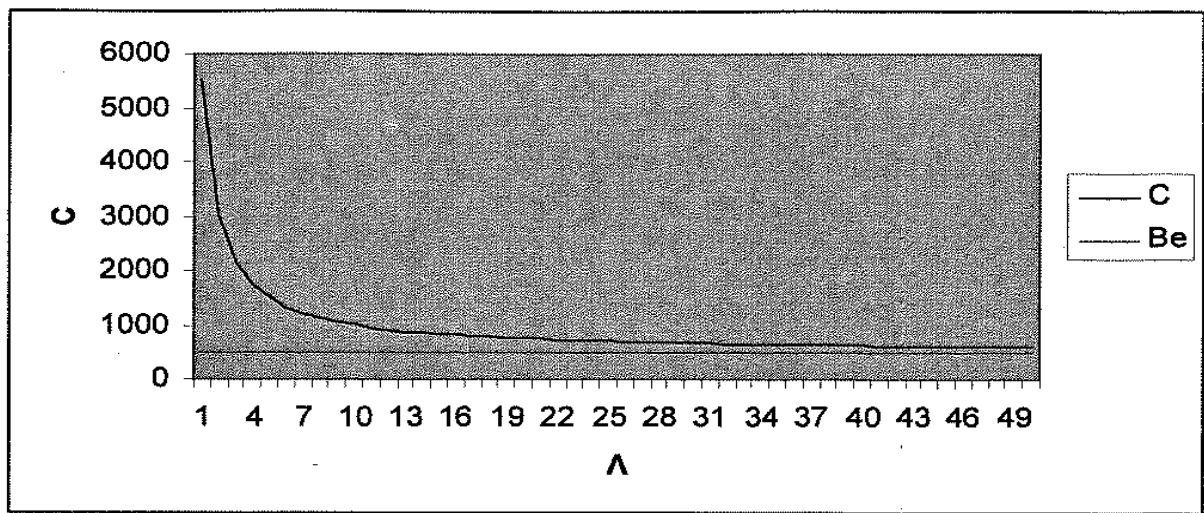
$r=0,2$



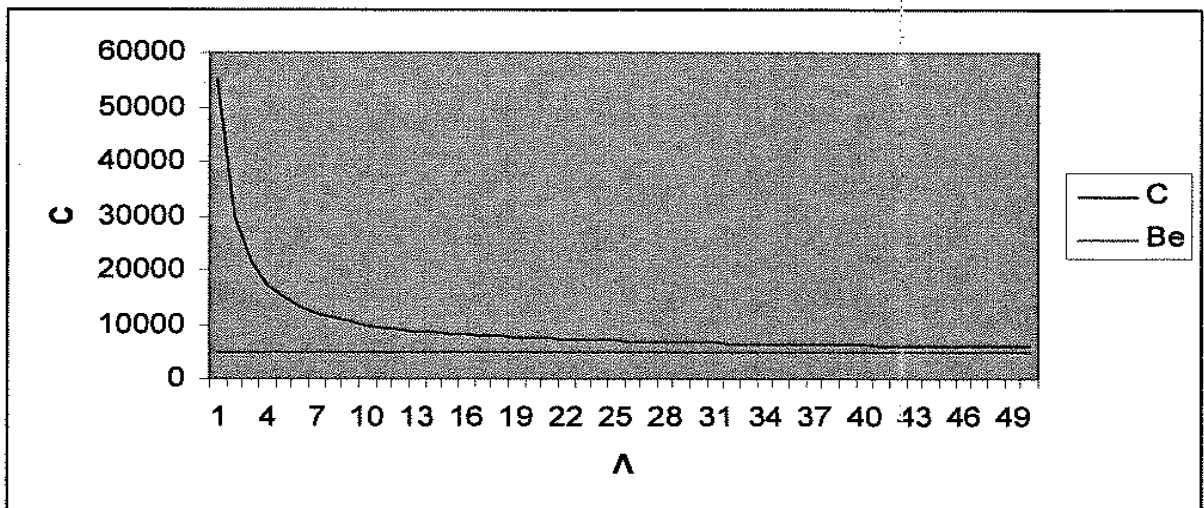
$r=0,5$



$r=0,9$



$r=0,99$

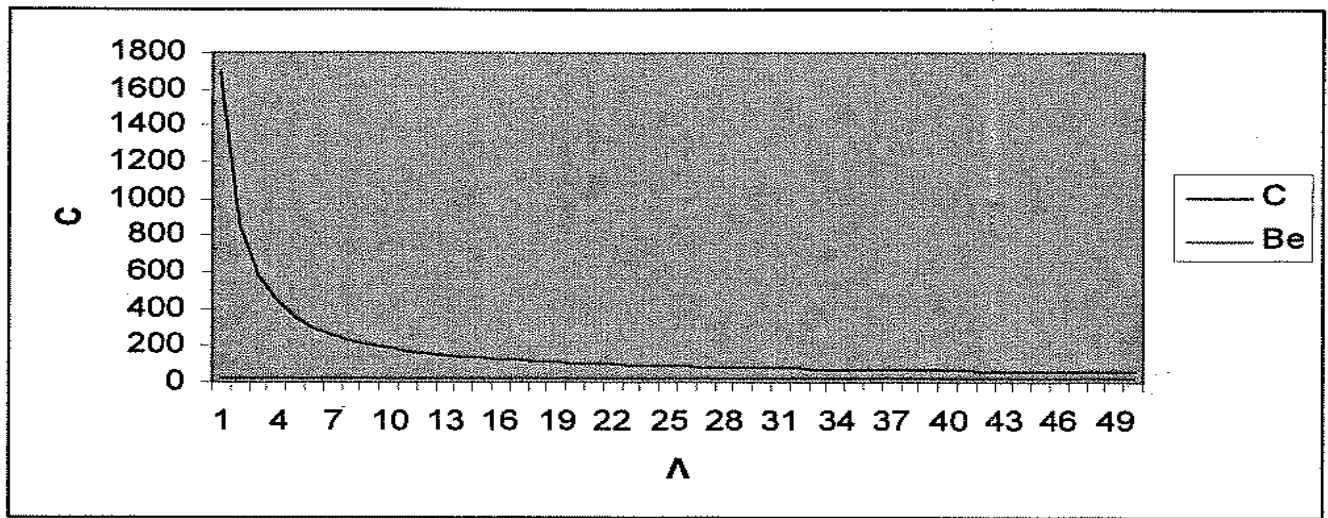


4.3.4. ΜΙΚΡΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΑΠΟΤΥΧΙΑΣ ΜΕ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ

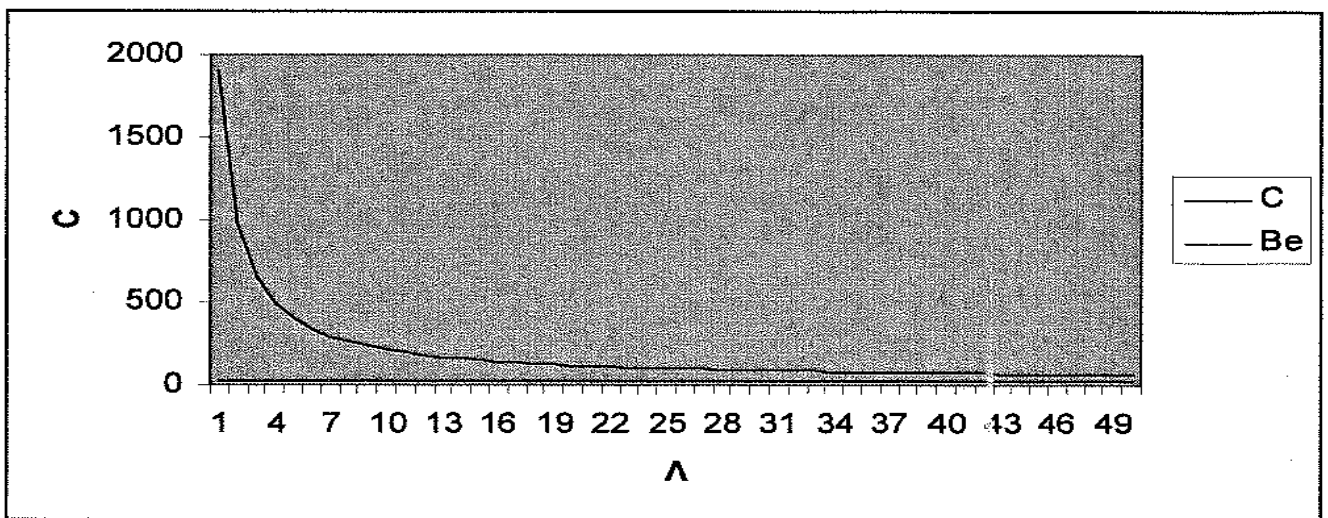
Παρατηρώντας τις πέντε παρακάτω καμπύλες της εξίσωσης (4.05), μπορούμε να δούμε ότι με αύξηση της αναλογίας των αγωγών που έχουν αποτύχει και δεν μπορούν να επισκευαστούν και πρέπει να αντικατασταθούν το C για κάθε παρόμοιο Λ αυξάνει. Επίσης όλες οι καμπύλες έχουν την ίδια μορφή παραβολής και το C δεν μπορεί να πάρει τιμές χαμηλότερες του παράγοντα Be. Αυτό μας δείχνει ότι, όταν το C παίρνει τιμές κάτω του Be, τότε η αντικατάσταση είναι συμφέρουσα.

Σε σύγκριση με τα παραπάνω βλέπουμε ότι το C ελαττώνεται κατά πολύ. Αυτό μας δείχνει ότι το εργατικό κόστος και στις δύο περιπτώσεις παίζει ενεργό ρόλο στην απόφαση που θα πάρουμε για το αν θα κάνουμε επισκευή ή αντικατάσταση.

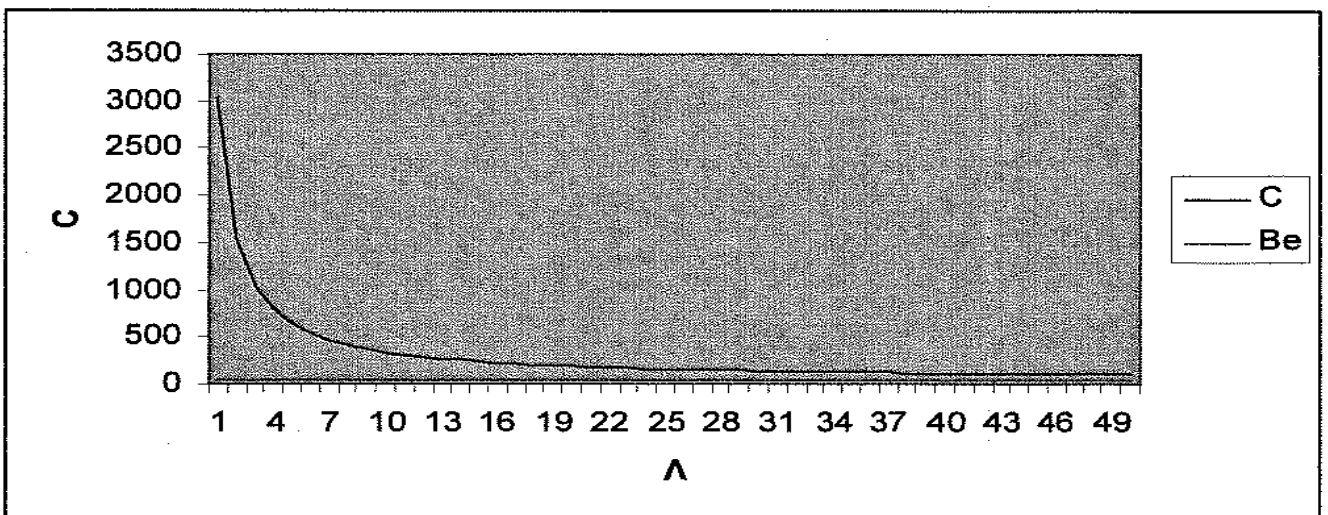
$r=0,1$



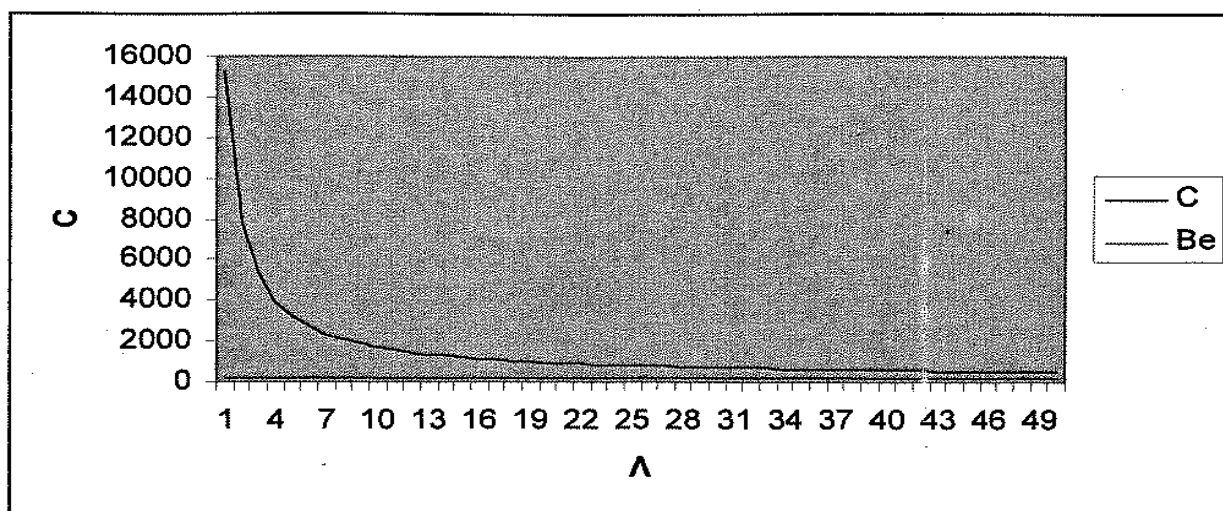
$r=0,2$



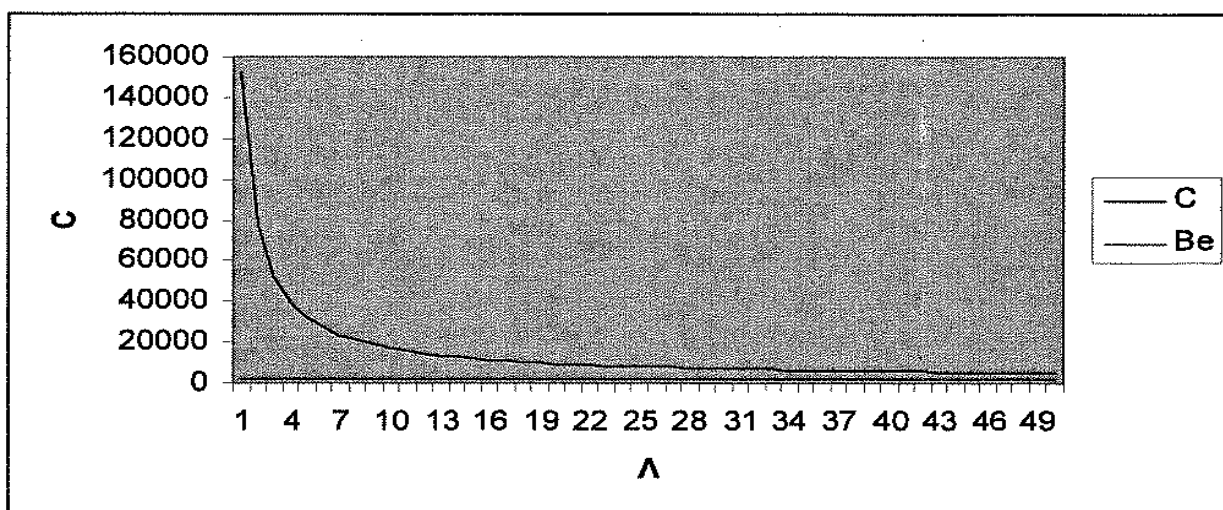
$r=0,5$



$r=0,9$



$r=0,99$



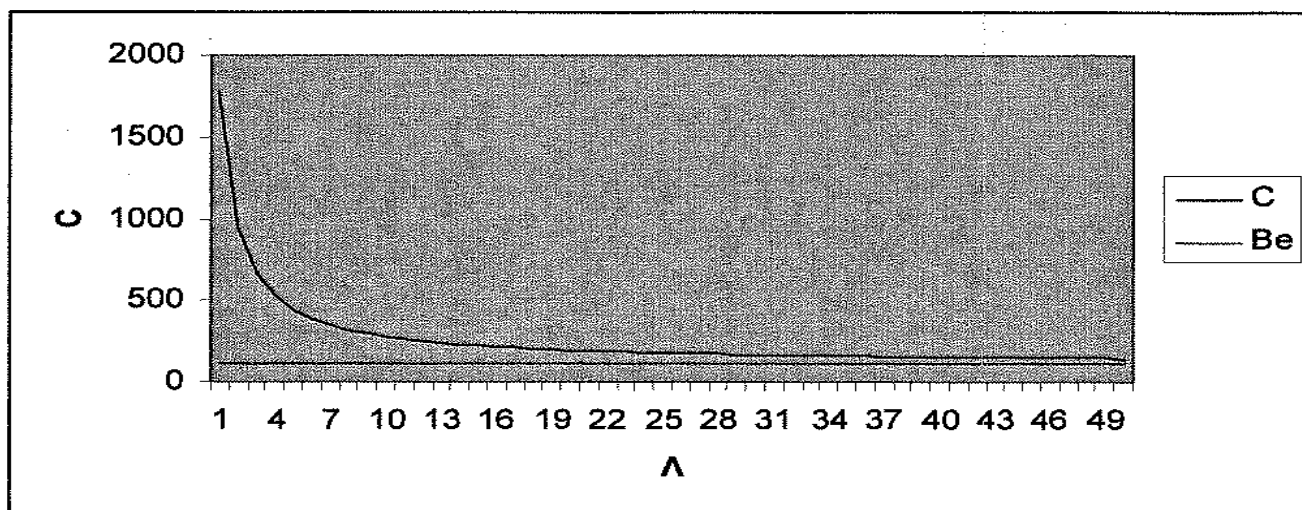
4.3.5. ΜΕΓΑΛΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΑΠΟΤΥΧΙΑΣ ΜΕ ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ

Παρατηρώντας τις πέντε παρακάτω καμπύλες της εξίσωσης (4.05), μπορούμε να δούμε ότι με αύξηση της αναλογίας των αγωγών που έχουν αποτύχει και δεν μπορούν να επισκευαστούν και πρέπει να αντικατασταθούν το C για κάθε παρόμοιο Λ αυξάνει. Επίσης όλες οι καμπύλες έχουν την ίδια μορφή παραβολής και το C δεν μπορεί να πάρει τιμές χαμηλότερες του παράγοντα Be. Αυτό μας δείχνει ότι, όταν το C παίρνει τιμές κάτω του Be, τότε η αντικατάσταση είναι συμφέρουσα.

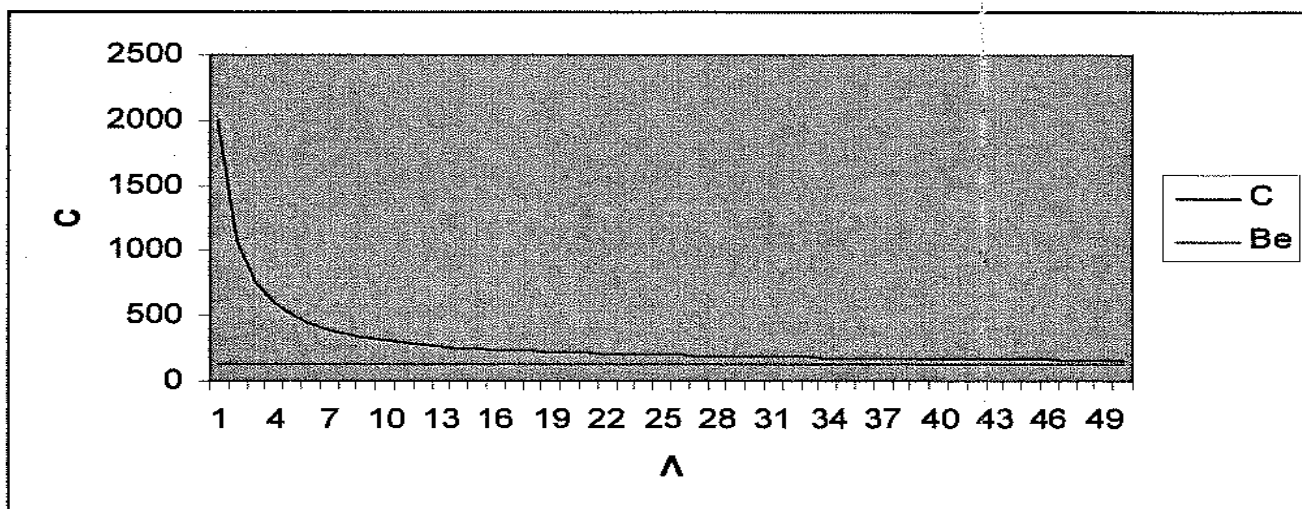
Σε σύγκριση με τα υπόλοιπα το C μειώνεται που αυτό μας δείχνει ότι η επισκευή γίνεται ελκυστικότερη για μικρότερες τιμές του C. Αυτό βέβαια ισχύει

όνο για τις τρεις πρώτες περιπτώσεις, γιατί σε σύγκριση με την τέταρτη περίπτωση έχουμε αύξηση του C, πάντα για τα αντίστοιχα r και Λ.

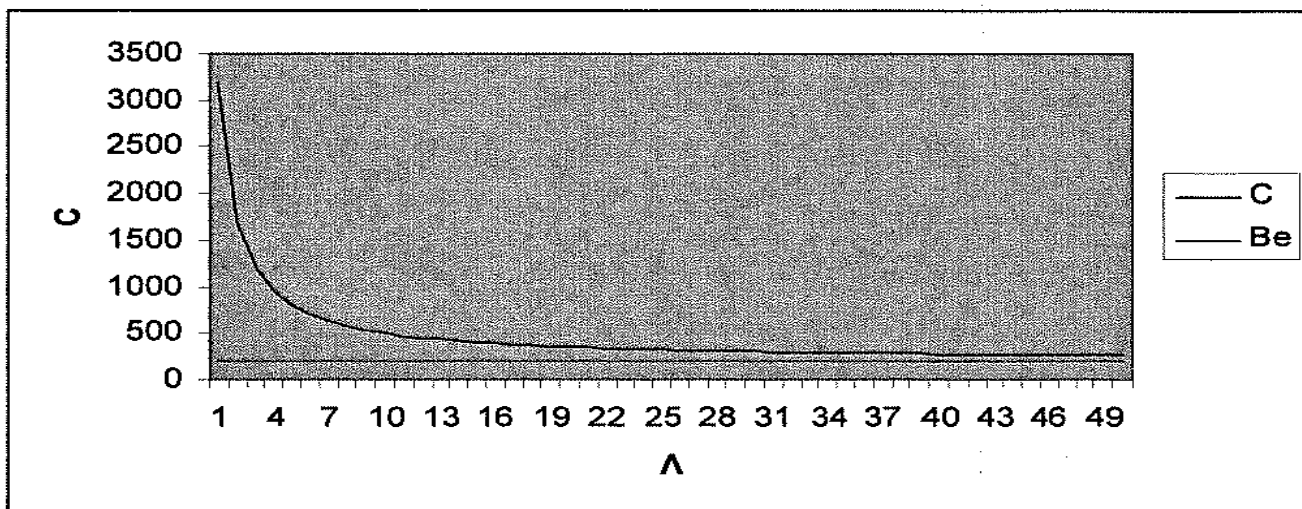
r=0,1



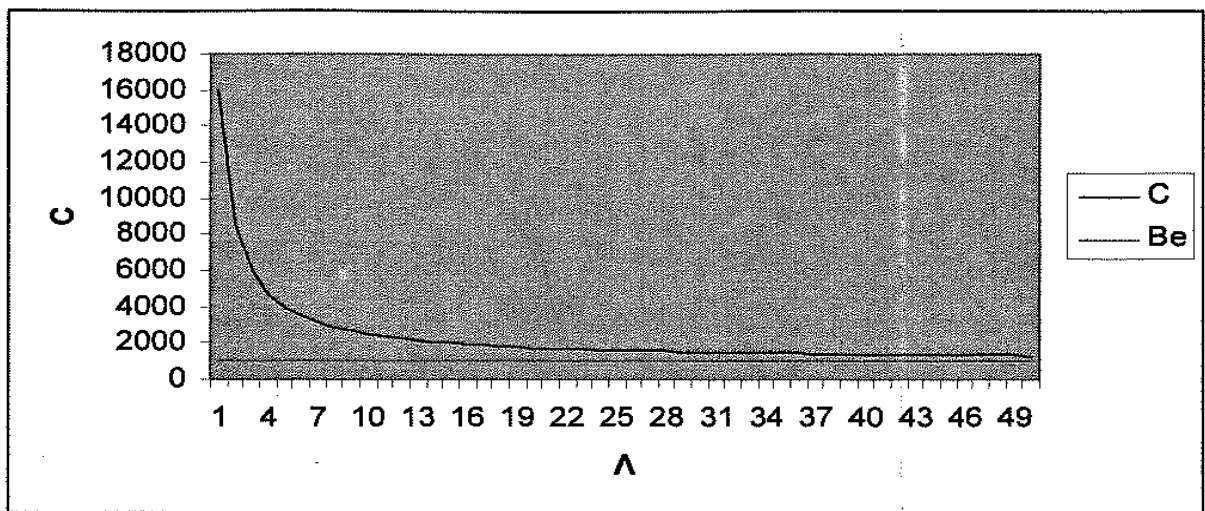
r=0,2



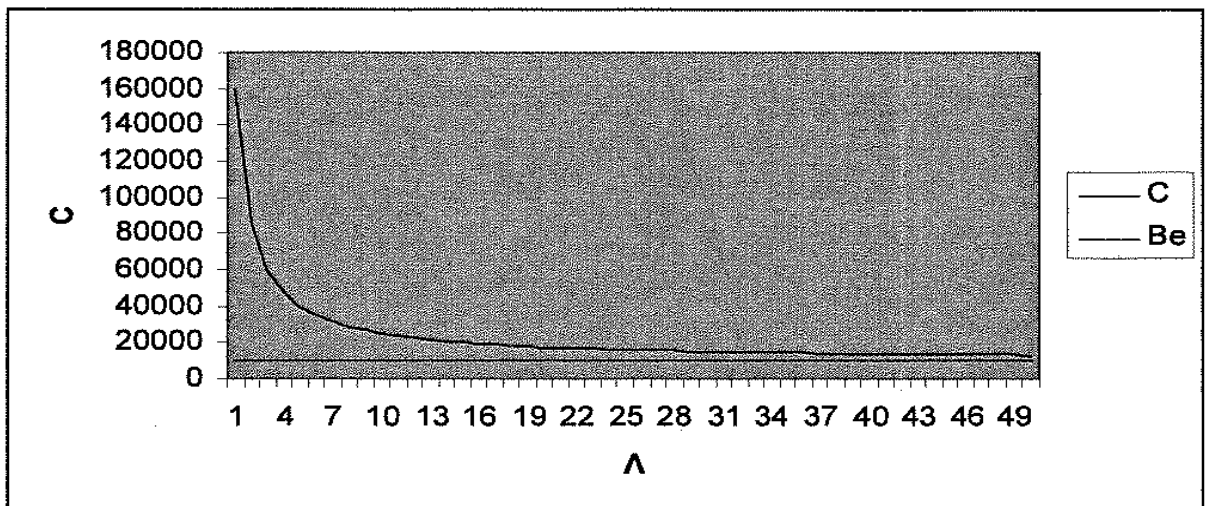
r=0,5



r=0,9



$r=0,99$



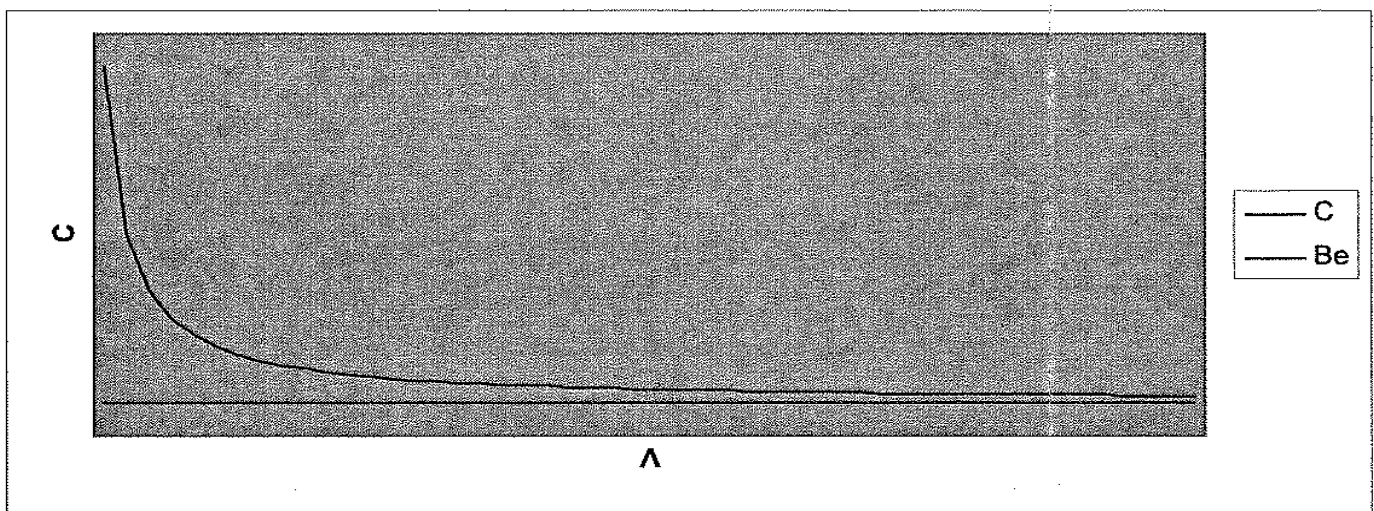
4.4.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ρίχνοντας μια ματιά πιο πάνω μπορούμε να δούμε ότι το κόστος επισκευής και το κόστος αντικατάστασης θα είναι ίσα αν το κόστος μονάδας υλικού (C) βρίσκεται πάνω σε μια καμπύλη της μορφής του διαγράμματος 4.01. Η καμπύλη αυτή απεικονίζει την σχέση (4.05) και έχει το σχήμα μιας υπερβολής. Σε όλα τα σημεία που βρίσκονται κάτω από την καμπύλη προτιμάται η αντικατάσταση του αγωγού. Καθώς ο αριθμός Λ των αποτυχιών αυξάνει, το C τείνει στο $(b_r - b_d)/(1 - k)$. Άρα όταν το κόστος της μονάδας υλικού είναι μικρότερο από την διαφορά μεταξύ του κόστους επισκευής του και του κόστους αντικατάστασης του ($C < Kb_r - Kb_d$), τότε είναι οικονομικότερο να γίνει αντικατάσταση, γιατί τότε το C θα είναι μικρότερο από την τιμή του δεξιού μέρους της σχέσης (4.05). Για σταθερό κόστος μονάδας, καθώς η

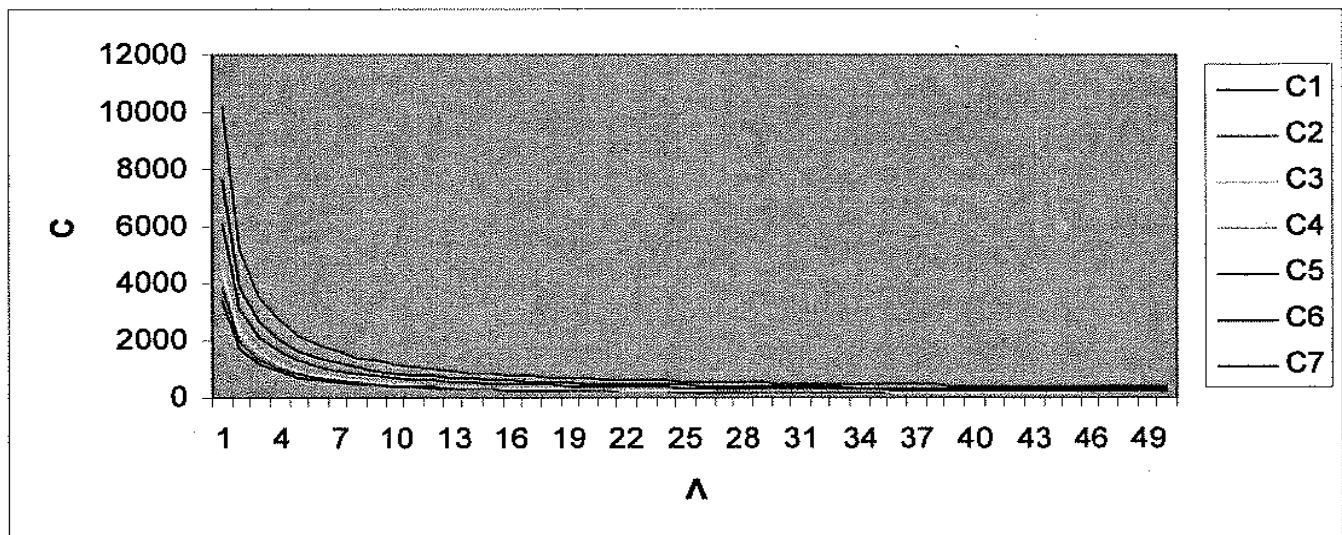
αξιοπιστία της μονάδας αυξάνει, η επισκευή γίνεται ολοένα και λιγότερο συμφέρουσα. Το αντίθετο συμβαίνει στην περίπτωση που θεωρώντας σταθερό ρυθμό αποτυχιών το κόστος της μονάδας αυξάνει. Επίσης παρατηρείται ότι με αύξηση του γ έχουμε και αύξηση του C , γεγονός που φαίνεται από το διάγραμμα 4.02. Αυτό ισχύει εάν όλα τα υπόλοιπα στοιχεία είναι σταθερά. Ακόμα όσο και να μεταβάλουμε το γ για σταθερό Λ και όλα τα υπόλοιπα, θα ισχύει :

$$\frac{C_{\text{τελ}}}{C_{\text{αρχ}}} = \text{const} \quad (4.07)$$

Διάγραμμα 4.01. Καμπύλη επισκευής – αποκατάστασης



Διάγραμμα 4.02. Σύγκριση καμπυλών επισκευής - αντικατάστασης



Αυτό σημαίνει ότι αν ξέρουμε για μια τιμή του γ και του Λ , το λόγο της σχέσης (4.07) μπορούμε για το ανάλογο Λ σε διαφορετική τιμή του γ να υπολογίζουμε το νέο C που θα μας προκύψει. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε

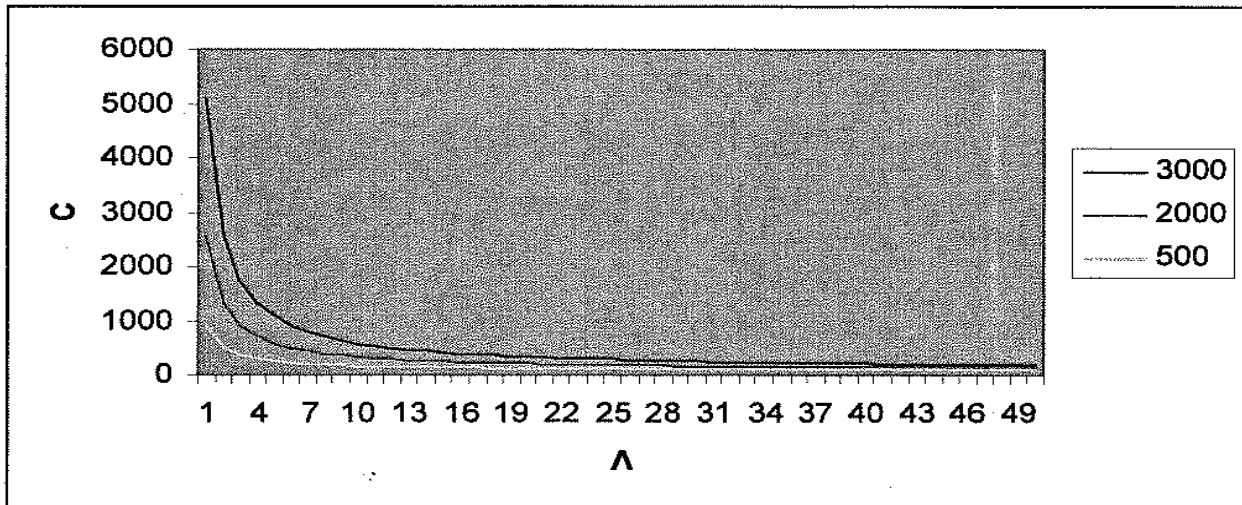
να υπολογίσουμε για κάποιο νέο είδος αγωγών αν μπορεί να αντικαταστήσει το παλιό χωρίς να αναγκαστούμε να αλλάξουμε την μέθοδο συντήρησής μας.

Από το προηγούμενο κεφάλαιο θα μπορούσαμε να φτιάξουμε τον πίνακα 4.01, όπου και απεικονίζεται η μεταβολή του C σε σχέση με την μεταβολή της διαφοράς του σταθερού κόστους επισκευής και του κόστους αντικατάστασης. Έτσι προκύπτει το διάγραμμα 4.03, όπου μας δείχνει ότι όσο αυξάνει η διαφορά κάθε αυτή τόσο αυξάνεται το C. Αυτό σημαίνει ότι όσο πιο μεγάλο σταθερό κόστος επισκευής έχουμε από το κόστος αντικατάστασης τόσο πιο μεγάλο C χρειαζόμαστε για να γίνει συμφέρουσα η επισκευή του αγωγού.

Πίνακας 4.01. Διακύμανση C σε σχέση με την μεταβολή της διαφοράς του σταθερού κόστους επισκευής με το κόστος αντικατάστασης.

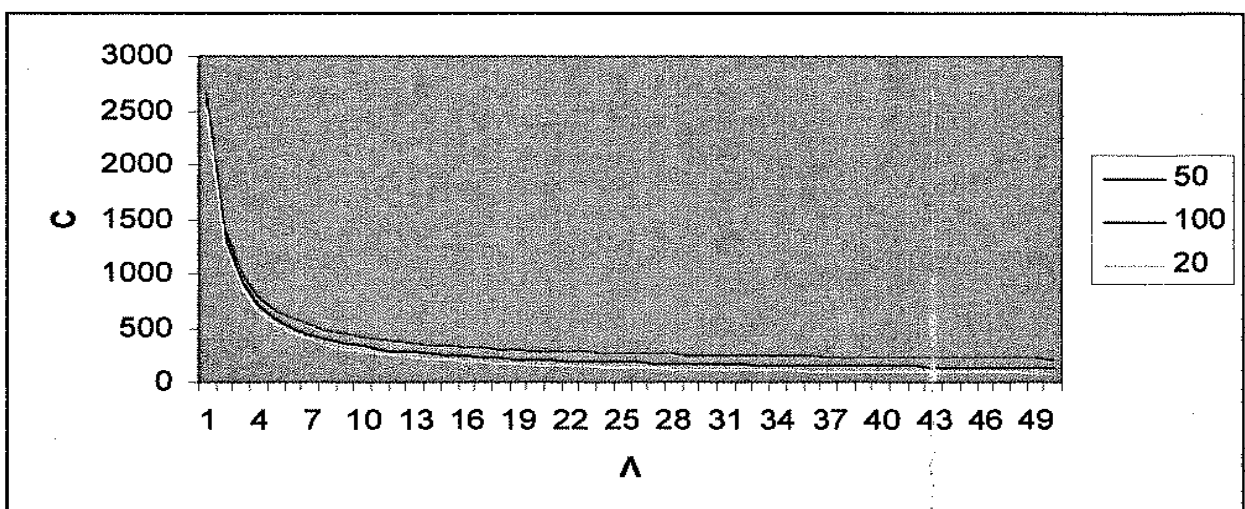
Λ	Kar - Kad			Λ	Kar - Kad		
	3000	1500	500		3000	1500	500
	C				C		
1	5083,3	2583,3	916,67	26	275,64	179,49	115,38
2	2583,3	1333,3	500	27	268,52	175,93	114,2
3	1750	916,67	361,11	28	261,9	172,62	113,1
4	1333,3	708,33	291,67	29	255,75	169,54	112,07
5	1083,3	583,33	250	30	250	166,67	111,11
6	916,67	500	222,22	31	244,62	163,98	110,22
7	797,62	440,48	202,38	32	239,58	161,46	109,38
8	708,33	395,83	187,5	33	234,85	159,09	108,59
9	638,89	361,11	175,93	34	230,39	156,86	107,84
10	583,33	333,33	166,67	35	226,19	154,76	107,14
11	537,88	310,61	159,09	36	222,22	152,78	106,48
12	500	291,67	152,78	37	218,47	150,9	105,86
13	467,95	275,64	147,44	38	214,91	149,12	105,26
14	440,48	261,9	142,86	39	211,54	147,44	104,7
15	416,67	250	138,89	40	208,33	145,83	104,17
16	395,83	239,58	135,42	41	205,28	144,31	103,66
17	377,45	230,39	132,35	42	202,38	142,86	103,17
18	361,11	222,22	129,63	43	199,61	141,47	102,71
19	346,49	214,91	127,19	44	196,97	140,15	102,27
20	333,33	208,33	125	45	194,44	138,89	101,85
21	321,43	202,38	123,02	46	192,03	137,68	101,45
22	310,61	196,97	121,21	47	189,72	136,52	101,06
23	300,72	192,03	119,57	48	187,5	135,42	100,69
24	291,67	187,5	118,06	49	185,37	134,35	100,34

Διάγραμμα 4.03. Διακύμανση C σε σχέση με την μεταβολή της διαφοράς του σταθερού κόστους επισκευής με το κόστος αντικατάστασης.



Τέλος ακριβώς το αντίθετο συμβαίνει στο κόστος μονάδας υλικού, εάν μεταβάλουμε την διαφορά ανάμεσα στο κόστος επισκευής αποτυχίας και στο κόστος αντικατάστασης υλικών και αυτό μπορούμε να το δούμε από το διάγραμμα 4.04 . Όπως φαίνεται λοιπόν όταν η διαφορά αυξάνει το C γίνεται μικρότερο.

Διάγραμμα 4.04. Διακύμανση C σε σχέση με την μεταβολή της διαφοράς του κόστους επισκευής αποτυχίας και του κόστους αντικατάστασης υλικών.



Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να αποφασίσουμε το είδος συντήρησης που θα ακολουθήσουμε βάσει κάποιων δεδομένων από κόστη. Ακόμα καλύτερα μπορούμε να διαλέξουμε τα υλικά που θέλουμε για να εφαρμόσουμε

κάποιο είδος συντήρησης. Αυτό βέβαια γίνεται στην περίπτωση που δεν γνωρίζουμε την υπάρχουσα τεχνογνωσία για ένα από τα δύο είδη.

Βέβαια παίρνοντας υπόψη μας όλα τα δεδομένα θα δούμε ότι το δεδομένο κλειδί στην επιλογή της μεθόδου είναι η αξιοπιστία του αγωγού. Και αυτό γιατί όπως είδαμε το κόστος μονάδας υλικού μεταβάλλεται πάνω σε μία καμπύλη υπερβολής σε σχέση με τις βλάβες στην διάρκεια ζωής του αγωγού. Έτσι εάν έχουμε μικρό αριθμό βλαβών θα πρέπει να έχουμε πολύ μεγάλο κόστος μονάδας υλικού για να προτιμήσουμε την συντήρηση.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

1. WEIBULL

Η συνεχής μεταβλητή X λέμε ότι ακολουθεί την κατανομή WEIBULL όταν η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της είναι :

$$\phi(x) = \frac{\beta}{n} \left[\frac{x - \gamma}{n} \right]^{\beta-1} e^{-\left[\frac{x - \gamma}{n} \right]^\beta} \quad (1.01)$$

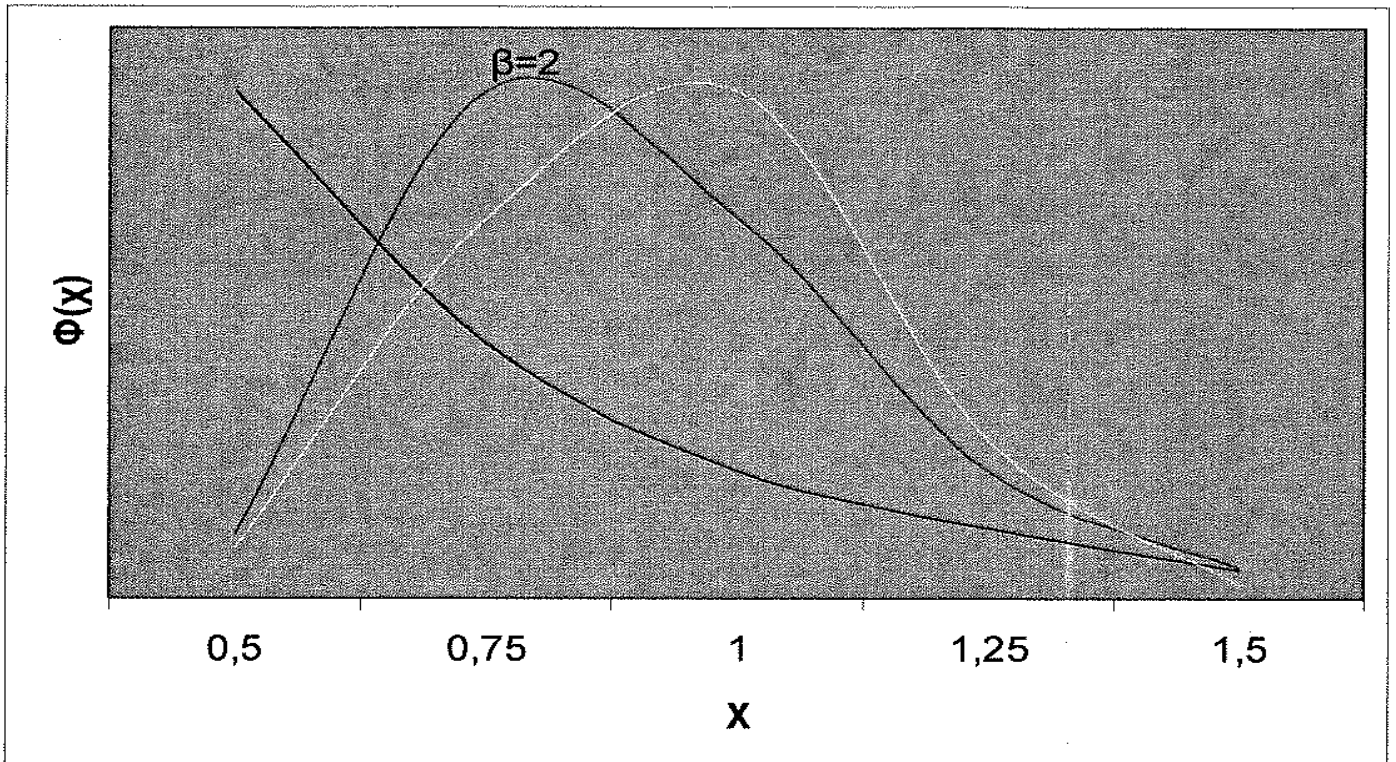
Για $\beta, \gamma, n > 0$

Όπου n είναι η παράμετρος κλίμακας, β η παράμετρος μορφής και γ η παράμετρος θέσεως .

Η κατανομή WEIBULL δεν έχει ειδική θεωρητική ερμηνεία . Απλώς το 1951 αναπτύχθηκε σαν μια εμπειρική κατανομή για να περιγράψει ορισμένα στατιστικά δεδομένα της δύναμης θραύσης των υλικών .

Παρόλο που η κατανομή WEIBULL αναπτύχθηκε, όπως είπαμε παραπάνω, για να περιγράψει αρχικά τις δυνάμεις θραύσης των υλικών, γρήγορα έγινε φανερό ότι αυτή μπορούσε να έχει μία γενικότερη χρήση . Και αυτό γιατί η μεταβολή των δυο παραμέτρων της οδηγεί σε μία μεγάλη ποικιλία μορφών μερικές από τις οποίες μάλιστα είναι γενικές περιπτώσεις πολύ γνωστών κατανομών .

Διάγραμμα 1.1 Συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας για την κατανομή WEIBULL



Η μέση τιμή της κατανομής είναι

$$\mu = n^{\frac{-1}{\beta}} \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) + \gamma \quad (1.02)$$

Και η μεταβλητότητα είναι ίση με :

$$\sigma^2 = n^{\frac{-2}{\beta}} \left\{ \Gamma \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) - \left[\Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right]^2 \right\} + \gamma \quad (1.03)$$

Όπου $\Gamma(n+1) = n!$

Τέλος η συνάρτηση της αθροιστικής κατανομής είναι :

$$\Phi(x) = 1 - \exp \left\{ - \left[\frac{t - \gamma}{n} \right]^\beta \right\} \quad (1.04)$$

2.ΕΚΘΕΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ

Η εκθετική κατανομή είναι μια ιδιαίτερα χρήσιμη κατανομή στην Επιχειρησιακή έρευνα γενικά και στη θεωρία αναμονής. Αν υποθέσουμε ότι ορισμένα γεγονότα συμβαίνουν σύμφωνα με την κατανομή Poisson, της οποίας η μέση τιμή είναι έστω λ γεγονότα ανά μονάδα χρόνου, τότε η πιθανότητα να συμβούν x γεγονότα στην μονάδα του χρόνου, δίνεται από την σχέση :

$$P(x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!} \quad (2.01)$$

Η μέση τιμή των παραπάνω γεγονότων στον χρόνο t είναι λt και επομένως η πιθανότητα να υπάρξουν x γεγονότα σε χρόνο t δίνεται από την παρακάτω σχέση :

$$P_x(t) = \frac{(\lambda t)^x e^{-\lambda t}}{x!} \quad (2.02)$$

Ακόμη η πιθανότητα να συμβεί ένα γεγονός σε χρόνο Δt είναι ίση :

$$P_1(\Delta t) = \frac{(\lambda \Delta t)^1 e^{-\lambda \Delta t}}{1!} \quad (2.03)$$

Από τα μαθηματικά γνωρίζουμε ότι :

$$e^{-\lambda \Delta t} = 1 - \frac{\lambda \Delta t}{1!} + \frac{(\lambda \Delta t)^2}{2!} + \dots$$

Έτσι τελικά προκύπτει ότι

$$P_1(\Delta t) \cong \lambda \Delta t \quad (2.04)$$

Η πιθανότητα να μη συμβεί ένα γεγονός στο χρονικό διάστημα t , αν το τελευταίο γεγονός συνέβη στο χρόνο $t=0$, βρίσκεται από την σχέση (2.02) και είναι ίση με:

$$P_0(t) = \frac{(\lambda t)^0 e^{-\lambda t}}{0!} = e^{-\lambda t} \quad (2.05)$$

Η πιθανότητα να συμβεί ένα γεγονός στο χρονικό διάστημα Δt , βρίσκεται από την σχέση (2.03). Συνεπώς, η πιθανότητα να μη συμβεί ένα γεγονός στο διάστημα t , αν το τελευταίο γεγονός συνέβη στο χρόνο $t=0$, και να συμβεί ένα γεγονός στο χρονικό διάστημα $t, t+\Delta t$ βρίσκεται από την παρακάτω σχέση :

$$\varphi(t)\Delta t = \lambda e^{-\lambda t} \Delta t \quad (2.06)$$

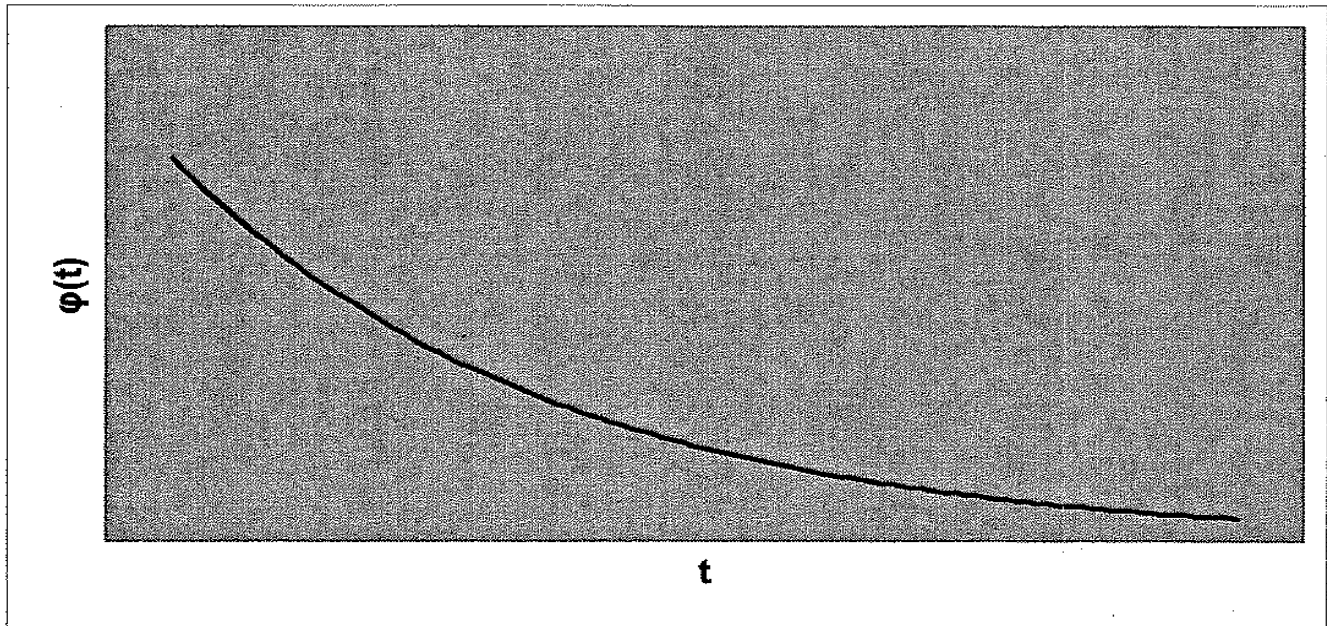
όπου $\varphi(t)$ είναι η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του χρονικού διαστήματος ανάμεσα σε δύο διαδοχικά γεγονότα.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι όταν ορισμένα γεγονότα συμβαίνουν σύμφωνα με την κατανομή Poisson με μέση τιμή λ ανά μονάδα χρόνου, τότε τα χρονικά διαστήματα ανάμεσα σε διαδοχικά γεγονότα, έστω T_n , έχουν συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας την παρακάτω:

$$\varphi(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad t \geq 0 \quad (2.07)$$

την οποία ονομάζουμε εκθετική κατανομή.

Διάγραμμα 2.1 Μορφή της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας της εκθετικής κατανομής



Τέλος η μέση τιμή είναι

$$\mu = \frac{1}{\lambda} \quad (2.08)$$

Και η μεταβλητότητα είναι ίση με :

$$\sigma^2 = \frac{1}{\lambda^2} \quad (2.09)$$

3. ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας για 4.3.1.

Kar	3500	Kad	500	Kar	3500	Kad	500
Kbr	200	Kbd	150	Kbr	200	Kbd	150
r	0,1			r	0,2		
Λ	C	Ae	Be	Λ	C	Ae	Be
1	3388,9	3333,3	55,56	1	3812,5	3750	62,5
2	1722,2	1666,7	55,56	2	1937,5	1875	62,5
3	1166,7	1111,1	55,56	3	1312,5	1250	62,5
4	888,89	833,33	55,56	4	1000	937,5	62,5
5	722,22	666,67	55,56	5	812,5	750	62,5
6	611,11	555,56	55,56	6	687,5	625	62,5
7	531,75	476,19	55,56	7	598,21	535,71	62,5
8	472,22	416,67	55,56	8	531,25	468,75	62,5
9	425,93	370,37	55,56	9	479,17	416,67	62,5
10	388,89	333,33	55,56	10	437,5	375	62,5
11	358,59	303,03	55,56	11	403,41	340,91	62,5
12	333,33	277,78	55,56	12	375	312,5	62,5
13	311,97	256,41	55,56	13	350,96	288,46	62,5
14	293,65	238,1	55,56	14	330,36	267,86	62,5
15	277,78	222,22	55,56	15	312,5	250	62,5
16	263,89	208,33	55,56	16	296,88	234,38	62,5
17	251,63	196,08	55,56	17	283,09	220,59	62,5
18	240,74	185,19	55,56	18	270,83	208,33	62,5
19	230,99	175,44	55,56	19	259,87	197,37	62,5
20	222,22	166,67	55,56	20	250	187,5	62,5
21	214,29	158,73	55,56	21	241,07	178,57	62,5
22	207,07	151,52	55,56	22	232,95	170,45	62,5
23	200,48	144,93	55,56	23	225,54	163,04	62,5
24	194,44	138,89	55,56	24	218,75	156,25	62,5
25	188,89	133,33	55,56	25	212,5	150	62,5
26	183,76	128,21	55,56	26	206,73	144,23	62,5
27	179,01	123,46	55,56	27	201,39	138,89	62,5
28	174,6	119,05	55,56	28	196,43	133,93	62,5
29	170,5	114,94	55,56	29	191,81	129,31	62,5
30	166,67	111,11	55,56	30	187,5	125	62,5
31	163,08	107,53	55,56	31	183,47	120,97	62,5
32	159,72	104,17	55,56	32	179,69	117,19	62,5
33	156,57	101,01	55,56	33	176,14	113,64	62,5
34	153,59	98,039	55,56	34	172,79	110,29	62,5
35	150,79	95,238	55,56	35	169,64	107,14	62,5

36	148,15	92,593	55,56	36	166,67	104,17	62,5
37	145,65	90,09	55,56	37	163,85	101,35	62,5
38	143,27	87,719	55,56	38	161,18	98,684	62,5
39	141,03	85,47	55,56	39	158,65	96,154	62,5
40	138,89	83,333	55,56	40	156,25	93,75	62,5
41	136,86	81,301	55,56	41	153,96	91,463	62,5
42	134,92	79,365	55,56	42	151,79	89,286	62,5
43	133,07	77,519	55,56	43	149,71	87,209	62,5
44	131,31	75,758	55,56	44	147,73	85,227	62,5
45	129,63	74,074	55,56	45	145,83	83,333	62,5
46	128,02	72,464	55,56	46	144,02	81,522	62,5
47	126,48	70,922	55,56	47	142,29	79,787	62,5
48	125	69,444	55,56	48	140,63	78,125	62,5
49	123,58	68,027	55,56	49	139,03	76,531	62,5
50	122,22	66,667	55,56	50	137,5	75	62,5
Kar	3500	Kad	500	Kar	3500	Kad	500
Kbr	200	Kbd	150	Kbr	200	Kbd	150
r	0,3			r	0,4		
Λ	C	Ae	Be	Λ	C	Ae	Be
1	4357,1	4285,7	71,43	1	5083,3	5000	83,333
2	2214,3	2142,9	71,43	2	2583,3	2500	83,333
3	1500	1428,6	71,43	3	1750	1666,7	83,333
4	1142,9	1071,4	71,43	4	1333,3	1250	83,333
5	928,57	857,14	71,43	5	1083,3	1000	83,333
6	785,71	714,29	71,43	6	916,67	833,33	83,333
7	683,67	612,24	71,43	7	797,62	714,29	83,333
8	607,14	535,71	71,43	8	708,33	625	83,333
9	547,62	476,19	71,43	9	638,89	555,56	83,333
10	500	428,57	71,43	10	583,33	500	83,333
11	461,04	389,61	71,43	11	537,88	454,55	83,333
12	428,57	357,14	71,43	12	500	416,67	83,333
13	401,1	329,67	71,43	13	467,95	384,62	83,333
14	377,55	306,12	71,43	14	440,48	357,14	83,333
15	357,14	285,71	71,43	15	416,67	333,33	83,333
16	339,29	267,86	71,43	16	395,83	312,5	83,333
17	323,53	252,1	71,43	17	377,45	294,12	83,333
18	309,52	238,1	71,43	18	361,11	277,78	83,333
19	296,99	225,56	71,43	19	346,49	263,16	83,333
20	285,71	214,29	71,43	20	333,33	250	83,333
21	275,51	204,08	71,43	21	321,43	238,1	83,333
22	266,23	194,81	71,43	22	310,61	227,27	83,333
23	257,76	186,34	71,43	23	300,72	217,39	83,333
24	250	178,57	71,43	24	291,67	208,33	83,333
25	242,86	171,43	71,43	25	283,33	200	83,333

26	236,26	164,84	71,43	26	275,64	192,31	83,333
27	230,16	158,73	71,43	27	268,52	185,19	83,333
28	224,49	153,06	71,43	28	261,9	178,57	83,333
29	219,21	147,78	71,43	29	255,75	172,41	83,333
30	214,29	142,86	71,43	30	250	166,67	83,333
31	209,68	138,25	71,43	31	244,62	161,29	83,333
32	205,36	133,93	71,43	32	239,58	156,25	83,333
33	201,3	129,87	71,43	33	234,85	151,52	83,333
34	197,48	126,05	71,43	34	230,39	147,06	83,333
35	193,88	122,45	71,43	35	226,19	142,86	83,333
36	190,48	119,05	71,43	36	222,22	138,89	83,333
37	187,26	115,83	71,43	37	218,47	135,14	83,333
38	184,21	112,78	71,43	38	214,91	131,58	83,333
39	181,32	109,89	71,43	39	211,54	128,21	83,333
40	178,57	107,14	71,43	40	208,33	125	83,333
41	175,96	104,53	71,43	41	205,28	121,95	83,333
42	173,47	102,04	71,43	42	202,38	119,05	83,333
43	171,1	99,668	71,43	43	199,61	116,28	83,333
44	168,83	97,403	71,43	44	196,97	113,64	83,333
45	166,67	95,238	71,43	45	194,44	111,11	83,333
46	164,6	93,168	71,43	46	192,03	108,7	83,333
47	162,61	91,185	71,43	47	189,72	106,38	83,333
48	160,71	89,286	71,43	48	187,5	104,17	83,333
49	158,89	87,464	71,43	49	185,37	102,04	83,333
50	157,14	85,714	71,43	50	183,33	100	83,333
Kar	3500	Kad	500	Kar	3500	Kad	500
Kbr	200	Kbd	150	Kbr	200	Kbd	150
r	0,5			r	0,6		
Λ	C	Ae	Be	Λ	C	Ae	Be
1	6100	6000	100	1	7625	7500	125
2	3100	3000	100	2	3875	3750	125
3	2100	2000	100	3	2625	2500	125
4	1600	1500	100	4	2000	1875	125
5	1300	1200	100	5	1625	1500	125
6	1100	1000	100	6	1375	1250	125
7	957,14	857,14	100	7	1196,4	1071,4	125
8	850	750	100	8	1062,5	937,5	125
9	766,67	666,67	100	9	958,33	833,33	125
10	700	600	100	10	875	750	125
11	645,45	545,45	100	11	806,82	681,82	125
12	600	500	100	12	750	625	125
13	561,54	461,54	100	13	701,92	576,92	125
14	528,57	428,57	100	14	660,71	535,71	125
15	500	400	100	15	625	500	125

16	475	375	100	16	593,75	468,75	125
17	452,94	352,94	100	17	566,18	441,18	125
18	433,33	333,33	100	18	541,67	416,67	125
19	415,79	315,79	100	19	519,74	394,74	125
20	400	300	100	20	500	375	125
21	385,71	285,71	100	21	482,14	357,14	125
22	372,73	272,73	100	22	465,91	340,91	125
23	360,87	260,87	100	23	451,09	326,09	125
24	350	250	100	24	437,5	312,5	125
25	340	240	100	25	425	300	125
26	330,77	230,77	100	26	413,46	288,46	125
27	322,22	222,22	100	27	402,78	277,78	125
28	314,29	214,29	100	28	392,86	267,86	125
29	306,9	206,9	100	29	383,62	258,62	125
30	300	200	100	30	375	250	125
31	293,55	193,55	100	31	366,94	241,94	125
32	287,5	187,5	100	32	359,38	234,38	125
33	281,82	181,82	100	33	352,27	227,27	125
34	276,47	176,47	100	34	345,59	220,59	125
35	271,43	171,43	100	35	339,29	214,29	125
36	266,67	166,67	100	36	333,33	208,33	125
37	262,16	162,16	100	37	327,7	202,7	125
38	257,89	157,89	100	38	322,37	197,37	125
39	253,85	153,85	100	39	317,31	192,31	125
40	250	150	100	40	312,5	187,5	125
41	246,34	146,34	100	41	307,93	182,93	125
42	242,86	142,86	100	42	303,57	178,57	125
43	239,53	139,53	100	43	299,42	174,42	125
44	236,36	136,36	100	44	295,45	170,45	125
45	233,33	133,33	100	45	291,67	166,67	125
46	230,43	130,43	100	46	288,04	163,04	125
47	227,66	127,66	100	47	284,57	159,57	125
48	225	125	100	48	281,25	156,25	125
49	222,45	122,45	100	49	278,06	153,06	125
50	220	120	100	50	275	150	125
Kar	3500	Kad	500	Kar	3500	Kad	500
Kbr	200	Kbd	150	Kbr	200	Kbd	150
r	0,7			r	0,8		
Λ	C	Ae	Be	Λ	C	Ae	Be
1	10167	10000	166,7	1	15250	15000	250
2	5166,7	5000	166,7	2	7750	7500	250
3	3500	3333,3	166,7	3	5250	5000	250
4	2666,7	2500	166,7	4	4000	3750	250
5	2166,7	2000	166,7	5	3250	3000	250

6	1833,3	1666,7	166,7	6	2750	2500	250
7	1595,2	1428,6	166,7	7	2392,9	2142,9	250
8	1416,7	1250	166,7	8	2125	1875	250
9	1277,8	1111,1	166,7	9	1916,7	1666,7	250
10	1166,7	1000	166,7	10	1750	1500	250
11	1075,8	909,09	166,7	11	1613,6	1363,6	250
12	1000	833,33	166,7	12	1500	1250	250
13	935,9	769,23	166,7	13	1403,8	1153,8	250
14	880,95	714,29	166,7	14	1321,4	1071,4	250
15	833,33	666,67	166,7	15	1250	1000	250
16	791,67	625	166,7	16	1187,5	937,5	250
17	754,9	588,24	166,7	17	1132,4	882,35	250
18	722,22	555,56	166,7	18	1083,3	833,33	250
19	692,98	526,32	166,7	19	1039,5	789,47	250
20	666,67	500	166,7	20	1000	750	250
21	642,86	476,19	166,7	21	964,29	714,29	250
22	621,21	454,55	166,7	22	931,82	681,82	250
23	601,45	434,78	166,7	23	902,17	652,17	250
24	583,33	416,67	166,7	24	875	625	250
25	566,67	400	166,7	25	850	600	250
26	551,28	384,62	166,7	26	826,92	576,92	250
27	537,04	370,37	166,7	27	805,56	555,56	250
28	523,81	357,14	166,7	28	785,71	535,71	250
29	511,49	344,83	166,7	29	767,24	517,24	250
30	500	333,33	166,7	30	750	500	250
31	489,25	322,58	166,7	31	733,87	483,37	250
32	479,17	312,5	166,7	32	718,75	468,75	250
33	469,7	303,03	166,7	33	704,55	454,55	250
34	460,78	294,12	166,7	34	691,18	441,18	250
35	452,38	285,71	166,7	35	678,57	428,57	250
36	444,44	277,78	166,7	36	666,67	416,67	250
37	436,94	270,27	166,7	37	655,41	405,41	250
38	429,82	263,16	166,7	38	644,74	394,74	250
39	423,08	256,41	166,7	39	634,62	384,62	250
40	416,67	250	166,7	40	625	375	250
41	410,57	243,9	166,7	41	615,85	365,85	250
42	404,76	238,1	166,7	42	607,14	357,14	250
43	399,22	232,56	166,7	43	598,84	348,84	250
44	393,94	227,27	166,7	44	590,91	340,91	250
45	388,89	222,22	166,7	45	583,33	333,33	250
46	384,06	217,39	166,7	46	576,09	326,09	250
47	379,43	212,77	166,7	47	569,15	319,15	250
48	375	208,33	166,7	48	562,5	312,5	250
49	370,75	204,08	166,7	49	556,12	306,12	250
50	366,67	200	166,7	50	550	300	250

Kar	3500	Kad	500	Kar	3500	Kad	500
Kbr	200	Kbd	150	Kbr	200	Kbd	150
r	0,9			r	0,99		
Λ	C	Ae	Be	Λ	C	Ae	Be
1	30500	30000	500	1	305000	300000	5000
2	15500	15000	500	2	155000	150000	5000
3	10500	10000	500	3	105000	100000	5000
4	8000	7500	500	4	80000	75000	5000
5	6500	6000	500	5	65000	60000	5000
6	5500	5000	500	6	55000	50000	5000
7	4785,7	4285,7	500	7	47857	42857	5000
8	4250	3750	500	8	42500	37500	5000
9	3833,3	3333,3	500	9	38333	33333	5000
10	3500	3000	500	10	35000	30000	5000
11	3227,3	2727,3	500	11	32273	27273	5000
12	3000	2500	500	12	30000	25000	5000
13	2807,7	2307,7	500	13	28077	23077	5000
14	2642,9	2142,9	500	14	26429	21429	5000
15	2500	2000	500	15	25000	20000	5000
16	2375	1875	500	16	23750	18750	5000
17	2264,7	1764,7	500	17	22647	17647	5000
18	2166,7	1666,7	500	18	21667	16667	5000
19	2078,9	1578,9	500	19	20789	15789	5000
20	2000	1500	500	20	20000	15000	5000
21	1928,6	1428,6	500	21	19286	14286	5000
22	1863,6	1363,6	500	22	18636	13636	5000
23	1804,3	1304,3	500	23	18043	13043	5000
24	1750	1250	500	24	17500	12500	5000
25	1700	1200	500	25	17000	12000	5000
26	1653,8	1153,8	500	26	16538	11538	5000
27	1611,1	1111,1	500	27	16111	11111	5000
28	1571,4	1071,4	500	28	15714	10714	5000
29	1534,5	1034,5	500	29	15345	10345	5000
30	1500	1000	500	30	15000	10000	5000
31	1467,7	967,74	500	31	14677	9677,4	5000
32	1437,5	937,5	500	32	14375	9375	5000
33	1409,1	909,09	500	33	14091	9090,9	5000
34	1382,4	882,35	500	34	13824	8823,5	5000
35	1357,1	857,14	500	35	13571	8571,4	5000
36	1333,3	833,33	500	36	13333	8333,3	5000
37	1310,8	810,81	500	37	13108	8108,1	5000
38	1289,5	789,47	500	38	12895	7894,7	5000
39	1269,2	769,23	500	39	12692	7692,3	5000
40	1250	750	500	40	12500	7500	5000

41	1231,7	731,71	500	41	12317	7317,1	5000
42	1214,3	714,29	500	42	12143	7142,9	5000
43	1197,7	697,67	500	43	11977	6976,7	5000
44	1181,8	681,82	500	44	11818	6818,2	5000
45	1166,7	666,67	500	45	11667	6666,7	5000
46	1152,2	652,17	500	46	11522	6521,7	5000
47	1138,3	638,3	500	47	11383	6383	5000
48	1125	625	500	48	11250	6250	5000
49	1112,2	612,24	500	49	11122	6122,4	5000
50	1100	600	500	50	11000	6000	5000

Πίνακας για 4.3.2.

Kar	3500	Kad	2000	Kar	3500	Kad	2000
Kbr	200	Kbd	150	Kbr	200	Kbd	150
r	0,1			r	0,2		
Λ	C	Ae	Be	Λ	C	Ae	Be
1	1722,2	1666,7	55,556	1	1937,5	1875	62,5
2	888,89	833,33	55,556	2	1000	937,5	62,5
3	611,11	555,56	55,556	3	687,5	625	62,5
4	472,22	416,67	55,556	4	531,25	468,75	62,5
5	388,89	333,33	55,556	5	437,5	375	62,5
6	333,33	277,78	55,556	6	375	312,5	62,5
7	293,65	238,1	55,556	7	330,36	267,86	62,5
8	263,89	208,33	55,556	8	296,88	234,38	62,5
9	240,74	185,19	55,556	9	270,83	208,33	62,5
10	222,22	166,67	55,556	10	250	187,5	62,5
11	207,07	151,52	55,556	11	232,95	170,45	62,5
12	194,44	138,89	55,556	12	218,75	156,25	62,5
13	183,76	128,21	55,556	13	206,73	144,23	62,5
14	174,6	119,05	55,556	14	196,43	133,93	62,5
15	166,67	111,11	55,556	15	187,5	125	62,5
16	159,72	104,17	55,556	16	179,69	117,19	62,5
17	153,59	98,039	55,556	17	172,79	110,29	62,5
18	148,15	92,593	55,556	18	166,67	104,17	62,5
19	143,27	87,719	55,556	19	161,18	98,684	62,5
20	138,89	83,333	55,556	20	156,25	93,75	62,5
21	134,92	79,365	55,556	21	151,79	89,286	62,5
22	131,31	75,758	55,556	22	147,73	85,227	62,5
23	128,02	72,464	55,556	23	144,02	81,522	62,5
24	125	69,444	55,556	24	140,63	78,125	62,5
25	122,22	66,667	55,556	25	137,5	75	62,5

26	119,66	64,103	55,556	26	134,62	72,115	62,5
27	117,28	61,728	55,556	27	131,94	69,444	62,5
28	115,08	59,524	55,556	28	129,46	66,964	62,5
29	113,03	57,471	55,556	29	127,16	64,655	62,5
30	111,11	55,556	55,556	30	125	62,5	62,5
31	109,32	53,763	55,556	31	122,98	60,484	62,5
32	107,64	52,083	55,556	32	121,09	58,594	62,5
33	106,06	50,505	55,556	33	119,32	56,818	62,5
34	104,58	49,02	55,556	34	117,65	55,147	62,5
35	103,17	47,619	55,556	35	116,07	53,571	62,5
36	101,85	46,296	55,556	36	114,58	52,083	62,5
37	100,6	45,045	55,556	37	113,18	50,676	62,5
38	99,415	43,86	55,556	38	111,84	49,342	62,5
39	98,291	42,735	55,556	39	110,58	48,077	62,5
40	97,222	41,667	55,556	40	109,38	46,875	62,5
41	96,206	40,65	55,556	41	108,23	45,732	62,5
42	95,238	39,683	55,556	42	107,14	44,643	62,5
43	94,315	38,76	55,556	43	106,1	43,605	62,5
44	93,434	37,879	55,556	44	105,11	42,614	62,5
45	92,593	37,037	55,556	45	104,17	41,667	62,5
46	91,787	36,232	55,556	46	103,26	40,761	62,5
47	91,017	35,461	55,556	47	102,39	39,894	62,5
48	90,278	34,722	55,556	48	101,56	39,063	62,5
49	89,569	34,014	55,556	49	100,77	38,265	62,5
50	88,889	33,333	55,556	50	100	37,5	62,5
Kar	3500	Kad	2000	Kar	3500	Kad	2000
Kbr	200	Kbd	150	Kbr	200	Kbd	150
r	0,3			r	0,4		
Λ	C	Ae	Be	Λ	C	Ae	Be
1	2214,3	2142,9	71,429	1	2583,3	2500	83,333
2	1142,9	1071,4	71,429	2	1333,3	1250	83,333
3	785,71	714,29	71,429	3	916,67	833,33	83,333
4	607,14	535,71	71,429	4	708,33	625	83,333
5	500	428,57	71,429	5	583,33	500	83,333
6	428,57	357,14	71,429	6	500	416,67	83,333
7	377,55	306,12	71,429	7	440,48	357,14	83,333
8	339,29	267,86	71,429	8	395,83	312,5	83,333
9	309,52	238,1	71,429	9	361,11	277,78	83,333
10	285,71	214,29	71,429	10	333,33	250	83,333
11	266,23	194,81	71,429	11	310,61	227,27	83,333
12	250	178,57	71,429	12	291,67	208,33	83,333
13	236,26	164,84	71,429	13	275,64	192,31	83,333
14	224,49	153,06	71,429	14	261,9	178,57	83,333
15	214,29	142,86	71,429	15	250	166,67	83,333

16	205,36	133,93	71,429	16	239,58	156,25	83,333
17	197,48	126,05	71,429	17	230,39	147,06	83,333
18	190,48	119,05	71,429	18	222,22	138,89	83,333
19	184,21	112,78	71,429	19	214,91	131,58	83,333
20	178,57	107,14	71,429	20	208,33	125	83,333
21	173,47	102,04	71,429	21	202,38	119,05	83,333
22	168,83	97,403	71,429	22	196,97	113,64	83,333
23	164,6	93,168	71,429	23	192,03	108,7	83,333
24	160,71	89,286	71,429	24	187,5	104,17	83,333
25	157,14	85,714	71,429	25	183,33	100	83,333
26	153,85	82,418	71,429	26	179,49	96,154	83,333
27	150,79	79,365	71,429	27	175,93	92,593	83,333
28	147,96	76,531	71,429	28	172,62	89,286	83,333
29	145,32	73,892	71,429	29	169,54	86,207	83,333
30	142,86	71,429	71,429	30	166,67	83,333	83,333
31	140,55	69,124	71,429	31	163,98	80,645	83,333
32	138,39	66,964	71,429	32	161,46	78,125	83,333
33	136,36	64,935	71,429	33	159,09	75,758	83,333
34	134,45	63,025	71,429	34	156,86	73,529	83,333
35	132,65	61,224	71,429	35	154,76	71,429	83,333
36	130,95	59,524	71,429	36	152,78	69,444	83,333
37	129,34	57,915	71,429	37	150,9	67,568	83,333
38	127,82	56,391	71,429	38	149,12	65,789	83,333
39	126,37	54,945	71,429	39	147,44	64,103	83,333
40	125	53,571	71,429	40	145,83	62,5	83,333
41	123,69	52,265	71,429	41	144,31	60,976	83,333
42	122,45	51,02	71,429	42	142,86	59,524	83,333
43	121,26	49,834	71,429	43	141,47	58,14	83,333
44	120,13	48,701	71,429	44	140,15	56,818	83,333
45	119,05	47,619	71,429	45	138,89	55,556	83,333
46	118,01	46,584	71,429	46	137,68	54,348	83,333
47	117,02	45,593	71,429	47	136,52	53,191	83,333
48	116,07	44,643	71,429	48	135,42	52,083	83,333
49	115,16	43,732	71,429	49	134,35	51,02	83,333
50	114,29	42,857	71,429	50	133,33	50	83,333
Kar	3500	Kad	2000	Kar	3500	Kad	2000
Kbr	200	Kbd	150	Kbr	200	Kbd	150
r	0,5			r	0,6		
Λ	C	Ae	Be	Λ	C	Ae	Be
1	3100	3000	100	1	3875	3750	125
2	1600	1500	100	2	2000	1875	125
3	1100	1000	100	3	1375	1250	125
4	850	750	100	4	1062,5	937,5	125
5	700	600	100	5	875	750	125

6	600	500	100	6	750	625	125
7	528,57	428,57	100	7	660,71	535,71	125
8	475	375	100	8	593,75	468,75	125
9	433,33	333,33	100	9	541,67	416,67	125
10	400	300	100	10	500	375	125
11	372,73	272,73	100	11	465,91	340,91	125
12	350	250	100	12	437,5	312,5	125
13	330,77	230,77	100	13	413,46	288,46	125
14	314,29	214,29	100	14	392,86	267,86	125
15	300	200	100	15	375	250	125
16	287,5	187,5	100	16	359,38	234,38	125
17	276,47	176,47	100	17	345,59	220,59	125
18	266,67	166,67	100	18	333,33	208,33	125
19	257,89	157,89	100	19	322,37	197,37	125
20	250	150	100	20	312,5	187,5	125
21	242,86	142,86	100	21	303,57	178,57	125
22	236,36	136,36	100	22	295,45	170,45	125
23	230,43	130,43	100	23	288,04	163,04	125
24	225	125	100	24	281,25	156,25	125
25	220	120	100	25	275	150	125
26	215,38	115,38	100	26	269,23	144,23	125
27	211,11	111,11	100	27	263,89	138,89	125
28	207,14	107,14	100	28	258,93	133,93	125
29	203,45	103,45	100	29	254,31	129,31	125
30	200	100	100	30	250	125	125
31	196,77	96,774	100	31	245,97	120,97	125
32	193,75	93,75	100	32	242,19	117,19	125
33	190,91	90,909	100	33	238,64	113,64	125
34	188,24	88,235	100	34	235,29	110,29	125
35	185,71	85,714	100	35	232,14	107,14	125
36	183,33	83,333	100	36	229,17	104,17	125
37	181,08	81,081	100	37	226,35	101,35	125
38	178,95	78,947	100	38	223,68	98,684	125
39	176,92	76,923	100	39	221,15	96,154	125
40	175	75	100	40	218,75	93,75	125
41	173,17	73,171	100	41	216,46	91,463	125
42	171,43	71,429	100	42	214,29	89,286	125
43	169,77	69,767	100	43	212,21	87,209	125
44	168,18	68,182	100	44	210,23	85,227	125
45	166,67	66,667	100	45	208,33	83,333	125
46	165,22	65,217	100	46	206,52	81,522	125
47	163,83	63,83	100	47	204,79	79,787	125
48	162,5	62,5	100	48	203,13	78,125	125
49	161,22	61,224	100	49	201,53	76,531	125
50	160	60	100	50	200	75	125

Kar	3500	Kad	2000	Kar	3500	Kad	2000
Kbr	200	Kbd	150	Kbr	200	Kbd	150
r	0,7			r	0,8		
Λ	C	Ae	Be	Λ	C	Ae	Be
1	5166,7	5000	166,67	1	7750	7500	250
2	2666,7	2500	166,67	2	4000	3750	250
3	1833,3	1666,7	166,67	3	2750	2500	250
4	1416,7	1250	166,67	4	2125	1875	250
5	1166,7	1000	166,67	5	1750	1500	250
6	1000	833,33	166,67	6	1500	1250	250
7	880,95	714,29	166,67	7	1321,4	1071,4	250
8	791,67	625	166,67	8	1187,5	937,5	250
9	722,22	555,56	166,67	9	1083,3	833,33	250
10	666,67	500	166,67	10	1000	750	250
11	621,21	454,55	166,67	11	931,82	681,82	250
12	583,33	416,67	166,67	12	875	625	250
13	551,28	384,62	166,67	13	826,92	576,92	250
14	523,81	357,14	166,67	14	785,71	535,71	250
15	500	333,33	166,67	15	750	500	250
16	479,17	312,5	166,67	16	718,75	468,75	250
17	460,78	294,12	166,67	17	691,18	441,18	250
18	444,44	277,78	166,67	18	666,67	416,67	250
19	429,82	263,16	166,67	19	644,74	394,74	250
20	416,67	250	166,67	20	625	375	250
21	404,76	238,1	166,67	21	607,14	357,14	250
22	393,94	227,27	166,67	22	590,91	340,91	250
23	384,06	217,39	166,67	23	576,09	326,09	250
24	375	208,33	166,67	24	562,5	312,5	250
25	366,67	200	166,67	25	550	300	250
26	358,97	192,31	166,67	26	538,46	288,46	250
27	351,85	185,19	166,67	27	527,78	277,78	250
28	345,24	178,57	166,67	28	517,86	267,86	250
29	339,08	172,41	166,67	29	508,62	258,62	250
30	333,33	166,67	166,67	30	500	250	250
31	327,96	161,29	166,67	31	491,94	241,94	250
32	322,92	156,25	166,67	32	484,38	234,38	250
33	318,18	151,52	166,67	33	477,27	227,27	250
34	313,73	147,06	166,67	34	470,59	220,59	250
35	309,52	142,86	166,67	35	464,29	214,29	250
36	305,56	138,89	166,67	36	458,33	208,33	250
37	301,8	135,14	166,67	37	452,7	202,7	250
38	298,25	131,58	166,67	38	447,37	197,37	250
39	294,87	128,21	166,67	39	442,31	192,31	250
40	291,67	125	166,67	40	437,5	187,5	250

41	288,62	121,95	166,67	41	432,93	182,93	250
42	285,71	119,05	166,67	42	428,57	178,57	250
43	282,95	116,28	166,67	43	424,42	174,42	250
44	280,3	113,64	166,67	44	420,45	170,45	250
45	277,78	111,11	166,67	45	416,67	166,67	250
46	275,36	108,7	166,67	46	413,04	163,04	250
47	273,05	106,38	166,67	47	409,57	159,57	250
48	270,83	104,17	166,67	48	406,25	156,25	250
49	268,71	102,04	166,67	49	403,06	153,06	250
50	266,67	100	166,67	50	400	150	250
Kar	3500	Kad	2000	Kar	3500	Kad	2000
Kbr	200	Kbd	150	Kbr	200	Kbd	150
r	0,9			r	0,99		
Λ	C	Ae	Be	Λ	C	Ae	Be
1	15500	15000	500	1	155000	150000	5000
2	8000	7500	500	2	80000	75000	5000
3	5500	5000	500	3	55000	50000	5000
4	4250	3750	500	4	42500	37500	5000
5	3500	3000	500	5	35000	30000	5000
6	3000	2500	500	6	30000	25000	5000
7	2642,9	2142,9	500	7	26429	21429	5000
8	2375	1875	500	8	23750	18750	5000
9	2166,7	1666,7	500	9	21667	16667	5000
10	2000	1500	500	10	20000	15000	5000
11	1863,6	1363,6	500	11	18636	13636	5000
12	1750	1250	500	12	17500	12500	5000
13	1653,8	1153,8	500	13	16538	11538	5000
14	1571,4	1071,4	500	14	15714	10714	5000
15	1500	1000	500	15	15000	10000	5000
16	1437,5	937,5	500	16	14375	9375	5000
17	1382,4	882,35	500	17	13824	8823,5	5000
18	1333,3	833,33	500	18	13333	8333,3	5000
19	1289,5	789,47	500	19	12895	7894,7	5000
20	1250	750	500	20	12500	7500	5000
21	1214,3	714,29	500	21	12143	7142,9	5000
22	1181,8	681,82	500	22	11818	6818,2	5000
23	1152,2	652,17	500	23	11522	6521,7	5000
24	1125	625	500	24	11250	6250	5000
25	1100	600	500	25	11000	6000	5000
26	1076,9	576,92	500	26	10769	5769,2	5000
27	1055,6	555,56	500	27	10556	5555,6	5000
28	1035,7	535,71	500	28	10357	5357,1	5000
29	1017,2	517,24	500	29	10172	5172,4	5000
30	1000	500	500	30	10000	5000	5000

31	983,87	483,87	500	31	9838,7	4838,7	5000
32	968,75	468,75	500	32	9687,5	4687,5	5000
33	954,55	454,55	500	33	9545,5	4545,5	5000
34	941,18	441,18	500	34	9411,8	4411,8	5000
35	928,57	428,57	500	35	9285,7	4285,7	5000
36	916,67	416,67	500	36	9166,7	4166,7	5000
37	905,41	405,41	500	37	9054,1	4054,1	5000
38	894,74	394,74	500	38	8947,4	3947,4	5000
39	884,62	384,62	500	39	8846,2	3846,2	5000
40	875	375	500	40	8750	3750	5000
41	865,85	365,85	500	41	8658,5	3658,5	5000
42	857,14	357,14	500	42	8571,4	3571,4	5000
43	848,84	348,84	500	43	8488,4	3488,4	5000
44	840,91	340,91	500	44	8409,1	3409,1	5000
45	833,33	333,33	500	45	8333,3	3333,3	5000
46	826,09	326,09	500	46	8260,9	3260,9	5000
47	819,15	319,15	500	47	8191,5	3191,5	5000
48	812,5	312,5	500	48	8125	3125	5000
49	806,12	306,12	500	49	8061,2	3061,2	5000
50	800	300	500	50	8000	3000	5000

Πίνακας για 4.3.3.

Kar	3500	Kad	3000	Kar	3500	Kad	3000
Kbr	200	Kbd	150	Kbr	200	Kbd	150
r	0,1			r	0,2		
Λ	C	Ae	Be	Λ	C	Ae	Be
1	611,11	555,56	55,556	1	687,5	625	62,5
2	333,33	277,78	55,556	2	375	312,5	62,5
3	240,74	185,19	55,556	3	270,83	208,33	62,5
4	194,44	138,89	55,556	4	218,75	156,25	62,5
5	166,67	111,11	55,556	5	187,5	125	62,5
6	148,15	92,593	55,556	6	166,67	104,17	62,5
7	134,92	79,365	55,556	7	151,79	89,286	62,5
8	125	69,444	55,556	8	140,63	78,125	62,5
9	117,28	61,728	55,556	9	131,94	69,444	62,5
10	111,11	55,556	55,556	10	125	62,5	62,5
11	106,06	50,505	55,556	11	119,32	56,818	62,5
12	101,85	46,296	55,556	12	114,58	52,083	62,5
13	98,291	42,735	55,556	13	110,58	48,077	62,5
14	95,238	39,683	55,556	14	107,14	44,643	62,5
15	92,593	37,037	55,556	15	104,17	41,667	62,5
16	90,278	34,722	55,556	16	101,56	39,063	62,5

17	88,235	32,68	55,556	17	99,265	36,765	62,5
18	86,42	30,864	55,556	18	97,222	34,722	62,5
19	84,795	29,24	55,556	19	95,395	32,895	62,5
20	83,333	27,778	55,556	20	93,75	31,25	62,5
21	82,011	26,455	55,556	21	92,262	29,762	62,5
22	80,808	25,253	55,556	22	90,909	28,409	62,5
23	79,71	24,155	55,556	23	89,674	27,174	62,5
24	78,704	23,148	55,556	24	88,542	26,042	62,5
25	77,778	22,222	55,556	25	87,5	25	62,5
26	76,923	21,368	55,556	26	86,538	24,038	62,5
27	76,132	20,576	55,556	27	85,648	23,148	62,5
28	75,397	19,841	55,556	28	84,821	22,321	62,5
29	74,713	19,157	55,556	29	84,052	21,552	62,5
30	74,074	18,519	55,556	30	83,333	20,833	62,5
31	73,477	17,921	55,556	31	82,661	20,161	62,5
32	72,917	17,361	55,556	32	82,031	19,531	62,5
33	72,391	16,835	55,556	33	81,439	18,939	62,5
34	71,895	16,34	55,556	34	80,882	18,382	62,5
35	71,429	15,873	55,556	35	80,357	17,857	62,5
36	70,988	15,432	55,556	36	79,861	17,361	62,5
37	70,571	15,015	55,556	37	79,392	16,892	62,5
38	70,175	14,62	55,556	38	78,947	16,447	62,5
39	69,801	14,245	55,556	39	78,526	16,026	62,5
40	69,444	13,889	55,556	40	78,125	15,625	62,5
41	69,106	13,55	55,556	41	77,744	15,244	62,5
42	68,783	13,228	55,556	42	77,381	14,881	62,5
43	68,475	12,92	55,556	43	77,035	14,535	62,5
44	68,182	12,626	55,556	44	76,705	14,205	62,5
45	67,901	12,346	55,556	45	76,389	13,889	62,5
46	67,633	12,077	55,556	46	76,087	13,587	62,5
47	67,376	11,82	55,556	47	75,798	13,298	62,5
48	67,13	11,574	55,556	48	75,521	13,021	62,5
49	66,893	11,338	55,556	49	75,255	12,755	62,5
50	66,667	11,111	55,556	50	75	12,5	62,5
Kar	3500	Kad	3000	Kar	3500	Kad	3000
Kbr	200	Kbd	150	Kbr	200	Kbd	150
r	0,3			r	0,4		
Λ	C	Ae	Be	Λ	C	Ae	Be
1	785,71	714,29	71,429	1	916,67	833,33	83,333
2	428,57	357,14	71,429	2	500	416,67	83,333
3	309,52	238,1	71,429	3	361,11	277,78	83,333
4	250	178,57	71,429	4	291,67	208,33	83,333
5	214,29	142,86	71,429	5	250	166,67	83,333
6	190,48	119,05	71,429	6	222,22	138,89	83,333

7	173,47	102,04	71,429	7	202,38	119,05	83,333
8	160,71	89,286	71,429	8	187,5	104,17	83,333
9	150,79	79,365	71,429	9	175,93	92,593	83,333
10	142,86	71,429	71,429	10	166,67	83,333	83,333
11	136,36	64,935	71,429	11	159,09	75,758	83,333
12	130,95	59,524	71,429	12	152,78	69,444	83,333
13	126,37	54,945	71,429	13	147,44	64,103	83,333
14	122,45	51,02	71,429	14	142,86	59,524	83,333
15	119,05	47,619	71,429	15	138,89	55,556	83,333
16	116,07	44,643	71,429	16	135,42	52,083	83,333
17	113,45	42,017	71,429	17	132,35	49,02	83,333
18	111,11	39,683	71,429	18	129,63	46,296	83,333
19	109,02	37,594	71,429	19	127,19	43,86	83,333
20	107,14	35,714	71,429	20	125	41,667	83,333
21	105,44	34,014	71,429	21	123,02	39,683	83,333
22	103,9	32,468	71,429	22	121,21	37,879	83,333
23	102,48	31,056	71,429	23	119,57	36,232	83,333
24	101,19	29,762	71,429	24	118,06	34,722	83,333
25	100	28,571	71,429	25	116,67	33,333	83,333
26	98,901	27,473	71,429	26	115,38	32,051	83,333
27	97,884	26,455	71,429	27	114,2	30,864	83,333
28	96,939	25,51	71,429	28	113,1	29,762	83,333
29	96,059	24,631	71,429	29	112,07	28,736	83,333
30	95,238	23,81	71,429	30	111,11	27,778	83,333
31	94,47	23,041	71,429	31	110,22	26,882	83,333
32	93,75	22,321	71,429	32	109,38	26,042	83,333
33	93,074	21,645	71,429	33	108,59	25,253	83,333
34	92,437	21,008	71,429	34	107,84	24,51	83,333
35	91,837	20,408	71,429	35	107,14	23,81	83,333
36	91,27	19,841	71,429	36	106,48	23,148	83,333
37	90,734	19,305	71,429	37	105,86	22,523	83,333
38	90,226	18,797	71,429	38	105,26	21,93	83,333
39	89,744	18,315	71,429	39	104,7	21,368	83,333
40	89,286	17,857	71,429	40	104,17	20,833	83,333
41	88,85	17,422	71,429	41	103,66	20,325	83,333
42	88,435	17,007	71,429	42	103,17	19,841	83,333
43	88,04	16,611	71,429	43	102,71	19,38	83,333
44	87,662	16,234	71,429	44	102,27	18,939	83,333
45	87,302	15,873	71,429	45	101,85	18,519	83,333
46	86,957	15,528	71,429	46	101,45	18,116	83,333
47	86,626	15,198	71,429	47	101,06	17,73	83,333
48	86,31	14,881	71,429	48	100,69	17,361	83,333
49	86,006	14,577	71,429	49	100,34	17,007	83,333
50	85,714	14,286	71,429	50	100	16,667	83,333
Kar	3500	Kad	3000	Kar	3500	Kad	3000

Kbr	200	Kbd	150	Kbr	200	Kbd	150
r	0,5			r	0,6		
Λ	C	Ae	Be	Λ	C	Ae	Be
1	1100	1000	100	1	1375	1250	125
2	600	500	100	2	750	625	125
3	433,33	333,33	100	3	541,67	416,67	125
4	350	250	100	4	437,5	312,5	125
5	300	200	100	5	375	250	125
6	266,67	166,67	100	6	333,33	208,33	125
7	242,86	142,86	100	7	303,57	178,57	125
8	225	125	100	8	281,25	156,25	125
9	211,11	111,11	100	9	263,89	138,89	125
10	200	100	100	10	250	125	125
11	190,91	90,909	100	11	238,64	113,64	125
12	183,33	83,333	100	12	229,17	104,17	125
13	176,92	76,923	100	13	221,15	96,154	125
14	171,43	71,429	100	14	214,29	89,286	125
15	166,67	66,667	100	15	208,33	83,333	125
16	162,5	62,5	100	16	203,13	78,125	125
17	158,82	58,824	100	17	198,53	73,529	125
18	155,56	55,556	100	18	194,44	69,444	125
19	152,63	52,632	100	19	190,79	65,789	125
20	150	50	100	20	187,5	62,5	125
21	147,62	47,619	100	21	184,52	59,524	125
22	145,45	45,455	100	22	181,82	56,818	125
23	143,48	43,478	100	23	179,35	54,348	125
24	141,67	41,667	100	24	177,08	52,083	125
25	140	40	100	25	175	50	125
26	138,46	38,462	100	26	173,08	48,077	125
27	137,04	37,037	100	27	171,3	46,296	125
28	135,71	35,714	100	28	169,64	44,643	125
29	134,48	34,483	100	29	168,1	43,103	125
30	133,33	33,333	100	30	166,67	41,667	125
31	132,26	32,258	100	31	165,32	40,323	125
32	131,25	31,25	100	32	164,06	39,063	125
33	130,3	30,303	100	33	162,88	37,879	125
34	129,41	29,412	100	34	161,76	36,765	125
35	128,57	28,571	100	35	160,71	35,714	125
36	127,78	27,778	100	36	159,72	34,722	125
37	127,03	27,027	100	37	158,78	33,784	125
38	126,32	26,316	100	38	157,89	32,895	125
39	125,64	25,641	100	39	157,05	32,051	125
40	125	25	100	40	156,25	31,25	125
41	124,39	24,39	100	41	155,49	30,488	125

42	123,81	23,81	100	42	154,76	29,762	125
43	123,26	23,256	100	43	154,07	29,07	125
44	122,73	22,727	100	44	153,41	28,409	125
45	122,22	22,222	100	45	152,78	27,778	125
46	121,74	21,739	100	46	152,17	27,174	125
47	121,28	21,277	100	47	151,6	26,596	125
48	120,83	20,833	100	48	151,04	26,042	125
49	120,41	20,408	100	49	150,51	25,51	125
50	120	20	100	50	150	25	125
Kar	3500	Kad	3000	Kar	3500	Kad	3000
Kbr	200	Kbd	150	Kbr	200	Kbd	150
r	0,7			r	0,8		
Λ	C	Ae	Be	Λ	C	Ae	Be
1	1833,3	1666,7	166,67	1	2750	2500	250
2	1000	833,33	166,67	2	1500	1250	250
3	722,22	555,56	166,67	3	1083,3	833,33	250
4	583,33	416,67	166,67	4	875	625	250
5	500	333,33	166,67	5	750	500	250
6	444,44	277,78	166,67	6	666,67	416,67	250
7	404,76	238,1	166,67	7	607,14	357,14	250
8	375	208,33	166,67	8	562,5	312,5	250
9	351,85	185,19	166,67	9	527,78	277,78	250
10	333,33	166,67	166,67	10	500	250	250
11	318,18	151,52	166,67	11	477,27	227,27	250
12	305,56	138,89	166,67	12	458,33	208,33	250
13	294,87	128,21	166,67	13	442,31	192,31	250
14	285,71	119,05	166,67	14	428,57	178,57	250
15	277,78	111,11	166,67	15	416,67	166,67	250
16	270,83	104,17	166,67	16	406,25	156,25	250
17	264,71	98,039	166,67	17	397,06	147,06	250
18	259,26	92,593	166,67	18	388,89	138,89	250
19	254,39	87,719	166,67	19	381,58	131,58	250
20	250	83,333	166,67	20	375	125	250
21	246,03	79,365	166,67	21	369,05	119,05	250
22	242,42	75,758	166,67	22	363,64	113,64	250
23	239,13	72,464	166,67	23	358,7	108,7	250
24	236,11	69,444	166,67	24	354,17	104,17	250
25	233,33	66,667	166,67	25	350	100	250
26	230,77	64,103	166,67	26	346,15	96,154	250
27	228,4	61,728	166,67	27	342,59	92,593	250
28	226,19	59,524	166,67	28	339,29	89,286	250
29	224,14	57,471	166,67	29	336,21	86,207	250
30	222,22	55,556	166,67	30	333,33	83,333	250
31	220,43	53,763	166,67	31	330,65	80,645	250

32	218,75	52,083	166,67	32	328,13	78,125	250
33	217,17	50,505	166,67	33	325,76	75,758	250
34	215,69	49,02	166,67	34	323,53	73,529	250
35	214,29	47,619	166,67	35	321,43	71,429	250
36	212,96	46,296	166,67	36	319,44	69,444	250
37	211,71	45,045	166,67	37	317,57	67,568	250
38	210,53	43,86	166,67	38	315,79	65,789	250
39	209,4	42,735	166,67	39	314,1	64,103	250
40	208,33	41,667	166,67	40	312,5	62,5	250
41	207,32	40,65	166,67	41	310,98	60,976	250
42	206,35	39,683	166,67	42	309,52	59,524	250
43	205,43	38,76	166,67	43	308,14	58,14	250
44	204,55	37,879	166,67	44	306,82	56,818	250
45	203,7	37,037	166,67	45	305,56	55,556	250
46	202,9	36,232	166,67	46	304,35	54,348	250
47	202,13	35,461	166,67	47	303,19	53,191	250
48	201,39	34,722	166,67	48	302,08	52,083	250
49	200,68	34,014	166,67	49	301,02	51,02	250
50	200	33,333	166,67	50	300	50	250
Kar	3500	Kad	3000	Kar	3500	Kad	3000
Kbr	200	Kbd	150	Kbr	200	Kbd	150
r	0,9			r	0,99		
Λ	C	Ae	Be	Λ	C	Ae	Be
1	5500	5000	500	1	55000	50000	5000
2	3000	2500	500	2	30000	25000	5000
3	2166,7	1666,7	500	3	21667	16667	5000
4	1750	1250	500	4	17500	12500	5000
5	1500	1000	500	5	15000	10000	5000
6	1333,3	833,33	500	6	13333	8333,3	5000
7	1214,3	714,29	500	7	12143	7142,9	5000
8	1125	625	500	8	11250	6250	5000
9	1055,6	555,56	500	9	10556	5555,6	5000
10	1000	500	500	10	10000	5000	5000
11	954,55	454,55	500	11	9545,5	4545,5	5000
12	916,67	416,67	500	12	9166,7	4166,7	5000
13	884,62	384,62	500	13	8846,2	3846,2	5000
14	857,14	357,14	500	14	8571,4	3571,4	5000
15	833,33	333,33	500	15	8333,3	3333,3	5000
16	812,5	312,5	500	16	8125	3125	5000
17	794,12	294,12	500	17	7941,2	2941,2	5000
18	777,78	277,78	500	18	7777,8	2777,8	5000
19	763,16	263,16	500	19	7631,6	2631,6	5000
20	750	250	500	20	7500	2500	5000
21	738,1	238,1	500	21	7381	2381	5000

22	727,27	227,27	500	22	7272,7	2272,7	5000
23	717,39	217,39	500	23	7173,9	2173,9	5000
24	708,33	208,33	500	24	7083,3	2083,3	5000
25	700	200	500	25	7000	2000	5000
26	692,31	192,31	500	26	6923,1	1923,1	5000
27	685,19	185,19	500	27	6851,9	1851,9	5000
28	678,57	178,57	500	28	6785,7	1785,7	5000
29	672,41	172,41	500	29	6724,1	1724,1	5000
30	666,67	166,67	500	30	6666,7	1666,7	5000
31	661,29	161,29	500	31	6612,9	1612,9	5000
32	656,25	156,25	500	32	6562,5	1562,5	5000
33	651,52	151,52	500	33	6515,2	1515,2	5000
34	647,06	147,06	500	34	6470,6	1470,6	5000
35	642,86	142,86	500	35	6428,6	1428,6	5000
36	638,89	138,89	500	36	6388,9	1388,9	5000
37	635,14	135,14	500	37	6351,4	1351,4	5000
38	631,58	131,58	500	38	6315,8	1315,8	5000
39	628,21	128,21	500	39	6282,1	1282,1	5000
40	625	125	500	40	6250	1250	5000
41	621,95	121,95	500	41	6219,5	1219,5	5000
42	619,05	119,05	500	42	6190,5	1190,5	5000
43	616,28	116,28	500	43	6162,8	1162,8	5000
44	613,64	113,64	500	44	6136,4	1136,4	5000
45	611,11	111,11	500	45	6111,1	1111,1	5000
46	608,7	108,7	500	46	6087	1087	5000
47	606,38	106,38	500	47	6063,8	1063,8	5000
48	604,17	104,17	500	48	6041,7	1041,7	5000
49	602,04	102,04	500	49	6020,4	1020,4	5000
50	600	100	500	50	6000	1000	5000

Πίνακας για 4.3.4.

Kar	3500	Kad	2000	Kar	3500	Kad	2000
Kbr	200	Kbd	100	Kbr	200	Kbd	100
r	0,1			r	0,2		
Λ	C	Ae	Be	Λ	C	Ae	Be
1	1777,8	1666,7	111,11	1	2000	1875	125
2	944,44	833,33	111,11	2	1062,5	937,5	125
3	666,67	555,56	111,11	3	750	625	125
4	527,78	416,67	111,11	4	593,75	468,75	125
5	444,44	333,33	111,11	5	500	375	125
6	388,89	277,78	111,11	6	437,5	312,5	125
7	349,21	238,1	111,11	7	392,86	267,86	125

8	319,44	208,33	111,11	8	359,38	234,38	125
9	296,3	185,19	111,11	9	333,33	208,33	125
10	277,78	166,67	111,11	10	312,5	187,5	125
11	262,63	151,52	111,11	11	295,45	170,45	125
12	250	138,89	111,11	12	281,25	156,25	125
13	239,32	128,21	111,11	13	269,23	144,23	125
14	230,16	119,05	111,11	14	258,93	133,93	125
15	222,22	111,11	111,11	15	250	125	125
16	215,28	104,17	111,11	16	242,19	117,19	125
17	209,15	98,039	111,11	17	235,29	110,29	125
18	203,7	92,593	111,11	18	229,17	104,17	125
19	198,83	87,719	111,11	19	223,68	98,684	125
20	194,44	83,333	111,11	20	218,75	93,75	125
21	190,48	79,365	111,11	21	214,29	89,286	125
22	186,87	75,758	111,11	22	210,23	85,227	125
23	183,57	72,464	111,11	23	206,52	81,522	125
24	180,56	69,444	111,11	24	203,13	78,125	125
25	177,78	66,667	111,11	25	200	75	125
26	175,21	64,103	111,11	26	197,12	72,115	125
27	172,84	61,728	111,11	27	194,44	69,444	125
28	170,63	59,524	111,11	28	191,96	66,964	125
29	168,58	57,471	111,11	29	189,66	64,655	125
30	166,67	55,556	111,11	30	187,5	62,5	125
31	164,87	53,763	111,11	31	185,48	60,484	125
32	163,19	52,083	111,11	32	183,59	58,594	125
33	161,62	50,505	111,11	33	181,82	56,818	125
34	160,13	49,02	111,11	34	180,15	55,147	125
35	158,73	47,619	111,11	35	178,57	53,571	125
36	157,41	46,296	111,11	36	177,08	52,083	125
37	156,16	45,045	111,11	37	175,68	50,676	125
38	154,97	43,86	111,11	38	174,34	49,342	125
39	153,85	42,735	111,11	39	173,08	48,077	125
40	152,78	41,667	111,11	40	171,88	46,875	125
41	151,76	40,65	111,11	41	170,73	45,732	125
42	150,79	39,683	111,11	42	169,64	44,643	125
43	149,87	38,76	111,11	43	168,6	43,605	125
44	148,99	37,879	111,11	44	167,61	42,614	125
45	148,15	37,037	111,11	45	166,67	41,667	125
46	147,34	36,232	111,11	46	165,76	40,761	125
47	146,57	35,461	111,11	47	164,89	39,894	125
48	145,83	34,722	111,11	48	164,06	39,063	125
49	145,12	34,014	111,11	49	163,27	38,265	125
50	144,44	33,333	111,11	50	162,5	37,5	125
Kar	3500	Kad	2000	Kar	3500	Kad	2000
Kbr	200	Kbd	100	Kbr	200	Kbd	100

r	0,3			r	0,4		
Λ	C	Ae	Be	Λ	C	Ae	Be
1	2285,7	2142,9	142,86	1	2666,7	2500	166,67
2	1214,3	1071,4	142,86	2	1416,7	1250	166,67
3	857,14	714,29	142,86	3	1000	833,33	166,67
4	678,57	535,71	142,86	4	791,67	625	166,67
5	571,43	428,57	142,86	5	666,67	500	166,67
6	500	357,14	142,86	6	583,33	416,67	166,67
7	448,98	306,12	142,86	7	523,81	357,14	166,67
8	410,71	267,86	142,86	8	479,17	312,5	166,67
9	380,95	238,1	142,86	9	444,44	277,78	166,67
10	357,14	214,29	142,86	10	416,67	250	166,67
11	337,66	194,81	142,86	11	393,94	227,27	166,67
12	321,43	178,57	142,86	12	375	208,33	166,67
13	307,69	164,84	142,86	13	358,97	192,31	166,67
14	295,92	153,06	142,86	14	345,24	178,57	166,67
15	285,71	142,86	142,86	15	333,33	166,67	166,67
16	276,79	133,93	142,86	16	322,92	156,25	166,67
17	268,91	126,05	142,86	17	313,73	147,06	166,67
18	261,9	119,05	142,86	18	305,56	138,89	166,67
19	255,64	112,78	142,86	19	298,25	131,58	166,67
20	250	107,14	142,86	20	291,67	125	166,67
21	244,9	102,04	142,86	21	285,71	119,05	166,67
22	240,26	97,403	142,86	22	280,3	113,64	166,67
23	236,02	93,168	142,86	23	275,36	108,7	166,67
24	232,14	89,286	142,86	24	270,83	104,17	166,67
25	228,57	85,714	142,86	25	266,67	100	166,67
26	225,27	82,418	142,86	26	262,82	96,154	166,67
27	222,22	79,365	142,86	27	259,26	92,593	166,67
28	219,39	76,531	142,86	28	255,95	89,286	166,67
29	216,75	73,892	142,86	29	252,87	86,207	166,67
30	214,29	71,429	142,86	30	250	83,333	166,67
31	211,98	69,124	142,86	31	247,31	80,645	166,67
32	209,82	66,964	142,86	32	244,79	78,125	166,67
33	207,79	64,935	142,86	33	242,42	75,758	166,67
34	205,88	63,025	142,86	34	240,2	73,529	166,67
35	204,08	61,224	142,86	35	238,1	71,429	166,67
36	202,38	59,524	142,86	36	236,11	69,444	166,67
37	200,77	57,915	142,86	37	234,23	67,568	166,67
38	199,25	56,391	142,86	38	232,46	65,789	166,67
39	197,8	54,945	142,86	39	230,77	64,103	166,67
40	196,43	53,571	142,86	40	229,17	62,5	166,67
41	195,12	52,265	142,86	41	227,64	60,976	166,67
42	193,88	51,02	142,86	42	226,19	59,524	166,67

43	192,69	49,834	142,86	43	224,81	58,14	166,67
44	191,56	48,701	142,86	44	223,48	56,818	166,67
45	190,48	47,619	142,86	45	222,22	55,556	166,67
46	189,44	46,584	142,86	46	221,01	54,348	166,67
47	188,45	45,593	142,86	47	219,86	53,191	166,67
48	187,5	44,643	142,86	48	218,75	52,083	166,67
49	186,59	43,732	142,86	49	217,69	51,02	166,67
50	185,71	42,857	142,86	50	216,67	50	166,67
Kar	3500	Kad	2000	Kar	3500	Kad	2000
Kbr	200	Kbd	100	Kbr	200	Kbd	100
r	0,5			r	0,6		
Λ	C	Ae	Be	Λ	C	Ae	Be
1	3200	3000	200	1	4000	3750	250
2	1700	1500	200	2	2125	1875	250
3	1200	1000	200	3	1500	1250	250
4	950	750	200	4	1187,5	937,5	250
5	800	600	200	5	1000	750	250
6	700	500	200	6	875	625	250
7	628,57	428,57	200	7	785,71	535,71	250
8	575	375	200	8	718,75	468,75	250
9	533,33	333,33	200	9	666,67	416,67	250
10	500	300	200	10	625	375	250
11	472,73	272,73	200	11	590,91	340,91	250
12	450	250	200	12	562,5	312,5	250
13	430,77	230,77	200	13	538,46	288,46	250
14	414,29	214,29	200	14	517,86	267,86	250
15	400	200	200	15	500	250	250
16	387,5	187,5	200	16	484,38	234,38	250
17	376,47	176,47	200	17	470,59	220,59	250
18	366,67	166,67	200	18	458,33	208,33	250
19	357,89	157,89	200	19	447,37	197,37	250
20	350	150	200	20	437,5	187,5	250
21	342,86	142,86	200	21	428,57	178,57	250
22	336,36	136,36	200	22	420,45	170,45	250
23	330,43	130,43	200	23	413,04	163,04	250
24	325	125	200	24	406,25	156,25	250
25	320	120	200	25	400	150	250
26	315,38	115,38	200	26	394,23	144,23	250
27	311,11	111,11	200	27	388,89	138,89	250
28	307,14	107,14	200	28	383,93	133,93	250
29	303,45	103,45	200	29	379,31	129,31	250
30	300	100	200	30	375	125	250
31	296,77	96,774	200	31	370,97	120,97	250
32	293,75	93,75	200	32	367,19	117,19	250

33	290,91	90,909	200	33	363,64	113,64	250
34	288,24	88,235	200	34	360,29	110,29	250
35	285,71	85,714	200	35	357,14	107,14	250
36	283,33	83,333	200	36	354,17	104,17	250
37	281,08	81,081	200	37	351,35	101,35	250
38	278,95	78,947	200	38	348,68	98,684	250
39	276,92	76,923	200	39	346,15	96,154	250
40	275	75	200	40	343,75	93,75	250
41	273,17	73,171	200	41	341,46	91,463	250
42	271,43	71,429	200	42	339,29	89,286	250
43	269,77	69,767	200	43	337,21	87,209	250
44	268,18	68,182	200	44	335,23	85,227	250
45	266,67	66,667	200	45	333,33	83,333	250
46	265,22	65,217	200	46	331,52	81,522	250
47	263,83	63,83	200	47	329,79	79,787	250
48	262,5	62,5	200	48	328,13	78,125	250
49	261,22	61,224	200	49	326,53	76,531	250
50	260	60	200	50	325	75	250
Kar	3500	Kad	2000	Kar	3500	Kad	2000
Kbr	200	Kbd	100	Kbr	200	Kbd	100
r	0,7			r	0,8		
Λ	C	Ae	Be	Λ	C	Ae	Be
1	5333,3	5000	333,33	1	8000	7500	500
2	2833,3	2500	333,33	2	4250	3750	500
3	2000	1666,7	333,33	3	3000	2500	500
4	1583,3	1250	333,33	4	2375	1875	500
5	1333,3	1000	333,33	5	2000	1500	500
6	1166,7	833,33	333,33	6	1750	1250	500
7	1047,6	714,29	333,33	7	1571,4	1071,4	500
8	958,33	625	333,33	8	1437,5	937,5	500
9	888,89	555,56	333,33	9	1333,3	833,33	500
10	833,33	500	333,33	10	1250	750	500
11	787,88	454,55	333,33	11	1181,8	681,82	500
12	750	416,67	333,33	12	1125	625	500
13	717,95	384,62	333,33	13	1076,9	576,92	500
14	690,48	357,14	333,33	14	1035,7	535,71	500
15	666,67	333,33	333,33	15	1000	500	500
16	645,83	312,5	333,33	16	968,75	468,75	500
17	627,45	294,12	333,33	17	941,18	441,18	500
18	611,11	277,78	333,33	18	916,67	416,67	500
19	596,49	263,16	333,33	19	894,74	394,74	500
20	583,33	250	333,33	20	875	375	500
21	571,43	238,1	333,33	21	857,14	357,14	500
22	560,61	227,27	333,33	22	840,91	340,91	500

23	550,72	217,39	333,33	23	826,09	326,09	500
24	541,67	208,33	333,33	24	812,5	312,5	500
25	533,33	200	333,33	25	800	300	500
26	525,64	192,31	333,33	26	788,46	288,46	500
27	518,52	185,19	333,33	27	777,78	277,78	500
28	511,9	178,57	333,33	28	767,86	267,86	500
29	505,75	172,41	333,33	29	758,62	258,62	500
30	500	166,67	333,33	30	750	250	500
31	494,62	161,29	333,33	31	741,94	241,94	500
32	489,58	156,25	333,33	32	734,38	234,38	500
33	484,85	151,52	333,33	33	727,27	227,27	500
34	480,39	147,06	333,33	34	720,59	220,59	500
35	476,19	142,86	333,33	35	714,29	214,29	500
36	472,22	138,89	333,33	36	708,33	208,33	500
37	468,47	135,14	333,33	37	702,7	202,7	500
38	464,91	131,58	333,33	38	697,37	197,37	500
39	461,54	128,21	333,33	39	692,31	192,31	500
40	458,33	125	333,33	40	687,5	187,5	500
41	455,28	121,95	333,33	41	682,93	182,93	500
42	452,38	119,05	333,33	42	678,57	178,57	500
43	449,61	116,28	333,33	43	674,42	174,42	500
44	446,97	113,64	333,33	44	670,45	170,45	500
45	444,44	111,11	333,33	45	666,67	166,67	500
46	442,03	108,7	333,33	46	663,04	163,04	500
47	439,72	106,38	333,33	47	659,57	159,57	500
48	437,5	104,17	333,33	48	656,25	156,25	500
49	435,37	102,04	333,33	49	653,06	153,06	500
50	433,33	100	333,33	50	650	150	500
Kar	3500	Kad	2000	Kar	3500	Kad	2000
Kbr	200	Kbd	100	Kbr	200	Kbd	100
r	0,9			r	0,99		
Λ	C	Ae	Be	Λ	C	Ae	Be
1	16000	15000	1000	1	160000	150000	10000
2	8500	7500	1000	2	85000	75000	10000
3	6000	5000	1000	3	60000	50000	10000
4	4750	3750	1000	4	47500	37500	10000
5	4000	3000	1000	5	40000	30000	10000
6	3500	2500	1000	6	35000	25000	10000
7	3142,9	2142,9	1000	7	31429	21429	10000
8	2875	1875	1000	8	28750	18750	10000
9	2666,7	1666,7	1000	9	26667	16667	10000
10	2500	1500	1000	10	25000	15000	10000
11	2363,6	1363,6	1000	11	23636	13636	10000
12	2250	1250	1000	12	22500	12500	10000

13	2153,8	1153,8	1000	13	21538	11538	10000
14	2071,4	1071,4	1000	14	20714	10714	10000
15	2000	1000	1000	15	20000	10000	10000
16	1937,5	937,5	1000	16	19375	9375	10000
17	1882,4	882,35	1000	17	18824	8823,5	10000
18	1833,3	833,33	1000	18	18333	8333,3	10000
19	1789,5	789,47	1000	19	17895	7894,7	10000
20	1750	750	1000	20	17500	7500	10000
21	1714,3	714,29	1000	21	17143	7142,9	10000
22	1681,8	681,82	1000	22	16818	6818,2	10000
23	1652,2	652,17	1000	23	16522	6521,7	10000
24	1625	625	1000	24	16250	6250	10000
25	1600	600	1000	25	16000	6000	10000
26	1576,9	576,92	1000	26	15769	5769,2	10000
27	1555,6	555,56	1000	27	15556	5555,6	10000
28	1535,7	535,71	1000	28	15357	5357,1	10000
29	1517,2	517,24	1000	29	15172	5172,4	10000
30	1500	500	1000	30	15000	5000	10000
31	1483,9	483,87	1000	31	14839	4838,7	10000
32	1468,8	468,75	1000	32	14688	4687,5	10000
33	1454,5	454,55	1000	33	14545	4545,5	10000
34	1441,2	441,18	1000	34	14412	4411,8	10000
35	1428,6	428,57	1000	35	14286	4285,7	10000
36	1416,7	416,67	1000	36	14167	4166,7	10000
37	1405,4	405,41	1000	37	14054	4054,1	10000
38	1394,7	394,74	1000	38	13947	3947,4	10000
39	1384,6	384,62	1000	39	13846	3846,2	10000
40	1375	375	1000	40	13750	3750	10000
41	1365,9	365,85	1000	41	13659	3658,5	10000
42	1357,1	357,14	1000	42	13571	3571,4	10000
43	1348,8	348,84	1000	43	13488	3488,4	10000
44	1340,9	340,91	1000	44	13409	3409,1	10000
45	1333,3	333,33	1000	45	13333	3333,3	10000
46	1326,1	326,09	1000	46	13261	3260,9	10000
47	1319,1	319,15	1000	47	13191	3191,5	10000
48	1312,5	312,5	1000	48	13125	3125	10000
49	1306,1	306,12	1000	49	13061	3061,2	10000
50	1300	300	1000	50	13000	3000	10000

Πίνακας για 4.3.5.

Kar	3500	Kad	2000	Kar	3500	Kad	2000
Kbr	200	Kbd	180	Kbr	200	Kbd	180

r	0,1			r	0,2		
Λ	C	Ae	Be	Λ	C	Ae	Be
1	1688,9	1666,7	22,222	1	1900	1875	25
2	855,56	833,33	22,222	2	962,5	937,5	25
3	577,78	555,56	22,222	3	650	625	25
4	438,89	416,67	22,222	4	493,75	468,75	25
5	355,56	333,33	22,222	5	400	375	25
6	300	277,78	22,222	6	337,5	312,5	25
7	260,32	238,1	22,222	7	292,86	267,86	25
8	230,56	208,33	22,222	8	259,38	234,38	25
9	207,41	185,19	22,222	9	233,33	208,33	25
10	188,89	166,67	22,222	10	212,5	187,5	25
11	173,74	151,52	22,222	11	195,45	170,45	25
12	161,11	138,89	22,222	12	181,25	156,25	25
13	150,43	128,21	22,222	13	169,23	144,23	25
14	141,27	119,05	22,222	14	158,93	133,93	25
15	133,33	111,11	22,222	15	150	125	25
16	126,39	104,17	22,222	16	142,19	117,19	25
17	120,26	98,039	22,222	17	135,29	110,29	25
18	114,81	92,593	22,222	18	129,17	104,17	25
19	109,94	87,719	22,222	19	123,68	98,684	25
20	105,56	83,333	22,222	20	118,75	93,75	25
21	101,59	79,365	22,222	21	114,29	89,286	25
22	97,98	75,758	22,222	22	110,23	85,227	25
23	94,686	72,464	22,222	23	106,52	81,522	25
24	91,667	69,444	22,222	24	103,13	78,125	25
25	88,889	66,667	22,222	25	100	75	25
26	86,325	64,103	22,222	26	97,115	72,115	25
27	83,951	61,728	22,222	27	94,444	69,444	25
28	81,746	59,524	22,222	28	91,964	66,964	25
29	79,693	57,471	22,222	29	89,655	64,655	25
30	77,778	55,556	22,222	30	87,5	62,5	25
31	75,986	53,763	22,222	31	85,484	60,484	25
32	74,306	52,083	22,222	32	83,594	58,594	25
33	72,727	50,505	22,222	33	81,818	56,818	25
34	71,242	49,02	22,222	34	80,147	55,147	25
35	69,841	47,619	22,222	35	78,571	53,571	25
36	68,519	46,296	22,222	36	77,083	52,083	25
37	67,267	45,045	22,222	37	75,676	50,676	25
38	66,082	43,86	22,222	38	74,342	49,342	25
39	64,957	42,735	22,222	39	73,077	48,077	25
40	63,889	41,667	22,222	40	71,875	46,875	25
41	62,873	40,65	22,222	41	70,732	45,732	25
42	61,905	39,683	22,222	42	69,643	44,643	25

43	60,982	38,76	22,222	43	68,605	43,605	25
44	60,101	37,879	22,222	44	67,614	42,614	25
45	59,259	37,037	22,222	45	66,667	41,667	25
46	58,454	36,232	22,222	46	65,761	40,761	25
47	57,683	35,461	22,222	47	64,894	39,894	25
48	56,944	34,722	22,222	48	64,063	39,063	25
49	56,236	34,014	22,222	49	63,265	38,265	25
50	55,556	33,333	22,222	50	62,5	37,5	25
Kar	3500	Kad	2000	Kar	3500	Kad	2000
Kbr	200	Kbd	180	Kbr	200	Kbd	180
r	0,3			r	0,4		
Λ	C	Ae	Be	Λ	C	Ae	Be
1	2171,4	2142,9	28,571	1	2533,3	2500	33,333
2	1100	1071,4	28,571	2	1283,3	1250	33,333
3	742,86	714,29	28,571	3	866,67	833,33	33,333
4	564,29	535,71	28,571	4	658,33	625	33,333
5	457,14	428,57	28,571	5	533,33	500	33,333
6	385,71	357,14	28,571	6	450	416,67	33,333
7	334,69	306,12	28,571	7	390,48	357,14	33,333
8	296,43	267,86	28,571	8	345,83	312,5	33,333
9	266,67	238,1	28,571	9	311,11	277,78	33,333
10	242,86	214,29	28,571	10	283,33	250	33,333
11	223,38	194,81	28,571	11	260,61	227,27	33,333
12	207,14	178,57	28,571	12	241,67	208,33	33,333
13	193,41	164,84	28,571	13	225,64	192,31	33,333
14	181,63	153,06	28,571	14	211,9	178,57	33,333
15	171,43	142,86	28,571	15	200	166,67	33,333
16	162,5	133,93	28,571	16	189,58	156,25	33,333
17	154,62	126,05	28,571	17	180,39	147,06	33,333
18	147,62	119,05	28,571	18	172,22	138,89	33,333
19	141,35	112,78	28,571	19	164,91	131,58	33,333
20	135,71	107,14	28,571	20	158,33	125	33,333
21	130,61	102,04	28,571	21	152,38	119,05	33,333
22	125,97	97,403	28,571	22	146,97	113,64	33,333
23	121,74	93,168	28,571	23	142,03	108,7	33,333
24	117,86	89,286	28,571	24	137,5	104,17	33,333
25	114,29	85,714	28,571	25	133,33	100	33,333
26	110,99	82,418	28,571	26	129,49	96,154	33,333
27	107,94	79,365	28,571	27	125,93	92,593	33,333
28	105,1	76,531	28,571	28	122,62	89,286	33,333
29	102,46	73,892	28,571	29	119,54	86,207	33,333
30	100	71,429	28,571	30	116,67	83,333	33,333
31	97,696	69,124	28,571	31	113,98	80,645	33,333
32	95,536	66,964	28,571	32	111,46	78,125	33,333

33	93,506	64,935	28,571	33	109,09	75,758	33,333
34	91,597	63,025	28,571	34	106,86	73,529	33,333
35	89,796	61,224	28,571	35	104,76	71,429	33,333
36	88,095	59,524	28,571	36	102,78	69,444	33,333
37	86,486	57,915	28,571	37	100,9	67,568	33,333
38	84,962	56,391	28,571	38	99,123	65,789	33,333
39	83,516	54,945	28,571	39	97,436	64,103	33,333
40	82,143	53,571	28,571	40	95,833	62,5	33,333
41	80,836	52,265	28,571	41	94,309	60,976	33,333
42	79,592	51,02	28,571	42	92,857	59,524	33,333
43	78,405	49,834	28,571	43	91,473	58,14	33,333
44	77,273	48,701	28,571	44	90,152	56,818	33,333
45	76,19	47,619	28,571	45	88,889	55,556	33,333
46	75,155	46,584	28,571	46	87,681	54,348	33,333
47	74,164	45,593	28,571	47	86,525	53,191	33,333
48	73,214	44,643	28,571	48	85,417	52,083	33,333
49	72,303	43,732	28,571	49	84,354	51,02	33,333
50	71,429	42,857	28,571	50	83,333	50	33,333
Kar	3500	Kad	2000	Kar	3500	Kad	2000
Kbr	200	Kbd	180	Kbr	200	Kbd	180
r	0,5			r	0,6		
Λ	C	Ae	Be	Λ	C	Ae	Be
1	3040	3000	40	1	3800	3750	50
2	1540	1500	40	2	1925	1875	50
3	1040	1000	40	3	1300	1250	50
4	790	750	40	4	987,5	937,5	50
5	640	600	40	5	800	750	50
6	540	500	40	6	675	625	50
7	468,57	428,57	40	7	585,71	535,71	50
8	415	375	40	8	518,75	468,75	50
9	373,33	333,33	40	9	466,67	416,67	50
10	340	300	40	10	425	375	50
11	312,73	272,73	40	11	390,91	340,91	50
12	290	250	40	12	362,5	312,5	50
13	270,77	230,77	40	13	338,46	288,46	50
14	254,29	214,29	40	14	317,86	267,86	50
15	240	200	40	15	300	250	50
16	227,5	187,5	40	16	284,38	234,38	50
17	216,47	176,47	40	17	270,59	220,59	50
18	206,67	166,67	40	18	258,33	208,33	50
19	197,89	157,89	40	19	247,37	197,37	50
20	190	150	40	20	237,5	187,5	50
21	182,86	142,86	40	21	228,57	178,57	50
22	176,36	136,36	40	22	220,45	170,45	50

23	170,43	130,43	40	23	213,04	163,04	50
24	165	125	40	24	206,25	156,25	50
25	160	120	40	25	200	150	50
26	155,38	115,38	40	26	194,23	144,23	50
27	151,11	111,11	40	27	188,89	138,89	50
28	147,14	107,14	40	28	183,93	133,93	50
29	143,45	103,45	40	29	179,31	129,31	50
30	140	100	40	30	175	125	50
31	136,77	96,774	40	31	170,97	120,97	50
32	133,75	93,75	40	32	167,19	117,19	50
33	130,91	90,909	40	33	163,64	113,64	50
34	128,24	88,235	40	34	160,29	110,29	50
35	125,71	85,714	40	35	157,14	107,14	50
36	123,33	83,333	40	36	154,17	104,17	50
37	121,08	81,081	40	37	151,35	101,35	50
38	118,95	78,947	40	38	148,68	98,684	50
39	116,92	76,923	40	39	146,15	96,154	50
40	115	75	40	40	143,75	93,75	50
41	113,17	73,171	40	41	141,46	91,463	50
42	111,43	71,429	40	42	139,29	89,286	50
43	109,77	69,767	40	43	137,21	87,209	50
44	108,18	68,182	40	44	135,23	85,227	50
45	106,67	66,667	40	45	133,33	83,333	50
46	105,22	65,217	40	46	131,52	81,522	50
47	103,83	63,83	40	47	129,79	79,787	50
48	102,5	62,5	40	48	128,13	78,125	50
49	101,22	61,224	40	49	126,53	76,531	50
50	100	60	40	50	125	75	50
Kar	3500	Kad	2000	Kar	3500	Kad	2000
Kbr	200	Kbd	180	Kbr	200	Kbd	180
r	0,7			r	0,8		
Λ	C	Ae	Be	Λ	C	Ae	Be
1	5066,7	5000	66,667	1	7600	7500	100
2	2566,7	2500	66,667	2	3850	3750	100
3	1733,3	1666,7	66,667	3	2600	2500	100
4	1316,7	1250	66,667	4	1975	1875	100
5	1066,7	1000	66,667	5	1600	1500	100
6	900	833,33	66,667	6	1350	1250	100
7	780,95	714,29	66,667	7	1171,4	1071,4	100
8	691,67	625	66,667	8	1037,5	937,5	100
9	622,22	555,56	66,667	9	933,33	833,33	100
10	566,67	500	66,667	10	850	750	100
11	521,21	454,55	66,667	11	781,82	681,82	100
12	483,33	416,67	66,667	12	725	625	100

13	451,28	384,62	66,667	13	676,92	576,92	100
14	423,81	357,14	66,667	14	635,71	535,71	100
15	400	333,33	66,667	15	600	500	100
16	379,17	312,5	66,667	16	568,75	468,75	100
17	360,78	294,12	66,667	17	541,18	441,18	100
18	344,44	277,78	66,667	18	516,67	416,67	100
19	329,82	263,16	66,667	19	494,74	394,74	100
20	316,67	250	66,667	20	475	375	100
21	304,76	238,1	66,667	21	457,14	357,14	100
22	293,94	227,27	66,667	22	440,91	340,91	100
23	284,06	217,39	66,667	23	426,09	326,09	100
24	275	208,33	66,667	24	412,5	312,5	100
25	266,67	200	66,667	25	400	300	100
26	258,97	192,31	66,667	26	388,46	288,46	100
27	251,85	185,19	66,667	27	377,78	277,78	100
28	245,24	178,57	66,667	28	367,86	267,86	100
29	239,08	172,41	66,667	29	358,62	258,62	100
30	233,33	166,67	66,667	30	350	250	100
31	227,96	161,29	66,667	31	341,94	241,94	100
32	222,92	156,25	66,667	32	334,38	234,38	100
33	218,18	151,52	66,667	33	327,27	227,27	100
34	213,73	147,06	66,667	34	320,59	220,59	100
35	209,52	142,86	66,667	35	314,29	214,29	100
36	205,56	138,89	66,667	36	308,33	208,33	100
37	201,8	135,14	66,667	37	302,7	202,7	100
38	198,25	131,58	66,667	38	297,37	197,37	100
39	194,87	128,21	66,667	39	292,31	192,31	100
40	191,67	125	66,667	40	287,5	187,5	100
41	188,62	121,95	66,667	41	282,93	182,93	100
42	185,71	119,05	66,667	42	278,57	178,57	100
43	182,95	116,28	66,667	43	274,42	174,42	100
44	180,3	113,64	66,667	44	270,45	170,45	100
45	177,78	111,11	66,667	45	266,67	166,67	100
46	175,36	108,7	66,667	46	263,04	163,04	100
47	173,05	106,38	66,667	47	259,57	159,57	100
48	170,83	104,17	66,667	48	256,25	156,25	100
49	168,71	102,04	66,667	49	253,06	153,06	100
50	166,67	100	66,667	50	250	150	100
Kar	3500	Kad	2000	Kar	3500	Kad	2000
Kbr	200	Kbd	180	Kbr	200	Kbd	180
r	0,9			r	0,99		
Λ	C	Ae	Be	Λ	C	Ae	Be
1	15200	15000	200	1	152000	150000	2000
2	7700	7500	200	2	77000	75000	2000

3	5200	5000	200	3	52000	50000	2000
4	3950	3750	200	4	39500	37500	2000
5	3200	3000	200	5	32000	30000	2000
6	2700	2500	200	6	27000	25000	2000
7	2342,9	2142,9	200	7	23429	21429	2000
8	2075	1875	200	8	20750	18750	2000
9	1866,7	1666,7	200	9	18667	16667	2000
10	1700	1500	200	10	17000	15000	2000
11	1563,6	1363,6	200	11	15636	13636	2000
12	1450	1250	200	12	14500	12500	2000
13	1353,8	1153,8	200	13	13538	11538	2000
14	1271,4	1071,4	200	14	12714	10714	2000
15	1200	1000	200	15	12000	10000	2000
16	1137,5	937,5	200	16	11375	9375	2000
17	1082,4	882,35	200	17	10824	8823,5	2000
18	1033,3	833,33	200	18	10333	8333,3	2000
19	989,47	789,47	200	19	9894,7	7894,7	2000
20	950	750	200	20	9500	7500	2000
21	914,29	714,29	200	21	9142,9	7142,9	2000
22	881,82	681,82	200	22	8818,2	6818,2	2000
23	852,17	652,17	200	23	8521,7	6521,7	2000
24	825	625	200	24	8250	6250	2000
25	800	600	200	25	8000	6000	2000
26	776,92	576,92	200	26	7769,2	5769,2	2000
27	755,56	555,56	200	27	7555,6	5555,6	2000
28	735,71	535,71	200	28	7357,1	5357,1	2000
29	717,24	517,24	200	29	7172,4	5172,4	2000
30	700	500	200	30	7000	5000	2000
31	683,87	483,87	200	31	6838,7	4838,7	2000
32	668,75	468,75	200	32	6687,5	4687,5	2000
33	654,55	454,55	200	33	6545,5	4545,5	2000
34	641,18	441,18	200	34	6411,8	4411,8	2000
35	628,57	428,57	200	35	6285,7	4285,7	2000
36	616,67	416,67	200	36	6166,7	4166,7	2000
37	605,41	405,41	200	37	6054,1	4054,1	2000
38	594,74	394,74	200	38	5947,4	3947,4	2000
39	584,62	384,62	200	39	5846,2	3846,2	2000
40	575	375	200	40	5750	3750	2000
41	565,85	365,85	200	41	5658,5	3658,5	2000
42	557,14	357,14	200	42	5571,4	3571,4	2000
43	548,84	348,84	200	43	5488,4	3488,4	2000
44	540,91	340,91	200	44	5409,1	3409,1	2000
45	533,33	333,33	200	45	5333,3	3333,3	2000
46	526,09	326,09	200	46	5260,9	3260,9	2000
47	519,15	319,15	200	47	5191,5	3191,5	2000

48	512,5	312,5	200	48	5125	3125	2000
49	506,12	306,12	200	49	5061,2	3061,2	2000
50	500	300	200	50	5000	3000	2000

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ψωινος Δ. Π., (1999) Εκδόσεις ΖΗΤΑ, "Στατιστική"
- Ψωινος Δ. Π., (1999) Εκδόσεις ΖΗΤΑ, "Ποσοτική Ανάλυση Τόμος Ι"
- Ψωινος Δ. Π., (1999) Εκδόσεις ΖΗΤΑ, "Ποσοτική Ανάλυση Τόμος ΙΙ"
- Ψωινος Δ. Π., (1999) Εκδόσεις ΖΗΤΑ, "Οργάνωση Διοίκηση Εργοστασίων Τόμος Ι"
- Ψωινος Δ. Π., (1999) Εκδόσεις ΖΗΤΑ, "Οργάνωση Διοίκηση Εργοστασίων Τόμος ΙΙ"
- Μπακουρος Ι., (2004), διδακτικές σημειώσεις για το μάθημα "Θεωρία αξιοπιστίας και συντήρησης"
- Γεντεσάκης Β. Ι., (2003) Εκδόσεις Τζιόλα, "Ατμοσφαιρική Ρύπανση Επιπτώσεις, Έλεγχος και Εναλλακτικές τεχνολογίες"
- Κατσιβέλα Ε., Φραντζεσκάκη Ν., Γκέκας Β., (2002) Εκδόσεις Τζιόλα, "Τεχνολογίες Επεξεργασίας Τοξικών – Επικινδύνων Αποβλήτων"
- Cooper D. C., Alley C. F., (2002) Εκδόσεις Τζιόλα, "Έλεγχος Αέριας Ρύπανσης"
- Ebeling E. Charles, (1997), "An introduction to Reliability and Maintainability engineering", McGraw Hill
- Erdogan F., (1982), "Theoretical and Experimented study of fracture in pipelines containing circum ferential"
- Erdogan F. & Wei R. P., (1983), "Fracture Analysis and corrosion fatigue in pipelines"
- O'Connor, P. D. (1989). "Practical Reliability Engineering (Second Edition)", John Wiley & Sons, N.Y.
- Brown R. J., (1992), "Deepwater pipeline maintenance and repair manual"
- Elsoyed T. & Bea B., "Knowledge – Based pipelines inspection, Maintenance and performance information system"
- Farhas B. & Bea B. (1998), "Knowledge – Based pipelines inspection, Maintenance and performance information system"
- Cooke R. M., Jager E., Lewandowsh D., (2002), "Reliability model for underground pipelines"

Erdogan F. & Wei R. P., (1983), "Fracture Analysis and corrosion fatigue in pipelines "

MSL Engineering Limited (2000), "Mineral management service"

ΔΙΚΤΥΑΚΟΪ ΤΌΠΟΙ

www.mms.gov/tarprojectcategories/pipeline.htm.