



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (ΔΠΜΣ)  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗΣ  
ΕΡΓΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ -  
ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΞΙ ΣΙΓΜΑ**

**ΚΥΡΙΑΚΟΣ ΜΙΧΑΗΛ**

**Επιβλέπων: ΠΑΠΑΖΟΓΛΟΥ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ**

Αθήνα, Ιούνιος 2010

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Παπάζογλου Βασίλειο Καθηγητή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για την ανάθεση και επίβλεψη της παρούσας διπλωματικής καθώς και για τη βοήθεια που μου παρείχε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της.

Επίσης, από της θέσεως αυτής θα ήθελα να ευχαριστήσω κυρίως την οικογένεια μου και τους φίλους μου που με στήριξαν και με βοήθησαν και σε αυτή την προσπάθεια.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανάπτυξη και η εκτέλεση ενός έργου μπορεί να είναι μια δύσκολη και αβέβαιη διαδικασία. Οποιαδήποτε εκτίμηση, είτε του χρόνου είτε του κόστους, περιλαμβάνει ένα βαθμό αβεβαιότητας που μπορεί να ποικίλει μέσα σε ένα έργο. Οι δυσκολίες και οι αβεβαιότητες εξαρτώνται από το μέγεθος, την πολυπλοκότητα, την καινοτομία και την τεχνική εξειδίκευση. Συχνά απαρτίζονται από την παρουσία περιορισμών επάνω στο χρόνο και στους φυσικούς πόρους κατά την εκτέλεση και συχνά επιδεινώνονται από τους συγκρουόμενους στόχους των επιμέρους δραστηριοτήτων που εμπλέκονται. Παράδειγμα, μερικές διάρκειες ορισμένων δραστηριοτήτων μπορεί να είναι καλά καθορισμένες, βασισμένες σε ένα λεπτομερές πεδίο εργασίας και της εμπειρίας προηγούμενων αντίστοιχων καταστάσεων, έτσι ώστε οι τιμές που θα καθοριστούν να προβλεφθούν με εμπιστοσύνη. Άλλες δραστηριότητες, μπορεί να μην καθορίζονται ακόμα λεπτομερώς και να επηρεάζονται από κάποιο αστάθμητο παράγοντα. Σε αυτήν την περίπτωση, οι καθορισμένες διάρκειες θα ήταν στην καλύτερη περίπτωση μια βάσιμη υπόθεση. Παρόμοιες, παραλλαγές μπορούν να ισχύουν και για τον προϋπολογισμό του κόστους.

Η ανάγκη για αποδοτική και αποτελεσματική διαχείριση έργων για την αντιμετώπιση των δυσκολιών αυτών καθώς επίσης και οι αβεβαιότητες έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη και στην επιτυχή εκμετάλλευση ποικίλης επιστήμης διοίκησης και τεχνικών στη διαχείριση ενός έργου. Η ανάλυση κινδύνου περιλαμβάνει διάφορες τέτοιες τεχνικές, αλλά παρά την προφανή σχετικότητά και το ιδιαίτερο ενδιαφέρον, δεν αξιοποιείται ευρέως όπως θα έπρεπε. Ακόμη και σε μεγάλες εφαρμογές που περιλαμβάνουν εργασίες εφαρμοσμένης μηχανικής, η ανάλυση κινδύνου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πλεονέκτημα και να εισχωρήσει από την αρχή μέχρι το τέλος στα περισσότερα έργα. Η εφαρμογή των τεχνικών ανάλυσης κινδύνου μπορεί επομένως να έχει μεγάλη αξία στην ποσοτικοποίηση του βαθμού αβεβαιότητας.

Οι σημερινές απαιτήσεις παραγωγής, στενότητας μέσων και ανταγωνισμού επιβάλλουν την εφαρμογή των ποσοτικών μεθόδων οργάνωσης. Η εφαρμογή τους πρέπει να γίνεται σε όλο το κύκλωμα, που συμμετέχει στην παραγωγή του έργου. Οι ποσοτικές μέθοδοι οδηγούν τον υπεύθυνο φορέα μιας επιχείρησης ή την ίδια την επιχείρηση με μεγαλύτερη ασφάλεια και αντικειμενικότητα στους στόχους της, που

είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής, η βελτιστοποίηση του χρόνου και η ποιότητα κατασκευής σύμφωνα με τις προδιαγραφές.

Η μέθοδος Έξι Σίγμα αποτελεί μια ολοκληρωμένη τεχνική επιχειρησιακής βελτίωσης. Είναι μια επαναστατική διαδικασία που επιτρέπει σε εταιρίες και οργανισμούς να αυξήσουν τα κέρδη τους οργανώνοντας συγκεκριμένες διαδικασίες, έτσι ώστε να βελτιώσουν την ποιότητα τους και να ελαχιστοποιήσουν ατέλειες και λάθη.

Σύμφωνα με τα παραπάνω η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία χωρίζεται σε τρεις υποενότητες. Τα τρία πρώτα κεφάλαια αποτελούν την πρώτη υποενότητα η οποία αναφέρεται στην ανάλυση του κινδύνου και της αβεβαιότητας. Στο *πρώτο κεφάλαιο* παρουσιάζεται μια θεωρητική προσέγγιση της διοίκησης ενός έργου και πως η ανάλυση κινδύνου εφαρμόζεται μέσω της διοίκησης σε ένα έργο. Στη συνέχεια αναφέρονται ορισμένες τεχνικές καταγραφής του κινδύνου και πως μπορούν να ποσοτικοποιηθούν μέσω μια κατανομής.

Το *δεύτερο κεφάλαιο* παρουσιάζει ένα αναλυτικό μοντέλο για την επιλογή μιας στρατηγικής κινδύνου. Ουσιαστικά, το μοντέλο αυτό προσφέρει τη δυνατότητα στους Project Managers να επιλέξουν μεταξύ τριών στρατηγικών, δηλαδή μεταξύ της πρόληψης ή της προσαρμογής του κινδύνου ή και τον συνδυασμό τους.

Το *τρίτο κεφάλαιο* αναφέρεται στην αξιολόγηση του κινδύνου κατά την κατασκευή ενός έργου μέσω της εφαρμογής μιας ασαφούς μεθοδολογίας ανάλυσης. Προτείνονται δύο μοντέλα που χρησιμοποιούν μέρος της θεωρίας των ασαφών συνόλων για την προσέγγιση του κινδύνου.

Η δεύτερη υποενότητα αποτελείται από τα κεφάλαια τέσσερα, πέντε, έξι και επτά και αναφέρονται στις μεθοδολογίες διαχείρισης και οργάνωσης ενός έργου. Στο *κεφάλαιο τέσσερα* παρέχονται, με κατάλληλη θεώρηση, μαθηματικά υποδείγματα για τη λήψη βέλτιστων αποφάσεων που οδηγούν στη βελτίωση παραγωγικών διαδικασιών. Εξετάζονται ορισμένες μεθοδολογίες όπως η μέθοδος της Κρίσιμης Διαδρομής (CPM) και η Τεχνική Αναθεώρησης και Αξιολόγησης Προγράμματος (PERT).

Το *κεφάλαιο πέντε* παρουσιάζει τα βασικά βήματα μιας μεθοδολογίας PERT όταν οι χρόνοι δίνονται υπό μορφή ασαφών συνόλων και ακολούθως εξετάζεται η χρήση των ασαφών αριθμών σε συνδυασμό με την εκτίμηση του κινδύνου στην κρισιμότητα ενός έργου.

Στο κεφάλαιο έξι, η μέθοδος CPM διατυπώνεται σαν πρόβλημα γραμμικού προγραμματισμού όταν οι χρόνοι δίνονται υπό μορφή ασαφών αριθμών και παρουσιάζεται μια προσέγγιση για την εύρεση της (ασαφούς) κρίσιμης διαδρομής.

Στο κεφάλαιο επτά αναφέρονται ορισμένες τεχνικές για τον υπολογισμό της συνολικής διάρκειας ενός έργου όταν τα δίκτυα PERT είναι στοχαστικά. Παράγονται οι σχέσεις, που περιγράφουν κάθε κατάσταση του έργου και χρησιμοποιούνται για να υπολογίσουν τη διάρκεια του.

Τέλος, η τελευταία υποενότητα αποτελείται από τα κεφάλαια οκτώ και εννέα και περιγράφουν μια επιχειρησιακή διαδικασία που επιτρέπει στους οργανισμούς να βελτιώνουν το σχεδιασμό και τον έλεγχο των δραστηριοτήτων τους ελαχιστοποιώντας τα ελαττώματα και τους πόρους, την «Ποιότητα Έξι Σίγμα». Το κεφάλαιο οκτώ αναφέρει τις μεθοδολογίες και τα εργαλεία από την σκοπιά της Οργάνωσης και της Διοίκησης ενώ το κεφάλαιο εννέα ασχολείται με τον στατιστικό ορισμό και τα όρια των προδιαγραφών του Έξι Σίγμα.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

#### ΜΙΑ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΈΡΓΟΥ

1.1. Τι είναι έργο.....	7
1.2. Τι είναι Διοίκηση έργου και οι πρακτικές Διοίκησης.....	7
1.3. Οι διαδικασίες Διοίκησης Έργου και οι κύριες ομάδες τους.....	8
1.4. Φάσεις-κύκλος ζωής του έργου.....	8
1.4.1. Χαρακτηριστικά των φάσεων.....	9
1.4.2. Χαρακτηριστικά του κύκλου ζωής.....	9
1.5. Μία προσέγγιση στην έννοια του κινδύνου.....	10
1.5.1. Κίνδυνος (risk) και αβεβαιότητα.....	10
1.5.2. Τύποι κινδύνων.....	11
1.5.3. Διαχείριση κινδύνων (risk management).....	11
1.5.4. Ανάλυση κινδύνου (risk analysis).....	12
1.5.5. Προβλήματα αποφάσεων.....	12
1.5.6. Αξιόπιστη ανάλυση.....	13
1.6. Βασικοί ρόλοι για την ανάλυση κινδύνου.....	13
1.7. Έννοια της ανάλυσης και της αξιολόγησης του κινδύνου.....	15
1.7.1. Προσδιορισμός και ποσοτικοποίηση των κινδύνων.....	16
1.7.2. Πίνακας ελέγχου κινδύνου - δόμηση των κινδύνων.....	17
1.7.3. Ανάλυση ABC.....	18
1.7.4. Μέθοδος Delphi για την αξιολόγηση του κινδύνου.....	18
1.8. Μέθοδοι Εκτίμησης Έργου.....	19
1.8.1. Εκτίμηση προγραμματισμού.....	19
1.8.2. Εκτίμηση κόστους.....	20
1.8.3. Εκτίμηση Αβεβαιότητας.....	20
1.8.4. Απόσπαση των κατανομών πιθανότητας.....	21
1.9. Κατάλληλη Γενική μορφή Κατανομής.....	21
1.9.1. Συνήθεις μετρήσεις.....	22
1.9.2. Τύποι κατανομών. Ποια κατανομή προσεγγίζει την πραγματικότητα.....	23
1.9.3. Προετοιμασία ενός σχεδιαγράμματος κινδύνου.....	25
1.9.4. Διοικητικές αποφάσεις και μέτρα έναρξης για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου.....	26

1.10. Μοντέλο κατανομής ενδεχομένων με βάση τη κανονική κατανομή. ....	27
1.11. Καθορισμός της ιδιαίτερης τριγωνικής κατανομής. ....	29
1.11.1. Χρήση της καλύτερης εκτίμησης και αβεβαιότητας για να διευκρινίσουν την τριγωνική κατανομή. ....	31
<b>ΒΙΒΛΙΟΦΡΑΦΙΑ</b> .....	33

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

### **ΈΝΑ ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΙΑΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ**

2.1.Ορισμός του προβλήματος.....	34
2.2. Εννοιολογικό πλαίσιο. ....	34
2.3.Κόστος μοντέλου διαχείρισης κινδύνου. ....	38
2.3.1.Συνάρτηση κόστους αποτροπής του κινδύνου ( $C_p$ ). ....	38
2.3.2.Συνάρτηση κόστους προσαρμογής κινδύνου ( $C_L$ ). ....	39
2.3.3. Κόστος μοντέλου διαχείρισης κινδύνου. ....	40
2.4. Ανάλυση Βελτιστοποίησης.....	41
2.4.1. Η αξία της ελεγχιμότητας ( $1-\omega$ ). ....	43
2.4.2. Η τιμή του $rR_2/k$ (ή $sR_2/k$ ). ....	43
2.5.Παράρτημα.....	45
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	48

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

### **ΜΙΑ ΑΣΑΦΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΣΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΝΟΣ ΕΡΓΟΥ**

Εισαγωγή. ....	49
3.1. Ανάλυση μοντέλου κινδύνου.....	50
3.2. Ασαφής διαδικασία εκτίμησης κινδύνου. ....	52
3.3. Θεωρία ασαφών συνόλων.....	54
3.4. Οι αλγεβρικές διαδικασίες των ασαφών αριθμών βασισμένες σε μια έννοια α- περικοπών. ....	55
3.5. Προτεινόμενο μοντέλο αξιολόγησης του κινδύνου.....	56
3.5.1. Προκαταρκτικό βήμα. ....	57
3.5.1.1. Ανάπτυξη μιας ομάδας εκτίμησης κινδύνου. ....	57
3.5.1.2. Προσδιορισμός των πηγών κινδύνου. ....	57
3.5.1.3. Κατασκευή ιεραρχικής δομής των κινδύνων. ....	58

3.6. Καθορισμός της συνάρτησης του παράγοντα κινδύνου και μέτρηση των μεταβλητών.....	58
3.6.1. Καθορισμός της συνάρτησης του παράγοντα κινδύνου.....	58
3.6.2. Ορισμός γλωσσικής κλίμακας που συνδέεται με τους ασαφείς αριθμούς.....	59
3.7 Καθορισμός των παραμέτρων RI και RP.....	60
3.7.1. Μέτρηση των RI και RP.....	60
3.7.2. Αθροίζοντας χαρακτηριστικούς ασαφείς αριθμούς σε μια ομάδα ασαφών αριθμών.....	61
3.8. Μέτρηση της παραμέτρου RD.....	61
3.8.1. Σύγκριση των κινδύνων ζευγαρωτά.....	61
3.8.2. Αθροίζοντας τους σχετικούς ασαφείς αριθμούς σε μια ομάδα ασαφών αριθμών.....	62
3.8.3. Εκτίμηση RD και τοπικού (RD*).....	62
3.8.4. Συνολικό RD* στην ιεραρχία.....	64
3.9. Βήμα ασαφούς συμπεράσματος.....	64
3.9.1. Ασαφές συμπέρασμα.....	64
3.9.2. Αποασαφοποίηση.....	64
3.10. Ένα δεύτερο μοντέλο για την προσέγγιση του κινδύνου μέσω ασαφούς λογικής.....	65
3.10.1. Προκαταρκτική φάση.....	66
3.10.1.2. Αναθεωρημένα δεδομένα κινδύνου και καθορισμός των κριτηρίων κινδύνου.....	67
3.10.1.2. Καθορισμός ασαφούς MFs.....	67
3.10.1.3. Προσδιορισμός CFs από τους εμπειρογνώμονες.....	68
3.10.1.4. Κατασκευή Ιεραρχίας FI.....	68
3.10.2 Μέτρηση της φάσης FI.....	69
3.10.3. Μέτρηση της φάσης RL και RS.....	74
3.10.4. Φάση ασαφούς συμπεράσματος.....	75
3.10.5. Φάση τροποποίησης εξόδου.....	77
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	78

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΕΡΓΟΥ

Εισαγωγή.....	79
4.1. Δικτυωτή Ανάλυση.....	80



4.1.1. Αναπαράσταση Προβλημάτων Χρονικού Προγραμματισμού με γραφήματα.....	81
4.1.2. Τρόποι Γραφής –Επίπεδα- Δένδρα.....	82
4.1.3. Τεχνική κατασκευής του δικτυωτού διαγράμματος.....	84
4.1.4. Πλασματικές και Τεχνικές Δραστηριότητες.....	86
4.2. Διαγράμματα Gantt.....	88
4.2.1. Σύγχρονη χρήση των διαγραμμάτων Gantt.....	88
4.3. Μέθοδος Κρίσιμης διαδρομής (Critical Path Method-CPM).....	90
4.3.1. Προγραμματισμός έργων με την μέθοδο CPM.....	91
4.3.2. Χρόνοι που υπολογίζονται επάνω σε ένα διάγραμμα δικτύου.....	91
4.3.3. Υπολογισμός χρονικών περιθωρίων δραστηριοτήτων.....	93
4.3.4. Μέθοδος Προωθημένου Βήματος (Forward Pass-FPM).....	94
4.3.5. Μέθοδος Ανάστροφου Βήματος (Backward Pass Method-BPM).....	95
4.3.6. Εύρεση της κρίσιμης διαδρομής.....	95
4.3.7. Παράδειγμα εφαρμογής.....	96
4.3.8. Κριτήρια κρισιμότητας.....	99
4.4. Μέθοδος PERT (Project Evaluation and Review Technique).....	100
4.4.1. Γενικά στοιχεία για τη μέθοδο PERT.....	101
4.4.2. Αβεβαιότητα χρόνου εκτέλεσης δραστηριοτήτων-τεχνική της μεθόδου.....	102
4.4.3. Προγραμματισμός και έλεγχος έργου: ένα ενισχυμένο δίκτυο PERT.....	104
4.4.3.1. Έλλειψη της συνολικής ταξινόμησης προτεραιοτήτων της δραστηριότητας.....	105
4.4.3.2. Απουσία των ανεκτών ορίων χρόνου.....	105
4.4.3.3 Μοντέλο.....	106
4.5. Τεχνική Monde Carlo.....	110
4.5.1. Προσομοίωση Monte Carlo και Διοίκηση έργου.....	111
4.5.2. Η διαδικασία της προσομοίωσης.....	112
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	113

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΧΡΗΣΗ ΑΣΑΦΩΝ ΑΡΙΘΜΩΝ ΣΕ ΔΙΚΤΥΟ PERT ΚΑΙ ΣΤΗΝ

### ΚΡΙΣΙΜΟΤΗΤΑ ΕΝΟΣ ΕΡΓΟΥ

Εισαγωγή.....	115
5.1. Ασαφείς αριθμοί.....	116
5.2. Αλγόριθμος της ασαφούς FPERT.....	118

5.3. Κλασσική προσέγγιση στην κρισιμότητα των δραστηριοτήτων που επεκτείνεται από τη ασαφή προσέγγιση. ....	119
5.4. Μια άλλη προσέγγιση στην κρισιμότητα των δραστηριοτήτων. ....	122
5.5. Κρισιμότητα έργου. ....	126
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	127

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΕΥΡΕΣΗ ΤΗΣ ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΜΕ ΑΣΑΦΕΙΣ ΧΡΟΝΟΥΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ ΜΕΣΩ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ

6.1. Εισαγωγή. ....	128
6.2. Η διατύπωση LP του ασαφούς CPM προβλήματος.....	129
6.2.1. Προτεινόμενη προσέγγιση. ....	131
6.3. Η διαδικασία επίλυσης.....	132
6.3.1. Δείκτης Ταξινόμησης του Yager.....	133
6.3.2. Σαφείς μετασχηματισμός. ....	135
6.3.3. Δυική επαλήθευση. ....	136
6.3.4. Σχετικός βαθμός κρισιμότητας της διαδρομής. ....	137
6.4. Αριθμητικό παράδειγμα.....	137
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	142

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ PERT ΣΕ ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

7.1. Εισαγωγή. ....	143
7.2. Καταστάσεις PERT και τεχνικές διαδρομής PERT.....	144
7.3. Διάρκειες έργου και διαδρομής. ....	146
7.4. Κάποια παραδείγματα εργασιών.....	150
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	155

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### ΜΕΘΟΔΟΣ ΎΞΙ ΣΙΓΜΑ

8.1. Η μέθοδος Ύξι Σίγμα από την σκοπιά της Οργάνωσης και της Διοίκησης. ....	156
8.2. Μοντέλο ανάπτυξης Ύξι Σίγμα για τις επιλογές ενός έργου. ....	157
8.3. Σύγκριση μεταξύ της μεθόδου Ύξι Σίγμα και της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας. .....	161
8.4. Μεθοδολογίες και εργαλεία Ύξι Σίγμα.....	162
8.4.1. Μεθοδολογίες Ύξι Σίγμα.....	162
8.4.1.1 Μεθοδολογία DMAIC.....	163

8.4.1.2. D.M.A.I.C. εναντίον του κύκλου P.D.C.A.....	166
8.4.1.3. Μεθοδολογία DMADV. ....	167
8.4.1.4. Μεθοδολογία DFSS (Design For Six Sigma ).....	168
8.4.2. Εργαλεία Έξι σίγμα. ....	170
8.5. Οργανωτική δομή της μεθόδου Έξι Σίγμα. ....	171
8.6. Κριτική για τη μέθοδο Έξι Σίγμα. ....	174
8.6.1 Κρίσιμοι παράγοντες για την επιτυχία της μεθόδου Έξι Σίγμα. ....	174
8.6.2. Λόγοι αποτυχίας της μεθόδου Έξι Σίγμα. ....	175
8.6.3. Μειονεκτήματα της μεθόδου Έξι Σίγμα. ....	176
ΒΙΒΛΙΟΦΡΑΦΙΑ.....	177

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

### ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΠΙΛΟΣΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ

9.1. Στατιστικός ορισμός του Έξι Σίγμα.....	178
9.1.1. Όρια προδιαγραφών. ....	178
9.1.2. Η κανονική κατανομή. ....	178
9.1.3. Επίπεδο ποιότητας Σίγμα. ....	180
9.2. Ο δείκτης επίδοσης $C_p$ .....	181
9.2.1. Ορισμός και ιδιότητες του δείκτη $C_p$ . ....	182
9.2.2 Εκτίμηση του δείκτη $C_p$ .....	184
9.3. Δείκτης επίδοσης $C_{pk}$ . ....	185
9.4. Μετατροπή από PPM σε επίπεδο ποιότητας Σίγμα. ....	186
ΒΙΒΛΙΟΦΡΑΦΙΑ.....	187

### ΕΠΙΛΟΓΟΣ

ΕΠΙΛΟΓΟΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ. ....	188
-------------------------------	-----

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΜΙΑ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΈΡΓΟΥ.

### 1.1. Τι είναι έργο.

Ένας οργανισμός λειτουργεί και παράγει αποτελέσματα, τα οποία πραγματοποιούνται από ανθρώπους, περιορίζονται στους διαθέσιμους πόρους και εν τέλει προγραμματίζονται, εκτελούνται και ελέγχονται. Τα έργα (projects) συχνά υλοποιούνται ως μέσα, όπου ένας οργανισμός χρησιμοποιεί για να επιτύχει τους στόχους του. Η βασική διαφορά ενός έργου από μία λειτουργία, εντοπίζεται στην σύντομη διάρκεια και την μοναδικότητα τους, την στιγμή που μία λειτουργία είναι επαναλαμβανόμενη<sup>1</sup>.

*Έτσι, έργο (project) είναι μία προσωρινή προσπάθεια που πραγματοποιείται για να δημιουργήσει ένα μοναδικό, αποτέλεσμα, προϊόν ή υπηρεσία.*

Με τον όρο *προσωρινό*, περιγράφεται η ορισμένη διάρκεια του έργου, με διακριτή αρχή και τέλος. Το τέλος του έργου περαιώνεται όταν υλοποιηθούν οι στόχοι, ή όταν οριστικοποιηθεί πως οι στόχοι του δεν είναι επιτεύξιμοι, ή όταν διαπιστωθεί πως δεν υπάρχει πλέον ανάγκη να υλοποιηθεί μια ιδέα. Ο όρος αυτός επίσης, δεν σχετίζεται με το ίδιο το προϊόν του έργου και δεν ορίζει την διάρκεια ζωής του. Η *προσωρινή* φύση του έργου καθορίζεται και από άλλους παράγοντες, όπως:

- η περιορισμένη ευκαιρία για δράση που καθορίζεται από κανόνες της αγοράς και
- η προκαθορισμένη διάρκεια συμμετοχής των μελών εκπόνησης του έργου από τον ίδιο τον οργανισμό.

Ο όρος *μοναδικό* τονίζει την διαφοροποίηση του από άλλα παρόμοια αποτελέσματα.<sup>2</sup>

### 1.2. Τι είναι Διοίκηση έργου και οι πρακτικές Διοίκησης.

*Διοίκηση έργου είναι η εφαρμογή της γνώσης, των ικανοτήτων, των εργαλείων και των τεχνικών στις δράσεις του έργου, προκειμένου να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις και οι προσδοκίες του. Η διοίκηση έργου ολοκληρώνεται με την χρήση διαδικασιών*

---

<sup>1</sup> Τάσος Τζάνος, Διοίκηση Κινδύνων Έργου. Μελέτη Πιθανολογικών Μοντέλων Ανάλυσης Κινδύνων και Εφαρμογή τους σε Πραγματικό Έργο, Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Πειραιά, Οκτώβριος 2005, σελ.6.

<sup>2</sup> William R. Duncan, A Guide to the Project Management Body of Knowledge, 2<sup>nd</sup> edition, Project Management Institute, Four Campus Boulevard. Newton Square, PA 19073-3299, USA 1996, σελ 4-5.

όπως: έναρξη έργου, προγραμματισμός, εκτέλεση, έλεγχος και παράδοση. Συνήθως περιλαμβάνει μεταξύ άλλων:

- Μελέτες αναγκών για το αντικείμενο του έργου, τον χρόνο, το κόστος, τους κινδύνους και την ποιότητα.
- Ενδιαφερόμενους φορείς (stakeholders) με διαφορετικά συμφέροντα.
- Συγκεκριμένες απαιτήσεις.

Η διοίκηση έργων καλείται να υπερκαλύψει ή να τροποποιήσει την ανώτερη διοίκηση, σε επίπεδο έργου και ειδικότερα σε θέματα που αφορούν την χρηματοοικονομική πρόβλεψη, τις τεχνικές προγραμματισμού και την οργανωσιακή συμπεριφορά<sup>3</sup>.

### 1.3. Οι διαδικασίες Διοίκησης Έργου και οι κύριες ομάδες τους.

Τα έργα συνιστώνται από διαδικασίες, και απαντώνται σαν αλληλουχία από ενέργειες που τελούνται για να επιτευχθεί ένα αποτέλεσμα. Μπορούν να διαιρεθούν στις εξής κατηγορίες<sup>4</sup>:

- Διαδικασίες έναρξης, που σηματοδοτούν την έναρξη του έργου ή μίας φάσης
- Διαδικασίες σχεδιασμού, που θέτουν και αναθεωρούν τους στόχους και δείχνουν την βέλτιστη πορεία των ενεργειών, προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι του έργου
- Εκτελεστικές διαδικασίες, που συντονίζουν ανθρώπους και άλλους πόρους
- Ελεγκτικές διαδικασίες, που εξασφαλίζουν την τέλεση του έργου, μέσα από παρακολούθηση και μέτρηση όλων των μεταβλητών, ώστε να διαπιστώνονται παρεκκλίσεις από το πλάνο
- Διαδικασίες κλεισίματος, όπου επιβεβαιώνουν τυπικά το τέλος του έργου ή κάποιας φάσης του.

### 1.4. Φάσεις-κύκλος ζωής του έργου.

Καθώς τα έργα είναι μοναδικές εργολαβίες, περιλαμβάνουν ένα βαθμό αβεβαιότητας. Μια σημαντική εξέλιξη ενός έργου είναι σπάνια μια συνεχής ροής εργασίας, στην οποία ένα σύνολο τεχνικών διαχείρισης εφαρμόζεται από την αρχή

---

<sup>3</sup> Τάσος Τζάνος, Διοίκηση Κινδύνων Έργου. Μελέτη Πιθανολογικών Μοντέλων Ανάλυσης Κινδύνων και Εφαρμογή τους σε Πραγματικό Έργο, Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας, ο.π., σελ.6-7.

<sup>4</sup> Τάσος Τζάνος, Διοίκηση Κινδύνων Έργου, ο.π., σελ.13.

μέχρι το τέλος<sup>5</sup>. Οι οργανισμοί που αναλαμβάνουν την εκτέλεση έργων, συνήθως διαιρούν το έργο σε *φάσεις εκτέλεσης* με κάθε μια να έχει τους δικούς της, στόχους διαχείρισης για να βελτιώσουν τον διοικητικό έλεγχο και να συνδέσουν το έργο με τις τρέχουσες λειτουργίες του οργανισμού. Συνολικά, όλες μαζί οι *φάσεις* ενός έργου αναφέρονται και σαν *κύκλος ζωής* αυτού<sup>6</sup>.

#### 1.4.1. Χαρακτηριστικά των φάσεων.

Κάθε έργο χαρακτηρίζεται από την ολοκλήρωση ενός ή περισσοτέρων παραδοτέων. Το παραδοτέο, είναι ένα από και επιβεβαιωμένο αποτέλεσμα εργασίας, όπως για παράδειγμα, μία μελέτη σκοπιμότητας, ένα λεπτομερές σχέδιο ή ένα πρωτότυπο δείγμα. Τα παραδοτέα και κατά συνέπεια και οι φάσεις του έργου, είναι αποτελέσματα μιας λογικής σειράς γεγονότων, σχεδιασμένα έτσι ώστε να εξασφαλίσουν τον σωστό ορισμό του τελικού προϊόντος ή της υπηρεσίας. Η περάτωση μίας φάσης του έργου, συνοδεύεται και από μία ανασκόπηση, επεξεργάζοντας περαιτέρω τις πληροφορίες τόσο των παραδοτέων, όσο και της μέχρις στιγμής πορείας του έργου, έτσι ώστε α) να καθοριστεί αν το έργο θα προχωρήσει στην επόμενη φάση του β) να ανιχνευθούν και διορθωθούν έγκαιρα τα λάθη. Αυτά τα σημεία, αναφέρονται συχνά και σαν *phase exits*, *stage gates* ή *kill points* και γ) ποιοι στόχοι και *deadlines* πρέπει να επιβληθούν. Προκειμένου να διατηρηθεί ο έλεγχος της εργασίας, στη Διοίκηση πρέπει να δοθούν οι ενημερωμένες αναλύσεις και οι τρέχουσες πληροφορίες που ενσωματώνουν τα πιο πρόσφατα στοιχεία κόστους, όπως εργατοώρες και πρόοδος δεδομένων. Οι παλαιότερες πληροφορίες, γίνονται λιγότερο χρήσιμες στην ανάλυση.

#### 1.4.2. Χαρακτηριστικά του κύκλου ζωής.

Ο κύκλος ζωής εξυπηρετεί τον καθορισμό της έναρξης και του τέλους του έργου. Ο ορισμός της έννοιας του κύκλου ζωής καθορίζει τα όρια της μελέτης σκοπιμότητας, αν δηλαδή θα συμπεριληφθεί μέσα στις αρχικές φάσεις του έργου, για το αν θα λογιστεί σαν αυτόνομο έργο.

Μία άλλη χρησιμότητα του καθορισμού του κύκλου ζωής, είναι και η γεφύρωση του έργου με άλλες μεταβατικές ενέργειες πριν την έναρξη και μετά το

---

<sup>5</sup> L A Pugh and R G Soden, Use of risk analysis techniques in assessing the confidence of project cost estimates and schedules, Butterworth & Co (Publishers) Ltd, 1986.

<sup>6</sup> William R. Duncan, A Guide to the Project Management Body of Knowledge, 2<sup>nd</sup> edition, Project Management Institute, Four Campus Boulevard. Newton Square, USA 1996, σελ 11-15.

τέλος του και κατά συνέπεια, η σύνδεση του με τις λοιπές τρέχουσες λειτουργίες της επιχείρησης ή του οργανισμού. Κατά τη διάρκεια των πρόωρων φάσεων της ανάπτυξης, για παράδειγμα η μελέτη σκοπιμότητας, η σύλληψη του προγραμματισμού, το κόστος και ο χρονοπρογραμματισμός εφαρμόζονται με σκοπό να γίνει μια εκτίμηση του κόστους και της διάρκειας ενός έργου.

Η αλληλουχία των φάσεων που ορίζεται από τον κύκλο ζωής περιλαμβάνει και κάποιων τύπων τεχνολογικές μεταβάσεις, όπως ανάγκη σε σχεδιασμό, κατασκευή σε λειτουργία, σχεδιασμό σε παραγωγή και άλλα. Τα παραδοτέα της κάθε φάσης είθισται να εγκρίνονται πριν την έναρξη της επόμενης, όμως μερικές φορές μία μεταγενέστερη φάση μπορεί να αρχίσει πριν το κλείσιμο της προηγούμενης μόνο αν είναι καθορισμένα και αποδεκτά τα επίπεδα των κινδύνων. Αυτή η τακτική των επικαλυπτόμενων φάσεων ονομάζεται *fast tracking*. Ο κύκλος ζωής του έργου καθορίζει:

- Ποιες (τεχνικές) εργασίες απαιτούνται να γίνουν σε κάθε φάση.
- Ποιος φορέας θα εμπλακεί σε κάθε φάση.

Η περιγραφή ενός κύκλου ζωής μπορεί να είναι περιληπτική ή λεπτομερής. Ο συνυπολογισμός μιας ανάλυσης κόστους και προγραμματισμού κινδύνου με εκτιμήσεις θα μπορούσε να έχει επιπτώσεις στην έκβαση, και θα αυξήσει πολύ την εμπιστοσύνη της διοίκησης στη τελική απόφαση.

### **1.5. Μία προσέγγιση στην έννοια του κινδύνου.**

Η ανάλυση κινδύνου είναι μια κυκλική διαδικασία της αναγνώρισης, ανάλυσης και ανταπόκρισης στον κίνδυνο και είναι η επιστήμη της λήψης αποφάσεων με σύνεση, κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας. Οι μέθοδοι εφαρμόζονται σε όλους τους τύπους αποφάσεων ανεξαρτήτως μεγέθους του έργου.

#### **1.5.1. Κίνδυνος (risk) και αβεβαιότητα.**

Οι δύο έννοιες περιγράφουν την πιθανότητα δύο διαφορετικών αποτελεσμάτων. Μερικά συστήματα χαρακτηρίζονται από έμφυτη ροπή προς τα τυχαία συμβάντα. Στο επιχειρηματικό περιβάλλον, κίνδυνος και αβεβαιότητα αντιπροσωπεύουν οτιδήποτε το άγνωστο και από τη φύση του μεταβλητό, όσον αφορά τα υλικά και τα ανθρώπινα συστήματα.

*Κίνδυνος (risk)* είναι η έκθεση στις επιπτώσεις μίας αβεβαιότητας. Στο περιβάλλον του έργου είναι η πιθανότητα να συμβεί ένα γεγονός, το οποίο θα επιδράσει στους στόχους του έργου. Η *αβεβαιότητα* αναφέρεται στην μεταβλητότητα μίας τιμής. Έχει νόημα, σαν έννοια, όταν το αποτέλεσμα είναι μεταβλητό, όπως για παράδειγμα η μελλοντική τιμή κάποιων αγαθών<sup>7</sup>.

Ο κίνδυνος προϋποθέτει βέλτιστα τις καταστάσεις που βασίζονται σε καταχωρήσεις του παρελθόντος και εμπειρία, έτσι ώστε οι αποφάσεις που θα ληφθούν να παρέχονται κάτω από την πρόβλεψη της πιθανότητας έκβασης. Όλοι οι ορισμοί που δίνονται στη βιβλιογραφία μοιράζονται δύο κοινά στοιχεία: την απροβλεπτότητα και απώλεια. Με άλλα λόγια, προκειμένου να συζητηθεί η ύπαρξη του κινδύνου πρέπει πάντα να υπάρχουν τουλάχιστον δύο πιθανές εκβάσεις και δεύτερον, τουλάχιστον μια εκ των πιθανών εκβάσεων πρέπει να είναι ανεπιθύμητη. Για παράδειγμα, εάν είναι γνωστό ότι μια απώλεια θα εμφανιστεί σίγουρα, δεν μπορεί να υπάρξει κίνδυνος<sup>8</sup>.

### **1.5.2. Τύποι κινδύνων.**

Οι επιμέρους κίνδυνοι ποικίλλουν ως προς την φύση, την στιγμή εμφάνισης, την σημασία τους και την πιθανότητα να συμβούν. Για λόγους κατανόησης, διαιρούμε τους πιθανούς κινδύνους των έργων στις εξής κατηγορίες: *Νομικοί, Οργανωσιακοί, Τεχνικοί, Οικονομικοί, Κοινωνικοί και Πολιτικοί.*

### **1.5.3. Διαχείριση κινδύνων (risk management).**

Η διαχείριση κινδύνων μπορεί να οριστεί ως η συστηματική διαδικασία ελέγχου κινδύνων, που προβλέπονται για να αντιμετωπιστούν σε μια επένδυση ή μια εργασία. Όπως κάθε συστηματική διαδικασία, είναι ένα σταδιακό φαινόμενο. Η ανάγκη προς εκτέλεση της διαχείρισης κινδύνου κυρίως στα κατασκευαστικά έργα αυξάνεται καθημερινά λόγω της αυξανόμενης πολυπλοκότητας, του μεγέθους, του ανταγωνισμού, των καταναλωτικών απαιτήσεων των πελατών, των πολιτικοοικονομικών προβλημάτων και των βαρέων φυσικών καταστάσεων σε τέτοια έργα. Έτσι με τη πάροδο του χρόνου, η διαχείριση κινδύνου έχει γίνει ένα κομβικό στάδιο για την ολοκλήρωση των εργασιών στα πλαίσια ενός χρονικού

---

<sup>7</sup> Τάσος Τζάνος, Διοίκηση Κινδύνων Έργου. Μελέτη Πιθανολογικών Μοντέλων Ανάλυσης Κινδύνων και Εφαρμογή τους σε Πραγματικό Έργο, ο.π. σελ. 18-21.

<sup>8</sup> Ahmet Oztas, Onder Okmen, Risk analysis in fixed-price design-build construction projects, *Building and Environment* 39, 229 – 237, 2004.



προγραμματισμού και του προγραμματισμένου προϋπολογισμού. Ένα σύστημα διαχείρισης κινδύνου πρέπει να καθιερώνει ένα κατάλληλο πλαίσιο: να αναγνωρίζει και να αναλύει τους κινδύνους, να επηρεάζει τη λήψη αποφάσεων, να αναπαριστά και να αναθεωρεί στις ανταποκρίσεις του κινδύνου.

#### **1.5.4. Ανάλυση κινδύνου (risk analysis).**

Η ανάλυση κινδύνου εκτελείται για να παρουσιάσει τι συμβαίνει εάν το πρόγραμμα δεν προχωρά σύμφωνα με το σχέδιο λόγω πιθανών κινδύνων και προειδοποιεί τον υπεύθυνο ή το διευθυντή για το πώς πρέπει να ανταποκριθεί και να αντιμετωπίσει τους κινδύνους. Επιπλέον, λαμβάνει υπόψη όλες τις εφικτές επιλογές και αναλύει τις διάφορες εκβάσεις οποιασδήποτε απόφασης. Οι τεχνικές ανάλυσης κινδύνου ομαδοποιούνται σε δύο μέρη: ποσοτικές και ποιοτικές. Και οι δύο επωφελούνται από στοιχεία που παράγονται από τον προσδιορισμό του κινδύνου αλλά και την ποιοτική προσέγγιση που αναλώνει τις συγκεντρωμένες πληροφορίες με την άμεση κρίση, ταξινομώντας και συγκρίνοντας τις επιλογές και την περιγραφική ανάλυση. Αντίθετα, μερικές από τις ποσοτικές τεχνικές ανάλυσης κινδύνου, χρησιμοποιούνται στην εκτέλεση στατιστικών μοντέλων και προσομοιώσεων προκειμένου να επιτευχθούν τα αριθμητικά αποτελέσματα και να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των κινδύνων. Τα περισσότερα εργαλεία και τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των κινδύνων παρέχουν ποσοτικές λύσεις και όλες διακατέχονται από κάποια υποκειμενικότητα<sup>9</sup>.

#### **1.5.5. Προβλήματα αποφάσεων.**

Τα περισσότερα αφορούν τον καταμερισμό των πόρων: που καταναλώνονται δηλαδή, τα χρήματα, ο χρόνος και άλλοι διαθέσιμοι πόροι. Η λήψη αποφάσεων περιλαμβάνει αντιλήψεις δανεισμένες από άλλα γνωστικά αντικείμενα, όπως θεωρία πιθανοτήτων, στατιστική, ψυχολογία, οικονομικά και έρευνα λειτουργίας. Τυπικά, το πεδίο ονομάζεται *επιστήμη αποφάσεων*. Η εφαρμογή της ανάλυσης αποφάσεων, απαιτεί<sup>10</sup>:

- Καταγραφή των εκτιμήσεων για τους κινδύνους και τις αβεβαιότητες, ως κατανομές πιθανοτήτων.

---

<sup>9</sup> Ahmet Oztas, Onder Okmen, Risk analysis in fixed-price design–build construction projects, *Building and Environment* 39, 229 – 237, 2004.

<sup>10</sup> Τάσος Τζάνος, Διοίκηση Κινδύνων Έργου. Μελέτη Πιθανολογικών Μοντέλων Ανάλυσης Κινδύνων και Εφαρμογή τους σε Πραγματικό Έργο, ο.π. σελ. 18.

- Την ύπαρξη ενός τρόπου μέτρησης της αξίας και της ποιότητας του αποτελέσματος.
- Την εισαγωγή των παραμέτρων αυτών στον τρόπο υπολογισμού της αναμενόμενης τιμής (expected value).

Η ανάλυση αποφάσεων δίνει τον μόνο λογικό και συνεπή τρόπο ενσωμάτωσης όλων των κρίσεων, σχετικά με τους κινδύνους και τις αβεβαιότητες σε μία ανάλυση.

#### **1.5.6. Αξιόπιστη ανάλυση.**

Πως θα υπολογίσουμε, όμως, την ποιότητα των εκτιμήσεων; Οι περισσότεροι χρήστες προγνώσεων αναγνωρίζουν δύο κύρια χαρακτηριστικά στην αξιόπιστη ανάλυση:

- Αντικειμενικότητα: μετά από έναν αριθμό έργων, οι εκτιμήσεις των έμπειρων ανθρώπων της ομάδας βρίσκονται κοντά στο μέσο όρο.
- Ακρίβεια: λογική εγγύτητα μεταξύ των εκτιμήσεων και των πραγματικών τιμών.

Η πιστότητα των προβλέψεων είναι μία σύνθεση υψηλής αντικειμενικότητας και ακρίβειας. Η αντικειμενικότητα εκφράζεται με τα λάθη των εκτιμήσεων ως προς τις πραγματικές τιμές. Η ακρίβεια είναι η απόκλιση των λαθεμένων εκτιμήσεων. Η εφαρμογή της αντίληψης της αναμενόμενης τιμής επιτρέπει περισσότερο ακριβείς προβλέψεις και εκτιμήσεις<sup>11</sup>.

#### **1.6. Βασικοί ρόλοι για την ανάλυση κινδύνου.**

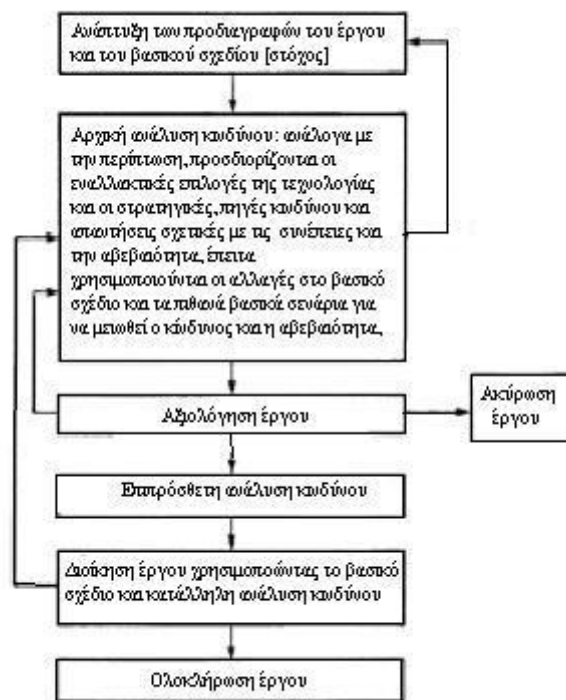
Η ανάλυση κινδύνου μπορεί να εφαρμοστεί στον έλεγχο του έργου, όπου μπορεί να δώσει μια ένδειξη της πιθανής υπερβολικής σπατάλης ή της καθυστέρησης, πολύ νωρίτερα από ότι θα προβλέπονταν με αιτιοκρατικές τεχνικές.

Υποθέτοντας τον ευρύ ορισμό αυτό της ανάλυσης κινδύνου, που δόθηκε προηγουμένως, το **Σχήμα 1.1** συνοψίζει τους εφικτούς ρόλους της ανάλυσης στην επεξεργασία του κινδύνου ενός έργου. Ακολουθώντας μια αρχική προδιαγραφή για το έργο, η αρχική ανάλυση κινδύνου πραγματοποιείται. Αυτό που πρέπει να συμπεριληφθεί σε ένα κατάλληλο επίπεδο λεπτομέρειας είναι ο συστηματικός προσδιορισμός των πηγών κινδύνου, οι προδιαγραφές της αβεβαιότητας που

---

<sup>11</sup> Τάσος Τζάνος, Διοίκηση Κινδύνων Έργου. Μελέτη Πιθανολογικών Μοντέλων Ανάλυσης Κινδύνων και Εφαρμογή τους σε Πραγματικό Έργο, ο.π. σελ. 18-19.

συνδέονται με κάθε πηγή κινδύνου, η αξιολόγηση των κατάλληλων απαντήσεων, και η αξιολόγηση των συνεπειών για το κόστος, το χρόνο και τις ποιοτικές πτυχές της απόδοσης του έργου. Κατά συνέπεια της ανάλυση αυτής, το πρόγραμμα μπορεί να απορριφθεί επειδή η διαδικασία είναι αρκετά επικίνδυνη. Η έμφαση στην αρχική ανάλυση κινδύνου είναι για μια αμερόληπτη επιλογή/απόρριψη μιας απόφασης, ενώ η έμφαση στην πρόσθετη ανάλυση κινδύνου είναι πάνω σε στρατηγικές και τακτικές αποφάσεων για τη διαχείριση του κινδύνου υποθέτοντας ότι το πρόγραμμα θα προχωρήσει.



Σχήμα 1.1.: Βασικός ρόλος της ανάλυσης κινδύνου (Ward & Chapman 1991).

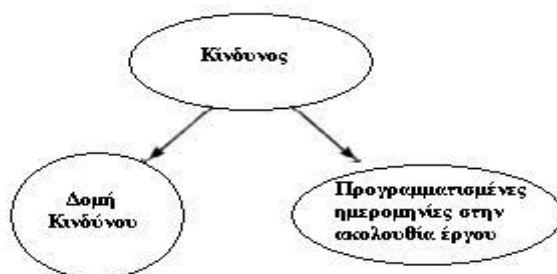
Υποθέτοντας ότι το πρόγραμμα δεν απορρίπτεται, η περαιτέρω ανάλυση του κινδύνου μπορεί να οδηγήσει σε τροποποιήσεις των προδιαγραφών του έργου και του βασικού (στόχου) έργου τα οποία οδηγούν σε πιθανά σενάρια για να ρυθμιστούν οι κίνδυνοι. Ο σκοπός αυτής της ανάλυσης είναι, εν μέρει, να μειωθεί η αβεβαιότητα. Εντούτοις, εξίσου σημαντική είναι η αναζητούμενη αύξηση στην αποδοτικότητα. Αυτό περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των τρόπων για να μειωθεί το αναμενόμενο κόστος για το ίδιο επίπεδο κινδύνου, ή για να βελτιωθεί η ισορροπία κινδύνου/ αναμενόμενου κόστους. Παραδείγματος χάριν, αξίζει μιας μικρή αύξηση στο αναμενόμενο κόστος για να μειωθεί σημαντικά ο κίνδυνος ή μια μικρή μείωση στο

αναμενόμενο κόστος για σχετική αύξηση στον κίνδυνο. Κατά αυτόν τον τρόπο, η ανάλυση κινδύνου μπορεί να κατέχει κύριο ρόλο στη διαμόρφωση ενός έργου κατά τη διάρκεια της φάσης σχεδιασμού και στον προγραμματισμό της εκτέλεσης. Μόλις το έργο είναι εν εξελίξει, η διαχείριση πρέπει να περιλαμβάνει τις τρέχουσες προσπάθειες για να ελεγχθεί η αβεβαιότητα και να περιοριστούν τα ανεπιθύμητα αποτελέσματα των πραγματοποιούμενων κινδύνων. Για παράδειγμα, οι διαδικασίες μπορούν να εφαρμοστούν για να μειώσουν τον κίνδυνο των καθυστερημένων αφίξεων των απαραίτητων υλικών και για να ελαχιστοποιήσουν τα αποτελέσματα στην πρόοδο εάν συμβούν καθυστερήσεις στην άφιξη των υλικών<sup>12</sup>.

### 1.7. Έννοια της ανάλυσης και της αξιολόγησης του κινδύνου.

Η εμπειρία των προηγούμενων ετών έχει δώσει μια αύξηση στην έννοια της ανάλυσης και της αξιολόγησης του κινδύνου που έχει εφαρμοστεί επιτυχώς σε έργα. Η διαδικασία που περιγράφεται παρακάτω ισχύει, εντούτοις, γενικά και είναι εφικτή στον τομέα της έρευνας και ανάπτυξης. Η έννοια της ανάλυσης κινδύνου είναι βασισμένη σε δύο θέσεις (*Σχήμα 1.2*):

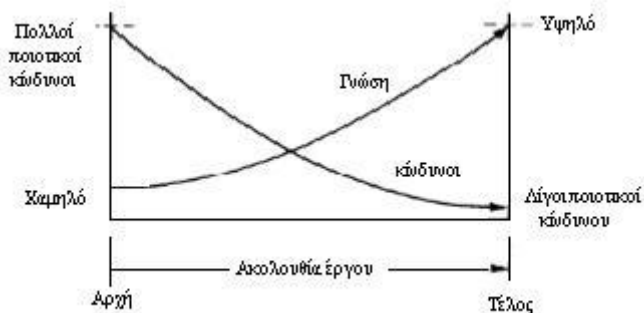
- Αναλογικά με τη δομή του έργου, υπάρχουν αβεβαιότητες που μπορεί να περιγράφονται με τη βοήθεια μιας δομής κινδύνου και να προσανατολίζονται σύμφωνα με την εκτέλεση ενός έργου.
- Βάση της δομής κινδύνου, οι κίνδυνοι μπορούν να ταξινομηθούν ως συνδυασμός ποσοτικά προσδιορίσιμος, τα κόστη των οποίων μπορούν να προβλεφθούν και να προσδιοριστούν, όμως τα αποτελέσματα του κόστους δεν μπορούν να αξιολογηθούν άμεσα<sup>13</sup>.



*Σχήμα 1.2.: Συστατικά Κινδύνου (Armin Franke 1987).*

<sup>12</sup> S. C. Ward and C. B. Chapman, Extending the use of risk analysis in project management, Butterworth-Heinemann Ltd, 1991.

<sup>13</sup> Armin Franke, Risk analysis in project management, Rutterworth & Co (Publishers) Ltd, 1987.



Σχήμα 1.3.: Ανάπτυξη Κινδύνου (Armin Franke 1987).

### 1.7.1. Προσδιορισμός και ποσοτικοποίηση των κινδύνων.

Η διάκριση μεταξύ προσδιορισμού και ποσοτικοποίησης της μορφής ενός κινδύνου δημιουργεί τη βάση για την ανάλυση και την αξιολόγηση του κινδύνου κατά τη διάρκεια των σταδίων διαχείρισης ενός έργου.

Κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης, οι κίνδυνοι μειώνονται με το ίδιο ποσοστό όπως η γνώση για το έργο αυξάνεται, δεδομένου ότι οι συγκεκριμένοι κίνδυνοι εμφανίζονται καθώς το πρόγραμμα προχωρά, τα αποτελέσματα στο κόστος μπορούν επομένως να αξιολογηθούν, ενώ άλλοι κίνδυνοι δεν μπορούν να εμφανιστούν πέρα από ένα συγκεκριμένο σημείο εξαιτίας των προγραμματισμένων ημερομηνιών τους στην ακολουθία προγράμματος. Για να το θέσουμε απλά, υπάρχουν πολλοί ποιοτικοί κίνδυνοι στην αρχή ενός έργου οι οποίοι εξαφανίζονται καθώς γίνονται διαθέσιμες περισσότερες πληροφορίες (Σχήμα 1.3.).

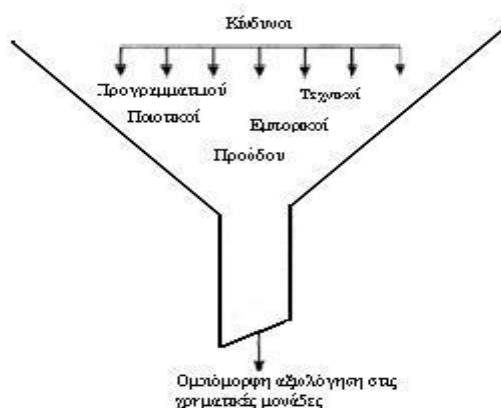
Οι ποσοτικά προσδιορισμένοι κίνδυνοι μπορούν να αξιολογηθούν εύκολα μέσα στο πεδίο του επαναλαμβανόμενου ελέγχου κόστους μέσω της αλλαγής διαχείρισης και ανάλυσης εκείνων των δαπανών που επρόκειτο να ολοκληρωθούν, έτσι ώστε η αβεβαιότητα που αφορά το στοχευόμενο κόστους ενός έργου να επηρεάζεται ουσιαστικά από την επίδραση του κόστους των ποιοτικών κινδύνων.

Μόνο εάν αρκετά ακριβείς πληροφορίες είναι διαθέσιμες μέσα στον προβλεπόμενο χρόνο, μπορεί η διαχείριση να ξεκινήσει τα καθορισμένα μέτρα για την ελαχιστοποίηση των κινδύνων. Επομένως, οι ποιοτικοί κίνδυνοι πρέπει αρχικά να αναγνωριστούν στη φάση έναρξης ενός έργου και μέχρι ποιο σημείο και με ποια πιθανότητα είναι θα εμφανιστούν και κατόπιν να αξιολογηθούν.

Με βάση αυτές τις ενέργειες, μια ουσιαστική αρχή πρέπει να ληφθεί υπόψη. Δηλαδή οι κίνδυνοι έργου πρέπει να έχουν, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.4., μια ομοιόμορφη βάση αξιολόγησης που αναπόφευκτα θα περιλαμβάνει μόνο τις δαπάνες,

δηλαδή τις χρηματικές μονάδες. Επομένως, όλοι οι κίνδυνοι ως αποτέλεσμα των τμημάτων που προγραμματίζουν, της προόδου της εργασίας, της εφαρμοσμένης μηχανικής, της ποιότητας και του εμπορικού τομέα, θα έχουν αναπόφευκτα μια επίδραση στο καθορισμένο στοχευόμενο κόστος ενός έργου. Τα ουσιαστικά βήματα για την ανάλυση και την αξιολόγηση των ποιοτικών κινδύνων είναι :

- διαμόρφωση ενός δομημένου πίνακα ελέγχου κινδύνου.
- ταξινόμηση των κινδύνων με χρήση της ανάλυσης ABC.
- αξιολόγηση του κινδύνου του αντίστοιχου κόστους με τη χρήση της μεθόδου DELPHI.
- ποσοτικοποίηση της άποψης ειδικών και προετοιμασία ενός σχεδιαγράμματος κινδύνου.
- απόφαση της Διοίκησης σύμφωνα με μια κλίμακα της απαραίτητης πιθανότητας και έναρξη λήψης μέτρων για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου.
- επανάληψη της ανάλυσης κινδύνου<sup>14</sup>.



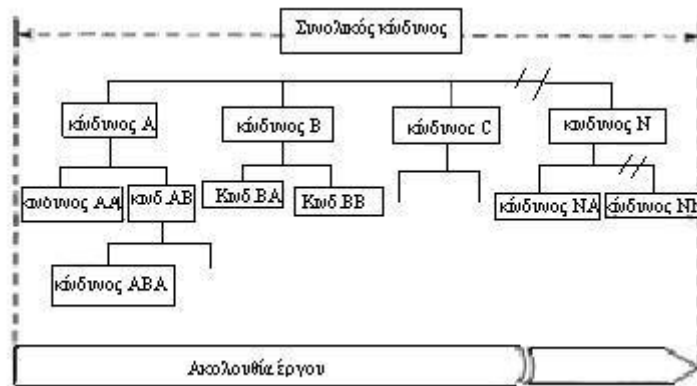
*Σχήμα 1.4.: Ενιαία Βάση Αξιολόγησης (Armin Franke1987).*

### 1.7.2. Πίνακας ελέγχου κινδύνου - δόμηση των κινδύνων.

Οι δομημένοι πίνακες ελέγχου κινδύνου χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν τους συγκεκριμένους κινδύνους ενός έργου και για να υπογραμμίσουν εκείνους τους παράγοντες που θα επηρεάσουν τους στόχους του έργου (κύρια σημεία, δαπάνες, ποιότητα και άλλα). Για πρωτότυπες ή σύνθετες εγκαταστάσεις, η χρήση των τυποποιημένων πινάκων ελέγχου δεν επαρκεί για την περιγραφή της κατάστασης

<sup>14</sup> Armin Franke, Risk analysis in project management, Rutterworth & Co (Publishers) Ltd, 1987.

του κινδύνου. Από την άποψη αυτή, η προετοιμασία των μεμονωμένων καταλόγων κινδύνου έχει αποδειχθεί ένα αποτελεσματικό μέτρο. Το **Σχήμα 1.5.** παρουσιάζει ένα παράδειγμα για το πώς να δομηθεί ένας κατάλογος κινδύνου.



**Σχήμα 1.5.: Δομή Κινδύνου**

### 1.7.3. Ανάλυση ABC.

Για να γίνει μια συγκεκριμένη προσανατολισμένη έρευνα σχετικά με την κατάσταση κινδύνου ενός έργου, οι κίνδυνοι που καθορίζονται στον κατάλογο κινδύνου ή τον πίνακα ελέγχου κινδύνου είναι ταξινομημένοι σύμφωνα με την αποτελεσματική συμβολή τους στη συνολική δυνατότητα του κινδύνου. Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο ανάλυσης ABC, οι λιγότερο Α-κίνδυνοι είναι εκείνοι που έχουν τη μέγιστη επίδραση στις καταστάσεις κινδύνου των έργων.

Για να καθοριστούν και να υπολογιστούν οι Α-κίνδυνοι κατά προσέγγιση, έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικοί οι απλουστευμένοι χρονικοί προγραμματισμοί (κύρια σημεία, διαγράμματα δικτύου, και άλλα) και οι προϋπολογισμοί των δαπανών. Ειδική προσοχή πρέπει να δοθεί στις συνθήκες και σε παραλλαγές των υποθέσεων, δηλαδή εκείνα που είναι η βάση για το χειρισμό του έργου.

### 1.7.4. Μέθοδος Delphi για την αξιολόγηση του κινδύνου.

Η αξιολόγηση των κινδύνων, που ορίζονται στον κατάλογο κινδύνου ή στον πίνακα ελέγχου, βασίζονται στη μέθοδο Delphi. Η ουσιαστική διαφορά από την κλασσική μέθοδο **Delphi** είναι ότι το απαραίτητο θέμα των εμπειρογνώμων δεν εκτελείται μέσω μιας έρευνας, αλλά οι εμπειρογνώμονες διαμορφώνουν τις απόψεις τους στις συνεδριάσεις προεδρευόμενες από έναν μεσολαβητή. Μια λεπτομερής περίληψη της διαδικασίας αξιολόγησης του κινδύνου είναι η ακόλουθη :

- Σχηματισμός των αντιπροσωπευτικών ειδικών ομάδων. Με σκοπό την ανάλυση και την αξιολόγηση των ποιοτικών κινδύνων, διαμορφώνονται οι διεπιστημονικές ειδικές ομάδες. Οι ομάδες μεταξύ τεσσάρων και οκτώ εμπειρογνομόνων θα εξασφαλίσουν υψηλότερη αποδοτικότητα.
- Ειδική συνεδρίαση και προσδιορισμός της ποσότητας του κινδύνου. Οι συνεδριάσεις των εμπειρογνομόνων πραγματοποιούνται σύμφωνα με την προαναφερθείσα έκδοση της μεθόδου Delphi. Στο τέλος της συνεδρίασης, οι εμπειρογνώμονες δείχνουν μια αξιολόγηση των δαπανών του κινδύνου, ανάλογα με την αντίστοιχη πιθανότητα του περιστατικού. Η ικανή εφαρμογή από αυτές τις συνεδριάσεις είναι κρίσιμη για την ακριβέστατη και ποιοτικότερη αξιολόγηση του κινδύνου.
- Αξιολόγηση κόστους. Μετά από αυτήν την συζήτηση κινδύνου, οι εμπειρογνώμονες εκφράζουν τις απόψεις τους ως προς την έκταση τους κίνδυνου και την αντίστοιχη πιθανότητα περιστατικού<sup>15</sup>.

### **1.8. Μέθοδοι Εκτίμησης Έργου.**

Καθώς ο καθορισμός των επιμέρους σταδίων του έργου προχωρά, οι εκτιμήσεις των διαρκειών δραστηριότητας πρέπει να γίνουν πιο αξιόπιστες. Συχνά, όταν οι μέθοδοι εκτίμησης δεν έχουν αλλάξει μέχρι το χρόνο που ο προγραμματισμός διαμορφώθηκε με βάση τα ιστορικά δεδομένα, μπορεί να παρατηρηθούν αποκλίσεις μεταξύ της εκτίμησης και της έκβασης του τρέχοντος έργου. Εντούτοις, εάν οι νέες μέθοδοι έχουν εφαρμοστεί από τότε, μια ρύθμιση στην εκτίμηση αβεβαιότητας απαιτείται για να απεικονίσει την πιθανή βελτίωση. Εάν αντικειμενικά στοιχεία είναι διαθέσιμα για τη γενική βελτίωση στον υπολογισμό της απόδοσης με τις νέες μεθόδους, στη συνέχεια αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθούν σαν βάση για τη νέα ρύθμιση<sup>16</sup>.

#### **1.8.1. Εκτίμηση προγραμματισμού.**

Για την ανάλυση κινδύνου του προγραμματισμού, οι δραστηριότητες του δικτύου χρησιμοποιούνται. Κάθε δραστηριότητα εξετάζεται στη συνέχεια και μια εκτίμηση φτιάχνεται από την ελάχιστη και μέγιστη διάρκεια. Στην παραγωγή αυτής

---

<sup>15</sup> Armin Franke, Risk analysis in project management, 1987 Rutterworth & Co (Publishers) Ltd.

<sup>16</sup> John A. Bowers, Data for project risk analyses, International Journal of Project Management 12 (1), 9-16, 1994.



της εκτίμησης ένα ευρύ φάσμα πληροφοριών μπορεί να χρησιμοποιηθεί, όπως τα ιστορικά στοιχεία, πληροφορίες προμηθευτών και άλλα. Η πολυτιμότερη πηγή πληροφορίας, εντούτοις, είναι η εμπειρία και η άρτια γνώση των μηχανικών. Τα ιστορικά στοιχεία μπορούν να είναι παραπλανητικά ή δυσδιάκριτα, όμως σημαντικά. Η εμπειρία του μηχανικού, του αρμόδιου για το σχεδιασμό και το προγραμματισμό και τέλος του εκτιμητή κόστους είναι συχνά το καλύτερο κριτήριο για τη ρύθμιση αυτών των αλληλουχιών<sup>17</sup>.

### **1.8.2. Εκτίμηση κόστους.**

Η ανάλυση κινδύνου στην εκτίμηση κόστους εκτελείται με παρόμοιο τρόπο. Αλληλουχίες κινδύνου για τα στοιχεία κόστους υπολογίζονται με τον ίδιο τρόπο, δηλαδή ένα ελάχιστο, ένα μέγιστο και μια κατανομή. Αυτές οι πληροφορίες έπειτα τοποθετούνται σε σωστή σειρά και εξάγονται υπό μορφή καμπύλης πιθανότητας κόστους.

### **1.8.3. Εκτίμηση Αβεβαιότητας.**

Οι αναλύσεις των ιστορικών στοιχείων έχουν χρησιμοποιηθεί για να καθορίσουν τις εκτιμήσεις αβεβαιότητας. Οι εκτιμήσεις χρησιμοποιούνται προκειμένου να αντιπροσωπεύσουν την προηγούμενη εμπειρία σε παρόμοιες δραστηριότητες. Κάθε δραστηριότητα στο τρέχον έργο είναι ταξινομημένη και μια κατάλληλη εκτίμηση χρησιμοποιείται για να καθορίσει την αβεβαιότητα για την ανάλυση κινδύνου. Πιο απλά, η εκτίμηση είναι μια σταθερά για κάθε κατηγορία, με την τυπική απόκλιση της διάρκειας μιας δραστηριότητας που είναι το προϊόν της εκτίμησης και της καλύτερης εκτίμησης της διάρκειας. Περισσότερο περίπλοκες συναρτήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν εάν υπάρχουν ικανοποιητικά στοιχεία για να τις δικαιολογήσουν.

Ενώ οι αρχικές εκτιμήσεις αβεβαιότητας μπορούν να παρέχουν την εισαγωγή για μια πρώτη ανάλυση του έργου, αγνοούν οποιαδήποτε περιστάσεις που είναι ιδιαίτερες για το συγκεκριμένο έργο. Μια νέα προσαρμογή των εκτιμήσεων αβεβαιότητας απαιτείται κανονικά, ενσωματώνοντας τις συγκεκριμένες υποκειμενικές κρίσεις, για να παραχθούν τα στοιχεία που είναι πιο σχετικά με το συγκεκριμένο έργο. Οι αρχικές εκτιμήσεις μπορούν να θεωρηθούν ως στοιχεία

---

<sup>17</sup> L A Pugh and R G Soden, Use of risk analysis techniques in assessing the confidence of project cost estimates and schedules, Butterworth & Co (Publishers) Ltd, 1986.

προεπιλογής και χρησιμοποιούνται ως εισαγωγή στην ανάλυση εκτός αν οποιοδήποτε μέλος της ομάδας προγραμματισμού μπορεί να προσκομίσει τα στοιχεία. Εντούτοις, μια τέτοια τοποθέτηση πρέπει να εφαρμοστεί με προσοχή<sup>18</sup>.

#### **1.8.4. Απόσπαση των κατανομών πιθανότητας.**

Πώς μπορεί αυτές οι διάφορες υποκειμενικές κρίσεις να συγκριθούν με τις ποσοτικές εκτιμήσεις αβεβαιότητας; Χαρακτηριστικά, οι υποκειμενικές κρίσεις εκφράζονται αρχικά με ποιοτικούς όρους, αλλά πρέπει επίσης να ποσοτικοποιηθούν ως κατανομές πιθανότητας εάν πρόκειται να παράγουν μια σαφή και χρήσιμη εισαγωγή στην ανάλυση. Η διαδικασία της κατανομής πιθανότητας συνεισφέρει βοήθεια στους εμπειρογνώμονες σε συγκεκριμένους τομείς για να εκφράσουν τις ανησυχίες τους για τις διάφορες δραστηριότητες με ένα ποσοτικό τρόπο<sup>19</sup>.

#### **1.9. Κατάλληλη Γενική μορφή Κατανομής.**

Οι διάφορες μορφές της κατανομής πιθανότητας μπορούν να αποβούν χρήσιμες. Οι Morgan και Henrion παρέχουν μια βασική περιγραφή για μερικές από τις πιο κοινές κατανομές πιθανότητας, μέσα στο πλαίσιο της ανάλυσης κινδύνου. Ένας ικανοποιητικός αριθμός μεθόδων έχει προταθεί για την κατάλληλη κατανομή και μερικές πρόσφατες προτάσεις συνοψίζονται στον *Πίνακα 1.1*. Αυτές οι μέθοδοι έχουν προταθεί από τις προσπάθειες να σχεδιαστεί μια κατανομή που να προσφέρει ευελιξία και σαφήνεια με σκοπό να ενθαρρύνει τους εμπειρογνώμονες να εκφράσουν ακριβώς τις αντιλήψεις τους για τις αβεβαιότητες των δραστηριοτήτων, ελαχιστοποιώντας την ανάγκη για τη περαιτέρω γνώση της στατιστικής.

Οι Pugh και Soden περιγράφουν μια ανάλυση που χρησιμοποιεί διαφορετικές κατανομές για διαφορετικές δραστηριότητες μέσα σε ένα έργο, ενώ ο Berny επικρίνει τις συνήθως χρησιμοποιούμενες κατανομές, συμπεριλαμβανομένης της τριγωνικής κατανομής και προσφέρει μια πρόσθετη κατανομή. Εντούτοις, μόνο σε ειδικά έργα που κυριαρχεί μια απλή δραστηριότητα στην ανάλυση, η επιλογή της κατανομής απαιτεί ειδική προσοχή. Ο William προτείνει ότι το πιο λογικό είναι να επιλεχτεί μια κατανομή που να μπορεί να γίνει κατανοητή από τους διευθυντές και τους αρμόδιους

---

<sup>18</sup> John A. Bowers, Data for project risk analyses, International Journal of Project Management 12 (1), 9-16, 1994.

<sup>19</sup> John A. Bowers, Data for project risk analyses, International Journal of Project Management 12 (1), 9-16, 1994.

για το σχεδιασμό. Ως εκ τούτου, η τριγωνική κατανομή, παρά τις μερικές αποτυχίες, είναι μια κοινή επιλογή<sup>20</sup>.

**Πινάκας 1.1.: Μέθοδοι που καθορίζουν μια κατανομή πιθανότητας.**

Μέθοδος	Βασική κατανομή	Αριθμός Παραμέτρων	Παράμετροι που απαιτούνται
Moitra (1)	βήτα	4	προσεγγισμένη μετακίνηση, mode, ελάχιστο, μέγιστο
Moitra (2)	βήτα	4	εμπιστοσύνη, mode, ελάχιστο, μέγιστο
Golenko-Ginzburg	βήτα	2	μέγιστο, ελάχιστο
Berny	Berny	3	mode, πιθανότητα > mode, ελάχιστο

### 1.9.1. Συνήθειες μετρήσεις.

Στην συνεχή κατανομή (κατανομή της πιθανότητας), υπάρχουν δύο σημαντικά στατιστικά στοιχεία:

- Η περισσότερο δημοφιλής (most likely) τιμή. Οι επιστήμονες της στατιστικής καλούν αυτήν την κορυφή **mode**. Η τιμή στην οποία αντιστοιχεί είναι περισσότερο πιθανή από οποιαδήποτε άλλη και αναμένεται να παρατηρηθούν πολλά δείγματα τιμών γύρω από αυτήν, παρά από οποιαδήποτε άλλη. Το μέγεθος αυτό είναι σημαντικό για τον καθορισμό του σχήματος της καμπύλης περισσότερο, παρά για τη λήψη αποφάσεων.
- Η αναμενόμενη τιμή (expected value), που είναι η βαρύνουσα από την πιθανή μέση τιμή (mean). Αντιπροσωπεύει την μέση από αρκετές τιμές που ελήφθησαν από τον πληθυσμό των εκτιμήσεων κόστους του έργου, που αντιστοιχούν στην καμπύλη της πιθανότητας. Πρόκειται για το πιο σημαντικό και χρήσιμο στατιστικό στοιχείο.

Και οι δύο είναι «κεντρικές μετρήσεις», που δείχνουν το κέντρο ή τοποθετούν την καμπύλη της κατανομής στον άξονα των  $X^{21}$ .

Η ανάλυση απαιτεί τα αρχεία των αναμενόμενων διαρκειών των δραστηριοτήτων και τις ενδεχόμενες εκβάσεις για διάφορα παρόμοια έργα. Οι στατιστικές παράγονται και στην συνέχεια και συνοψίζουν τις παραλλαγές μεταξύ του προγραμματισμού και τις εκβάσεις για τις διάφορες κατηγορίες δραστηριοτήτων. Αυτές οι στατιστικές χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν την εκτίμηση της

<sup>20</sup> John A. Bowers, Data for project risk analyses, International Journal of Project Management 12 (1), 9-16, 1994.

<sup>21</sup> Τάσος Τζάνος, Διοίκηση Κινδύνων Έργου. Μελέτη Πιθανολογικών Μοντέλων Ανάλυσης Κινδύνων και Εφαρμογή τους σε Πραγματικό Έργο, ο.π. σελ. 21.

αβεβαιότητας που είναι κατάλληλη για τις διαφορές κατηγορίες δραστηριοτήτων, όπου 0.0 είναι η ένδειξη μιας δραστηριότητας με λίγη αβεβαιότητα και με εκτίμηση 1 δραστηριότητες με μεγάλη αβεβαιότητα. Η ανάλυση απαιτεί προσοχή για να ληφθούν χρήσιμες συγκρίσεις

### **1.9.2. Τύποι κατανομών. Ποια κατανομή προσεγγίζει την πραγματικότητα.**

Καθώς η ομάδα του έργου συζητά τις πιθανές εκβάσεις των τυχαίων γεγονότων, μπορεί να τις αντιμετωπίσει ποσοτικά, με δυο τρόπους: Είτε να ορίσει από εμπειρία ορισμένες τιμές που συνοδεύονται από τις αντίστοιχες πιθανότητες εμφάνισης τους, είτε να ορίσει την αναμενόμενη και κατόπιν τον τύπο, εμφάνισης της πιθανής κατανομής. Αυτό εξαρτάται κυρίως από το μοντέλο στο οποίο θα γίνει η εύρεση της τελικής αναμενόμενης τιμής και κατά δεύτερον από την εμπειρία της ομάδας εργασίας.

Οι βασικότεροι τύποι κατανομών που χρησιμοποιούν οι project managers κατά τον ορισμό των κατανομών των τυχαίων μεταβλητών είναι<sup>22</sup>:

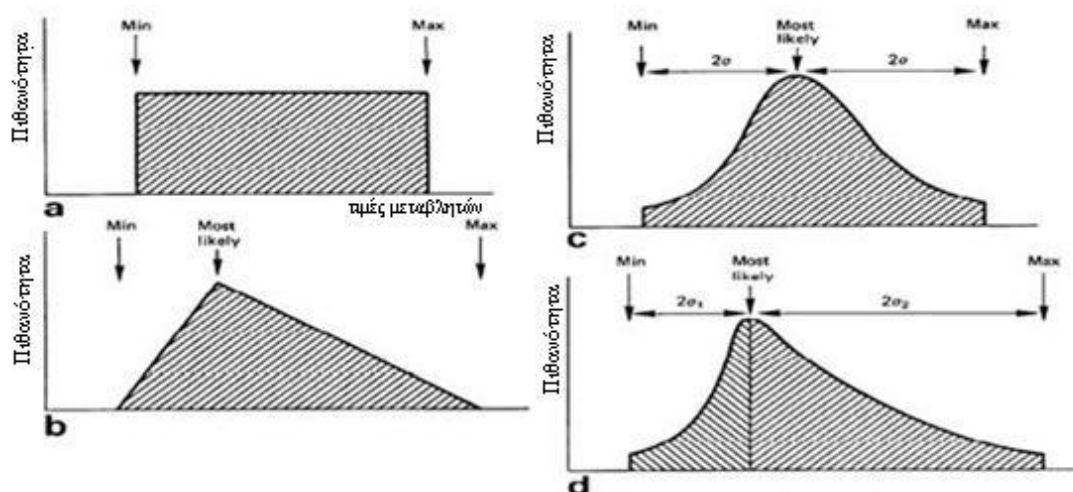
- Τριγωνική, όπου υπάρχει μια μεγαλύτερη πιθανότητα των τιμών κοντά στην βασική τιμή. Αρκεί να θέσουμε την μέγιστη, την ελάχιστη και την περισσότερο πιθανή τιμή της μεταβλητής. Είναι η περισσότερο δημοφιλής στους risk managers, αν και δεν έχει παρατηρηθεί ποτέ κανένα φυσικό ή επιχειρηματικό σύστημα να συμπεριφέρεται στην πραγματικότητα έτσι. Η απλότητα είναι το κίνητρο και πρέπει να δίνεται προσοχή σε δυο σημεία: Πρώτον, να μην εκτιμώνται οι πιθανότητες σε στενά όρια, αφού τα πραγματικά όρια είναι το μέγιστο και το ελάχιστο και δεύτερον, αρκετοί άνθρωποι συγχέουν την περισσότερο πιθανή τιμή, με την καλύτερη εκτίμηση.
- Κανονική κατανομή. Είναι και αυτή που απαντάται συχνότερα στην καθημερινή πράξη και διέπεται στην στατιστική από το θεώρημα του κεντρικού ορίου. Σε απλά έργα, συχνά υποθέτουμε ότι οι δραστηριότητες είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Εάν οι δραστηριότητες αυτές έχουν παραπλήσιες διάρκειες, τότε η κατανομή του χρόνου για την αλυσίδα των διαδικασιών, είναι σχεδόν κανονική κατανομή.

---

<sup>22</sup> Τάσος Τζάνος, Διοίκηση Κινδύνων Έργου. Μελέτη Πιθανολογικών Μοντέλων Ανάλυσης Κινδύνων και Εφαρμογή τους σε Πραγματικό Έργο, ο.π. σελ. 22.

- *Λογαριθμική*. Σχηματικά, είναι μία κατανομή που μοιάζει με την κανονική, αλλά είναι παραμορφωμένη προς την μία πλευρά. Προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό μεταβλητών που ακολουθούν άλλες κατανομές.
- *Εκθετική*. Χρησιμοποιείται περισσότερο για να αναπαραστήσει τον χρόνο ανάμεσα στις ενάρξεις τυχαίων γεγονότων.
- *Βήτα (beta) κατανομή*. Συνήθως χρησιμοποιούνται από project managers, για να αναπαραστήσουν τους χρόνους περαίωσης των διαδικασιών σε ένα μοντέλο PERT ενός έργου.
- *Ομοιόμορφη κατανομή*, όπου υπάρχει μια ίση πιθανότητα οποιασδήποτε τιμής που εμφανίζεται μεταξύ του ελάχιστου και του μέγιστου. Σπανίως χρησιμοποιείται, καθώς δεν απαντώνται συστήματα που να παράγουν αποτελέσματα που την ακολουθούν.
- *Γκαουσιανή κατανομή ή καμπάνα*, όπου υπάρχει πολύ μεγαλύτερη πιθανότητα τιμών κοντά στην βασική τιμή.

Οι περισσότεροι μηχανικοί θα είναι ευτυχείς στο να υπολογίσουν τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές, αλλά δεν είναι εξοικειωμένοι με την έννοια της στατιστικής κατανομής. Ο τύπος κατανομής που επιλέγεται μπορεί να έχει μια σημαντική επίδραση στην ανάλυση κινδύνου, και δεν πρέπει να αποφασιστεί αυθαίρετα από τον τεχνικό υπολογιστών. Οι περισσότερο χρησιμοποιούμενες κατανομές απεικονίζονται στο *Σχήμα 1.6*.

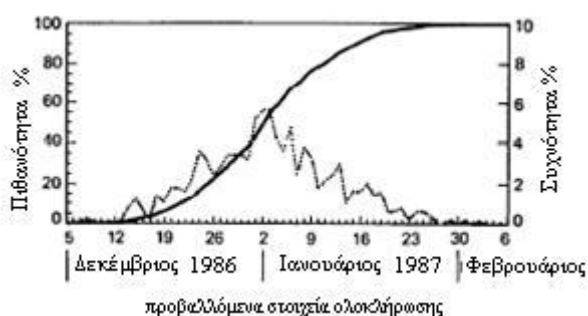


*Σχήμα 1.6.: Διαθέσιμες κατανομές πιθανότητας: (α) ομοιόμορφη, ίση πιθανότητα οποιασδήποτε τιμής μεταξύ του ελάχιστου και μέγιστου (β) τριγωνική, (γ) συμμετρική γκαουσιανή, το ελάχιστο και το μέγιστο αντιστοιχεί σε  $\pm 2$  τυπικές αποκλίσεις, καμία τιμή δεν*

επιλέγεται έξω από αυτήν την σειρά (δ) λοξή γκαουσιανή, όπως και στο (γ) αλλά με τη καμπύλη να αποτελείται από δύο μισές κατανομές για να παράγουν μια μετακίνηση (Pugh & Soden 1986).

Χρησιμοποιώντας αυτούς τους απλούς ορισμούς, είναι δυνατό να δημιουργηθούν αντιπροσωπευτικές κατανομές των διαρκειών κάθε δραστηριότητας. Μια προσομοίωση Μόντε Κάρλο συνήθως χρησιμοποιείται και έπειτα γίνεται η ανάλυση κινδύνου στο δίκτυο. Ένα τυχαίο δείγμα λαμβάνεται από κάθε κατανομή της κάθε διάρκειας και μια χρονική ανάλυση διενεργείται. Αυτό επαναλαμβάνεται πολλές φορές (συνήθως 500). Μετά από κάθε ανάλυση, οι ημερομηνίες περάτωσης αποθηκεύονται για τα επιλεγμένα βασικά κύρια σημεία.

Η συχνότητα του γεγονότος για κάθε μια από τις 500 ημερομηνίες περάτωσης που παράγονται για κάθε κύριο σημείο μπορούν στη συνέχεια να σχεδιαστούν υπό μορφή μιας καμπύλης πιθανότητας, όπως φαίνεται **Σχήμα 1.7**. Συχνά, η ημερομηνία που παράγεται από την αιτιοκρατική χρονική ανάλυση θα είναι στα αριστερά της καμπύλης, με πολύ χαμηλή πιθανότητα επίτευξης, δίνοντας έμφαση στον πιθανό κίνδυνο θέτοντας στόχους και προθεσμίες εργασιών χωρίς να εκτελούνται προγράμματα ανάλυσης κινδύνων<sup>23</sup>.



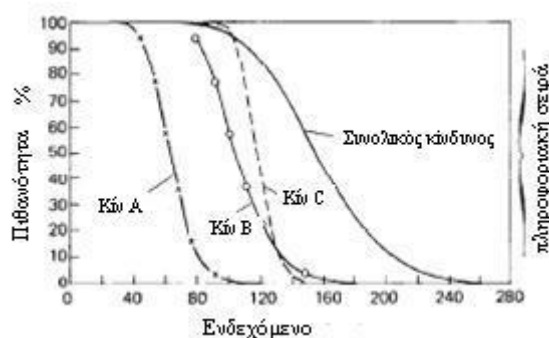
**Σχήμα 1.7.:** Δείγμα ενός έργου: κατανομή συχνότητας των προβαλλόμενων ημερομηνιών ολοκλήρωσης (Pugh & Soden 1986).

### 1.9.3. Προετοιμασία ενός σχεδιαγράμματος κινδύνου.

Στη στατιστική αξιολόγηση των απόψεων των εμπειρογνομόνων, ο αριθμός συνδυασμών πολύ γρήγορα θα αυξηθεί έτσι ώστε μια πλήρης απαρίθμηση να μην είναι δυνατή. Επομένως, μια μαθηματική προσομοίωση χρησιμοποιείται για να αξιολογήσει τα υποκειμενικά στοιχεία που πάρθηκαν στα πλαίσια της εκτίμησης των

<sup>23</sup> L A Pugh and R G Soden, Use of risk analysis techniques in assessing the confidence of project cost estimates and schedules, Butterworth & Co (Publishers) Ltd, 1986.

εμπειρογνομόνων και παρουσιάστηκαν σε ένα σχεδιάγραμμα κινδύνου. Το **Σχήμα 1.8.** παρουσιάζει μια τέτοια ένδειξη σχεδιαγράμματος πιθανότητας κινδύνου για όλους τους κινδύνους ως συνάρτηση της πιθανότητας εμφάνισης<sup>24</sup>. Η οργάνωση του σχεδιαγράμματος κινδύνου εξαρτάται από τη δομή του κινδύνου (**Σχήμα 1.5.**).



**Σχήμα 1.8.:** Προφίλ Κινδύνου (Armin Franke 1987).

#### 1.9.4. Διοικητικές αποφάσεις και μέτρα έναρξης για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου.

Οι παραλλαγές των παραμέτρων καθιστούν πιθανή την επιρροή συγκεκριμένων κινδύνων για να επηρεαστεί ο γενικός κίνδυνος, και έτσι πρέπει να αναλυθεί η ευαισθησία της δομής κινδύνου ενός έργου. Ένα ουσιαστικό μέτρο που λαμβάνεται από τη Διοίκηση είναι η έναρξη μιας στοχευμένης ενημέρωσης της ανάλυσης κινδύνου. Μόνο η περιοδική επανάληψη της ανάλυσης κινδύνου, και η απαραίτητη αναθεώρηση του καταλόγου κινδύνου, δημιουργούν τα κριτήρια αξιολόγησης που επιτρέπουν την επιτυχή εκτέλεση των μέτρων, με σκοπό να ελαχιστοποιήσουν τον κίνδυνο.

#### Μαθηματικό μοντέλο:

Ο συνολικός κίνδυνος ενός έργου προκύπτει από τη σύνθεση των επιμέρους τμημάτων κινδύνου. Επομένως, η αξιολόγηση είναι βασισμένη σε ένα μαθηματικό μοντέλο, το οποίο προκύπτει από την απαραίτητη συνολική πιθανότητα ( $C_0$ ) μέσα από το σύνολο των μεμονωμένων τιμών κινδύνου ( $R_V$ ).

$$C_0 = \sum R_V; R_V = f(R_S, P_0)$$

<sup>24</sup> Armin Franke, Risk analysis in project management, Rutterworth & Co (Publishers) Ltd, 1987.

Οι τιμές κινδύνου εξαρτώνται από το πεδίο υπολογισμού των μεμονωμένων κινδύνων ( $R_s$ ) και την αντίστοιχη πιθανότητα εμφάνισης τους ( $P_o$ ). Με άλλα λόγια, το σύνολο των μεμονωμένων κινδύνων αντιστοιχεί στο πεδίο της συνολικής πιθανότητας. Για αυτό το σκοπό, οι διαφορετικές απόψεις των εμπειρογνομόνων συντάσσονται και αξιολογούνται για να διαμορφώσουν συνδυασμούς τιμών. Στη στατιστική αξιολόγηση των απόψεων των εμπειρογνομόνων, το ακόλουθο γίνεται προφανές. Ένας αριθμός των πιθανών συνδυασμών πολύ γρήγορα θα αυξηθεί για τον προσδιορισμό της απαραίτητης συνολικής πιθανότητας ( $C_o$ ), η οποία δεν επιτρέπει πλέον μια πλήρη απαρίθμηση. Επομένως, η διαδικασία της μαθηματικής προσομοίωσης προσφέρεται για την αξιολόγηση των απόψεων των εμπειρογνομόνων<sup>25</sup>.

#### **1.10. Μοντέλο κατανομής ενδεχομένων με βάση τη κανονική κατανομή.**

Μια μεγάλη πιθανότητα μπορεί να κάνει μη ελκυστική την πρόταση με αποτέλεσμα γενική απώλεια της διαχείρισης, ενώ μια χαμηλή κατανομή πιθανότητας μπορεί να σημαίνει ότι η χρηματοδότηση για το έργο μπορεί να αποδειχθεί ανεπαρκής. Κατά συνέπεια η κατανομή πιθανότητας πρέπει να έχει ισχυρή λογική βάση στηριζόμενη στις αβεβαιότητες που εμφυτεύονται σε ένα έργο και στις προδιαγραφές των δραστηριοτήτων.

Το μοντέλο χρησιμοποιεί πληροφορίες που αποκομίστηκαν για την εκτίμηση του βασικού κόστους των δραστηριοτήτων και των δεδομένων ανάλυσης κινδύνου ως εισαγωγή. Η εκτίμηση του βασικού κόστους οδηγεί στην ανάλυση των δραστηριοτήτων χρησιμοποιώντας τις αισιόδοξες και απαισιόδοξες εκτιμήσεις για κάθε μια δραστηριότητα. Το αναμενόμενο κόστος του πακέτου εργασίας ή μια εκτίμηση με ίση πιθανότητα καθορίζεται χρησιμοποιώντας την ανάλυση της δραστηριότητας και το κεντρικό οριακό θεώρημα. Η διαφορά μεταξύ μιας εκτίμησης ίσης πιθανότητας και μιας εκτίμησης βασικού κόστους είναι πιθανότατα, η ανάγκη που προκύπτει λόγω ανεπαρκούς καθορισμού των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τα συγκεκριμένα πακέτα εργασίας. Η δημιουργία μιας κατανομής ίσης πιθανότητας σημαίνει ότι υπάρχει μια πιθανότητα 50% του κόστους του έργου να βρεθεί μέσα στο αναμενόμενο κόστος. Εντούτοις, υπάρχουν περαιτέρω απαιτήσεις στην εξέταση της κατανομής λόγω του αβέβαιου περιβάλλοντος του έργου. Το

---

<sup>25</sup>Armin Franke, Risk analysis in project management, 1987 Rutterworth & Co (Publishers) Ltd.



συνολικό επίπεδο κινδύνου για κάθε πακέτο εργασίας επηρεάζει τις πιθανότητες του κόστους να βρεθεί μέσα στο στοχευόμενο κόστος (συμπεριλαμβανομένης της πιθανότητας).

Η διαφορά μεταξύ του στοχευόμενου κόστους και του βασικού κόστους είναι η συνολική πιθανότητα για το πακέτο εργασίας. Οι αισιόδοξες και απαισιόδοξες εκτιμήσεις κόστους μπορούν να προέλθουν από τη πιο πιθανή εκτίμηση με την χρήση του *Πίνακα 1.2*.

*Πίνακας 1.2.: Ταξινόμηση του κινδύνου (Dey, Tabucanon & Ogunlana).*

Κατηγορία κινδύνου	Καθορισμός της παραμέτρου	Πιθανή σειρά λάθους	
		Χαμηλότερο Όριο % (σχετικό με το $X_a$ )	Υψηλότερο Όριο % (σχετικό με το $X_b$ )
A	Καλά καθορισμένη	-5	20
B	Αρκετά καθορισμένη	-10	30
C	Φτωχά καθορισμένη	-15	40
D	Ακαθόριστη	-20	50

Υπάρχει πιθανότητα 50% της επιτυχούς ολοκλήρωσης ενός έργου με τα αναμενόμενα κόστη (εκτίμηση ίσης πιθανότητας), που καλύπτουν τους κινδύνους που σχετίζονται με το πλαίσιο του έργου. Εντούτοις, σε ένα δυναμικό περιβάλλον εργασίας, η Διοίκηση δεν μπορεί να ικανοποιηθεί με ίσες πιθανότητες επιτυχίας που προήλθαν από τη γνώση των εκτιμητών. Υπάρχουν άλλες αιτίες των αβεβαιοτήτων που είναι συγκεκριμένες για ένα έργο. Η ακρίβεια αυτών των αβεβαιοτήτων αυξάνει σίγουρα το κόστος που προβλέπεται από την εκτίμηση ίσης πιθανότητας ( εκτίμηση βασικού κόστους συν τη πιθανότητα του μηχανικού). Μια συμπληρωματική πρόβλεψη πρέπει να γίνει για μια πιθανότητα ενός ιδιαίτερα επικίνδυνου έργου όσον αφορά το επίτευγμα του χρόνου, κόστους και ποιότητας. Αυτή η πιθανότητα έχει οριστεί ως κατανομή διαχείρισης του Υεο.

Η πιθανότητα διαχείρισης υπολογίζεται από την εφαρμογή της θεωρίας πιθανοτήτων όπως φαίνεται στο *Σχήμα 1.9*, όπου το  $E_c$ , είναι η εκτίμηση ίσης πιθανότητας,  $X_i$ , είναι το στοχευόμενο κόστος,  $p_x$  είναι η πιθανότητα του στοχευόμενου κόστους  $X_i$ , που είναι λιγότερο από  $X$ ,  $S_c$  είναι η εκτίμηση της τυπικής απόκλισης, το  $B$  είναι η εκτίμηση βασικού κόστους,  $C_1$  είναι η αναμενόμενη πιθανότητα και  $C_2$  είναι η μη αναμενόμενη πιθανότητα.

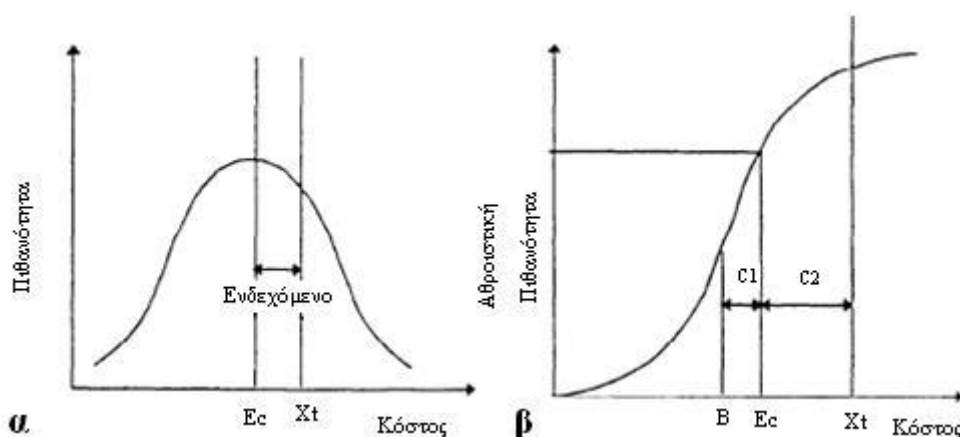
Ο ρυθμιζόμενος κίνδυνος στοχευόμενου κόστους, που είναι ίσος με  $E_c + C_2$ , πρέπει να καθοριστεί. Αυτός μπορεί να υπολογιστεί μέσω της εκτίμησης της

πιθανότητας επιτυχίας του έργου. Η πιθανότητα ότι το κόστος θα βρεθεί μέσα στο στοχευμένο κόστος είναι ανάλογη του αθροίσματος της ισοπιθανότητας επιτυχίας (50%) και του ποσοστού του συνολικού κινδύνου του πακέτου εργασίας. Η μέτρηση  $C_2$ , είναι απολύτως υποκειμενική, και εξαρτάται από την ποιοτική έκβαση της άποψης της Διοίκησης για το έργο. Δείχνει επίσης την ανησυχία τους για τον κίνδυνο και την εμπιστοσύνη της επίτευξης του στοχευμένου κόστους, χρόνου και ποιότητας των πακέτων εργασίας. Οι ακόλουθες εκφράσεις ισχύουν:

$$P_x \{X < X_t\} = p_x$$

$$\frac{(X_t - E_c)}{S_c} = Z$$

Το  $p_x$  είναι ίσο με το άθροισμα του 50% (εκτίμηση ίσης πιθανότητας) και του συνολικού ποσοστού της προόδου. Το  $Z$  υπολογίζεται από τον πίνακα κανονικής κατανομής για το  $p_x$  και είναι το ποσοστό πιθανότητας<sup>26</sup>.



**Σχήμα 1.9.:** προσέγγιση πιθανότητας (α) κανονική κατανομή κόστους, (β) αθροιστική κατανομή του κόστους. (Dey, Tabucanon & Ogunlana 1994).

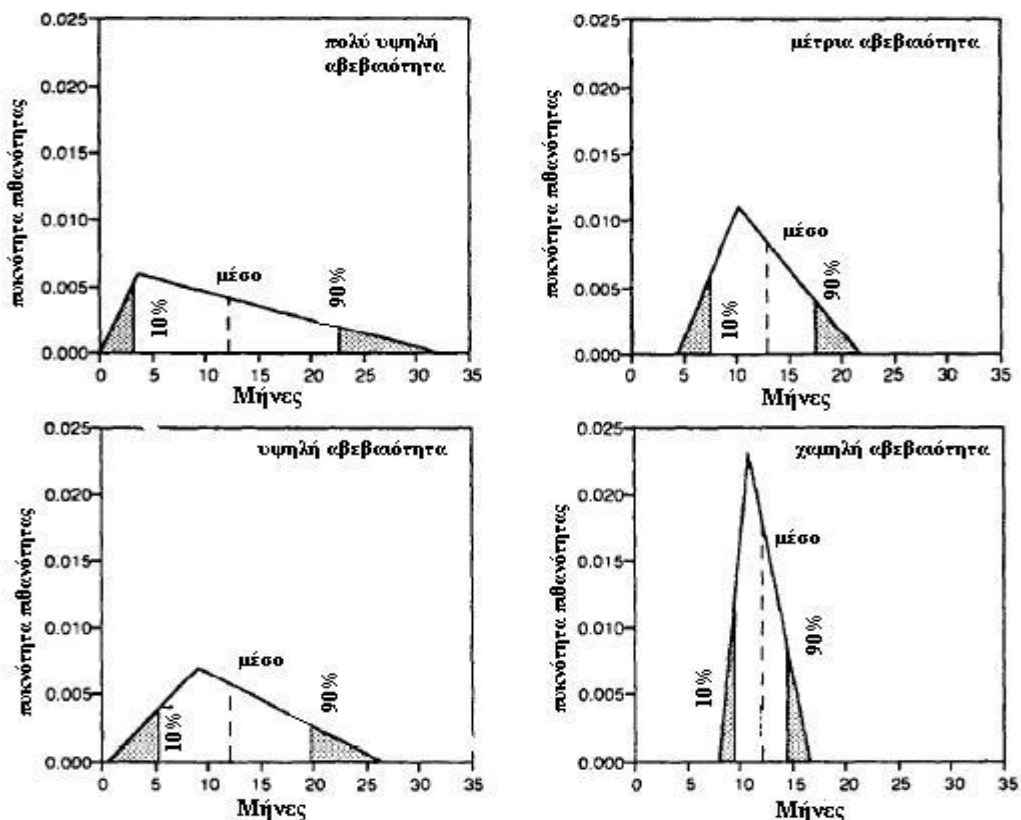
### 1.11. Καθορισμός της ιδιαίτερης τριγωνικής κατανομής.

Πόσο αβέβαιη είναι η δραστηριότητα; Σε διάφορα έργα, οι εμπειρογνώμονες καλούνται να ταξινομήσουν ακριβώς τις δραστηριότητες έχοντας χαμηλή, μέση, υψηλή ή πολύ υψηλή αβεβαιότητα, παρά για να προσπαθήσουν να αποσπάσουν μια πλήρη κατανομή πιθανότητας. Ένα σημαντικό πρώτο βήμα είναι να καθιερωθεί μια κοινή γλώσσα για να εξηγηθούν οι ποσοτικοί ορισμοί αυτών των ποιοτικών όρων. Οι γραφικές παραστάσεις στο **Σχήμα 1.10**, επεξηγούν τους ορισμούς των ποιοτικών

<sup>26</sup> Prasanta Dey, Mario T. Tabucanon and Stephen O. Ogunlana, Risk management, Planning for project control through risk analysis: a petroleum pipeline-laying project, International Journal of Project Management 12 (1), 23-33, 1994.

περιγραφών της αβεβαιότητας, χρησιμοποιώντας ένα παράδειγμα μιας δραστηριότητας μέσης διάρκειας 12 μηνών. Οι ποιοτικές κατηγορίες αντιστοιχούν στις αριθμητικές εκτιμήσεις αβεβαιότητας, όπως 0.20 για τη χαμηλή αβεβαιότητα στο παράδειγμα παρακάτω, έτσι ώστε ο πολλαπλασιασμός της μέσης διάρκειας με την εκτίμηση αβεβαιότητας να παρέχει την τυπική απόκλιση. Η τυπική απόκλιση, ο μέσος και οι υποθέσεις για μια μετακίνηση στη συνέχεια διευκρινίζουν εντελώς την κατάλληλη τριγωνική κατανομή. Παρακάτω περιέχεται με λεπτομέρεια η διαδικασία.

Οι περισσότεροι συμμετέχοντες σε ένα έργο δέχονται ότι η κατανομή του χρόνου δραστηριότητας θα αποκλίνει. Ενώ μια δραστηριότητα μπορεί να τελειώσει πριν από την προγραμματισμένη διάρκεια, είναι πιθανότερο ότι θα πάρει περισσότερο από την καλύτερη εκτίμηση. Μια μετακίνηση (λοξή κίνηση) κατά 1/3 έχει προταθεί από τους Golenko-Ginzburg (Πίνακας 1.1.) και από τον Williams και έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορες αναλύσεις. Η γκάμα μεταξύ πιθανότητας 10% και 90%, έχει αποδειχθεί πληροφοριακή, παρόλο που η παραλλαγή γίνεται πάρα πολύ υψηλή στις οριακές περιοχές<sup>27</sup>.



Σχήμα 1.10.: Ποσοτικοποίηση του ποιοτικού (John Bowers 1994).

<sup>27</sup> John A. Bowers, Data for project risk analyses, International Journal of Project Management 12 (1), 9-16, 1994.

### 1.11.1. Χρήση της καλύτερης εκτίμησης και αβεβαιότητας για να διευκρινίσουν την τριγωνική κατανομή<sup>28</sup>.

Όταν τα δεδομένα περιγράφουν τις δραστηριότητες και οι εκτιμήσεις της αβεβαιότητας τους είναι υπό μορφή καλύτερης εκτίμησης, ή μέσου, η σχετική τριγωνική κατανομή μπορεί εύκολα να συναχθεί. Υπάρχουν τρεις βασικές απαιτήσεις οποιασδήποτε τέτοιας κατανομής:

- ο μέσος όρος είναι ίσος με την καλύτερη εκτίμηση.
- η τυπική απόκλιση είναι ίση με τους χρόνους εκτίμησης της αβεβαιότητας της καλύτερης εκτίμησης.
- δεν υπάρχει καμία αρνητική τιμή.

Επιπλέον, αναμένεται ότι η κατανομή της δραστηριότητας έχει μια μετακίνηση κατά 1/3. Αυτή η τέταρτη απαίτηση δεν είναι συνήθως κρίσιμη εκτός αν απαιτούνται ακριβείς τιμές για τα άκρα της συνολικής διάρκειας του έργου ή το έργο κυριαρχείται από μια απλή δραστηριότητα. Στα περισσότερα έργα, η κατανομή της συνολικής διάρκειας καθορίζεται κατά ένα μεγάλο μέρος από το μέσο και τις τυπικές αποκλίσεις των διαρκειών των δραστηριοτήτων. Ενώ όλες αυτές οι απαιτήσεις, μπορούν συνήθως να ικανοποιηθούν, όταν η εκτίμηση αβεβαιότητας, και ως εκ τούτου η τυπική απόκλιση, είναι μεγάλη, αυτές δεν είναι πλέον δυνατές. Εάν η πρώτη, δεύτερη και τέταρτη απαίτηση τηρείται, οι αρνητικές τιμές είναι τότε θεωρητικά δυνατές. Κατά συνέπεια μια από τις απαιτήσεις πρέπει να θυσιαστεί και δεδομένου ότι η μετακίνηση κατά 1/3 είναι απλά επιθυμητή, αλλά όχι κρίσιμη κανονικά, αυτή είναι η απαίτηση που παραλείπεται. Οι εκφράσεις για την αισιόδοξη, τη περισσότερο δημοφιλή (mode) και απαισιόδοξη παράμετρο, λαμβάνοντας υπόψη την καλύτερη εκτίμηση και την αβεβαιότητα της εκτίμησης, παράγονται ως εξής:

- αισιόδοξη =  $A - b$
- mode =  $A$
- απαισιόδοξη =  $A + c$
- καλύτερη εκτίμηση =  $d$
- εκτίμηση αβεβαιότητας =  $r$

Τα αποτελέσματα για την τριγωνική κατανομή είναι τα ακόλουθα:

$$\mu = A + (c - b) / 3 \quad (1.1) \quad \text{και} \quad \sigma^2 = (b^2 + bc + c^2) / 18 \quad (1.2)$$

<sup>28</sup> John A. Bowers, Data for project risk analyses, International Journal of Project Management 12 (1), 9-16, 1994.

όπου  $\mu$  είναι ο μέσος όρος και  $\sigma$  είναι η διακύμανση. Αν υποτεθεί μια μετακίνηση κατά  $1/3$ :

$$c=2b \text{ (1.3) και για αυτό } \sigma^2=7/18 b^2 \quad (1.4)$$

$$\text{υποθέτοντας και τη 2}^{\text{η}} \text{ απαίτηση: } \sigma =rd \text{ (1.5) και για αυτό } b=(18/7)^{1/2}rd \quad (1.6)$$

υποθέτοντας και τη 3<sup>η</sup> απαίτηση:  $A-b \geq 0$  από τις εξισώσεις 1.1, 1.3 και 1.6

$$r \leq (7/32)^{1/2} \approx 0,486$$

Εάν  $r \leq 0,486$  όλες οι απαιτήσεις μπορούν να ικανοποιηθούν, και ως εκ τούτου, από τις εξισώσεις 1.1, 1.3 και 1.6 :

- *Αισιόδοξη*:  $A-b=\mu-(c-b)/3-b=(1-4/3(18/7)^{1/2}r)d \approx (1-2,138r)d \quad (1.7)$

- *Mode*:  $A=\mu-(c-b/3)=(1-(2/7)^{1/2}r)d \approx (1-0,535r)d \quad (1.8)$

- *Απαισιόδοξη* :  $A+c=\mu-(c-b)/3+c=(1+5/3(18/7)^{1/2}r)d \approx (1+2,673r)d \quad (1.9)$

Εάν  $r > 0.486$ , για να εξασφαλιστούν μη αρνητικές τιμές, η τέταρτη απαίτηση παραλείπεται, και η αισιόδοξη τιμή γίνεται μηδέν, και ως εκ τούτου :  $A=b \quad (1.10)$

Από τις εξισώσεις 1.1 και 1.10,  $b=(3d-c)/2 \quad (1.11)$

Δεδομένου των εξισώσεων 1.2 και 1.11,  $c=(24r^2-3)^{1/2}d \quad (1.12)$

Επιπλέον από τις εξισώσεις 1.10 και 1.12 ισχύει:

- *Αισιόδοξη* = 0 (1.13)

- *Mode* =  $A=(3d-c)/2=(1,5-(6r^2-0,75)^{1/2})d \quad (1.14)$

- *Απαισιόδοξη*:  $A+c=(3d-c)/2+c=(1,5+(6r^2-0,75)^{1/2})d \quad (1.15)$

## **ΒΙΒΛΙΟΦΡΑΦΙΑ**

### **Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία.**

1. L A Pugh and R G Soden, Use of risk analysis techniques in assessing the confidence of project cost estimates and schedules, Butterworth & Co (Publishers) Ltd, 1986.
2. Armin Franke, Risk analysis in project management, Rutterworth & Co (Publishers) Ltd, 1987.
3. Ahmet Oztas, Onder Okmen, Risk analysis in fixed-price design-build construction projects, Building and Environment 39, 229 – 237, 2004.
4. John A. Bowers, Data for project risk analyses, International Journal of Project Management 12 (1), 9-16, 1994.
5. Prasanta Dey, Mario T. Tabucanon and Stephen O. Ogunlana, Risk management, Planning for project control through risk analysis: a petroleum pipeline-laying project, International Journal of Project Management 12 (1), 23-33, 1994.
6. S. C. Ward and C. B.Chapman, Extending the use of risk analysis in project management, Butterworth-Heinemann Ltd, 1991.
7. William R. Duncan, A Guide to the Project Management Body of Knowledge, 2<sup>nd</sup> edition, Project Management Institute, Four Campus Boulevard. Newton Square, PA 19073-3299, USA 1996.

### **Ελληνική Βιβλιογραφία**

8. Τάσος Τζάνος, Διοίκηση Κινδύνων Έργου. Μελέτη Πιθανολογικών Μοντέλων Ανάλυσης Κινδύνων και Εφαρμογή τους σε Πραγματικό Έργο, Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Πειραιά, Οκτώβριος 2005.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΈΝΑ ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΙΑΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ.

#### 2.1. Ορισμός του προβλήματος.

Η ανάλυση στην ανάλυση αυτή αναφέρεται στο γεγονός κινδύνου. Η πρόληψη κινδύνου αναφέρεται σε ενέργειες που λαμβάνονται στο στάδιο του προγραμματισμού για να μειωθεί η πιθανότητα εμφάνισης γεγονότων κινδύνου με την απόκτηση πρόσθετων πληροφοριών. Μια στρατηγική προσαρμογής αναφέρεται στις ενέργειες που εφαρμόζονται κατά το στάδιο εκτέλεσης. Η επιφύλαξη που απαιτείται από αυτήν την στρατηγική προγραμματίζεται συνήθως και προετοιμάζεται μέσω του προϋπολογισμού μιας δραστηριότητας και σχεδιάζεται έτσι ώστε οι διευθυντές να μπορούν να μειώσουν τη ζημία (απώλεια) ως αποτέλεσμα των γεγονότων κινδύνου. Σε αντίθεση με τον κίνδυνο η πρόληψη, και η προσαρμογή στοχεύουν στην ανακούφιση και μείωση των αρνητικών επιδράσεων που έχουν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση κινδύνων. Λαμβάνοντας υπόψη τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ο συνδυασμός αυτών των δύο στρατηγικών χειρισμού του κινδύνου εφαρμόζεται για να ελαχιστοποιηθεί η αναμενόμενη απώλεια που συνδέεται με ένα συγκεκριμένο γεγονός κινδύνου<sup>29</sup>.

#### 2.2. Εννοιολογικό πλαίσιο.

Ας υποθεθεί ότι η πιθανότητα εμφάνισης ενός γεγονότος  $E$  πριν από το χειρισμό κινδύνου είναι  $P_1$ , και αυτή η πιθανότητα μειώνεται σε  $P_2$  (μεταγενέστερη πιθανότητα) μετά από το χειρισμό κινδύνου, τότε  $P_2 \leq P_1$ . Αν είναι  $L_1$  η αρχική συνολική απώλεια από την εμφάνιση του γεγονότος και αυτή η απώλεια μειώνεται σε  $L_2$  μετά από το χειρισμό κινδύνου, τότε  $L_2 \leq L_1$ . Η αναμενόμενη απώλεια ( $R_1$ ) πριν από τον χειρισμό του κινδύνου είναι  $P_1 \times L_1$ . Ο Sharira (1998) υποστήριξε ότι οι διευθυντές εφαρμόζουν τη διαχείριση του κινδύνου όταν το τωρινό επίπεδο κινδύνου ( $R_1$ ) δεν είναι αποδεκτό. Ο σκοπός της διαχείρισης του κινδύνου σε μια

---

<sup>29</sup> Miao Fan, Neng-Pai Lin, Chwen Sheu, Choosing a project risk-handling strategy: An analytical model, International Journal of Production Economics 112, 700–713, 2008.

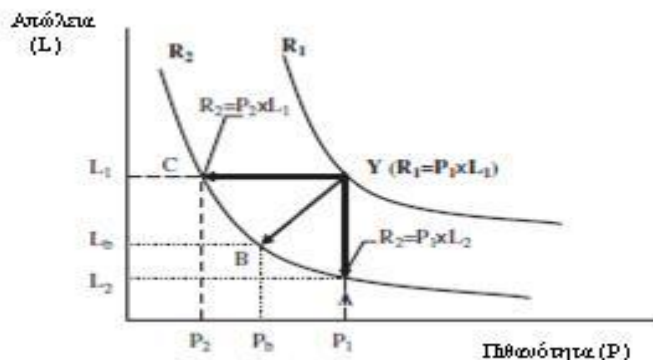
δραστηριότητα είναι να μειωθεί το επίπεδο του κινδύνου ή της αναμενόμενης απώλειας από το  $R_1$  σε ένα αποδεκτό επίπεδο  $R_2$ , όπου  $R_2 < R_1$  και  $R_2 = P_2 \times L_2$ .

Εφόσον η πρόληψη του κινδύνου προσπαθεί να μειώσει τη πιθανότητα εμφάνισης των γεγονότων κινδύνου, η εφαρμογή της οδηγεί σε  $P_2 < P_1$  και  $L_2 = L_1$ . Η προσαρμογή του κινδύνου, αφ' ενός, ανακουφίζει τις απώλειες από το περιστατικό των γεγονότων κινδύνου και η εφαρμογή της στρατηγικής προσαρμογής του κινδύνου συνίσταται σε  $P_2 = P_1$  και  $L_2 < L_1$ .

**Το Σχήμα 2.1.** δείχνει δύο καμπύλες,  $R_1$  και  $R_2$ . Κάθε καμπύλη αντιπροσωπεύει τους πολυάριθμους συνδυασμούς από την πιθανότητα ( $P$ ) και την απώλεια ( $L$ ) που θα παράγουν το ίδιο επίπεδο αναμενόμενης απώλειας ( $R = P \times L$ ). Για παράδειγμα, συνδυασμοί διαφόρων  $P_2$  και  $L_2$  στο  $R_2$  (σημεία AC), η καμπύλη παράγει το αποδεκτό επίπεδο κινδύνου  $R_2$ . Θεωρητικά, οι διευθυντές θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν τις εναλλακτικές επιλογές διαχείρισης κινδύνου για να μειώσουν την αναμενόμενη απώλεια από το τωρινό επίπεδο  $R_1$  (που αντιπροσωπεύεται από το σημείο Y) σε ένα αποδεκτό επίπεδο  $R_2$ . Παραδείγματος χάριν, οι διευθυντές θα μπορούσαν να επιλέξουν μια στρατηγική προσαρμογής κινδύνου (που υποδεικνύεται από τη διαδρομή YA) για να μειώσει την αναμενόμενη απώλεια από το αρχικό επίπεδο Y ( $P_1, L_1$ ) στο A ( $P_1, L_2$ ). Η πιθανότητα εμφάνισης των κινδύνων του έργου, παραμένει η ίδια, ενώ το μέγεθος της απώλειας μειώνεται λόγω των μέτρων που έχουν ληφθεί. Εναλλακτικά, οι διευθυντές θα μπορούσαν να πάρουν την επιλογή της πρόληψης του κινδύνου (διαδρομή YC) για να μειωθεί η πιθανότητα εμφάνισης του γεγονότος κινδύνου στο νέο επίπεδο C ( $P_2, L_1$ ). Τελικά, η τρίτη επιλογή διαχείρισης του κινδύνου μπορεί να είναι ο συνδυασμός στρατηγικών πρόληψης και προσαρμογής του κινδύνου (διαδρομή YB) για να μειωθεί η αναμενόμενη απώλεια από το Y στο B ( $P_b, L_b$ ), όπου  $P_2 \leq P_b \leq P_1$  και  $L_2 \leq L_b \leq L_1$ .

Εν ολίγοις, υπάρχουν τρεις τύποι στρατηγικών διαχείρισης του κινδύνου, οι YA, YC, και YB. Και οι τρεις στρατηγικές μειώνουν την αναμενόμενη απώλεια  $R_2$ , αλλά η εφαρμογή τους απαιτεί διαφορετικούς οικονομικούς πόρους και επομένως, διαφορετικά επίπεδα συνολικού κόστους. Επομένως, η απόφαση χειρισμού του κινδύνου μπορεί να πλαισιωθεί ως εξής: Ποια στρατηγική χειρισμού του κινδύνου πρέπει να επιλέξουν οι διευθυντές προκειμένου να μειωθεί η αναμενόμενη απώλεια σε ένα αποδεκτό επίπεδο με χαμηλότερο κόστος εφαρμογής.





**Σχήμα 2.1.:** Στρατηγικές διαχείρισης κινδύνου - πρόληψη, προσαρμογή και μικτή (Fan, Lin & Sheu 2008).

Το **Σχήμα 2.2.** απεικονίζει το εννοιολογικό πλαίσιο που επεξηγεί τις σχέσεις μεταξύ διάφορων βασικών παραμέτρων μέσα στο πλαίσιο της απόφασης του χειρισμού του κινδύνου. Σε αυτό το εννοιολογικό πλαίσιο, η στρατηγική διαχείρισης του κινδύνου ορίζεται σαν τα μέσα και τις ενέργειες που λαμβάνονται για να μειώσουν το επίπεδο του κινδύνου. Στην πράξη, η στρατηγική που επιλέγουν οι διευθυντές μπορεί να προλαμβάνει τον κίνδυνο, να προσαρμόζει τον κίνδυνο, ή ένας συνδυασμός των δύο. Αυτή η μελέτη υποθέτει ότι η επιλογή της στρατηγικής καθορίζεται από τρεις παραμέτρους: την ελεγχσιμότητα του κινδύνου ενός έργου/δραστηριότητας, το κόστος διαχείρισης του κινδύνου και τα χαρακτηριστικά των έργων/ δραστηριοτήτων.



**Σχήμα 2.2.:** Το Εννοιολογικό πλαίσιο (Fan, Lin & Sheu 2008).

Κατ' αρχάς, η ελεγχσιμότητα του γεγονότος κινδύνου αναφέρεται στην πιθανότητα της αλλαγής της κατανομής πιθανότητας του περιστατικού του γεγονότος. Αυτός ο παράγοντας χρησιμοποιείται για να καθορίσει τη φύση της κατάστασης κινδύνου. Ένας χαμηλός βαθμός ελεγχσιμότητας συνδέεται συχνά με τα γεγονότα κινδύνου όπως οι φυσικές καταστροφές ή οι οικονομικές καταστάσεις όπου

λίγα μπορούν να γίνουν για να αλλάξουν την πιθανότητα εμφάνισης ενός περιστατικού. Αντίθετα, τα γεγονότα κινδύνου με υψηλό βαθμό ελεγχιμότητας συνδέονται συχνά με τεχνικά, προγραμματιστικά και προβλήματα προϋπολογισμού, τα οποία είναι ευκολότερα (αλλά όχι απαραίτητως λιγότερο ακριβά) για να επιλυθούν συγκρινόμενα με τις φυσικές καταστροφές. Διαισθητικά, οι διευθυντές θα υιοθετούσαν μια στρατηγική πρόληψης του κινδύνου για ένα έργο με υψηλό επίπεδο ελεγχιμότητας, ενώ μια στρατηγική προσαρμογής του κινδύνου είναι καταλληλότερη για ένα έργο με χαμηλό επίπεδο ελεγχιμότητας.

Ενώ η επιλογή είναι σαφής στα δύο ακραία επίπεδα ελεγχιμότητας, η επιλογή γίνεται λιγότερος προφανής για εκείνα τα γεγονότα κινδύνου που περιλαμβάνουν μια μεσαίας γκάμα ελεγχιμότητα. Συγκεκριμένα, οι διευθυντές μπορούν να επιλέξουν είτε μιας από τις δύο στρατηγικές είτε το συνδυασμό τους για να χειριστούν τον κίνδυνο όταν το επίπεδο ελεγχιμότητας δεν είναι ούτε εξαιρετικά υψηλό ούτε χαμηλό.

Το κόστος χειρισμού του κινδύνου ορίζεται ως οι δαπάνες που συμβαίνουν στην εφαρμογή μιας επιλεγμένης στρατηγικής που θα μείωναν τους κινδύνους σε ένα αποδεκτό επίπεδο. Εδώ γίνεται η υπόθεση ότι τα έξοδα διεκπεραίωσης είναι μια συνάρτηση της ελεγχιμότητας του κινδύνου και των χαρακτηριστικών του έργου. Το **Σχήμα 2.2** δείχνει ότι η ελεγχιμότητα έχει επιπτώσεις στην επιλογή του χειρισμού της στρατηγικής με δύο τρόπους: Η χαμηλή ελεγχιμότητα υπονοεί υψηλότερα έξοδα χειρισμού, αλλά για ένα γεγονός κινδύνου με υψηλή ελεγχιμότητα μπορεί ακόμα να είναι πολύ ακριβό να αποτραπεί η εμφάνιση του. Επιπλέον, η εξαιρετικά υψηλή ή χαμηλή ελεγχιμότητα υπονοεί συνήθως την εφαρμογή μιας στρατηγική πρόληψης ή προσαρμογής κινδύνου. Συνεπώς, δοσμένου ενός ιδιαίτερου γεγονότος κινδύνου, μια στρατηγική χειρισμού του κινδύνου, είτε πρόκειται για προληπτική, είτε για προσαρμοστική είτε για μικτή, επιλέγεται βάσει της ελεγχιμότητας του γεγονότος καθώς επίσης σε συνδυασμό με το κόστους χειρισμού.

Με άλλα λόγια, οι διευθυντές θα συγκρίνουν το κόστος της φτηνότερης στρατηγικής διαχείρισης με τη μείωση της αναμενόμενης απώλειας. Σε μια κατάσταση όπου το κόστος αντισταθμίζει το όφελος, ένας που αποδέχεται τον κίνδυνο θα επιλέξει να μην λάβει οποιοδήποτε μέτρο, ενώ ένας που αποστρέφεται τον κίνδυνο μπορεί να επιλέξει να εφαρμόσει μια στρατηγική διαχείρισης.

### 2.3.Κόστος μοντέλου διαχείρισης κινδύνου.

Εφόσον μια στρατηγική διαχείρισης κινδύνου περιλαμβάνει την πιθανή εφαρμογή της πρόληψης κινδύνου και/ή την προσαρμογή κινδύνου, το συνολικό κόστος διαχείρισης του γεγονότος κινδύνου (TC) είναι επομένως το σύνολο δύο τύπων κόστους: το κόστος αποτροπής του κινδύνου ( $C_p$ ) και το κόστος προσαρμογής του κινδύνου ( $C_L$ ).

#### 2.3.1.Συνάρτηση κόστους αποτροπής του κινδύνου ( $C_p$ ).

Ο σκοπός του χειρισμού του κινδύνου είναι να μειωθεί το επίπεδο κινδύνου ή της αναμενόμενης απώλειας από το  $R_1$  στο  $R_2$ , όπου  $R_2 < R_1$  και  $R_2 = P_2 \times L_2$ . Η εφαρμογή μιας στρατηγικής πρόληψης κινδύνου οδηγεί στο  $P_2 < P_1$  και  $L_2 = L_1$ . Το κόστος πρόληψης ( $C_p$ ) είναι μια συνάρτηση του  $P_2$  με τις ακόλουθες ιδιότητες και τις υποθέσεις:

- Το  $C_p$  αυξάνει με τη μείωση του  $P_2$ . Είναι το κόστος για να μειώσει την πιθανότητα εμφάνισης ενός γεγονότος κινδύνου.
- Όταν  $P_2 = P_1$ ,  $C_p = 0$ . Κανένα κόστος χειρισμού δεν αναλαμβάνεται όταν η προγενέστερη πιθανότητα είναι ίση με τη μεταγενέστερη πιθανότητα.
- Το  $MC_p$  αντιπροσωπεύει το πρόσθετο κόστος πρόληψης, ή την κλίση του  $C_p$ . Το  $MC_p$  είναι αρνητικό εξαιτίας της αντιστρόφου ανάλογης σχέσης μεταξύ του  $C_p$  και του  $P_2$ . Καθώς το  $P_2$  πλησιάζει μια μικρή τιμή (η μεταγενέστερη πιθανότητα εμφάνισης του γεγονότος γίνεται εξαιρετικά μικρή), το πρόσθετο κόστος γίνεται εξαιρετικά μεγάλο, ή το  $MC_p$  προσεγγίζει το άπειρο. Με άλλα λόγια, είναι πιο ακριβό να μειωθεί η πιθανότητα του περιστατικού περαιτέρω όταν η πιθανότητα είναι ήδη χαμηλή
- το  $k$  αντιπροσωπεύει την μοναδιαία πρόληψη κόστους όπου  $k > 0$ . Το  $k$  είναι ένα μέτρο της δυσκολίας ή της πολυπλοκότητας της μείωσης των κινδύνων είτε με τη λήψη των πρόσθετων πληροφοριών είτε με το να ξεπεραστούν τεχνικά και πολιτικά εμπόδια. Για ένα δοσμένο  $P_1$  και  $P_2$ , ένα μεγαλύτερο  $k$  σχετίζεται με ένα μεγαλύτερο  $C_p$  και ένα μικρότερο  $MC_p$  (ή μεγαλύτερης απόλυτη αξίας  $MC_p$ )

Το  $C_p$  σχετίζεται επίσης με το επίπεδο ελεγχιμότητας των κινδύνων του προγράμματος,  $1-\omega$ , όπου το  $\omega$  είναι το ποσοστό της αβεβαιότητας που δεν μπορεί να

μειωθεί/να ελεγχθεί χρησιμοποιώντας την τρέχουσα τεχνολογία ή τις πληροφορίες και  $0 \leq \omega \leq 1$ . Το **Σχήμα 2.3.** επεξηγεί την έννοια του  $1-\omega$  και του  $\omega$ .



$P_1$  = προγενέστερη πιθανότητα εμφάνισης του γεγονότος κινδύνου.

$P_2$  = μεταγενέστερη πιθανότητα εμφάνισης του γεγονότος κινδύνου.

$1 - \omega$  = το επίπεδο ελεγχιμότητας του γεγονότος κινδύνου.

**Σχήμα 2.3.:** Επίπεδο ελεγχιμότητας (Fan, Lin & Sheu 2008).

Η αναλογία  $P_1-\omega$  είναι το ποσό αβεβαιότητας της δραστηριότητας που μπορεί πιθανά να αφαιρεθεί, ενώ το  $P_2-\omega$  αντιπροσωπεύει το ποσό αβεβαιότητας που είναι τεχνικά μετακινούμενο αλλά δεν αφαιρείται με τη συγκεκριμένη διαχειριζόμενη στρατηγική. Μια μεγάλη τιμή του  $\omega$  υπονοεί έναν χαμηλό βαθμό ελεγχιμότητας και, επομένως, μια υψηλή τιμή  $MC_p$ . Συνολικά, το  $MC_p$  μπορεί να οριστεί ως μια συνάρτηση του  $P_2$ , του  $\omega$ , και του  $k$ :

$$MC_p = \frac{-k}{(P_2 - \omega)} \quad (2.1)$$

Το κόστος της πρόληψης κινδύνου,  $C_p$ , είναι το ολοκλήρωμα  $MC_p$  από  $P_1$  έως  $P_2$ , ή

$$C_p = \int_{P_1}^{P_2} MC_p dP_2 = \int_{P_1}^{P_2} \frac{-k}{(P_2 - \omega)} dP_2 = k \ln\left(\frac{P_1 - \omega}{P_2 - \omega}\right) \quad (2.2)$$

### 2.3.2. Συνάρτηση κόστους προσαρμογής κινδύνου ( $C_L$ ).

Μια στρατηγική προσαρμογής κινδύνου σκοπεύει στο να μειώσει τις απώλειες ως αποτέλεσμα των κινδύνων. Υπάρχουν δύο τύποι απωλειών, η χρηματική απώλεια ( $m$ ) και η απώλεια λόγω καθυστέρησης του προγράμματος ( $t$ ). Στην περίπτωση της χρηματικής απώλειας, ο σκοπός της προσαρμογής κινδύνου είναι να διατηρήσει ένα παραπέτασμα για να απορροφήσει το σύνολο ή μια μερική απώλεια που συνδέεται με τα γεγονότα κινδύνου. Στην περίπτωση της απώλειας λόγω καθυστέρησης, το κόστος προσαρμογής υπολογίζεται βασισμένο με την έννοια του περιθωρίου ( $\beta$ ) (Stigler 1961, De Vonder 2005). Ανάλογα με το ποσό του περιθωρίου στο έργο, το κόστος

μιας χρονικής συμπίεσης ποικίλλει. Αυτή η έννοια είναι παρόμοια με τη συμπίεση δραστηριότητας όπου το μοναδιαίο κόστος συμπίεσης αυξάνεται καθώς εντείνεται ο βαθμός συμπίεσης. (Kerzner, 2006). Με άλλα λόγια, το κόστος χειρισμού (συμπίεση) αυξάνει εκθετικά με μια μείωση στο περιθώριο. Το κόστος προσαρμογής κινδύνου ( $C_L$ ) έχει τις ακόλουθες ιδιότητες και υποθέσεις:

1. Το  $C_L$  αυξάνεται με τη μείωση του  $L_2$ .
2. όταν  $L_2 = L_1$ ,  $C_L=0$ .
3. Στην περίπτωση της χρηματικής απώλειας, το πρόσθετο κόστος προσαρμογής ( $MC_L$ ) είναι ένα σταθερό  $r$ , για παράδειγμα το ποσοστό απόδοσης της επένδυσης. Η συνάρτηση κόστους προσαρμογής κινδύνου ( $C_L$ ) είναι :

$$C_L = r(L_1 - L_2) \quad (2.3)$$

4. Στην περίπτωση της απώλειας λόγω χρονικής καθυστέρησης, το πρόσθετο κόστος της συμπίεσης είναι χαμηλότερο όταν υπάρχει περισσότερο περιθώριο χρόνου στο έργο. Υποθέτοντας ότι το  $s$  είναι το μοναδιαίο κόστος συμπίεσης, αυξάνεται εκθετικά με τη μείωση του  $\beta$  (το ποσοστό περιθωρίου),  $\beta \geq 0$ . Η συνάρτηση πρόσθετης δαπάνης είναι:

$$MC_L = -s e^{-\beta L_2}, \quad s > 0 \quad (2.4)$$

Όταν  $L_2 = 0$ ,  $MC_L = -s$ , το οποίο δείχνει ότι το  $s$ , η απόλυτη τιμή του  $MC_L$ , είναι το πρόσθετο κόστος για να απορροφήσει την τελευταία μονάδα της πιθανής χρονικής καθυστέρησης. Το  $\beta$  είναι το ποσοστό περιθωρίου στο έργο και όσο λιγότερο το περιθώριο τόσο υψηλότερο το κόστος συμπίεσης ( $s$  και  $|MC_L|$ ). Επομένως, η συνάρτηση κόστους προσαρμογής κινδύνου για την απώλεια χρονικής καθυστέρησης μπορεί να οριστεί ως:  $C_L = \int_{L_1}^{L_2} MC_L dL_2 = \int_{L_1}^{L_2} -s e^{-\beta L} dL_2$  και

$$C_L = \frac{s}{\beta} (e^{-\beta L_2} - e^{-\beta L_1}) \quad (2.5)$$

### 2.3.3. Κόστος μοντέλου διαχείρισης κινδύνου.

Λαμβάνοντας υπόψη οποιοδήποτε ιδιαίτερο γεγονός κινδύνου, το κόστος διαχείρισης του κινδύνου (TC) περιλαμβάνει τα κόστη του κινδύνου πρόληψης και κινδύνου προσαρμογής δηλαδή το  $TC(P_2, L_2) = C_p + C_L$ . Η υπόθεση εδώ είναι ότι τα γεγονότα κινδύνου οδηγούν σε μια από τις δύο απώλειες, χρηματικές ή χρονοπρογραμματισμού. Επομένως, με τη συνάρτηση κόστους πρόληψης (εξίσωση

2.2) και δύο συναρτήσεις κόστους προσαρμογής, (2.5) και (2.7), παράγονται δύο TC συναρτήσεις ως εξής:

$$TC_1 = k \ln \left( \frac{P_1 - \omega}{P_2 - \omega} \right) + r(L_1 - L_2) \quad (2.6)$$

$$TC_2 = k \ln \left( \frac{P_1 - \omega}{P_2 - \omega} \right) + \frac{s}{\beta} (e^{-\beta L_2} - e^{-\beta L_1}) \quad (2.7)$$

Αυτές οι δύο συναρτήσεις κόστους έπειτα χρησιμοποιούνται για να εκτελέσουν μια ανάλυση βελτιστοποίησης για να προσδιορίσουν το βέλτιστο επίπεδο  $P_2$  και την ελάχιστου κόστους διαχειριζόμενη στρατηγική δεδομένων των συγκεκριμένων καταστάσεων κινδύνου ( $\omega$ ), των χαρακτηριστικών του έργου, του κόστους διαχείρισης ( $k, r, s, \beta$ ), και του επιθυμητού επιπέδου κινδύνου ( $R_2$ ).

#### 2.4. Ανάλυση Βελτιστοποίησης.

Ο αρχικός σκοπός είναι να προσδιοριστεί μια βέλτιστη στρατηγική για να μειώσει τον κίνδυνο από το τωρινό επίπεδο  $R_1$  σε ένα αποδεκτό  $R_2$  με το ελάχιστο κόστος όπως υποδεικνύεται από το ακόλουθο μοντέλο:

$$\text{Min } TC(P_2, L_2)$$

υ.π

$$P_2 \times L_2 = R_2$$

Ορίζεται  $p = P_2$ ,  $l = L_2$ ,  $m = R_2/R_1$  με  $0 \leq m \leq 1$ . Το ανωτέρω πρότυπο μπορεί να ξαναγραφεί ως:

$$\text{Min } TC(p, l)$$

υ.π

$$pl = mR_1$$

$$0 \leq p \leq P_1, 0 \leq l \leq L_1, 0 \leq m \leq 1$$

Αφού  $l = mR_1/p$ ,  $TC(p, L) = TC(p, mR_1/p)$ . Επομένως, το TC μπορεί να θεωρηθεί ως συνάρτηση του  $p$  και  $mP_1 \leq p \leq P_1$ . Από μαθηματική άποψη, μπορούμε να πάρουμε πρώτη και δεύτερη παράγωγο του TC ( $p, mR_2/p$ ) για να βρεθεί το βέλτιστο αποδεκτό επίπεδο  $p^*$  κινδύνου που θα ελαχιστοποιούσε το κόστος διαχείρισης του γεγονότος στη περιορισμένη περιοχή  $[mP_1, P_1]$ . Να σημειωθεί ότι το  $p^*$  είναι συνδεδεμένο με το βέλτιστο συνδυασμό παραμέτρων ( $\omega, r$  (ή  $s$ ),  $\beta$  και  $k$ ) που θα παρείχε το χαμηλότερο κόστος για να φθάσει στο  $R_2$ . Όπως διευκρινίζεται στη **Σχήμα 2.1.**, μπορούμε να ταξινομήσουμε τις διάφορες στρατηγικές χειρισμού του κινδύνου σε τρεις κατηγορίες:

- (1) πρόληψη κινδύνου (YC), όπου  $p^* \sim mP_1$ .
- (2) προσαρμογή κινδύνου (YA), όπου  $p^* \sim P_1$ .
- (3) μικτή στρατηγική (YB), όπου  $mP_1 < p^* < P_1$ .

Η διαδικασία και το αποτέλεσμα της βελτιστοποίησης κόστους για τις δύο συναρτήσεις κόστους (2.6) και (2.7) παρουσιάζεται στο παράρτημα Α. Ο **Πίνακας 2.1** συνοψίζει τα συμπεράσματα της ανάλυσης. Εν ολίγοις, οι τιμές του  $\omega$  και  $rR_2/k$  (ή  $sR_2/k$  στην περίπτωση  $TC_2$ ) καθορίζουν τη βέλτιστη τιμή  $p$  ( $p^*$ ). Μια υψηλή τιμή  $rR_2/k$  υπονοεί υψηλό κόστος ευκαιρίας (μεγάλο  $r$ ), μεγάλη κλίμακα του έργου ( $R_2$ ), ή χαμηλό κόστος πρόληψης (μικρό  $k$ ). Όταν το  $rR_2/k$  είναι μεγάλο, το  $p^*$  πλησιάζει το χαμηλότερο όριο στη περιοχή λύσης  $mP_1$ , που υπονοεί την επιλογή μιας στρατηγικής πρόληψης. Από την άλλη, όταν  $rR_2/k$  είναι μικρό, το  $p^*$  πλησιάζει το ανώτερο όριο στη περιοχή λύσης,  $P_1$ , ή το  $p^*=P_1$ , τα οποία υπονοούν την επιλογή μιας στρατηγικής προσαρμογής. Εν τούτοις, η επίδραση  $rR_2/k$  στη θέση  $p^*$  επηρεάζεται επίσης από την αξία του  $\omega$ . Όταν το  $\omega$  είναι εξαιρετικά μεγάλο (εξαιρετικά χαμηλή ελεγχιμότητα), το  $p^*$  είναι ίσο με πάντα  $P_1$  ανεξάρτητα από την αξία  $rR_2/k$ .

Καθώς το  $\omega$  μειώνεται, οι μετατοπίσεις του  $p^*$  από το ανώτερο όριο ( $P_1$ ) φτάνουν στη μέση της περιοχής ( $mP_1 < p^* < P_1$ ) και τελικά καταλήγουν στο χαμηλότερο όριο ( $mP_1$ ). Τέτοια μετακίνηση του  $p^*$  καταλήγει σε μια μικτή προσαρμογή και έπειτα σε μια στρατηγική πρόληψης. Αυτό το αποτέλεσμα είναι σύμφωνο με τις προηγούμενες παρατηρήσεις που παρουσιάζονται στον **Πίνακα 2.1**. Όταν το  $\omega$  δεν είναι εξαιρετικά μεγάλο, το  $rR_2/k$  έχει μεγαλύτερο αντίκτυπο στην αξία  $p^*$ . Ένα μεγάλο  $rR_2/k$  ωθεί το  $p^*$  προς  $mP_1$  (πρόληψη), ενώ ένα μικρό  $rR_2/k$  κινεί το  $p^*$  προς το  $P_1$  (προσαρμογή). Το υπόλοιπο του κεφαλαίου αναφέρει τις επιπτώσεις του αποτελέσματος του  $\omega$  και του  $rR_2/k$  στο  $p^*$ , ή την επιλογή της στρατηγικής χειρισμού του κινδύνου ενός έργου.

**Πίνακας 2.1.: Αποτελέσματα της βέλτιστης ανάλυσης (Fan, Lin & Sheu 2008).**

Αποτελέσματα συνάρτησης κόστους			
TC1 (χρηματικό)		TC2 (χρονική καθυστέρηση)	
1. $rR_2/k \leq 4\omega$	2. $rR_2/k > 4\omega$		
Η βέλτιστη λύση εντοπίζεται στο δεξί άκρο $[mP_1, P_1]$ , ή $P_1$ , τα οποία υπονοούν την επιλογή μιας στρατηγικής προσαρμογής κινδύνου.	Όταν το $\omega$ είναι εξαιρετικά μεγάλο (εξαιρετικά - χαμηλή ελεγχιμότητα), $p^* = P_1$ ανεξάρτητα από την αξία $rR_2/k$ , δηλ., επιλέγεται στρατηγική προσαρμογής	1. Όταν το $\beta$ πλησιάζει 0, $TC2 \sim TC1$ .	2. Όταν το $\beta$ είναι μεγαλύτερο από μια οριακή τιμή, το $p^*$ προσεγγίζει το ανώτερο όριο του $P_1$ .
	Δεδομένου ότι το $\omega$ μειώνεται, το $p^*$ μπορεί να βρεθεί μεταξύ $mP_1$ και $P_1$ αλλά όχι στα δύο άκρα, το οποίο υπονοεί μια μικτή στρατηγική. Καθώς το $\omega$ μειώνεται ακόμα (αυξήσεις ελεγχιμότητας), το $rR_2/k$ αρχίζει να ασκεί περισσότερη επίδραση στην τιμή $p^*$ . Ένα μεγάλο $rR_2/k$ κινεί το $p^*$ προς $mP_1$ (πρόληψη), και ένα μικρό $rR_2/k$ ωθεί το $p^*$ προς $P_1$ (προσαρμογή).		

#### 2.4.1. Η αξία της ελεγχιμότητας (1- $\omega$ ).

Όταν το  $\omega$  (το επίπεδο αβεβαιότητας) έχει μια μεγάλη τιμή (δηλαδή, το 1- $\omega$  είναι μικρό και ο βαθμός ελεγχιμότητας είναι χαμηλός), η επίδρασή του στην επιλογή της στρατηγικής χειρισμού του κινδύνου εξαρτάται και μεταξύ άλλων παραμέτρων ( $r$ ,  $s$ ,  $k$ ,  $R_2$ ). Παράδειγμα, είναι απίθανο ότι οι διευθυντές είναι σε θέση να κάνουν κάτι για να μειώσουν την πιθανότητα εμφάνισης περιστατικών ανωτέρας βίας. Επομένως, η πιθανή στρατηγική που εφαρμόζεται είναι η προσαρμογή κινδύνου για να μειώσει τον αρνητικό αντίκτυπο των γεγονότων κινδύνου. Καθώς το  $\omega$  αρχίζει να μειώνεται (αυξήσεις ελεγχιμότητας), η πρόληψη ή ένας συνδυασμός των δύο στρατηγικών γίνεται πιθανότερος. Διάφορα χαρακτηριστικά του έργου ( $rR_2/k$  ή  $sR_2/k$ ) αξιολογούνται για να καθορίσουν την ελαχίστου κόστους στρατηγική χειρισμού του κινδύνου.

#### 2.4.2. Η τιμή του $rR_2/k$ (ή $sR_2/k$ ).

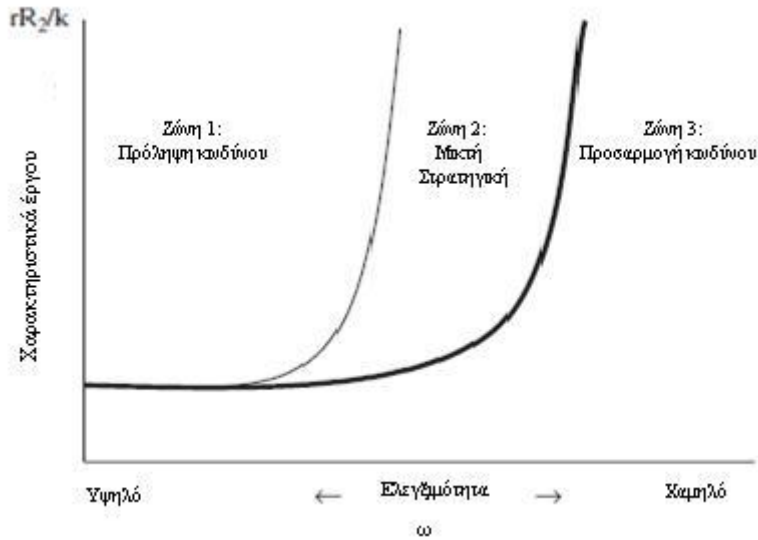
Να σημειωθεί ότι ο όρος  $rR_2/k$  (ή  $sR_2/k$ ) αντιπροσωπεύει τα χαρακτηριστικά του έργου με όρους μεγέθους και οικονομικών, καθώς και καταστάσεις (περιθωρίου) στο έργο. Καταρχάς, το  $k$  είναι το μοναδιαίο κόστος μείωσης της πιθανότητας εμφάνισης ενός γεγονότος κινδύνου, το οποίο υποκαθιστά τη δυσκολία μείωσης των



κινδύνων με τη λήψη πρόσθετων πληροφοριών ή την πολυπλοκότητα για να ξεπεραστούν τεχνικά εμπόδια. Μεγάλη τιμή του  $k$  δείχνει υψηλότερο κόστος πρόληψης κινδύνου, το οποίο ενθαρρύνει την επιλογή μιας στρατηγικής προσαρμογής κινδύνου. Στη συνέχεια, το  $r$  (ή το  $s$ ) αντιπροσωπεύουν το κόστος που δημιουργεί ένα χρηματικό (ή χρονικό) παραπέτασμα για την αβεβαιότητα κινδύνου. Μια μικρή τιμή του  $r$  ή του  $s$  είναι ίση με ένα χαμηλό κόστος προσαρμογής. Τέλος, το  $R_2$  αναπαριστά την αποδεκτή αναμενόμενη απώλεια από αυτούς που θα λάβουν αποφάσεις. Οι διευθυντές που αποδέχονται κινδύνους μπορεί να θέσουν ένα σχετικό υψηλό επίπεδο  $R_2$ , ενώ αυτοί που αποστρέφονται τον κίνδυνο θα διαλέξουν ένα χαμηλότερο επίπεδο  $R_2$ .

Συνολικά, μια υψηλή τιμή  $rR_2/k$  υπονοεί ένα σχετικά υψηλό κόστος προσαρμογής και μια προτίμηση σε στρατηγική πρόληψης. Όταν υπάρχει υψηλό κόστος συμπίεσης (μεγάλο  $s$ ), υψηλό κόστος ευκαιρίας (μεγάλο  $r$ ), μια μεγάλη κλίμακα έργου ( $R_2$ ), ή ένα χαμηλό κόστος πρόληψης (μικρό  $k$ ), το  $rR_2/k$  είναι μεγάλο και η πρόληψη κινδύνου είναι η πιο οικονομική επιλογή. Αντίθετα, μια στρατηγική προσαρμογής κινδύνου συνδέεται το χαμηλό κόστος συμπίεσης, το χαμηλό κόστος ευκαιρίας, τη μικρή κλίμακα έργου και το υψηλό κόστος πρόληψης. Το *Σχήμα 2.4* επιδεικνύει το γενικό σχέδιο των αποφάσεων χειρισμού κινδύνου όσον αφορά τις τιμές του  $rR_2/k$  και του  $\omega$ . Μια στρατηγική πρόληψης του κινδύνου επιλέγεται (ζώνη 1) με μεγάλες τιμές  $rR_2/k$  και για μικρές τιμές του  $\omega$ , το οποίο αναπαριστά έναν συνδυασμό υψηλής ελεγχιμότητας, υψηλό κόστος συμπίεσης (μεγάλο  $s$ ), υψηλό κόστος ευκαιρίας (μεγάλο  $r$ ), μεγάλη κλίμακα προγραμματισμού ( $R_2$ ), ή χαμηλό κόστος πρόληψης (μικρό  $k$ ). Εάν η ελεγχιμότητα είναι χαμηλή, το κόστος πρόληψης είναι πολύ υψηλό, τα κόστη συμπίεσης και τα κόστη ευκαιρίας είναι χαμηλά (ζώνη 3), επιλέγεται μια στρατηγική προσαρμογής κινδύνου. Επιπλέον, όταν το επίπεδο ελεγχιμότητας είναι εξαιρετικά χαμηλό, το αποτέλεσμα των χαρακτηριστικών του έργου γίνεται λιγότερο σημαντικό και προτιμάται πάντα μια στρατηγική προσαρμογής των κινδύνων.

Το αποτέλεσμα της ανάλυσης βελτιστοποίησης  $TC_2$  επίσης δείχνουν ότι μια στρατηγική προσαρμογής είναι προτιμητέα όταν υπάρχει διαθέσιμο ένα υψηλό επίπεδο περιθωρίου.



**Σχήμα 2.4.:** Επιλογή της στρατηγικής διαχείρισης κινδύνου (οι ζώνες μπορούν να καθοριστούν χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις στο παράρτημα) (Fan, Lin & Sheu 2008).

## 2.5. Παράρτημα.

### Ανάλυση Βελτιστοποίησης για το $TC_1$

Αντικατάσταση με  $l=R_2/p$  στην εξίσωση 2.6 και  $TC_1 = k \ln\left(\frac{P_1-\omega}{P_2-\omega}\right) + r(L_1 - L_2)$

Για να ελαχιστοποιήσουμε το επίπεδο του  $TC_1$  μέσα στη κλειστή περιοχή  $[mP_1, P_1]$  μπορούμε να πάρουμε την παράγωγο  $TC_1$  όσον αφορά το  $p$ .

$$dTC_1 = \frac{-k}{p-\omega} + \frac{rR_2}{p^2} = \frac{-kp^2 + rR_2p - rR_2\omega}{p^2(p-\omega)}$$

Ο καθορισμένος συντελεστής  $-kp^2 + rR_2p - rR_2\omega$  είναι  $rR_2 - 4k\omega$ . Λαμβάνοντας υπόψη την τιμή  $rR_2 - 4k\omega$ , το  $TC_1$  μπορεί να λυθεί :

- $rR_2 - 4k\omega \leq 0$  και  $dTC_1 \leq 0$ . Το  $TC_1$ , επομένως, μειώνεται, και το  $p^*$  είναι ίσο με το ανώτερο όριο  $[mP_1, P_1]$ , ή  $P_1$ .
- $rR_2 - 4k\omega > 0 \rightarrow$  Λύνοντας, το  $dTC_1$  προκύπτει  $p^* = rR_2 \pm \sqrt{rR_2(rR_2 - 4k\omega)}/2k$

Αφού  $d^2 TC_1(p^{*1}) \leq 0$  και  $d^2 TC_1(p^{*2}) \geq 0$ , το  $TC_1$  είναι κυρτό στο  $p^{*1}$  και κοίλο  $p^{*2}$ . Από μαθηματική άποψη, το ελάχιστο επίπεδο του  $TC_1$  καθορίζεται από τις σχέσεις μεταξύ  $p^{*1}$ ,  $p^{*2}$ ,  $mP_1$ , και  $P_1$ . Υπάρχουν 6 πιθανές υποθέσεις :

$$p^{*1} \geq P_1$$

$$mP_1 < \cap p^{*1} < P_1 \leq p^{*2}$$

$$\begin{aligned} mP_1 &< p^{*1} < p^{*2} \leq P_1 \\ p^{*1} &< mP_1 < P_1 \leq p^{*2} \\ p^{*1} &< mP_1 < p^{*2} \leq P_1 \\ p^{*1} &< p^{*2} < mP_1 \leq P_1 \end{aligned}$$

Το **Σχήμα 2.5**, επιδεικνύει τη θέση της βέλτιστης λύσης σε αυτές τις έξι πιθανές περιπτώσεις. Σε κάθε περίπτωση, η βέλτιστη λύση ή το χαμηλότερο  $TC_1$  επίπεδο βρίσκεται μεταξύ των ορίων  $p^{*1}=P_1$  και  $p^{*1}=mP_1$ . (Σημειώστε ότι  $p^{*1} \leq p^{*2}$ ) Δεδομένου ότι αυτή η μελέτη ενδιαφέρεται για την έρευνα της επίδρασης των χαρακτηριστικών προγράμματος (που καθορίζονται από το  $r$  (ή το  $s$ ),  $R_2$  και  $k$ ), το  $P_1$  και  $mP_1$  ρυθμίζεται εκ νέου ως εξής:

$$p^{*1} = \frac{rR_2 - \sqrt{rR_2(rR_2 - 4k\omega)}}{2k} = P_1 \rightarrow \frac{rR_2}{k} = \frac{P_1^2}{P_1 - \omega} \quad A(1)$$

$$p^{*1} = \frac{rR_2 - \sqrt{rR_2(rR_2 - 4k\omega)}}{2k} = mP_1 \rightarrow \frac{rR_2}{k} = \frac{m^2 P_1^2}{m(P_1 - \omega)} \quad A(2)$$

Από τη χρησιμοποίηση των εξισώσεων ( $A_1$ ) και ( $A_2$ ), μπορούμε να παραγάγουμε διάφορους συνδυασμούς του  $rR_2/k$  και του  $\omega$ , λαμβάνοντας υπόψη μια συγκεκριμένη τιμή  $P_1$ . Συνεπώς, μπορεί να αναπτυχθεί η στρατηγική της επιλογής του χειρισμού του κινδύνου όπως επιδεικνύεται στο **Σχήμα 2.4**, όπου το  $rR_2/k$  και το  $\omega$  απεικονίζονται στον κάθετο και οριζόντιο άξονα, αντίστοιχα.

### **Βελτιστοποίηση του $TC_2$**

Αντικατάσταση με  $l=R_2/p$  στην εξίσωση 2.7 και

$$TC_2 = k \ln \left( \frac{P_1 - \omega}{P_2 - \omega} \right) + \frac{s}{\beta} (e^{-\beta R_2/p} - e^{-\beta L_1})$$

$$dTC_2 = \frac{-k}{p - \omega} + \frac{sR_2}{p^2} e^{-\beta R_2/p}$$

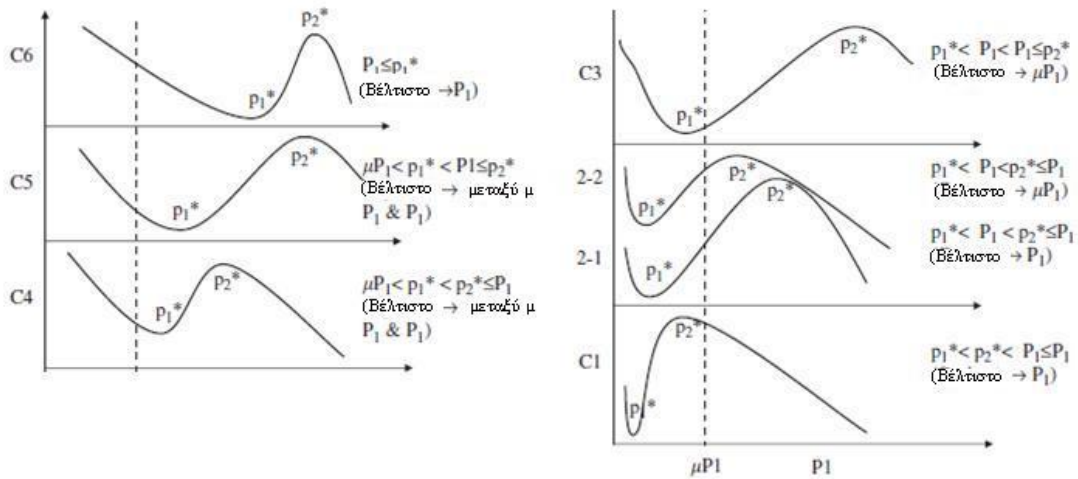
Μπορούν να προσομοιωθούν οι τιμές των παραμέτρων  $TC_2$  και να εξαχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα.

1. Όταν  $\beta \sim 0$ ,  $TC_2 = \lim_{\beta \rightarrow 0} \left\{ k \ln \left( \frac{P_1 - \omega}{P_2 - \omega} \right) + \frac{s}{\beta} (e^{-\beta R_2/p} - e^{-\beta L_1}) \right\} = k \ln \left( \frac{P_1 - \omega}{P_2 - \omega} \right) + \lim_{\beta \rightarrow 0} \left\{ \frac{s}{\beta} \left( e^{-\frac{\beta R_2}{p}} - e^{-\beta L_1} \right) \right\}$

Αφού  $\lim_{\beta \rightarrow 0} \left[ \frac{s}{\beta} \left( e^{-\frac{\beta R_2}{p}} - e^{-\beta L_1} \right) \right] = s \left( L_1 - \frac{R_2}{p} \right)$ ,  $TC_2 = k \ln \left( \frac{P_1 - \omega}{P_2 - \omega} \right) + s \left( L_1 - \frac{R_2}{p} \right)$

Εκτός από την αντικατάσταση του  $r$  από το  $s$ , αυτή η συνάρτηση κόστους είναι ίδια με το  $TC_1$  του παραρτήματος. Επομένως, το αποτέλεσμα της βέλτιστης ανάλυσης για το  $TC_2$  θα είναι το ίδιο με του  $TC_1$ .

- Όταν  $\beta > 0$ , οι βέλτιστες τιμές προσεγγίζουν το  $P_1$ . Η επίπτωση είναι ότι η στρατηγική προσαρμογής προτιμάται όταν υπάρχει διαθέσιμο ένα υψηλό επίπεδο περιθωρίου.



Εικόνα 2.5.: Έξι πιθανές θέσεις της βέλτιστης λύσης  $TC_1$  (Fan, Lin & Sheu 2008).

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Miao Fan, Neng-Pai Lin, Chwen Sheu, Choosing a project risk-handling strategy: An analytical model, *International Journal of Production Economics* 112, 700–713, 2008.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

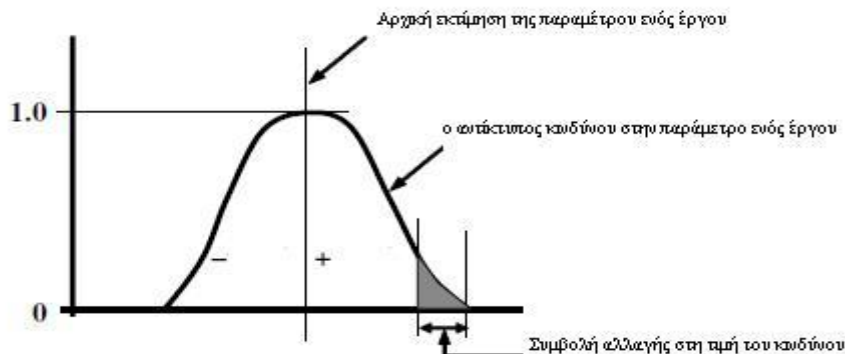
### ΜΙΑ ΑΣΑΦΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΣΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΝΟΣ ΕΡΓΟΥ.

#### Εισαγωγή.

Οι κίνδυνοι είναι τα αβέβαια αποτελέσματα ή οι συνέπειες των δραστηριοτήτων ή των αποφάσεων όταν είναι διαχειρίσιμες. Η αναγνώριση των πηγών και των εκτιμήσεων κινδύνου είναι μια απαραίτητη λειτουργία της Διοίκησης κινδύνου. Ενώ πολλές σημαντικές αποφάσεις γίνονται νωρίς στον κύκλο ζωής του έργου, ο ρεαλισμός των εκτιμήσεων κινδύνου αυξάνουν καθώς προχωρούν οι εργασίες. Παρόλες τις δυσκολίες που συνδέονται με την αναγνώριση των πηγών και των εκτιμήσεων του κινδύνου, απαιτείται να αναγνωριστούν όσο το δυνατόν νωρίτερα. Η επίδραση του κινδύνου σε κάποιες από τις παραμέτρους του κινδύνου (όπως το κέρδος και ο χρόνος) μοντελοποιείται πάντα με μια συνάρτηση κατανομής πιθανότητας, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, που αναπαριστά την τιμή του κινδύνου και την πιθανότητα του να εμφανιστεί όπως στο *Σχήμα 3.1*. Η κατανομή πιθανότητας του κινδύνου παράγεται από αθροιστικές επιδράσεις των πηγών κινδύνου. Το *Σχήμα 3.1* απεικονίζει επίσης πως οι αλλαγές συμβάλουν στην κατανομή πιθανότητας του κινδύνου. Το προτεινόμενο μοντέλο θα βοηθήσει στον καθορισμό αυτού του μέρους του κινδύνου, βασιζόμενο στις διαθέσιμες πληροφορίες στα πρώιμα στάδια του έργου. Οι πηγές στην κατασκευή περιλαμβάνουν τις αβεβαιότητες που συνδέονται με την ασαφή και ανακριβή γνώση πολλών πληροφοριών στα πρώιμα στάδια<sup>30</sup>.

---

<sup>30</sup> Ibrahim A. Motawa, Chimay J. Anumba, Ashraf El-Hamalawi, A fuzzy system for evaluating the risk of change in construction projects, *Advances in Engineering Software* 37, 583-591, 2006.



**Σχήμα 3.1.:** Συνάρτηση κατανομής πιθανότητας για τον αντίκτυπο (επίδραση) κινδύνου σε μια παράμετρο ενός έργου (παράδειγμα Motawa, Anumba, El-Hamalawi 2006).

### 3.1. Ανάλυση μοντέλου κινδύνου.

Η διαδικασία αναλυτικής ιεραρχίας (AHP) που αναπτύχθηκε από τον Saaty παρέχει ένα ευέλικτο και εύκολα κατανοητό τρόπο για την ανάλυση κινδύνων σε ένα έργο. Είναι μια μεθοδολογία πολυκριτήριας λήψης αποφάσεων που επιτρέπει υποκειμενικότητα όπως επίσης και αντικειμενικούς παράγοντες στη μελέτη της ανάλυσης κινδύνου. Η AHP επιτρέπει την ενεργό συμμετοχή των ιθυνόντων (decision makers) στην επίτευξη μιας συμφωνίας και δίνει στους managers μια ορθολογική βάση προς ποια πλευρά πρέπει να κινηθούν για να λάβουν αποφάσεις.

Επιπλέον, η αυστηρότητα των χαρακτηριστικών του κινδύνου μέσα σε ένα έργο ποικίλλει από δραστηριότητα σε δραστηριότητα. Μερικές δραστηριότητες είναι πιο ευαίσθητες σε έναν συγκεκριμένο κίνδυνο από άλλες. Επομένως, στην ανάλυση κινδύνου ενός έργου, πρέπει αρχικά να καθοριστεί το επίπεδο της δραστηριότητας για το οποίο οι κίνδυνοι πρόκειται να αναλυθούν. Η AHP έχει εφαρμοστεί στην ανάλυση κινδύνου από τους Mustafa και Al-Baha για την εκτίμηση του κινδύνου σε ένα κατασκευαστικό έργο από την προοπτική της αξιολόγησης. Τα παρακάτω είναι τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν στη διατύπωση ενός μοντέλου ανάλυσης κινδύνου:

**Βήμα 1:** Το πλαίσιο του συνολικού έργου είναι ταξινομημένο μέσω της δομής ανάλυσης εργασίας (WBS). Ολόκληρο το έργο ταξινομείται σε πακέτα διαχείρισης εργασίας σύμφωνα με τις ομοιότητες των δραστηριοτήτων. Η ανάλυση κινδύνου εξετάζεται χωριστά για τα διάφορα πακέτα εργασίας.

**Βήμα 2:** Αυτό το βήμα αποτελείται από τον προσδιορισμό των παραγόντων και υπό-παραγόντων κινδύνου για τα συγκεκριμένα πακέτα εργασίας και αναπτύσσεται η ιεραρχική δομή του κινδύνου για τα σχετικά πακέτα. Διάφορες τεχνικές, που

κυμαίνονται από απλές συνεντεύξεις που βασίζονται στη εμπειρία του αναλυτή μέχρι την εφαρμογή της μεθόδου DELPHI, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό των παραγόντων και υπό- παραγόντων του κινδύνου.

**Βήμα 3:** Τα σχετικά βάρη των διάφορων παραγόντων κινδύνου και υπό-παραγόντων καθορίζονται από τη ζευγαρωτή σύγκριση σύμφωνα με την αυστηρότητα του κινδύνου. Αυτό δημιουργεί μια λεπτομερή ανάλυση της ταξινόμησης των παραγόντων και υπό- παραγόντων για το υπό εξέταση πακέτο εργασίας όσον αφορά την αυστηρότητα του κινδύνου.

**Βήμα 4:** Το επίπεδο πιθανότητας κάθε υπό-παραγόντα καθορίζεται ως υψηλού, μέσου και χαμηλού κινδύνου.

**Βήμα 5:** Οι πιθανότητες των επιπέδων του κινδύνου συνθέτονται και καθορίζονται. Σε αυτό το βήμα, οι πιθανότητες υψηλού, μέσου και χαμηλού συνολικού κινδύνου καθορίζονται αθροίζοντας τα σχετικά βάρη μέσω της ιεραρχίας.

**Βήμα 6:** Μια ανάλυση ευαισθησίας πραγματοποιείται. Το αποτέλεσμα της παραπάνω ανάλυσης είναι υψηλά εξαρτώμενο από την ιεραρχία που αναπτύχθηκε από τη Διοίκηση και τις αντίστοιχες κρίσεις για τα διάφορα στοιχεία του προβλήματος. Αλλαγές στην ιεραρχία ή τις κρίσεις μπορεί να οδηγήσουν σε αλλαγές του αποτελέσματος. Η επίδραση τη αλλαγής μπορεί να εξεταστεί μέσω της ανάλυσης ευαισθησίας με τη χρήση υπολογιστών.

**Βήμα 7:** Στο βήμα αυτό ο συνολικός κίνδυνος των πακέτων εργασίας καθορίζεται. Οι πιθανότητες των επιπέδων κινδύνου και τα βάρη των διαφορετικών επιπέδων κινδύνου συνδυάζονται προκειμένου να καθορίσουν τους συνολικούς κινδύνους του πακέτου εργασίας.

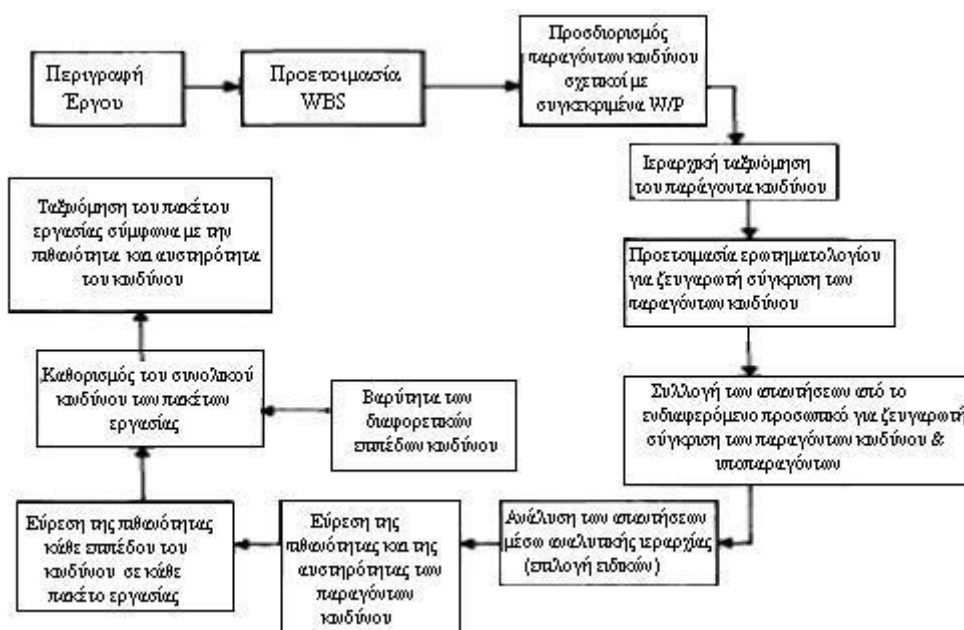
**Βήμα 8:** Τα πακέτα εργασίας ταξινομούνται σύμφωνα με την πιθανότητα και την αυστηρότητα του κινδύνου. Τα αποτελέσματα από τον προσδιορισμό των συνολικών κινδύνων των πακέτων εργασίας χρησιμοποιούνται για να ταξινομήσουν τα πακέτα εργασίας όσον αφορά τους κινδύνους τους<sup>31</sup>.

Το *Σχήμα 3.2*, παρουσιάζει τη διαδικασία της ανάλυσης χρησιμοποιώντας την AHP.

---

<sup>31</sup> Prasanta Dey, Mario T. Tabucanon and Stephen O. Ogunlana, Risk management, Planning for project control through risk analysis: a petroleum pipeline-laying project, International Journal of Project Management 12 (1), 23-33, 1994.





Σχήμα 3.2.: Ανάλυση κινδύνου χρησιμοποιώντας τη μέθοδο AHP (Dey, Tabucanon & Ogunlana 1994).

### 3.2. Ασαφής διαδικασία εκτίμησης κινδύνου.

Πρόσφατα, πολλές προσεγγίσεις αξιολόγησης του κινδύνου ήταν με βάση τη χρησιμοποίηση γλωσσικών αξιολογήσεων αντί αριθμητικών τιμών. Χρησιμοποιώντας την θεωρία ασαφών συνόλων (Zadeh, 1965), τα στοιχεία μπορούν να καθοριστούν με ασαφείς, γλωσσικούς όρους όπως χαμηλή πιθανότητα, σοβαρός αντίκτυπος, ή υψηλός κίνδυνος. Αυτοί οι όροι δεν μπορούν να καθοριστούν με ακριβείς ενιαίες τιμές, αλλά η θεωρία ασαφών συνόλων παρέχει τα μέσα με τα οποία αυτοί οι όροι μπορούν να καθοριστούν τυπικά στη μαθηματική λογική.

Οι περιγραφές των κινδύνων και οι συνέπειές τους ορίζονται χρησιμοποιώντας τις γλωσσικές μεταβλητές και τη σχέση μεταξύ της πιθανότητας του εμφάνισης (L), την αυστηρότητα (V) και την επίδραση ενός παράγοντα κινδύνου (E), ο οποίος αντιπροσωπεύεται από κανόνες όπως «εάν L και V τότε E»<sup>32</sup>. Ο Zeng (2007) προτείνει μια αξιολόγηση του κινδύνου με ένα μοντέλο βασισμένο στην ασαφή λογική και την προσέγγιση AHP. Μια τροποποιημένη διαδικασία αναλυτικής ιεραρχίας χρησιμοποιείται στη δομή η οποία δίνει προτεραιότητα στους κινδύνους θεωρώντας τρεις θεμελιώδεις παραμέτρους κινδύνου: πιθανότητα κινδύνου (RL), αυστηρότητα κινδύνου (RS) και δείκτης παράγοντα (FI), και οι οποίες ορίζονται με

<sup>32</sup> V.Carr, J.H.M. Tah, A fuzzy approach to construction project risk assessment and analysis: construction project risk management system, Advances in Engineering Software 32,847-857, 2001.

γλωσσικές μεταβλητές που μετασχηματίζονται σε τραπεζοειδείς ασαφείς αριθμούς. Οι σχέσεις μεταξύ των παραμέτρων εισόδου FI, RL και RS και το αποτέλεσμα τους που ονομάζεται μέγεθος κινδύνου (RM) παρουσιάζεται με μορφή κανόνων «εάν...τότε». Μόλις προσδιοριστούν και διαμορφωθούν οι κίνδυνοι χρησιμοποιώντας τα διαγράμματα επιρροής, αξιολογούνται από γλωσσικούς όρους<sup>33</sup>.

Βασιζόμενοι στην κρίση των ειδικών, οι συντελεστές βαρύτητας του κινδύνου και οι παράγοντες κινδύνου αποκτώνται με τη βοήθεια τεχνικών AHP και τους ασαφείς πίνακες αξιολόγησης των παραγόντων κινδύνου. Τότε το σύνολο των συντελεστών βαρύτητας και οι ασαφείς πίνακες αξιολόγησης παράγουν τα διανύσματα αξιολόγησης των επικίνδυνων συνθηκών των κατασκευαστικών έργων. Μπορεί να βεβαιωθεί ότι όλες οι προτεινόμενες ασαφείς μέθοδοι αξιολόγησης του κινδύνου έχουν μια κοινή διαδικασία (Lyons & Skitmore 2004):

1. Καθορισμός και μέτρηση των παραμέτρων: Οι θεμελιώδεις παράμετροι, που συνδέουν τους κινδύνους με ένα έργο είναι η αξιολόγηση, η πιθανότητα του κινδύνου και η αυστηρότητα του κινδύνου, αν και άλλες παράμετροι μπορούν να οριστούν. Η μέτρηση αυτών των παραμέτρων είναι συχνά δύσκολη λόγω της μεγάλης σχετικής αβεβαιότητας. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η μέτρηση κάθε παραμέτρου δίνεται μέσω ασαφών στοιχείων ή γλωσσικών όρων και μετατρέπονται στον αντίστοιχο ασαφή αριθμό τους.
2. Καθορισμός ασαφούς συμπεράσματος: Οι σχέσεις μεταξύ των παραμέτρων εισαγωγής και των παραμέτρων του αποτελέσματος μπορούν να οριστούν με μορφή κανόνων «εάν...τότε» ή με μορφή μαθηματικής συνάρτησης που καθορίζεται από μια ασαφή αριθμητική διαδικασία.
3. Αποασαφοποίηση: Δεδομένου ότι το αποτέλεσμα του συμπεράσματος της ασαφούς φάσης είναι ένας ασαφής αριθμός, αυτό το βήμα χρησιμοποιείται για να μετατρέψει το ασαφές αποτέλεσμα σε μια ακριβής αριθμητική τιμή που μπορεί επαρκώς να το αντιπροσωπεύσει.

Σε μερικές μεθοδολογίες αξιολόγησης του κινδύνου, μερικές κρίσεις γίνονται με τη βοήθεια ζευγαρωτών συγκρίσεων (Zeng 2007, Wang και Elhag 2007, Zhang και Zou 2007). Οι πληροφορίες προτίμησης των εναλλακτικών λύσεων παρουσιάζουν γενικά προβλήματα ασυνέπειας. Εδώ παρουσιάζεται ένα ασαφές μοντέλο αξιολόγησης του κινδύνου που η σημαντικότερη διαφορά με τις άλλες μεθόδους

---

<sup>33</sup> A. Nieto-Morote, F. Ruz-Vila, A fuzzy approach to construction project risk assessment, International Journal of Project Management, 2010.

αξιολόγησης του κινδύνου είναι η χρήση ενός αλγορίθμου για να χειριστεί τις ασυνέπειες στις ασαφείς σχέσεις προτίμησης όταν η ζευγαρωτή σύγκριση των κρίσεων είναι απαραίτητη<sup>34</sup>.

### 3.3. Θεωρία ασαφών συνόλων.

Η θεωρία ασαφών συνόλων που παρουσιάστηκε από Zadeh (1965) είναι κατάλληλη για την ανακρίβεια και την αβεβαιότητα που συνδέονται με τα δεδομένα στα προβλήματα αξιολόγησης του κινδύνου. Σε ένα γενικό σύνολο  $X$ , ένα ασαφές υποσύνολο  $A$  του  $X$  ορίζεται από μια συνάρτηση συμμετοχής  $\mu_A(x)$ , η οποία απεικονίζει κάθε στοιχείο  $x$  στο  $X$  σε έναν πραγματικό αριθμό στο διάστημα  $[0, 1]$ . Η τιμή της συνάρτησης του  $\mu_A(x)$ , δηλώνει το βαθμό συμμετοχής του  $x$  στο  $A$ . Όταν η  $\mu_A(x)$  είναι μεγάλη, ο βαθμός συμμετοχής του  $x$  στο  $A$  είναι ισχυρός (Kaufmann και Gupta, 1991). Μεταξύ διαφόρων τύπων ασαφών συνόλων, πρωταρχικής σημασίας είναι οι ασαφείς αριθμοί (Dubois και Prade 1978) που καθορίζονται σαν:

$A = \{x, \mu_A(x)\}$  όπου το  $x$  παίρνει έναν αριθμό στους πραγματικούς αριθμούς  $\mathbb{R}$  και η συνάρτηση συμμετοχής  $\mu_A: \mathbb{R} \rightarrow [0,1]$  έχει τις ακόλουθες ιδιότητες:

- Συνεχής απεικόνιση από το  $\mathbb{R}$  στο κλειστό διάστημα  $[0, 1]$ .
- Σταθερή  $(-\infty, a]$ :  $\mu_A(x)=0 \ \forall x \in (-\infty, a]$ .
- Γνησίως αύξουσα επάνω στο  $[a, b]$ .
- Σταθερή  $[b, c]$ :  $\mu_A(x)=1 \ \forall x \in [b, c]$ .
- Γνησίως φθίνουσα επάνω στο  $[c, d]$ .
- Σταθερή  $[d, \infty)$ :  $\mu_A(x)=0 \ \forall x \in [d, \infty)$ .

Όπου  $a, b, c$  και  $d$  είναι πραγματικοί αριθμοί και τελικά  $a = -\infty$ , ή  $b = c$ , ή  $a = b$ , ή  $c = d$  ή  $d = \infty$ . Για ευκολία,  $\mu_A^L$  ονομάζεται η αριστερή συνάρτηση συμμετοχής ενός ασαφούς αριθμού  $A$ , ορίζοντας  $\mu_A^L(x) = \mu_A(x)$  για όλα τα  $x \in [a, b]$ ,  $\mu_A^R$  ονομάζεται η δεξιά συνάρτηση συμμετοχής ενός ασαφούς αριθμού  $A$ , ορίζοντας  $\mu_A^R(x) = \mu_A(x)$  για όλα τα  $x \in [c, d]$ . Ένας τραπεζοειδής ασαφής αριθμός  $A$  είναι ένας ασαφής αριθμός ορισμένος ως  $A = (a, b, c, d)$  του οποίου η συνάρτηση συμμετοχής ορίζεται ως:

<sup>34</sup> A. Nieto-Morote, F. Ruz-Vila, A fuzzy approach to construction project risk assessment, International Journal of Project Management, 2010.

$$\mu_A(x) \begin{cases} 0 & \text{για } x < a \\ \mu_A^L(x) = \frac{x-a}{b-a} & \text{για } a \leq x \leq b \\ 1 & \text{για } b \leq x \leq c \\ \mu_A^R(x) = \frac{x-d}{c-d} & \text{για } c \leq x \leq d \\ 0 & \text{για } x > d \end{cases} \quad (3.1)$$

όπου  $a, b, c$  και  $d$  είναι πραγματικοί αριθμοί με  $a < b < c < d$ .

Από την αρχή της επέκτασης (Zadeh, 1965), οι ασαφείς αριθμητικές διαδικασίες οποιωνδήποτε δύο τραπεζοειδών ασαφών αριθμών ακολουθούν τους ακόλουθους κανόνες:

Ασαφής πρόσθεση:

$$A_1 \oplus A_2 = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2, d_1 + d_2) \quad (3.2)$$

Ασαφής αφαίρεση:

$$A_1 \ominus A_2 = (a_1 - d_2, b_1 - c_2, c_1 - b_2, d_1 - a_2) \quad (3.3)$$

Ασαφής πολλαπλασιασμός:

$$A_1 \otimes A_2 \approx (a_1 x a_2, b_1 x b_2, c_1 x c_2, d_1 x d_2) \quad (3.4)$$

Ασαφής διαίρεση:

$$A_1 \oslash A_2 \approx (a_1 / d_2, b_1 / c_2, c_1 / b_2, d_1 / a_2) \quad (3.5)$$

Η ασαφής πρόσθεση ή αφαίρεση οποιωνδήποτε δύο ασαφών τραπεζοειδών αριθμών είναι επίσης ένας τραπεζοειδής ασαφής αριθμός. Αλλά ο ασαφής πολλαπλασιασμός ή διαίρεση είναι μόνο κατά προσέγγιση ένας τραπεζοειδής ασαφής αριθμός. Ο βαθμωτός πολλαπλασιασμός ενός τραπεζοειδούς ασαφούς αριθμού είναι επίσης ένας τραπεζοειδής ασαφής αριθμός που ορίζεται ως:

$$k \times A = (kx a, kx b, kx c, kx d) \text{ εάν } k > 0 \quad (3.6)$$

$$k \times A = (kx d, kx c, kx b, kx a) \text{ εάν } k < 0$$

### 3.4. Οι αλγεβρικές διαδικασίες των ασαφών αριθμών βασισμένες σε μια έννοια $\alpha$ -περικοπών.

Οι  $\alpha$ -περικοπές ενός ασαφούς αριθμού  $A$  με μια  $\mu_A(x)$  συνάρτηση συμμετοχής ορίζεται ως το σαφές σύνολο που περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία του  $\mathbb{R}$  των οποίων οι συναρτήσεις συμμετοχής στο  $A$  είναι μεγαλύτερες ή ίσες σε σχέση με τη συγκεκριμένη τιμή του  $\alpha$ :

$$A^\alpha = \{x | \mu_A(x) \geq \alpha, 0 \leq \alpha \leq 1\} \quad (3.7)$$

Και δηλώνεται ως  $[A_l^a, A_r^a]$  δηλαδή  $A^a = [A_l^a, A_r^a]$ . Οι διαδικασίες πολλαπλασιασμού και διαίρεσης σε κλειστά διαστήματα, ενός  $A^a = [A_l^a, A_r^a]$  και  $B^a = [B_l^a, B_r^a]$  ορίζεται ως :

Πολλαπλασιασμός:

$$(A \times B)^a = [A_l^a \times B_l^a, A_r^a \times B_r^a] \quad (3.8)$$

Διαίρεση:

$$(A \div B)^a = [A_l^a / B_r^a, A_r^a / B_l^a] \quad (3.9)$$

Συμφώνα με την αρχή της επέκτασης (Zadeh, 1965), ένα αυθαίρετο ασαφές σύνολο A μπορεί πλήρως και μοναδικά να αντιπροσωπευθεί ως:

$$A = \cup_{a \in [0,1]} a_{-} A^a(x) \quad (3.10)$$

όπου το U δείχνει την τυποποιημένη ασαφής ένωση και το  $a_A^a$  δείχνει το πρόσθετο ασαφές σύνολο που η συνάρτηση συμμετοχής ορίζεται ως:

$$\mu_{a_{-} A^a} = \begin{cases} a & \text{για } x \in A^a \\ 0 & \text{για } x \notin A^a \end{cases} \quad (3.11)$$

Επομένως, οι διαδικασίες πολλαπλασιασμού και διαίρεσης οποιωνδήποτε δύο θετικών ασαφών αριθμών A και B, των οποίων οι α-περικοπές δείχνονται ως  $A^a = [A_l^a, A_r^a]$  και  $B^a = [B_l^a, B_r^a]$  αντίστοιχα, μπορεί να εκφραστούν ως:

Ασαφής πολλαπλασιασμός:

$$A \otimes B = \cup_{a \in [0,1]} a_{-} (A \times B)^a(x) \quad (3.12)$$

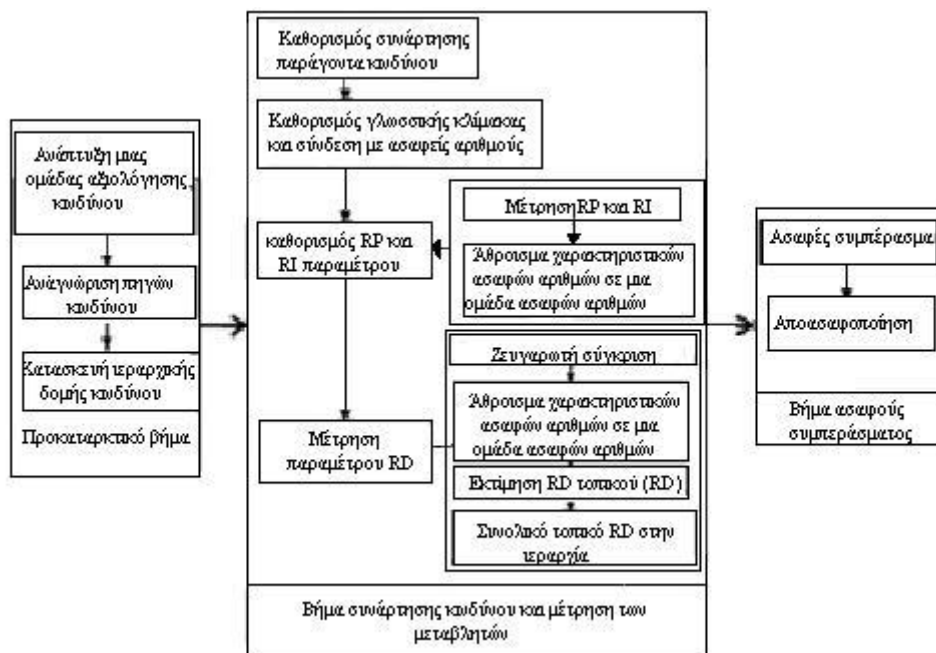
Ασαφής Διαίρεση:

$$A \oslash B = \cup_{a \in [0,1]} a_{-} (A / B)^a(x) \quad (3.13)$$

### 3.5. Προτεινόμενο μοντέλο αξιολόγησης του κινδύνου.

Ένα μοντέλο αξιολόγησης του κινδύνου, βασισμένο στην ασαφή λογική, προτείνεται όπως φαίνεται στο **Σχήμα 3.3.** Το μοντέλο αποτελείται από τρία βήματα: το προκαταρκτικό βήμα, το βήμα του καθορισμού της συνάρτησης του παράγοντα κινδύνου και μέτρησης των μεταβλητών και τέλος το βήμα ασαφούς συμπεράσματος<sup>35</sup>.

<sup>35</sup> A. Nieto-Morote, F. Ruz-Vila, A fuzzy approach to construction project risk assessment, International Journal of Project Management, 2010.



Σχήμα 3.3.: Αξιολόγηση ασαφούς μοντέλου (Nieto-Morote, Ruz-Vila 2010).

### 3.5.1. Προκαταρκτικό βήμα.

#### 3.5.1.1. Ανάπτυξη μιας ομάδας εκτίμησης κινδύνου.

Τα μέλη σε μια ομάδα αξιολόγησης κινδύνου πρέπει να επιλεχθούν προσεκτικά. Οι επιλεγμένοι εμπειρογνώμονες πρέπει να έχουν υψηλό βαθμό γνώσης και προηγούμενης εμπειρίας σε παρόμοια κατασκευαστικά έργα. Η ομάδα αξιολόγησης κινδύνου πρέπει να περιλάβει τους ειδικούς: διευθυντές έργου (Project Managers), μέλη της ομάδας έργου, πελάτες, εμπειρογνώμονες εκτός ομάδας έργου, ενδιαφερόμενους φορείς και την ομάδα διαχείρισης κινδύνων. Τα μέλη στην ομάδα αξιολόγησης του κινδύνου θα αναλάβουν τον προσδιορισμό των κινδύνων, ακόμα κι αν όλο το προσωπικό πρέπει να ενθαρρυνθεί για να προσδιορίσει τους κινδύνους. Επίσης, η ομάδα αξιολόγησης κινδύνου θα αναλάβει τη μέτρηση των παραμέτρων κινδύνου.

#### 3.5.1.2. Προσδιορισμός των πηγών κινδύνου.

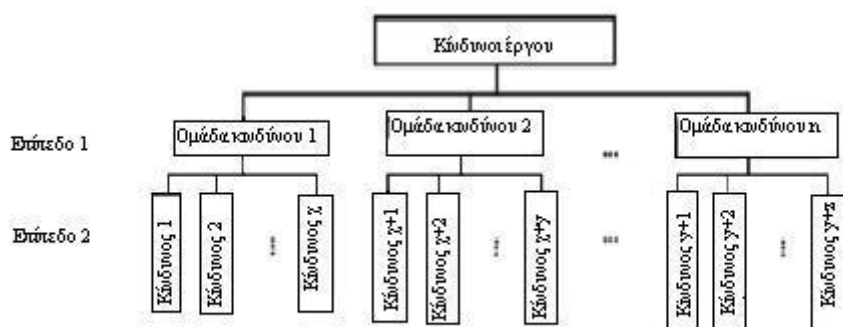
Ο προσδιορισμός του κινδύνου μελετά μια κατάσταση με σκοπό να προσδιοριστούν τυχόν λάθη στην ανάπτυξη του προγραμματισμού σε κάθε χρονικό σημείο κατά τη διάρκεια του έργου. Η διαδικασία πρέπει να περιλαμβάνει μια έρευνα σχετική με όλες τις πιθανές πηγές κινδύνων και τις συνέπειές τους. Είναι μεγάλης σπουδαιότητας διαδικασία, επειδή η ανάλυση κινδύνου και οι στρατηγικές μπορούν

μόνο να εκτελεστούν σε προσδιορισμένους πιθανούς κινδύνους.

Ο προσδιορισμός κινδύνων είναι μια επαναληπτική διαδικασία επειδή οι κίνδυνοι μπορούν να εξελιχθούν ή νέοι κίνδυνοι αναγνωρίζονται καθώς το έργο προχωράει μέσω του κύκλου ζωής του. Η συχνότητα επανάληψης και ποιοι συμμετέχουν σε κάθε κύκλο θα εξαρτηθεί από τα χαρακτηριστικά του έργου.

### 3.5.1.3. Κατασκευή ιεραρχικής δομής των κινδύνων.

Τα μέλη στην ομάδα αξιολόγησης του κινδύνου καλούνται να προσδιορίσουν και να ταξινομήσουν τους κινδύνους που συνδέονται με το κατασκευαστικό μέρος. Για να αποσυνθέσουν τους κινδύνους με επαρκείς λεπτομέρειες οι οποίες μπορούν να αξιολογηθούν αποτελεσματικά, παράγεται μια ιεραρχική δομή των κινδύνων. Οι κίνδυνοι ταξινομούνται ανά ομάδες βάσει των τύπων κινδύνων, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 3.4**. Περισσότερα επίπεδα αποσύνθεσης μπορούν να ενσωματωθούν στην ιεραρχική δομή όποτε τα στοιχεία σε ένα δοσμένο επίπεδο είναι ανεξάρτητα, αλλά συγκρίσιμα με τα στοιχεία του ίδιου επιπέδου.



Σχήμα 3.4.: Γενική δομή ιεραρχίας του κινδύνου.

## 3.6. Καθορισμός της συνάρτησης του παράγοντα κινδύνου και μέτρηση των μεταβλητών<sup>36</sup>.

### 3.6.1. Καθορισμός της συνάρτησης του παράγοντα κινδύνου.

Ο παράγοντας κινδύνου (RF) μπορεί συνήθως να αξιολογηθεί με την εξέταση δύο θεμελιωδών παραμέτρων κινδύνου: αντίκτυπος κινδύνου (RI) και πιθανότητα κινδύνου (RP). Η παράμετρος του αντίκτυπου κινδύνου ερευνά την πιθανή επίδραση του κινδύνου σε ένα στόχο του έργου όπως ο προγραμματισμός, το κόστος, η ποιότητα ή η απόδοση. Αυτές οι παράμετροι δεν συνυπολογίζουν τον αντίκτυπο του

<sup>36</sup> A. Nieto-Morote, F. Ruz-Vila, A fuzzy approach to construction project risk assessment, International Journal of Project Management, 2010.

κινδύνου για το γενικό πλαίσιο του έργου. Προκειμένου να αξιολογηθούν οι κίνδυνοι αποτελεσματικά και αποδοτικά, μια παράμετρος, που ονομάζεται η διάκριση κινδύνου (RD) προτείνεται (Cervone 2006). Η παράμετρος διάκρισης κινδύνου παρέχει μια πρόσθετη προοπτική επειδή μετρά τον αντίκτυπο του κινδύνου για το γενικό πλαίσιο του έργου, παρά την εξέταση κάθε κινδύνου ως ανεξάρτητη μεταβλητή μέσα στο έργο. Με κάθε κίνδυνο που αξιολογείται στα πλαίσια των τριών διαστάσεων, μια τιμή μπορεί να οριστεί σε κάθε κίνδυνο χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$\text{Συνολικός Παράγοντας Κινδύνου} = (\text{Αντίκτυπος Κινδύνου} \times \text{Πιθανότητα Κινδύνου}) / \text{Διάκριση Κινδύνου} \quad (3.14)$$

### 3.6.2. Ορισμός γλωσσικής κλίμακας που συνδέεται με τους ασαφείς αριθμούς.

Συχνά, μπορεί να είναι εξαιρετικά δύσκολο να αξιολογηθεί ο κίνδυνος που συνδέεται με το έργο λόγω της μεγάλης σχετικής αβεβαιότητας. Η ανακρίβεια προέρχεται από ποικίλες πηγές όπως, απροσδιόριστες ποσοτικά πληροφορίες, ελλειπείς πληροφορίες ή οι μη-αποκτήσιμες πληροφορίες (Chen και Hwang, 1992). Όταν τα μέλη σε μια ομάδα αξιολόγησης του κινδύνου έχουν ανακριβείς πληροφορίες για τους κινδύνους που συνδέονται με ένα έργο, οι αξιολογήσεις δεν μπορούν να είναι ακριβείς αλλά μόνο κατά προσέγγιση. Σε αυτές τις καταστάσεις, οι κρίσεις των μελών μέσω της ομάδας αξιολόγησης εκφράζονται με τη βοήθεια γλωσσικών όρων αντί πραγματικών αριθμών. Μια σημαντική άποψη για να αντιμετωπιστούν αυτού του είδους τα προβλήματα είναι να καθοριστούν οι γλωσσικοί όροι που θα χρησιμοποιηθούν. Οι πιθανοί γλωσσικοί όροι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν εξαρτώνται από τη φύση του προβλήματος. Οι γλωσσικοί όροι που μπορούν γενικά να χρησιμοποιηθούν για να αξιολογήσουν τις παραμέτρους ενός προβλήματος εκτίμησης του κινδύνου, ενός αντίκτυπου κινδύνου, μιας πιθανότητας κινδύνου και της διάκρισης κινδύνου είναι οι ακόλουθοι:

- Για την αξιολόγηση της πρώτης διάστασης, RI, καθορίζεται μια κλίμακα πέντε σημείων: Κρίσιμο (C), σοβαρό (S), μέτριο (Mo), Δευτερεύον (Mi) και αμελητέο (N).
- Για τη δεύτερη διάσταση, RP, μια τριών σημείων κλίμακα είναι προτεινόμενος: Υψηλό (H), μέσο (M) και χαμηλή πιθανότητα (L).
- Η τρίτη παράμετρος, RD, θα ληφθεί από ζευγαρωτή σύγκριση μεταξύ των



κινδύνων. Η επιλεγμένη κλίμακα σύγκρισης είναι: Πολύ λιγότερο (MI), λιγότερο (L), ίδιο (S), περισσότερο (M) και πολύ περισσότερο (Mm).

Οι γλωσσολογικοί όροι πρέπει να μετασχηματιστούν σε ασαφείς αριθμούς με τη χρησιμοποίηση της κατάλληλης κλίμακας μετατροπής. Ένας από τα σημεία κλειδί στην ασαφή διαμόρφωση είναι ο καθορισμός των ασαφών αριθμών που αντιπροσωπεύουν τις ασαφείς έννοιες και τους ανακριβείς όρους που εκφράζονται σε μια φυσική γλώσσα. Η αντιπροσώπευση όχι μόνο εξαρτάται από την έννοια αλλά και από το πλαίσιο στο οποίο χρησιμοποιούνται. Ακόμη και για τα παρόμοια πλαίσια, οι ασαφείς αριθμοί που αντιπροσωπεύουν την ίδια έννοια μπορούν να ποικίλουν αρκετά.

Όταν η διαδικασία απαιτεί ασαφείς αριθμούς, τα αποτελέσματα των υπολογισμών εξαρτώνται ισχυρά από το σχήμα των συναρτήσεων συμμετοχής αυτών των αριθμών. Η λιγότερο χρησιμοποιούμενες συναρτήσεις συμμετοχής οδηγούν σε πιο περίπλοκους υπολογισμούς. Επιπλέον, οι ασαφείς αριθμοί με απλούστερη μορφή συναρτήσεων συμμετοχής συχνά έχουν μια πιο διαισθητική και φυσική ερμηνεία.

Χάριν της απλότητας οι τραπεζοειδείς ή τριγωνικοί ασαφείς αριθμοί είναι οι πιο κοινοί στις τρέχουσες εφαρμογές. Με βάση μερικές έρευνες, μια αριθμητική προσέγγιση του συστήματος προτείνεται για να μετατρέψει τους γλωσσικούς όρους στους αντίστοιχους ασαφείς αριθμούς τους (Chen και Hwang, 1992). Οι χρησιμοποιημένοι γλωσσικοί όροι, η έννοιά τους και η συνάρτηση συμμετοχής τους παρουσιάζεται στον **Πίνακα 3.1**.

### **3.7 Καθορισμός των παραμέτρων RI και RP<sup>37</sup>.**

#### **3.7.1. Μέτρηση των RI και RP.**

Οι παράμετροι RI και RP κάθε κινδύνου στο κατώτατο επίπεδο της ιεραρχίας πρέπει να μετρηθούν από κάθε μέλος της ομάδας αξιολόγησης του κινδύνου χρησιμοποιώντας τις ορισμένες γλωσσικές κλίμακες. Τα γλωσσικά μέτρα για τα RI και RP που ορίζονται από κάθε μέλος στην ομάδα μετατρέπονται στους αντίστοιχους ασαφείς αριθμούς σύμφωνα με τον **Πίνακα 3.1**. Οι ασαφείς αριθμοί που λαμβάνονται για τις παραμέτρους RI και RP είναι  $RI_i^m$  και  $RP_i^m$  όπου το  $i$  είναι ο αριθμός κινδύνων στο κατώτατο επίπεδο της ιεραρχίας και  $m$  είναι ο αριθμός μελών στην ομάδα αξιολόγησης του κινδύνου.

<sup>37</sup> A. Nieto-Morote, F. Ruz-Vila, A fuzzy approach to construction project risk assessment, International Journal of Project Management, 2010.

**Πίνακας 3.1.: Περιγραφή των RI, RP, RD παραμέτρων(Nieto-Morote, Ruz-Vila 2010).**

Περιγραφή RI	Γενική Ερμηνεία	Ασαφής Αριθμός
κρίσιμο (C)	περιέχει πολύ υψηλό αντίκτυπο	(0.8, 0.9, 1, 1)
σοβαρό (S)	περιέχει υψηλό αντίκτυπο	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)
μέτριο (Mo)	περιέχει μέτριο αντίκτυπο	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)
δευτερεύον (Mi)	περιέχει μόνο μικρό αντίκτυπο	(0.1, 0.25, 0.25, 0.4)
αμελητέο (N)	κανένας ουσιαστικός αντίκτυπος	(0, 0, 0.1, 0.2)
Περιγραφή RP	Γενική Ερμηνεία	Ασαφής Αριθμός
υψηλό (H)	πολύ πιθανό να εμφανιστεί	(0.7, 0.9, 1, 1)
μέτριο (M)	πιθανό να εμφανιστεί	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)
χαμηλό (L)	απίθανο περιστατικό	(0, 0.0.1, 0.2)
Περιγραφή RDC	Γενική Ερμηνεία	Ασαφής Αριθμός
πολύ περισσότερο	πολύ περισσότερος αντίκτυπος στο γενικό πλαίσιο του έργου	(0, 0, 0, 0.3)
περισσότερο	περισσότερος αντίκτυπος στο γενικό πλαίσιο του έργου	(0, 0.25, 0.25, 0.5)
ίδιο	ίδιος αντίκτυπος στο γενικό πλαίσιο του έργου	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)
λιγότερο	λιγότερος αντίκτυπος στο γενικό πλαίσιο του έργου	(0.5, 0.75, 0.75, 1)
πολύ λιγότερο	πολύ λιγότερος αντίκτυπος στο γενικό πλαίσιο του έργου	(0.7, 1, 1, 1)

### 3.7.2. Αθροίζοντας χαρακτηριστικούς ασαφείς αριθμούς σε μια ομάδα ασαφών αριθμών.

Οι χαρακτηριστικοί αριθμοί  $RI_i^m$  και  $RP_i^m$  που αντιστοιχούν σε κάθε εμπειρογνώμονα m στην ομάδα αξιολόγησης του κινδύνου, αθροίζονται σε μια ομάδα ασαφών αριθμών με τη χρήση του ασαφούς αριθμητικού μέσου, ο οποίος ορίζεται ως:

$$RI_i = \frac{1}{m} \times \sum_{n=1}^m RI_i^n = \frac{1}{m} \times (RI_i^1 \oplus RI_i^2 \oplus \dots \oplus RI_i^m) \quad (3.15)$$

$$RP_i = \frac{1}{m} \times \sum_{n=1}^m RP_i^n = \frac{1}{m} \times (RP_i^1 \oplus RP_i^2 \oplus \dots \oplus RP_i^m) \quad (3.16)$$

όπου το i είναι ο κάθε κίνδυνος στο κατώτατο επίπεδο της ιεραρχίας, το m είναι ο αριθμός μελών στην αξιολόγηση της ομάδας κινδύνου, x είναι ο βαθμωτός πολλαπλασιασμός που καθορίζεται στην εξίσωση (3.6) και  $\oplus$  είναι η ασαφής πρόσθεση που καθορίζεται στην εξίσωση (3.2).

## 3.8. Μέτρηση της παραμέτρου RD<sup>38</sup>.

### 3.8.1. Σύγκριση των κινδύνων ζευγαρωτά.

Τα μέλη στην ομάδα αξιολόγησης του κινδύνου καλούνται να παρέχουν τις συγκρινόμενες κρίσεις τους για τον αντίκτυπο στο συνολικό πλαίσιο του έργου για κάθε ζευγάρι κινδύνου του ίδιου επιπέδου και ομάδας μέσα στην ιεραρχική δομή.

<sup>38</sup> A. Nieto-Morote, F. Ruz-Vila, A fuzzy approach to construction project risk assessment, International Journal of Project Management, 2010.

Αυτά τα γλωσσικά μέτρα μετατρέπονται στους αντίστοιχους ασαφείς αριθμούς σύμφωνα με τον **Πίνακα 3.1**. Για το κάθε μέλος στην ομάδα αξιολόγησης του κινδύνου λαμβάνεται ο ακόλουθος πίνακας σύγκρισης για την ομάδα g και το επίπεδο L στην ιεραρχία:

$$A_{gl}^m = \begin{matrix} r_1 \\ r_2 \\ \dots \\ r_n \end{matrix} \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & \dots & r_n \\ - & (RDC)_{12}^m & \dots & (RDC)_{1n}^m \\ (RDC)_{21}^m & - & \dots & (RDC)_{2n}^m \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (RDC)_{n1}^m & (RDC)_{n2}^m & \dots & - \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

όπου το n είναι ο αριθμός κινδύνων της ομάδας g και L το επίπεδο στην ιεραρχία και το m είναι ο αριθμός μελών στην ομάδα αξιολόγησης του κινδύνου.

### 3.8.2. Αθροίζοντας τους σχετικούς ασαφείς αριθμούς σε μια ομάδα ασαφών αριθμών.

Οι σχετικοί ασαφείς αριθμοί καθενός μέλους στην ομάδα αξιολόγησης του κινδύνου αθροίζονται σε μια ομάδα ασαφών αριθμών με τη χρήση του ασαφούς αριθμητικού μέσου που ορίζεται ως:

$$RDC_{ij} = \frac{1}{m} x \sum_{n=1}^m RDC_{ij}^m = \frac{1}{m} x (RDC_{ij}^1 \oplus RDC_{ij}^2 \oplus \dots \oplus RDC_{ij}^m) \quad (3.18)$$

όπου το i και j είναι ο κάθε κίνδυνος κάθε ομάδας g στο επίπεδο L της ιεραρχίας, το m είναι ο αριθμός των μελών στην αξιολόγηση της ομάδας κινδύνου, x είναι ο βαθμωτός πολλαπλασιασμός που καθορίζεται στην εξίσωση (3.6) και  $\oplus$  είναι η ασαφής πρόσθεση που καθορίζεται στην εξίσωση (3.2). Ο πίνακας για την ομάδα g και το επίπεδο L στην ιεραρχία των συγκρινόμενων ασαφών αριθμών ορίζεται ως:

$$A_{gl} = \begin{matrix} r_1 \\ r_2 \\ \dots \\ r_n \end{matrix} \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & \dots & r_n \\ - & (RDC)_{12} & \dots & (RDC)_{1n} \\ (RDC)_{21} & - & \dots & (RDC)_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (RDC)_{n1} & (RDC)_{n2} & \dots & - \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

όπου το n είναι ο αριθμός κινδύνων της ομάδας g και L το επίπεδο στην ιεραρχία.

### 3.8.3. Εκτίμηση RD και τοπικού (RD\*).

Αυτό το πρόβλημα λύνεται με τη χρησιμοποίηση των κλασσικών ασαφών μεθόδων δηλαδή του υπολογισμού του βάρους των κριτηρίων που προσαρμόζεται για να ενεργήσει με τους τραπεζοειδείς ασαφείς αριθμούς. Στις κλασσικές ασαφείς μεθόδους, ο ιθύνων (DM Decision Maker) παρέχει τις ασαφείς σχέσεις προτίμησής

του στα ζευγαρωτά κριτήρια,  $W_{ij}$ . Η αναλογία  $W_{ij}$  δείχνει το βαθμό προτίμησης των κριτηρίων  $c_i$  επάνω στο  $c_j$  και ορίζεται συνήθως ως ένα ασαφές σύνολο που περιλαμβάνει μόνο ένα στοιχείο. Προκειμένου να κρατηθεί η απλότητα της μεθόδου μια νέα εξίσωση ορίζεται ως:

$$W'_{ij} = \frac{w_i + (1-w_j)}{2} \quad (3.20)$$

Οι τιμές  $w_i$  και  $w_j$  υπολογίζονται με τη μέθοδο ελαχιστοποίησης της διαφοράς της τιμής του  $W_{ij}$ , που λαμβάνονται άμεσα από τους εμπειρογνώμονες, και την τιμή  $W'_{ij}$ , που ορίζεται ως μια ιδανική ασαφής σχέση προτίμησης σύμφωνα:

$$\min \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (W'_{ij} - W_{ij})^2 \right] \quad (3.21)$$

Στην περίπτωση αυτή, οι τιμές των ασαφών σχέσεων προτίμησης στους κινδύνους που λαμβάνονται άμεσα από τους εμπειρογνώμονες,  $RDC_{ij}$  και οι τιμές των ιδανικών ασαφών σχέσεων προτίμησης στους κινδύνους, οι οποίοι είναι,  $RDC'_{ij}$ , είναι τραπεζοειδείς ασαφείς αριθμοί. Η επέκταση αυτής της κλασσικής μεθόδου στην ασαφή μέθοδο μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\min \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (RDC'_{ij} \ominus RDC_{ij})^2 \right] \quad (3.22)$$

Όπου το  $RDC'_{ij}$ , ορίζεται σε όρους ασαφών τιμών του  $RD_i^*$  και του  $RD_j^*$  οι οποίοι απεικονίζουν τις τιμές ταξινόμησης των κινδύνων  $r_i$  και  $r_j$ , ως:

$$RDC'_{ij} = \frac{RD_i^* \oplus (1 \ominus RD_j^*)}{2} \quad (3.23)$$

όπου το  $i$  και το  $j$  είναι οι κίνδυνοι της ομάδας  $g$  και του  $L$  επιπέδου στην ιεραρχία και τα  $\oplus$  και  $\ominus$  αντιπροσωπεύουν την ασαφή πρόσθεση και αφαίρεση χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις (3.2) και (3.3) αντίστοιχα.

Η κύρια επίπτωση αυτής της μεθόδου είναι ότι το άθροισμα του  $RD_i^*$  πρέπει να είναι τώρα ένας τραπεζοειδής ασαφής αριθμός «περίπου 1» που πρέπει να καθοριστεί σωστά για να παρθεί μια λύση. Ο πίνακας για την ομάδα  $g$  και το επίπεδο  $L$  στην ιεραρχία των ασαφών τιμών  $RD^*$  ορίζεται ως:

$$B_{gl} = \begin{matrix} r_1 & \left[ \begin{matrix} RD_1^* \\ RD_2^* \\ \dots \\ RD_n^* \end{matrix} \right] \\ r_2 & \\ \dots & \\ r_n & \end{matrix} \quad (3.24)$$

όπου το  $n$  είναι ο αριθμός κινδύνων της ομάδας  $g$  και  $L$  το επίπεδο στην ιεραρχία.

### 3.8.4. Συνολικό RD\* στην ιεραρχία.

Υποθέτοντας ότι ο κίνδυνος  $r_i$  έχει  $t$  ανώτερες ομάδες σε διαφορετικό επίπεδο στην ιεραρχία δομής κινδύνου και η  $RD_{\text{group}}^{*(j)}$  είναι η τιμή RD\* της  $j$  ανώτερης ομάδας η οποία περιέχει τον κίνδυνο  $r_i$  στην ιεραρχία. Η τελική τιμή του RD για κάθε κίνδυνο  $r_i$  μπορεί να υπολογιστεί :

$$RD_i = RD_i^* \otimes \prod_{j=1}^t (RD)_{\text{group}}^{*(j)} \quad (3.25)$$

όπου το  $i$  είναι καθένας από τους κινδύνους στο κατώτατο επίπεδο της ιεραρχίας και το  $\otimes$  αντιπροσωπεύει τον ασαφή πολλαπλασιασμό χρησιμοποιώντας αριθμητικές διαδικασίες των  $\alpha$ -περικοπών στην εξίσωση (3.12).

### 3.9. Βήμα ασαφούς συμπεράσματος.

Στο βήμα ασαφούς συμπεράσματος, οι αναλυτές κινδύνου μετατρέπουν τον συνολικό ασαφή αριθμό των RI, RP και RD σε έναν ασαφή αριθμό που αντιπροσωπεύει το συνολικό παράγοντα κινδύνου κάθε κινδύνου  $r_i$ <sup>39</sup>.

#### 3.9.1. Ασαφές συμπέρασμα.

Μόλις εκφραστούν οι παράμετροι RI, RP και RD από τραπεζοειδείς ασαφούς αριθμούς, ο συνολικός παράγοντας κινδύνου υπολογίζεται ως:

$$ORF_i = (RI_i \otimes RP_i) \oslash RD_i \quad (3.26)$$

όπου το  $i$  είναι ο κάθε κίνδυνος στο κατώτατο επίπεδο της ιεραρχίας, το  $\otimes$  και το  $\oslash$  αντιπροσωπεύουν τον ασαφή πολλαπλασιασμό και την ασαφή διαίρεση που χρησιμοποιούν τις αριθμητικές διαδικασίες στις  $\alpha$ -περικοπές στις εξισώσεις (3.12) και (3.13), αντίστοιχα.

#### 3.9.2. Αποασαφοποίηση.

Η αποασαφοποίηση των ασαφών αριθμών είναι μια σημαντική διαδικασία για την αξιολόγηση του κινδύνου στο ασαφές περιβάλλον. Η αποασαφοποίηση είναι η διαδικασία της παραγωγής ενός μη ασαφούς αριθμού, μια απλή τιμή που αντιπροσωπεύει επαρκώς τον ασαφή αριθμό ORF. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που προτείνονται για τη διαδικασία της αποασαφοποίησης. Σε αυτήν την έρευνα, η κεντροειδής μέθοδος (Yager, 1980) προτείνεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις για την

<sup>39</sup> A. Nieto-Morote, F. Ruz-Vila, A fuzzy approach to construction project risk assessment, International Journal of Project Management, 2010.

απεικόνιση της πραγματικής κατάστασης και την άποψη της αξιολόγησης της ομάδας.

$$(\text{ORF}_T)_i = \frac{\int_0^1 x \text{ORF}_i(x) d(x)}{\int_0^1 \text{ORF}_i(x) d(x)} \quad (3.27)$$

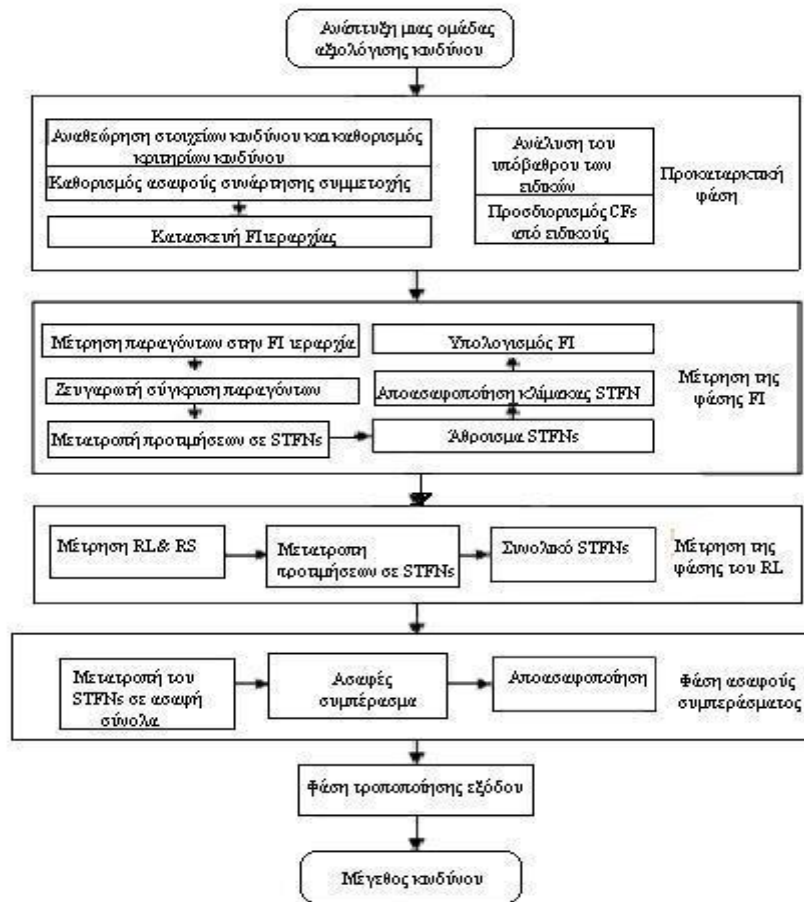
όπου το  $i$  είναι κάθε κίνδυνος στο κατώτατο επίπεδο της ιεραρχίας. Το αποτέλεσμα της ασαφούς διαδικασίας αξιολόγησης του κινδύνου είναι μια τελική εκτίμηση κινδύνου.

### 3.10. Ένα δεύτερο μοντέλο για την προσέγγιση του κινδύνου μέσω ασαφούς λογικής

Ένα μοντέλο αξιολόγησης του κινδύνου βασισμένο στην ασαφή λογική και την προσέγγιση AHP προτείνεται και εδώ όπως παρουσιάζεται στο **Σχήμα 3.5**. Το CF αντιπροσωπεύει τον παράγοντα συνεισφοράς και τα STFΝ τον τυποποιημένο τραπεζοειδή ασαφή αριθμό. Ο αλγόριθμος του μοντέλου κινδύνου αποτελείται από πέντε φάσεις: προκαταρκτική φάση, μέτρηση της φάσης FI, μέτρηση της φάσης των RL και RS, φάση ασαφούς συμπεράσματος και φάση τροποποίησης αποτελέσματος<sup>40</sup>. Το μοντέλο είναι παρόμοιο με το αυτό που αναλύθηκε προηγουμένως

---

<sup>40</sup> Jiahao Zeng, Min An, Nigel John Smith, Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment, International Journal of Project Management 25,589-600, 2007.



Σχήμα 3.5.: Ένα ασαφές μοντέλο αξιολόγησης του κινδύνου (Zeng, An & Smith 2007).

### 3.10.1. Προκαταρκτική φάση.

Δεδομένου ότι τα στοιχεία και οι πληροφορίες κινδύνου σχετικά με ένα ιδιαίτερο κατασκευαστικό πρόγραμμα είναι ογκώδη, η αξιολόγηση του κινδύνου αρχίζει με τη καθιέρωση μιας ομάδας αξιολόγησης του κινδύνου η οποία περιλαμβάνει μια σειρά από εμπειρογνώμονες με το διαφορετικό υπόβαθρο και την απαραίτητη εμπειρία σχετικά με την υπό εξέταση δραστηριότητα. Η ομάδα αξιολόγησης κινδύνου αναλαμβάνει την αναθεώρηση των στοιχείων και των πληροφοριών κινδύνου και προσδιορίζει τα κριτήρια κινδύνου<sup>41</sup>.

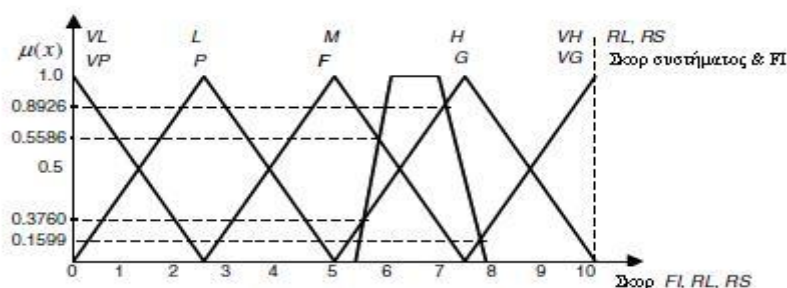
<sup>41</sup> Jiahao Zeng, Min An, Nigel John Smith, Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment, International Journal of Project Management 25,589-600, 2007.

### 3.10.1.2. Αναθεωρημένα δεδομένα κινδύνου και καθορισμός των κριτηρίων κινδύνου.

Τα μέλη της ομάδας αξιολόγησης κινδύνου πρέπει να αναθεωρήσουν όλες τις πληροφορίες σχετικά με τους υπό εξέταση κινδύνους. Μια περαιτέρω έρευνα απαιτείται επίσης για να διευκρινιστούν μερικές ιδέες και να εξαλειφτούν ορισμένες αμφιβολίες. Τα κριτήρια κινδύνου πρέπει να συζητηθούν και να συμφωνηθούν από τα μέλη της ομάδας, που καθορίζουν τα μοντέλα των παραμέτρων κινδύνου, όπως τα RL, RS, FI και RM. Παράδειγμα, το περιβάλλον ενός υψηλού RL ή οι καταστάσεις στις οποίες το RM είναι αφόρητο. Αυτά τα κριτήρια παρέχουν μια βάση για τη μέτρηση των παραμέτρων εισόδου για το αποτέλεσμα RM.

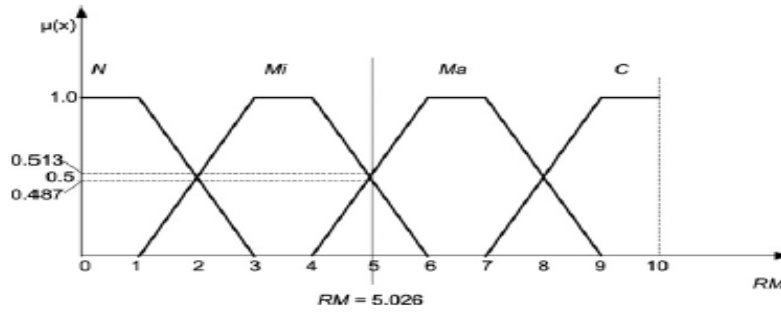
### 3.10.1.2. Καθορισμός ασαφούς MFs.

Οι ασαφείς συναρτήσεις συμμετοχής (MFs) συνήθως προέρχονται από πειραματικά στοιχεία, την αντίληψη των γλωσσικών όρων και τη προσομοίωση της πραγματικότητας, τα οποία χαρακτηρίζονται από καθορισμένες γλωσσικές μεταβλητές και προσαρμοσμένες στο υπό εξέταση περιβάλλον. Εντούτοις, τριγωνικές και τραπεζοειδείς MFs είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες στην πρακτική ανάλυση κινδύνου. Για παράδειγμα, στη διαχείριση κινδύνου ενός έργου το σύστημα που αποτελείται από τα FI, RL, RS και RM κατασκευάζεται από τριγωνικές και τραπεζοειδείς MFs όπως φαίνεται στα **Σχήματα 3.6. και 3.7.**, όπου οι γλωσσικές μεταβλητές του συστήματος και του FI ορίζονται ως πολύ φτωχό (VP), φτωχό (P), αρκετό (F), καλό (G) και πολύ καλό (VG), τα RL και RS ορίζονται ως πολύ χαμηλό (VL), χαμηλό (L), μέτριο (M), υψηλό (H) και πολύ υψηλό (VH), και το RM ορίζεται ως αμελητέο (N), ασήμαντο (Mi), σημαντικό (Ma) και κρίσιμο (C).



**Σχήμα 3.6.:** MFs για το σκορ του συστήματος, του FI, του RL και του RS (Zeng, An & Smith 2007).





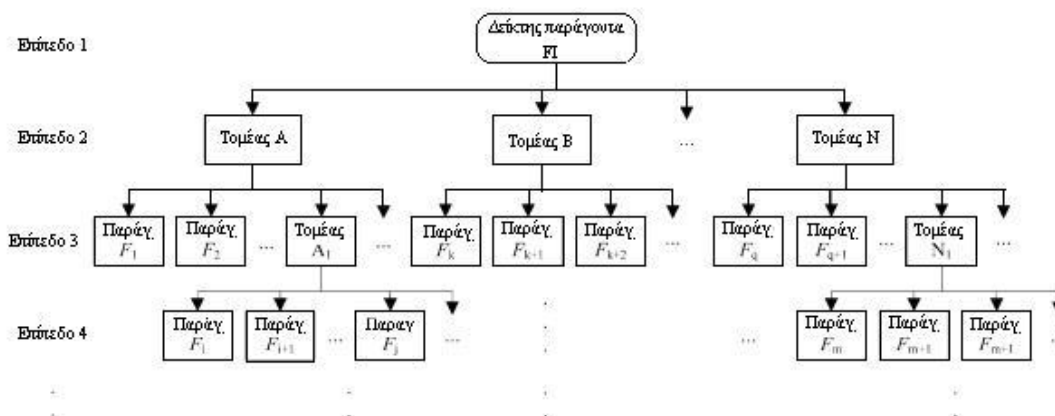
Σχήμα 3.7.: MFs του RM (Zeng, An & Smith 2007).

### 3.10.1.3. Προσδιορισμός CFs από τους εμπειρογνώμονες.

Δεδομένου ότι οι διάφοροι εμπειρογνώμονες ασκούν διαφορετική επίδραση στην τελική απόφαση, το CF επομένως εισάγεται στο μοντέλο ανάλυσης κινδύνου για να διακρίνει την ικανότητα των εμπειρογνώμωνων. Το CF διακρίνει τους εμπειρογνώμονες βάση της εμπειρίας τους, τη γνώση και την πείρα. Υποθέτοντας ότι  $m$  εμπειρογνώμονες υπάρχουν στην ομάδα, ο  $k$  ειδικός  $E_k$  ορίζει ένα παράγοντα συνεισφοράς  $c_k$ , όπου  $c_k \in [0, 1]$ , και  $c_1 + c_2 + \dots + c_m = 1$ . Προφανώς, είναι απαραίτητο να αναθεωρηθεί το CFs όταν το θέμα ή η κατάσταση διαφοροποιείται.

### 3.10.1.4. Κατασκευή Ιεραρχίας FI.

Πολλοί παράγοντες ασκούν επιδράσεις σε μια δραστηριότητα κατασκευής και έχουν επιπτώσεις στο RM. Τα μέλη στην ομάδα αξιολόγησης του κινδύνου πρέπει να παρέχουν και να αναθεωρούν σχετικές πληροφορίες με το έργο και αναλαμβάνουν μια έρευνα στο περιβάλλον της κατασκευής. Ο σκοπός της ιεραρχίας FI είναι να αποσυνθέσουν τους παράγοντες κινδύνου σε επαρκείς λεπτομέρειες στις οποίες το FI μπορεί να αξιολογηθεί αποτελεσματικά. Μια από κάτω προς τα επάνω προσέγγιση υιοθετείται για την ανάλυση FI όπως φαίνεται στο **Σχήμα 3.8**. Το επίπεδο 1 παρουσιάζει το αποτέλεσμα της ανάλυσης FI το οποίο μπορεί να διαιρεθεί σε  $n$  τμήματα (τομείς) βάση των τύπων κινδύνου, π.χ. τομέας A, τομέας B, ..., τομέας N στο επίπεδο 2. Κάθε τμήμα μπορεί να σπάσει περαιτέρω στους παράγοντες κινδύνου/υποενότητες προκειμένου να προσδιοριστούν όλα τα πιθανά επικίνδυνα γεγονότα. Η ανάλυση FI μπορεί να πραγματοποιηθεί στα επίπεδα 3 και 4, κατόπιν προχωρά μέχρι το επίπεδο 2 και τελικά η ανάλυση FI διεξάγεται.



Σχήμα 3.8.: Μια γενική δομή της ιεραρχίας FI.

### 3.10.2 Μέτρηση της φάσης FI.

Τα μέλη στην ομάδα αξιολόγησης του κινδύνου καλούνται να αξιολογήσουν κάθε παράγοντα στο κατώτατο επίπεδο της ιεραρχίας FI στο πλαίσιο του συμφωνηθέντος συστήματος όπως φαίνεται στο **Σχήμα 3.8**. Μια τροποποιημένη ασαφής μέθοδος AHP εφαρμόζεται για να επιλύσει τα βάρη προτεραιότητας των παραγόντων κινδύνου. Το FI μπορεί να ληφθεί από τη σύνθεση των αποτελεσμάτων και τα σχετικά βάρη των παραγόντων κινδύνου στη διαδικασία ιεραρχίας. Σε μια χαρακτηριστική μέθοδο AHP, οι εμπειρογνώμονες πρέπει να δώσουν έναν καθορισμένο αριθμό μέσα σε μια κλίμακα 1-9 στη ζευγαρωτή σύγκριση έτσι ώστε το διάνυσμα προτεραιότητας να μπορεί να υπολογιστεί. Υποθέτοντας δύο παράγοντες  $F_1$  και  $F_2$ , εάν  $F_1$  και  $F_2$  είναι εξίσου σημαντικά, τότε παίρνει μια κλίμακα 1 εάν  $F_1$  είναι ελάχιστα σημαντικότερο από το  $F_2$ , τότε παίρνει μια κλίμακα 3 ενώ οι κλίμακες 5, 7 και 9 χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν έντονα σημαντικότερο, πολύ έντονα σημαντικότερο και απολύτως σημαντικότερο, αντίστοιχα. Ακόμη και οι κλίμακες 2, 4, 6 και 8 χρησιμοποιούνται για να εκθέσουν τη μικρή διαφορά μεταξύ δύο ταξινομήσεων.

Τα αντίθετα αντίστοιχα  $1, 1/2, 1/3, \dots, 1/9$  χρησιμοποιούνται για την αντίστροφη σύγκριση, δηλαδή συγκρίνοντας το  $F_2$  με  $F_1$ . Εντούτοις, οι συγκρίσεις των παραγόντων συχνά περιλαμβάνουν σημαντικό ποσό αβεβαιότητας και υποκειμενικότητας. Παραδείγματος χάριν, ένας ειδικός  $E_1$  ξέρει ότι ο παράγοντας  $F_1$  είναι σημαντικότερος από τον παράγοντα  $F_2$ , παρόλα αυτά, ο εμπειρογνώμονας δεν μπορεί να δώσει μια βέβαια κλίμακα στη σύγκριση επειδή ο εμπειρογνώμονας δεν είναι βέβαιος για το βαθμό σπουδαιότητας του  $F_1$  επάνω στο  $F_2$ . Ο εμπειρογνώμονας παρέχει πιθανώς μια σειρά 3-7 για να περιγράψει αυτούς τους δύο παράγοντες,

παράδειγμα το  $F_1$  είναι μεταξύ του ελάχιστα σημαντικότερου και του πολύ έντονα σημαντικότερου από το  $F_2$ . Μερικές φορές, οι εμπειρογνώμονες δεν μπορούν να συγκρίνουν δύο παράγοντες λόγω της έλλειψης επαρκών πληροφοριών. Σε αυτήν την περίπτωση, μια χαρακτηριστική μέθοδος AHP πρέπει να απορριφθεί λόγω ύπαρξης ασαφών ή ελλειπών συγκρίσεων. Μια ασαφής AHP προσέγγιση μπορεί επομένως να εφαρμοστεί.

Μια ασαφής AHP είναι μια σημαντική επέκταση της χαρακτηριστικής μεθόδου AHP που εισήχθη αρχικά από τους Laarhoven και Pedrycz. Εντούτοις, η περίπλοκη ασαφής διαδικασία και η έλλειψη αποδεδειγμένων τεχνικών για να εξετάσουν την ασαφή συνέπεια και το ασαφές διάνυσμα προτεραιότητας έχουν υπονομεύσει την εφαρμογή τους στην πράξη. Ένα τροποποιημένο ασαφές AHP προτείνεται για να χρησιμοποιήσει τον τυποποιημένο τραπεζοειδή ασαφή αριθμό (STFN) και να μετατρέπει την υποκειμενική κρίση των εμπειρογνομένων σε ασαφείς πληροφορίες. Υπάρχουν επτά βήματα για να υπολογίσουν το FI που περιγράφονται παρακάτω<sup>42</sup>.

**Βήμα 1:** Μέτρηση των παραγόντων κινδύνου στην ιεραρχία FI.

Τα μέλη στην ομάδα αξιολόγησης του κινδύνου πρέπει να παρέχουν τις κρίσεις τους βάση της γνώσης και της πείρας τους για κάθε παράγοντα κινδύνου στο κατώτατο επίπεδο μέσα στην ιεραρχία FI. Οι εμπειρογνώμονες μπορούν να παρέχουν μια ακριβής αριθμητική τιμή, μια σειρά αριθμητικών τιμών, ένα γλωσσικό όρο ή ένα ασαφή αριθμός. Σε πολλές περιπτώσεις, εάν λαμβάνονται επαρκείς πληροφορίες και ο παράγοντας κινδύνου είναι ποσοτικά μετρήσιμος, ένας εμπειρογνώμονας είναι πιθανό να παρέχει μια συγκεκριμένη αριθμητική τιμή ή μια πιθανή σειρά αριθμητικών τιμών. Εντούτοις, οι εμπειρογνώμονες μερικές φορές διαπιστώνουν ότι είναι δύσκολο να δώσουν αριθμητικές τιμές λόγω των σχετικών αβεβαιοτήτων ή ο παράγοντας του κινδύνου δεν είναι ποσοτικά υπολογίσιμος, τότε ένας γλωσσικός όρος ή ένας ασαφής αριθμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο προτεινόμενο μοντέλο, π.χ. ο παράγοντας  $F_1$  είναι αρκετός (F), ο παράγοντας  $F_2$  είναι μεταξύ του φτωχού (P) και αρκετού (F) και το αποτέλεσμα του  $F_3$  παράγοντα είναι περίπου 5-8 και πιθανό να είναι 7 στη κλίμακα [0, 10].

---

<sup>42</sup> Jiahao Zeng, Min An, Nigel John Smith, Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment, International Journal of Project Management 25,589-600, 2007.

**Βήμα 2:** Σύγκριση των παραγόντων κινδύνου ζευγαρωτά.

Τα μέλη στην ομάδα αξιολόγησης του κινδύνου πρέπει να συγκρίνουν κάθε παράγοντα ζευγαρωτά στο αντίστοιχο τμήμα που κτίζεται στην ιεραρχία FI και να τους βαθμολογήσουν είτε σε σαφή είτε σε ασαφή κλίμακα. Μια κλίμακα 1-9 υιοθετείται για να ταξινομήσει τη ζευγαρωτή σύγκριση. Στην τροποποιημένη ασαφή μέθοδο AHP, οι εμπειρογνώμονες ενθαρρύνονται να δώσουν σε ασαφείς κλίμακες ενώ δεν είναι βέβαιοι για τις ακριβείς αριθμητικές τιμές ή αφήνουν μερικές συγκρίσεις απύσες καθώς δεν μπορούν να συγκρίνουν δύο παράγοντες καθόλου. Παραδείγματος χάριν, οι εμπειρογνώμονες μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις ακόλουθες ταξινομήσεις:

- Ένας γλωσσικός όρος, περίπου 7,
- Μια σειρά, (3, 7), η κλίμακα είναι πιθανή μεταξύ 3 και 7
- Έναν ασαφή αριθμό, (3, 6, 8), η κλίμακα είναι μεταξύ του 3 και 8, περισσότερο πιθανό το 6 ή (3, 5, 7, 8), η κλίμακα είναι μεταξύ του 3 και 8, περισσότερο πιθανό μεταξύ του 5 και 7.
- 0, π.χ. ο εμπειρογνώμονας δεν μπορεί καθόλου να συγκρίνει τους δύο παράγοντες.

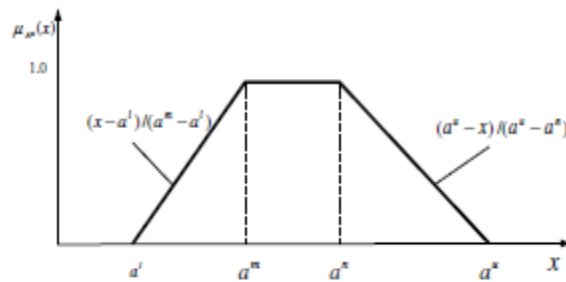
**Βήμα 3:** Μετατροπή των προτιμήσεων σε STFΝ.

Όπως περιγράφηκε στα βήματα 1 και 2, επειδή οι τιμές των παραγόντων κινδύνου που παρέχονται από τα μέλη της ομάδας αξιολόγησης κινδύνου είναι σαφείς, δηλαδή μια αριθμητική τιμή, μια σειρά αριθμητικών τιμών, ένας γλωσσικός όρος ή ένας ασαφής αριθμός. Τα STFΝ υιοθετούνται για να μετατρέψουν τις κρίσεις των εμπειρογνομόνων σε μια γενική διάταξη για τη σύνθεση των προτιμήσεων της ομάδας. Ορίζουμε ως  $U$  να είναι ο γλωσσικός κόσμος,  $U = [0, u]$ . Ένα STFΝ μπορεί να οριστεί ως  $A^* = (a^l, a^m, a^n, a^u)$ , όπου  $0 \leq a^l \leq a^m \leq a^n \leq a^u \leq u$  όπως φαίνεται στο **Σχήμα 3.9.** και το MF είναι :

$$\mu_{A^*}(x) = \begin{cases} \frac{x-a^l}{a^m-a^l} & \text{για } a^l \leq x \leq a^m \\ 1 & \text{για } a^m \leq x \leq a^n \\ \frac{a^u-x}{a^u-a^n} & \text{για } a^n \leq x \leq a^u \\ 0 & \text{αλλιώς} \end{cases} \quad (3.28)$$

Ένα MF δείχνει το βαθμό προτίμησης. Πρέπει να είναι σημειωθεί ότι μια αριθμητική τιμή, μια σειρά αριθμητικών τιμών ή ένας τριγωνικός ασαφής αριθμός μπορούν να μετατραπούν σε απλοποιημένα STFΝs, παραδείγματος χάριν, όταν  $a^l =$

$\alpha^m = \alpha^n = \alpha^u$  ένα STFΝ είναι μια αριθμητική τιμή, όταν  $\alpha^l = \alpha^m$  και  $\alpha^n = \alpha^u$  ένα STFΝ είναι μια σειρά αριθμητικών τιμών και όταν  $\alpha^m = \alpha^n$ , ένα STFΝ γίνεται ένας τριγωνικός ασαφής αριθμός. Όταν τα μέλη στην ομάδα αξιολόγησης δεν μπορούν να παρέχουν τις κρίσεις τους για μια συγκεκριμένη σύγκριση, τότε μια τιμή 0 μπορεί να χρησιμοποιηθεί και το αντίστοιχο STFΝ είναι (0, 0, 0, 0). Μια σειρά από STFΝ μπορεί να χτιστεί για να αντιστοιχίσει τα σκορ και τις κλίμακες των καθορισμένων παραγόντων κινδύνου στην FI ιεραρχία. Κάθε STFΝ αντιπροσωπεύει μια προτίμηση παρεχόμενη από τα μέλη της ομάδας αξιολόγησης του κινδύνου βάσει των διαθέσιμων πληροφοριών και υποκειμενικών κρίσεων.



Σχήμα 3.9.: MF του STFΝ

**Βήμα 4:** Συνολικό χαρακτηριστικό STFΝs στην ομάδα STFΝs.

Ο στόχος αυτού του βήματος είναι να εφαρμοστεί ένας κατάλληλος χειρισμός για να αθροίσει τις μεμονωμένες προτιμήσεις που γίνονται από το χαρακτηριστικό εμπειρογνώμονα σε μια ομάδα προτίμησης κάθε παράγοντα κινδύνου. Η συνάθροιση των αποτελεσμάτων STFΝ εκτελείται με την εφαρμογή του ασαφούς τραπεζοειδούς μέσου βάρους που ορίζεται ως:

$$S_i^* = S_{i1}^* \otimes c_1 \oplus S_{i2}^* \otimes c_2 \oplus \dots \oplus S_{im}^* \otimes c_m \quad (3.29)$$

όπου  $S_i^*$  είναι το αθροισμένο ασαφές σκορ του  $F_i$ ,  $S_{i1}^*, S_{i2}^*, \dots, S_{im}^*$  είναι τα σκορ STFΝ του  $F_i$  που μετριέται από τους  $m$  εμπειρογνώμονες  $E_1, E_2, \dots, E_m$ , αντίστοιχα, και τα  $\otimes, \oplus$  δείχνουν τον ασαφή πολλαπλασιασμό και πρόσθεση αντίστοιχα και  $c_1, c_2, \dots, c_m$  είναι τα προσδιορισμένα CFs των ειδικών  $E_1, E_2, \dots, E_m$  με  $c_1 + c_2 + \dots + c_m = 1$ . Ομοίως, το σύνολο της κλίμακας STFΝ ορίζεται ως:

$$a_{ij}^* = a_{ij1}^* \otimes c_1 \oplus a_{ij2}^* \otimes c_2 \oplus \dots \oplus a_{ijm}^* \otimes c_m \quad (3.30)$$

όπου  $\alpha_{ij}^*$  είναι η αθροισμένη ασαφής κλίμακα του  $F_i$  συγκρίνοντας με το  $F_j$   $i,j=1,2,\dots,n$  και  $\alpha_{ij1}^*, \alpha_{ij2}^*, \dots, \alpha_{ijm}^*$  είναι η αντίστοιχη κλίμακα STFΝ της σύγκρισης του  $F_i$  με το  $F_j$  που μετριέται από τους εμπειρογνώμονες  $E_1, E_2, \dots, E_m$  αντίστοιχα. Πρέπει να σημειωθεί ότι το σύνολο πρέπει να απορρίψει την απύσασ κλίμακα ενώ έρχεται σε σύγκριση με τις μη μηδενικές κλίμακες που παρέχονται από άλλους εμπειρογνώμονες. Αυτό η διαδικασία μπορεί να οριστεί ως

$$\alpha_{ij}^* = \frac{\alpha_{ij1}^* \otimes c_1 \oplus \alpha_{ij2}^* \otimes c_2 \oplus \dots \oplus \alpha_{ijm}^* \otimes c_m}{1 - \sum c_r} \quad (3.31)$$

όπου το  $c_r$  είναι το CFs των εμπειρογνομόνων που παρείχαν μηδενικές κλίμακες. Εάν όλοι οι εμπειρογνώμονες δεν μπορούν να κάνουν μια ιδιαίτερη σύγκριση, αυτή η σύγκριση θα μείνει απύσασ.

**Βήμα 5:** Αποασαφοποίηση της κλίμακας STFΝ.

Προκειμένου να μετατραπούν οι κλίμακες STFΝ σε αντίστοιχες σαφείς τιμές που μπορούν επαρκώς να αντιπροσωπεύσουν τις ομάδες προτιμήσεις, μια κατάλληλη αποασαφοποίηση απαιτείται. Υποθέτοντας μια συνολική κλίμακα STFΝ  $\alpha_{ij}^* = (\alpha_{ij}^l, \alpha_{ij}^m, \alpha_{ij}^n, \alpha_{ij}^u)$ , η αντίστοιχη σαφής τιμή  $\alpha_{ij}$  μπορεί να ληφθεί:

$$\alpha_{ij} = \frac{\alpha_{ij}^l + 2(\alpha_{ij}^m + \alpha_{ij}^n) + \alpha_{ij}^u}{6} \quad (3.32)$$

όπου  $\alpha_{ii}=1$  και  $\alpha_{ji}=1/\alpha_{ij}$ .

Συνεπώς, όλες οι αθροισμένες ασαφείς κλίμακες  $\alpha_{ij}^*(i, j = 1, 2, \dots, n)$  μεταφέρονται σε σαφείς κλίμακες  $\alpha_{ij}$  μέσα στη σειρά [0,9].

**Βήμα 6:** Υπολογισμός των βαρών προτεραιότητας των παραγόντων κινδύνου.

Ορίζοντας  $F_1, F_2, \dots, F_n$  να είναι ένα σύνολο παραγόντων κινδύνου σε ένα τμήμα, το  $\alpha_{ij}$  είναι η αποασαφοποιημένη κλίμακα που αντιπροσωπεύει την ποσοτικοποιημένη κρίση του  $F_i$  συγκρινόμενο με το  $F_j$ . Η ζευγαρωτή σύγκριση μεταξύ του  $F_i$  με το  $F_j$  στο ίδιο τμήμα παράγουν έτσι ένα πίνακα  $n \times n$  ορισμένο ως εξής:

$$A = a_{ij} = \begin{matrix} & \begin{matrix} F_1 & F_2 & F_3 & F_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}, \quad i,j=1,2,\dots,n \quad (3.33)$$

όπου  $a_{ii}=1$  και  $a_{ji}=1/a_{ij}$ .

Τα βάρη προτεραιότητας των παραγόντων στον πίνακα A μπορούν να υπολογιστούν με τη χρήση της μεθόδου του αριθμητικού μέσου.

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{kj}} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (3.34)$$

όπου  $w_i$  είναι το βάρος του τμήματος  $F_i$ . Υποθέτοντας ότι το  $F_i$  έχει  $t$  ανώτερα τμήματα σε διαφορετικό επίπεδο στην ιεραρχία FI, και  $w_{section}^{(i)}$  είναι το βάρος του τομέα του ανώτερου τμήματος  $i$  που περιέχει το  $F_i$  στην ιεραρχία, το τελικό βάρος  $w'_i$  του  $F_i$  μπορεί να παραχθεί ως:

$$w'_i = w_i \times \prod_{i=1}^t w_{section}^{(i)} \quad (3.35)$$

Όλα τα σχετικά βάρη των ανώτερων τμημάτων του  $w_{section}^{(i)}$  μπορούν επίσης να παραχθούν από την εξίσωση (3.34) για να δώσουν προτεραιότητα στα τμήματα μέσα στην αντίστοιχη ομάδα στην ιεραρχία FI.

#### **Βήμα 7: Υπολογισμός του FI.**

Όταν τα σκορ και τα βάρη προτεραιότητας των παραγόντων κινδύνου ληφθούν, το FI\* μπορεί να υπολογιστεί ως :

$$FI^* = \sum_{i=1}^n S_i^* w'_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3.36)$$

όπου FI\* είναι το ασαφές αποτέλεσμα του FI, αντιπροσωπευόμενο από STFΝ. Το  $S_i^*$  είναι το ασαφές συνολικό σκορ του παράγοντα  $F_i$  που υπολογίζεται από την εξίσωση (3.29).

#### **3.10.3. Μέτρηση της φάσης RL και RS<sup>43</sup>.**

Η μέτρηση RL και RS είναι παρόμοια με τη μέτρηση των παραγόντων κινδύνου. Τα RL και RS μπορεί να μετρηθούν από τα μέλη στην ομάδα αξιολόγησης κινδύνου και μετατρέπουν τις σχετικές προτιμήσεις σε STFΝs όπως καθορίζεται από

<sup>43</sup> Jiahao Zeng, Min An, Nigel John Smith, Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment, International Journal of Project Management 25,589-600, 2007.

την εξίσωση (3.28) και στη συνέχεια το συνολικό STFNs στις προτιμήσεις της ομάδας με τη χρήση του ασαφούς βάρους του τραπεζοειδούς που ορίζεται ως:

$$RL^* = RL_1^* \otimes c_1 \oplus RL_2^* \otimes c_2 \oplus \dots \oplus RL_m^* \otimes c_m \quad (3.37)$$

και

$$RS^* = RS_1^* \otimes c_1 \oplus RS_2^* \otimes c_2 \oplus \dots \oplus RS_m^* \otimes c_m \quad (3.38)$$

όπου  $RL^*$  και  $RS^*$  είναι τα ασαφή συνολικά αποτελέσματα της ομάδας προτίμησης  $RL$  και  $RS$ , τα  $RL_1^*, RL_2^* \dots RL_m^*$  και  $RS_1^*, RS_2^* \dots RS_m^*$  είναι οι αξιολογήσεις STFΝ των  $RL$  και  $RS$  που μετρούνται από  $m$  εμπειρογνώμονες  $E_1, E_2, \dots, E_m$ , αντίστοιχα και τα  $\otimes, \oplus$  δείχνουν τον ασαφή πολλαπλασιασμό και την ασαφή πρόσθεση αντίστοιχα. Τα  $c_1, c_2, \dots, c_m$  είναι τα CFs που προσδιορίζονται από τους εμπειρογνώμονες,  $E_1, E_2, \dots, E_m$  και  $c_1 + c_2 + \dots + c_m = 1$ .

#### 3.10.4. Φάση ασαφούς συμπεράσματος.

Στη φάση ασαφούς συμπεράσματος, οι αναλυτές κινδύνου μετατρέπουν το συνολικό STFNs του FI, RL και RS σε αντίστοιχα ασαφή σύνολα. Τα αθροισμένα STFNs εισάγονται έπειτα στο ασαφές σύστημα για να αποφασίσουν ποιοι κανόνες είναι σχετικοί με τη παρούσα κατάσταση και κατόπιν υπολογίζεται το ασαφές αποτέλεσμα  $RM^*$ . Οι διαδικασίες περιγράφονται παρακάτω<sup>44</sup>.

**Βήμα 1:** Μετατροπή των STFNs σε αντίστοιχα ασαφή σύνολα.

Τα συνολικά αποτελέσματα μέτρησης του FI, RL και RS είναι STFNs που δεν μπορούν πάντα να χρησιμοποιηθούν άμεσα σε ένα ασαφές σύστημα, για παράδειγμα, οι κανόνες που αποθηκεύονται στον βασικό κανόνα κατασκευάζονται από γλωσσικούς όρους και τα STFNs παρουσιάζονται σε αριθμητικές τιμές. Επομένως, είναι απαραίτητο να μετατραπεί το STFNs σε αντίστοιχα ασαφή σύνολα.

**Βήμα 2:** Σύστημα ασαφούς συμπεράσματος.

Το ασαφές συμπέρασμα είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο για να εξετάσει τις ανακριβείς και τις ασαφείς πληροφορίες που συνδέονται με τους κινδύνους κατασκευής. Οι σχέσεις μεταξύ των παραμέτρων εισόδου  $FI^*, RL^*, RS^*$  και το αποτέλεσμα  $RM^*$  παρουσιάζεται σε μια μορφή κανόνων εάν τότε. Η εξέταση του κανόνα  $k$  έχει τρία μέρη στην προϋπόθεση:

<sup>44</sup> Jiahao Zeng, Min An, Nigel John Smith, Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment, International Journal of Project Management 25,589-600, 2007.



$$R^k : \text{εάν } FI^* \text{ είναι } \mu_{FI^*}^k \text{ και } RL^* \text{ είναι } \mu_{RL^*}^k \text{ και } RS^* \text{ είναι } \mu_{RS^*}^k \text{ τότε } RM^* \text{ είναι } \mu_{RM^*}^k \quad (3.39)$$

όπου τα  $\mu_{FI^*}^k, \mu_{RL^*}^k, \mu_{RS^*}^k$  και  $\mu_{RM^*}^k$  υποδηλώνουν τα MFs του  $FI^*, RL^*, RS^*$ , και  $RM^*$  αντίστοιχα. Το  $R^k, k = 1, 2, \dots, K$ , είναι ο κανόνας  $k$  στο βασικό κανόνα. Το ασαφές σύστημα παράγει μια απεικόνιση μεταξύ των παραμέτρων εισόδου  $FI^*, RL^*, RS^*$  και εξόδου  $RM^*$ . Τα τρία μέρη στην προϋπόθεση συνδέονται με και (and) και η ισχύς  $\mu_{R^k}$  του ασαφούς κανόνα  $R^k$  μπορεί να ληφθεί χρησιμοποιώντας την ασαφή τομή (ελάχιστο) της διαδικασίας. Η συνέπεια που χρησιμοποιείται για την διαδικασία ασαφούς τομής (ελάχιστο) είναι :

$$\mu_{R^k}(x, y) = \mu_{FI^*}^k(x_1) \wedge \mu_{RL^*}^k(x_2) \wedge \mu_{RS^*}^k(x_3) \wedge \mu_{RM^*}^k(y), \quad k=1, 2, \dots, K \quad (3.40)$$

όπου  $x_1 \in X_1, x_2 \in X_2, x_3 \in X_3, x \in X_1 \times X_2 \times X_3$  και  $Y \in U$ . Τα  $X_1, X_2, X_3$  και  $U$  δείχνουν τον κόσμο του  $FI^*, RL^*, RS^*$  και  $RM^*$  αντίστοιχα. Το αποτέλεσμα είναι ένα περικομμένο ασαφές MF. Το ασαφές περικομμένο MFs που αντιπροσωπεύει τα αποτελέσματα της σημασίας κάθε κανόνα αθροίζεται σε ένα απλό ασαφές MF. Το σύνολο της ασαφούς ένωσης (μέγιστο) δείχνεται ως:

$$\mu_R(x, y) = \bigvee_{k=1}^K R^k(x, y) \quad (3.41)$$

όπου  $\mu_R(x, y)$  είναι το ασαφές αποτέλεσμα MF μετά από το άθροισμα. Λαμβάνοντας υπόψη την είσοδο  $RP^*$  που αντιπροσωπεύει τα  $FI^*, RL^*$  και  $RS^*$ , το αποτέλεσμα  $RM^*$  δίνεται :

$$RM^* = RP^* \circ R(x, y) \quad (3.42)$$

όπου το σύμβολο 'ο' δείχνει τη διαδικασία σύνθεσης των ασαφών συνόλων.

### **Βήμα 3:** Αποασαφοποίηση (Defuzzification).

Δεδομένου ότι το αποτέλεσμα του ασαφούς συστήματος είναι ένα ασαφές σύνολο, η αποασαφοποίηση χρησιμοποιείται για να μετατρέψει το ασαφές αποτέλεσμα σε μια αντίστοιχη αριθμητική τιμή που μπορεί επαρκώς να αντιπροσωπεύσει το  $RM^*$ . Η κεντρική μέθοδος υιοθετείται για την αποασαφοποίηση. Υποθέτοντας ότι η ασαφής έξοδος που λαμβάνεται από το ασαφές σύστημα είναι  $RM^* = \{y, \mu_{RM^*}(y) | y \in U, \mu_{RM^*} \in [0, 1]\}$  με  $q$  ασαφή σύνολα, οι αντίστοιχες σαφείς τιμές  $RM$  μπορούν να υπολογιστούν:

$$RM = \frac{(\sum_{i=1}^q Y_i \mu_{RM^*}(Y_i))}{(\sum_{i=1}^q \mu_{RM^*}(Y_i))} \quad i = 1, 2, \dots, q \quad (3.43)$$

όπου το  $y_i$  δείχνει το κέντρο του  $i$  ασαφούς συνόλου του  $RM^*$  και το  $\mu_{RM}(y_i)$  δείχνει το MF του  $i$  ασαφούς συνόλου του  $RM^*$ .

### 3.10.5. Φάση τροποποίησης εξόδου.

Η τροποποίηση του αποτελέσματος είναι απαραίτητη σε μερικές καταστάσεις για την εξασφάλιση μιας αξιόπιστης απόφασης, για παράδειγμα, οι καταστάσεις των κινδύνων να έχουν αλλάξει ή ο αντίκτυπος κάποιου παράγοντα κινδύνου δεν έχει μετρηθεί επαρκώς. Σε αυτήν την περίπτωση, οι εμπειρογνώμονες και οι αναλυτές κινδύνου πρέπει να συγκεντρώσουν περισσότερες πληροφορίες σε σχέση με τον κίνδυνο, αναθεωρούν τη διαδικασία αξιολόγησης και τροποποιούν την ιεραρχία FI, τις παραμέτρους κινδύνου ή/και τα κριτήρια κινδύνου για να φθάσουν σε μια αξιόπιστη απόφαση. Με τη χρήση της προτεινόμενης μεθόδου αξιολόγησης του κινδύνου, οι λάθος καθορισμένοι ή σύνθετοι κίνδυνοι μιας κατασκευής μπορούν να αξιολογηθούν επαρκώς και να οριστεί το μέγεθος του κινδύνου. Το τελικό αποτέλεσμα της αξιολόγησης του κινδύνου παρέχει στην Ομάδα Διοίκησης αξιόπιστα στοιχεία για τον κίνδυνο για τις κατάλληλες αποφάσεις<sup>45</sup>.

---

<sup>45</sup> Jiahao Zeng, Min An, Nigel John Smith, Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment, International Journal of Project Management 25,589-600, 2007.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Ibrahim A. Motawa, Chimay J. Anumba, Ashraf El-Hamalawi, A fuzzy system for evaluating the risk of change in construction projects, *Advances in Engineering Software* 37,583-591, 2006.
2. Jiahao Zeng, Min An, Nigel John Smith, Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment, *International Journal of Project Management* 25,589-600, 2007.
3. V.Carr, J.H.M. Tah, A fuzzy approach to construction project risk assessment and analysis: construction project risk management system, *Advances in Engineering Software* 32,847-857, 2001.
4. Prasanta Dey, Mario T. Tabucanon and Stephen O. Ogunlana, Risk management, Planning for project control through risk analysis: a petroleum pipeline-laying project, *International Journal of Project Management* 12 (1), 23-33, 1994.
5. A. Nieto-Morote, F. Ruz-Vila, A fuzzy approach to construction project risk assessment, *International Journal of Project Management*, 2010.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΕΡΓΟΥ.

#### Εισαγωγή.

Οι ποσοτικές μέθοδοι παρέχουν μαθηματικά υποδείγματα για τη λήψη βέλτιστων αποφάσεων στο στάδιο του σχεδιασμού, τα οποία οδηγούν στη βελτιστοποίηση των παραγωγικών διαδικασιών. Η εφαρμογή των μεθόδων αυτών απαιτεί γνώση της θεωρίας για τη σύνθεση των μαθηματικών υποδειγμάτων και τον προσδιορισμό του κατάλληλου αλγορίθμου επιλύσεως, αλλά και εμπειρίας για τη χρησιμοποίηση αντικειμενικών παραμέτρων, οι οποίες θα οδηγήσουν σε αξιόπιστα συμπεράσματα<sup>46</sup>.

Οι σημερινές απαιτήσεις παραγωγής, στενότητας μέσων και ανταγωνισμού επιβάλλουν την εφαρμογή των ποσοτικών μεθόδων οργάνωσης. Η εφαρμογή τους πρέπει να γίνεται σε όλο το κύκλωμα, που συμμετέχει στην παραγωγή του έργου. Οι ποσοτικές μέθοδοι οδηγούν τον υπεύθυνο φορέα ή την επιχείρηση με μεγαλύτερη ασφάλεια και αντικειμενικότητα στους στόχους της, που είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής, η βελτιστοποίηση του χρόνου και η ποιότητα κατασκευής σύμφωνα με τις προδιαγραφές. Η επιτυχία των στόχων αυτών επηρεάζει θετικά την παραγωγικότητα με όλες τις ευεργετικές επιπτώσεις πάνω στην οικονομική πορεία της επιχείρησης, αλλά και πάνω στο κοινωνικό σύνολο, το οποίο η επιχείρηση είναι υποχρεωμένη να υπηρετεί.<sup>47</sup>

Η εισαγωγή των Ηλεκτρονικών Υπολογιστών στην Οργάνωση των Τεχνικών Έργων έδωσε μία νέα ώθηση στην εφαρμογή μεθόδων προγραμματισμού και στη διεύρυνση των δυνατοτήτων που παρέχουν για την βελτιστοποίηση των διαδικασιών παραγωγής και στην επιτυχία των στόχων της Οργάνωσης.<sup>48</sup> Η ανάπτυξη που ακολουθεί, έχει σκοπό να παρουσιάσει τις ποσοτικές μεθόδους βελτιστοποίησης των παραγωγικών διαδικασιών.

---

<sup>46</sup> Χατζηνικολάου Γ. Ευαγγελία, Διαχείριση Έργου: Κατασκευή Οικοδομικού Έργου, Τμήμα Οργάνωσης και Διοίκησης Επιχειρήσεων, Πειραιάς 2005, σελ.105-106.

<sup>47</sup> Χ. Εφραιμίδης, Χρονικός και Οικονομικός Προγραμματισμός των Κατασκευών, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1992, σελ.1

<sup>48</sup> Χ Εφραιμίδης, Διαχείριση Κατασκευών, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1999, σελ.2.

#### 4.1. Δικτυωτή Ανάλυση.

Οι επιχειρηματικές αποφάσεις που αφορούν τον προγραμματισμό τεραστίων έργων είναι από τις πιο δύσκολες. Είναι αποφάσεις που, ενώ επιδρούν στη διαμόρφωση του κέρδους για μια μεγάλη χρονική περίοδο, βασίζονται συνήθως σε ανεπαρκείς πληροφορίες και στοιχεία. Η Δικτυωτή Ανάλυση χρησιμοποιείται σαν μέσο προγραμματισμού (κυρίως κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας), καθώς και ελέγχου, σε διάφορους τομείς. Έτσι, εφαρμόζεται για τον προγραμματισμό και έλεγχο της παραγωγής, των δομικών κατασκευών, ερευνών, συντήρησης των εγκαταστάσεων παραγωγής και μηχανημάτων και άλλα. Η δικτυωτή ανάλυση αποβλέπει<sup>49</sup> :

- Στη βελτιστοποίηση (ελαχιστοποίηση) του χρόνου εκτέλεσης ενός προγράμματος. Έτσι, βάση αποτέλεσε ο καθορισμός των τμημάτων του προγράμματος που είναι «κρίσιμα», με την έννοια ότι η καθυστέρηση της πραγματοποίησης τους θα έχει σαν συνέπεια να καθυστερήσει η εκτέλεση του όλου προγράμματος.
- Στη βελτιστοποίηση όχι μόνο του χρόνου αλλά και του κόστους, καθώς και της κατανομής των παραγωγικών πόρων, που είναι διαθέσιμοι για την πραγματοποίηση ενός προγράμματος.

Κατα τη διάρκεια του σχεδιασμού, το έργο διασπάται σε μικρότερες εργασίες. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται Δομική Ανάλυση Έργου (WBS). Η δομική ανάλυση WBS (Work Breakdown Structure) παρέχει μια μεθοδολογική ανάλυση του αντικείμενου των εργασιών σε πακέτα εργασιών, τα οποία μπορούν να χειριστούν εύκολα και να αναλυθούν περαιτέρω, ώστε να προκύψει ο κατάλογος δραστηριοτήτων. Το διάγραμμα δικτύου (network diagram) μπορεί να οριστεί ως μία γραφική παράσταση των δραστηριοτήτων του έργου, στην οποία αποτυπώνεται η προγραμματισμένη αλληλουχία των εργασιών

Το διάγραμμα δικτύου, απεικονίζει την αλληλουχία των δραστηριοτήτων, η οποία καθορίζεται από λογικές σχέσεις, που μπορούν να είναι είτε υποχρεωτικές είτε μη υποχρεωτικές. Οι υποχρεωτικές σχέσεις, ή αλλιώς αυστηρές εξαρτήσεις, είναι περιορισμοί που τίθενται από τη μέθοδο υλοποίησης. Για παράδειγμα σε ένα οικοδομικό έργο τα θεμέλια πρέπει (αυστηρή λογική) να χτιστούν πριν κατασκευαστούν οι τοίχοι και η στέγη, ενώ το τέλος των ηλεκτρολογικών εργασιών

---

<sup>49</sup> Ε. Καρασαββίδου Χατζηγηγορίου, Λήψη Επιχειρηματικών Αποφάσεων: προσέγγιση με την Επιχειρησιακή Έρευνα, University Studio Press, Ανατύπωση 1999, σελ. 172-173.

πριν από την κατασκευή των υδραυλικών συστημάτων, είναι μη υποχρεωτική σχέση (μη αυστηρή λογική). Μη υποχρεωτική λογική είναι η προτιμώμενη ή βέλτιστη πρακτική, όπως την εννοούν τα μέλη της ομάδας έργου<sup>50</sup>.

#### 4.1.1. Αναπαράσταση Προβλημάτων Χρονικού Προγραμματισμού με γραφήματα.

Στο πρόβλημα του χρονικού προγραμματισμού η αναπαράσταση γίνεται συνήθως με ένα διγράφημα δηλαδή ένα διατεταγμένο γράφημα στα βέλη του οποίου αντιστοιχούν μη αρνητικοί αριθμοί. Ένα τέτοιο διγράφημα ονομάζεται δίκτυο. Επομένως *δίκτυο* είναι ένα σύμπλεγμα γραμμών που μέσα του υπάρχει κάποια ροή και η δικτυωτή ανάλυση είναι η μέθοδος μελέτης και προγραμματισμένης ροής εργασίας-δραστηριότητας. Στο δίκτυο, το αντικείμενο της ροής είναι ο χρόνος και τα κύρια στοιχεία του είναι η *δραστηριότητα* (activity) και το *γεγονός* (event)<sup>51</sup>.

- **Δραστηριότητα:** Κάθε επιμέρους εργασία του όλου έργου, που για να εκτελεσθεί χρειάζεται χρόνο ή παραγωγικά μέσα, ανθρώπινο δυναμικό, δαπάνες (κόστος) ή και τα δύο, αποτελεί δραστηριότητα. Η δραστηριότητα παριστάνεται με ένα βέλος που ενώνει δύο γεγονότα. Η λειτουργία του βέλους συνίσταται στο να δείχνει την ύπαρξη μιας δραστηριότητας στο δίκτυο, τη λειτουργική της σχέση με τις άλλες δραστηριότητες και την κατεύθυνση της ροής της δραστηριότητας από τη βάση προς την αιχμή του βέλους.
- **Χαρακτηρισμός δραστηριοτήτων:** Για να αναγνωριστεί ποια δραστηριότητα παριστάνει κάθε βέλος, πρέπει να υπάρχει πάνω σε αυτό είτε η περιγραφή της δραστηριότητας είτε ένας κωδικός αριθμός, που θα αντιστοιχεί στη συγκεκριμένη εργασία, ή απλώς μπορούμε να χαρακτηρίσουμε τη δραστηριότητα από το γεγονός έναρξης και πέρατος αυτής.
- **Γεγονός:** ονομάζεται το σημείο έναρξης της δραστηριότητα και το σημείο πέρατος αυτής. Τα γεγονότα είναι σημεία στο χρόνο. Κάθε δραστηριότητα αρχίζει σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, που αποτελεί το γεγονός έναρξης αυτής, και ολοκληρώνεται σε μια άλλη χρονική στιγμή, η οποία αποτελεί το γεγονός πέρατος αυτής.

<sup>50</sup> Τσάγκος Κωνσταντίνος, Χρονικός και Οικονομικός Προγραμματισμός και Διαχείριση Οικοδομικού Έργου με τη μέθοδο PERT/CPM, Τμήμα Οργάνωσης και Διοίκησης Επιχειρήσεων, Πειραιάς 2009, σελ.120-121.

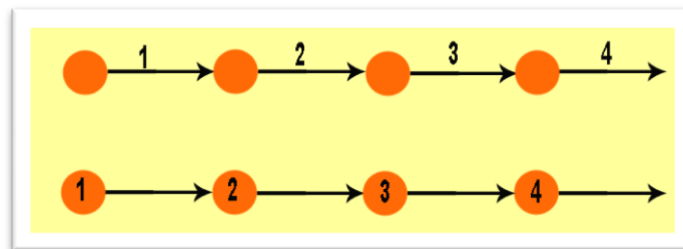
<sup>51</sup> Ε. Καρασαββίδου Χατζηγηγορίου, Λήψη Επιχειρηματικών Αποφάσεων: προσέγγιση με την Επιχειρησιακή Έρευνα, University Studio Press, Ανατύπωση 1999, σελ. 174-176.

- **Αρίθμηση γεγονότων:** Όπως χαρακτηρίζουμε τις δραστηριότητες, έτσι είναι απαραίτητο να δίνεται μια ταυτότητα και στα γεγονότα.

Συνοψίζοντας, αν το γεγονός αρχής μιας δραστηριότητας συμβολιστεί με  $i$  και το γεγονός του τέλους της με  $j$  ισχύει πάντα η σχέση  $i < j$  και η δραστηριότητα μας ονομάζεται  $i - j$ .

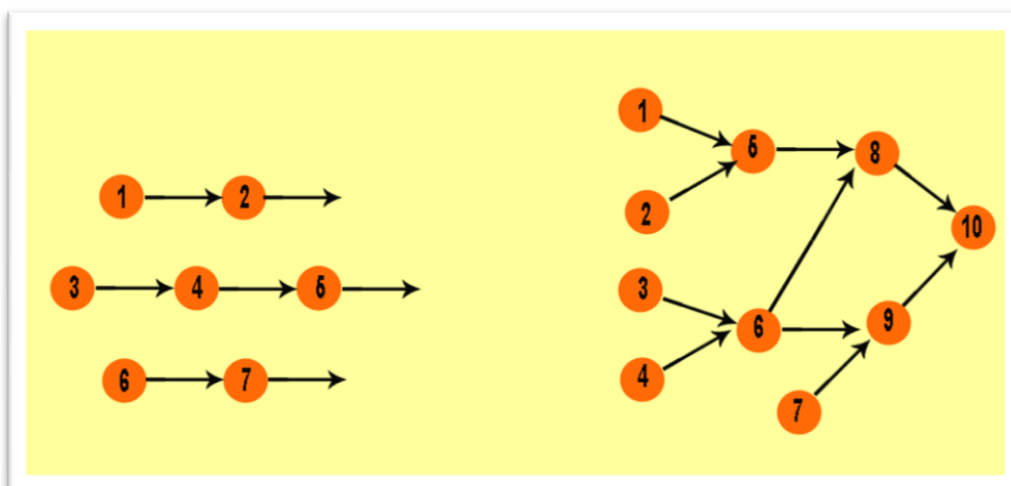
#### 4.1.2. Τρόποι Γραφής –Επίπεδα- Δένδρα.

Υπάρχουν δύο τρόποι γραφής των εργασιών/δραστηριοτήτων πάνω σε ένα τέτοιο γράφημα. Οι δείκτες των διεργασιών μπορούν να γράφονται είτε μέσα στους κύκλους (On nodes) είτε πάνω στα βέλη (On Arc).



Σχήμα 4.1: Αρίθμηση α) στα βέλη (AoA) και β) στους κόμβους (AoN)

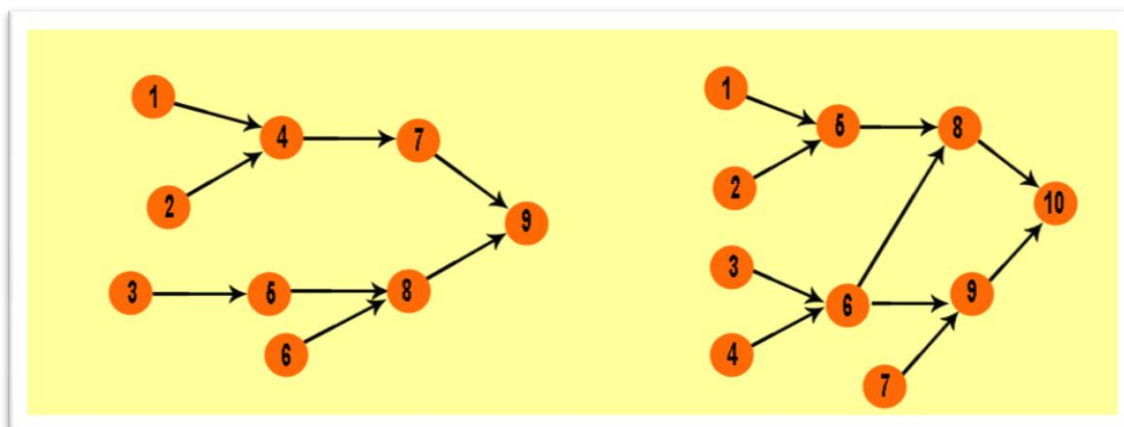
Οι προτεραιότητες μεταξύ των εργασιών δημιουργούν διάφορες δομές, όταν απεικονίζονται σχηματικά. Έτσι οι προτεραιότητες μπορεί να έχουν είτε τη μορφή αλυσίδας είτε τη μορφή δέντρου. Ένα δέντρο προτεραιοτήτων μπορεί να είναι απλό ή να είναι ένα αρκετά πολύπλοκο δέντρο.



Σχήμα 4.2: Προτεραιότητες Αλυσίδα και Δέντρο

Επίσης τα δίκτυα με προτεραιότητες που σχηματίζουν δέντρα μπορούν να ταξινομηθούν σε έσω και έξω δέντρα<sup>52</sup>:

- Τα Έσω-Δέντρα στα οποία κάθε γεγονός έχει το πολύ έναν απόγονο ή διάδοχο, δηλαδή το πολύ ένα γεγονός το οποίο προϋποθέτει την ολοκλήρωση του για να ξεκινήσει.
- Τα Έξω-Δέντρα στα οποία κάθε γεγονός μπορεί να έχει περισσότερους του ενός απογόνους που σημαίνει ότι υπάρχουν περισσότερα του ενός γεγονότα τα οποία τον ακολουθούν.

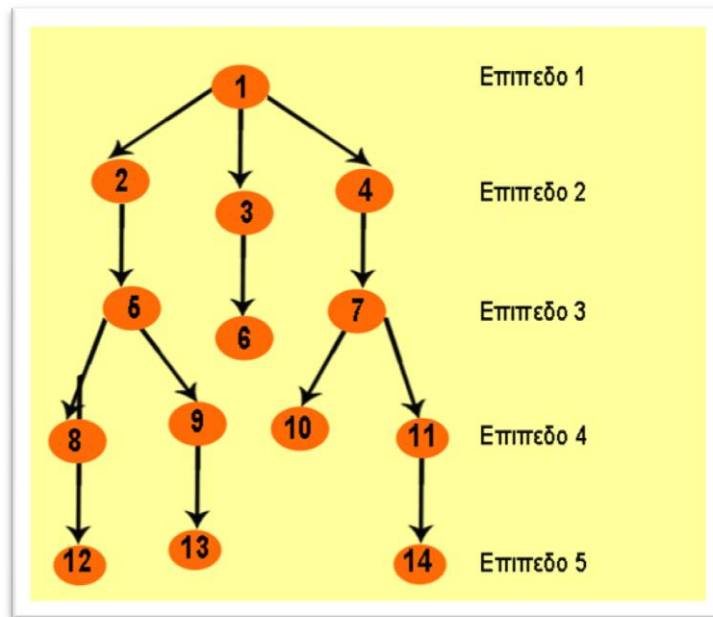


**Σχήμα 4.3:** Παράδειγμα Έσω δέντρου (αριστερά) και Έξω δέντρου (δεξιά)

Το σύνολο των γεγονότων (κόμβοι) και οι μεταξύ τους σχέσεις (βέλη) δημιουργούν όπως προαναφέρθηκε το λεγόμενο δίκτυο το οποίο σχηματικά μοιάζει με ένα δέντρο. Το δέντρο ξεκινάει από ένα πραγματικό ή πλασματικό αρχικό γεγονός το οποίο βρίσκεται στο υψηλότερο επίπεδο και οι διακλαδώσεις σχηματίζουν διάφορα επίπεδα μέχρι να καταλήξουν στο χαμηλότερο επίπεδο. Στο παράδειγμα του **Σχήματος 4.4** ένα δέντρο αποτελείται συνολικά από 14 γεγονότα, ένα στο 1<sup>ο</sup> επίπεδο το αρχικό γεγονός, τρία γεγονότα στο δεύτερο επίπεδο και ούτω καθεξής.

<sup>52</sup> Αικατερίνη Ελ Ράχεμπ, Χρονικός προγραμματισμός παραγωγής προϊόντων σύνθετων προτεραιοτήτων, Σχολή Χημικών Μηχανικών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο 2003.

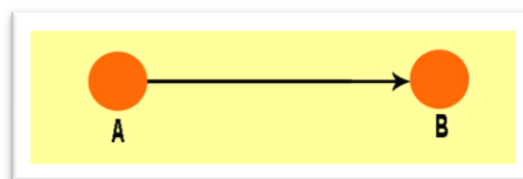




Σχήμα 4.4: Τα επίπεδα του διαγράμματος (δέντρου) προτεραιοτήτων

#### 4.1.3. Τεχνική κατασκευής του δικτυωτού διαγράμματος.

Η κορυφή από την οποία ξεκινά ένα βέλος από έναν κόμβο, αντιστοιχεί στο χρόνο έναρξης της διαδικασίας και η κορυφή στην οποία καταλήγει το συγκεκριμένο βέλος αντιστοιχεί στο χρόνο λήξης της ίδιας διαδικασίας. Έστω ότι δύο διεργασίες A και B συνδέονται μεταξύ τους έτσι ώστε η διεργασία B να μπορεί να αρχίσει αμέσως μόλις τελειώσει η εργασία A. Η συνθήκη αυτή, ότι δηλαδή η A έχει άμεση προαπαιτήση την B, συμβολίζεται στο δίκτυο με τον τρόπο που δείχνει το σχήμα<sup>53</sup> :



Σχήμα 4.5: Γραφική απεικόνιση ακολουθίας γεγονότων A-B

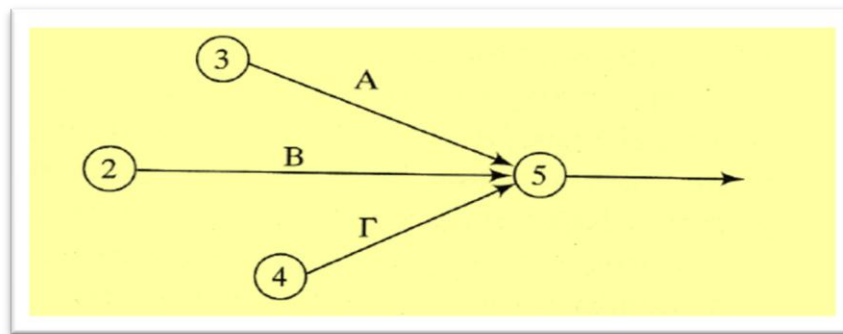
Κάθε δίκτυο αρχίζει με ένα μόνο γεγονός (μία μόνο κορυφή) που λέγεται αρχικό γεγονός και παριστάνει την αρχή του έργου. Επίσης τελειώνει με ένα μόνο τελικό γεγονός που παριστάνει το τέλος του έργου. Μια εργασία που δεν έχει αρχικά καμία προαπαιτήση αρχίζει υποχρεωτικά από το αρχικό γεγονός. Επίσης μια εργασία

<sup>53</sup> Αικατερίνη Ελ Ράχεμπ, Χρονικός προγραμματισμός παραγωγής προϊόντων σύνθετων προτεραιοτήτων, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2003.

που δεν είναι προαπαιτήση καμιάς άλλης εργασίας τελειώνει υποχρεωτικά στο τελικό γεγονός.

Κατά την κατασκευή του δικτυωτού διαγράμματος ακολουθούνται οι παρακάτω βασικοί κανόνες<sup>54</sup>:

1. Ένα γεγονός πραγματοποιείται μόνον όταν όλες οι δραστηριότητες που καταλήγουν σ' αυτό έχουν εκτελεσθεί. (Σχήμα 4.6)

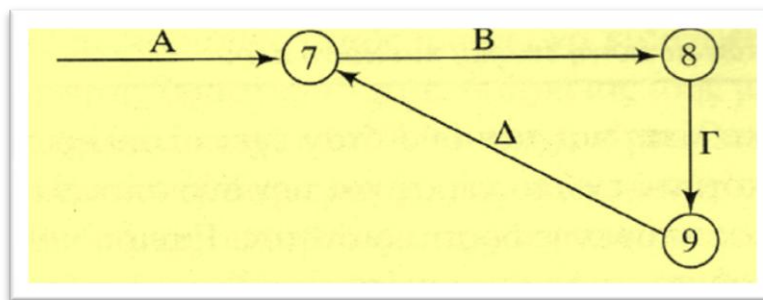


**Σχήμα 4.6:** Το γεγονός 5 θα συμβεί μόνον αφού περατωθούν οι δραστηριότητες Α, Β και Γ.

2. Μια δραστηριότητα μπορεί να αρχίσει μόνον όταν έχει πραγματοποιηθεί το γεγονός που προηγείται αυτής, δηλαδή το γεγονός έναρξης.
3. Ένα γεγονός δεν μπορεί να συμβεί δύο φορές, δηλαδή δεν είναι δυνατόν η πορεία των δραστηριοτήτων να περιλαμβάνει κλειστούς βρόγχους (κυκλώματα). Κλειστός βρόγχος (Σχήμα 4.7) είναι δυνατό να προκύψει λόγω σφάλματος κατά την σχεδίαση του δικτύου, π.χ. λόγω μη τήρησης της αρχής ότι ο κόμβος του πέρατος κάθε δραστηριότητας έχει πάντα μεγαλύτερη αρίθμηση από τον κόμβο της έναρξης της. Στην περίπτωση ενός επαναλαμβανόμενου συνόλου δραστηριοτήτων, όπως για παράδειγμα οι ταυτόσημες οικοδομικές εργασίες στους διάφορους ορόφους ενός κτιρίου, θα προκύψει κλειστός βρόγχος αν επιχειρηθεί οι επαναληπτικές δραστηριότητες να απεικονιστούν με ένα μόνο βρόγχο. Για να μην συμβεί αυτό, κάθε επαναλαμβανόμενος κύκλος δραστηριοτήτων πρέπει να απεικονιστεί με ξεχωριστές δραστηριότητες<sup>55</sup>.

<sup>54</sup> Ε. Καρασαββίδου Χατζηγηγορίου, Λήψη Επιχειρηματικών Αποφάσεων: προσέγγιση με την Επιχειρησιακή Έρευνα, University Studio Press, Ανατύπωση 1999, σελ. 177-180.

<sup>55</sup> Παγώνη Σοφία, Αλγόριθμος για την επίλυση του προβλήματος ελαχιστοποίησης του χρόνου ολοκλήρωσης δραστηριοτήτων, Τμήμα Μαθηματικών, Πάτρα 2007, σελ.20.



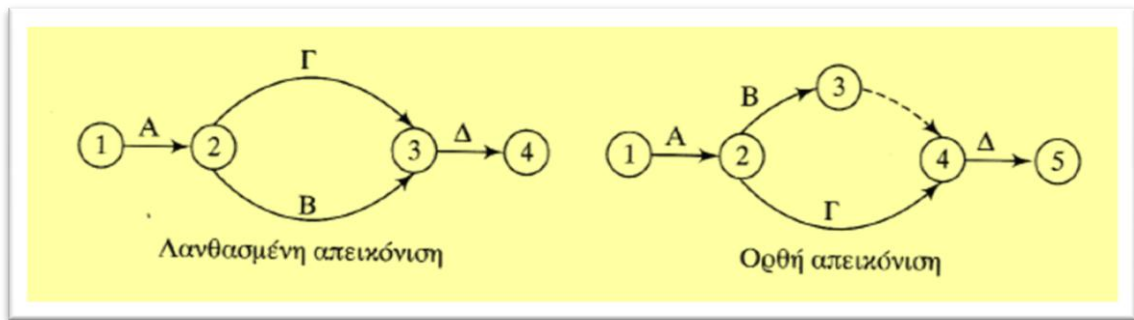
Σχήμα 4.7: Παράδειγμα κλειστού βρόγχου.

4. Όπως κάθε δραστηριότητα έχει ένα γεγονός έναρξης και ένα γεγονός πέρατος, έτσι και κάθε γεγονός πρέπει να έχει οπωσδήποτε μια προηγούμενη και μια επόμενη δραστηριότητα δηλαδή δεν είναι δυνατόν να υπάρχει σε ένα δίκτυο ένα ανεξάρτητο γεγονός ή μια ανεξάρτητη δραστηριότητα.
5. Το όλο διάγραμμα πρέπει να έχει μια γενική κατεύθυνση, κατά κανόνα από αριστερά προς τα δεξιά, που αρχίζει από το γεγονός έναρξης του έργου και τελειώνει στο γεγονός πέρατος του όλου έργου.
6. Εάν η αποπεράτωση μιας δραστηριότητας είναι προϋπόθεση για να αρχίσει η εκτέλεση άλλης δραστηριότητας (δηλαδή οι δραστηριότητες εκτελούνται διαδοχικά)
7. Εάν δύο ή περισσότερες δραστηριότητες μπορούν να εκτελεστούν παράλληλα.

#### 4.1.4. Πλασματικές και Τεχνικές Δραστηριότητες<sup>56</sup>.

Κατά την διαμόρφωση του δικτύου ενός έργου συχνά είναι αναγκαίο να γίνει χρήση της έννοιας της πλασματικής δραστηριότητας, δηλαδή της δραστηριότητας που δεν απαιτεί ανάλωση πόρων ούτε χρόνο εκτέλεσης, αλλά απλώς διευκολύνει τον ορθό σχεδιασμό του δικτύου. Μια πλασματική δραστηριότητα έχει, όπως όλες οι δραστηριότητες, ένα γεγονός έναρξης και ένα γεγονός πέρατος, εκφράζει μια σχέση μεταξύ πραγματικών δραστηριοτήτων και συμβολίζεται με διακεκομμένο τόξο. Η ανάγκη να χρησιμοποιηθεί μια πλασματική δραστηριότητα προκύπτει σε δύο περιπτώσεις. Στην πρώτη, δύο παράλληλες δραστηριότητες έχουν το ίδιο γεγονός έναρξης και πέρατος (**Σχήμα 4.8**), δηλαδή μπορεί να ξεκινήσει η εκτέλεση και των δύο όταν έχει ολοκληρωθεί μια προηγούμενη δραστηριότητα, ενώ το πέρας και των δυο αποτελεί προϋπόθεση για την έναρξη μιας επόμενης δραστηριότητας.

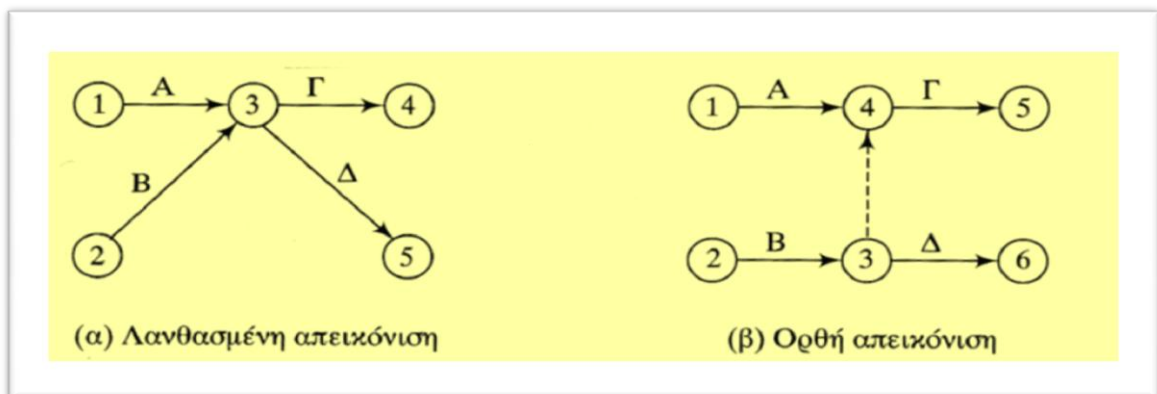
<sup>56</sup> Παγώνη Σοφία, Αλγόριθμος για την επίλυση του προβλήματος ελαχιστοποίησης του χρόνου ολοκλήρωσης δραστηριοτήτων, Τμήμα Μαθηματικών, Πάτρα 2007, σελ. 21-22.



**Σχήμα 4.8:** Χρήση πλασματικής δραστηριότητας για απεικόνιση παράλληλων δραστηριοτήτων με κοινή έναρξη και κοινό πέρας.

Επειδή κάθε δραστηριότητα ορίζεται μοναδικά από τα γεγονότα έναρξης και πέρατος, δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν δύο κόμβοι για να ορίσουν και τις δύο δραστηριότητες. Στην περίπτωση αυτή προστίθεται στο δίκτυο ένας νέος, πλασματικός κόμβος, που παριστάνει το πέρας της μιας από τις δύο δραστηριότητες και την έναρξη της πλασματικής, με μηδενική χρονική διάρκεια, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 4.8**.

Στην δεύτερη περίπτωση, στην αρχική εκπόνηση του σχεδίου εμφανίζεται μια δραστηριότητα να εξαρτάται από μια άλλη, ενώ αυτό δεν συμβαίνει στην πραγματικότητα. Για παράδειγμα, έστω ότι η δραστηριότητα Γ μπορεί να ξεκινήσει μόνον όταν ολοκληρωθούν οι δραστηριότητες Α και Β, ενώ για να ξεκινήσει η δραστηριότητα Δ αρκεί μόνο να ολοκληρωθεί η δραστηριότητα Β. **Στο Σχήμα 4.9(α)**, εμφανίζεται λανθασμένα ότι η Δ έπεται όχι μόνο της Β αλλά και της Α. Με τη χρήση μιας πλασματικής δραστηριότητας επιτυγχάνεται η ορθή απεικόνιση των πραγματικών σχέσεων προτεραιότητας μεταξύ των δραστηριοτήτων (**Σχήμα 4.9(β)**).



**Σχήμα 4.9:** Χρήση πλασματικής δραστηριότητας για την αποφυγή εμφάνισης μη πραγματικής σχέσης προτεραιότητας στο δίκτυο.

Αφού γίνει το αρχικό διάγραμμα, ακολουθεί η φάση της τακτοποίησης του δικτύου. Κατά τη φάση της τακτοποίησης του διαγράμματος επιδιώκεται<sup>57</sup>:

- ❖ Να μην υπάρχουν, αν είναι δυνατόν, διασταυρούμενες δραστηριότητες,
- ❖ Να περιορισθεί στο ελάχιστο ο αριθμός των πλασματικών δραστηριοτήτων,
- ❖ Όλες οι δραστηριότητες να έχουν τη μορφή ευθείας ή τεθλασμένης (όχι καμπύλες γραμμές),
- ❖ Τελικά το δίκτυο να είναι όσο το δυνατό πιο παραστατικό και εμφανίσιμο.

#### **4.2. Διαγράμματα Gantt.**

Το διάγραμμα Gantt είναι πρακτικά ένα γραμμικό χρονοδιάγραμμα το οποίο δίνει πληροφορίες για την εξέλιξη ενός έργου. Πρωτοσχεδιάστηκε στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα από τον Αμερικανό Henry Gantt, ο οποίος ανέπτυξε ένα εργαλείο, χρησιμοποιώντας το ως εποπτικό μέσο για τον προγραμματισμό και έλεγχο σε έργα κατασκευής σκαφών, υπό μορφή εξειδικευμένου γραφήματος. Θεωρείται πλέον μια από τις δημοφιλέστερες τεχνικές προγραμματισμού έργου λόγω της απλότητας του και για αυτό τα περισσότερα γραμμικά χρονοδιαγράμματα προγραμματισμού ονομάζονται και διαγράμματα Gantt. Βασίζεται στην απεικόνιση των διαφόρων δραστηριοτήτων με ευθύγραμμα παράλληλα τμήματα, τα οποία σχεδιάζονται με χρονική κλίμακα.

##### **4.2.1. Σύγχρονη χρήση των διαγραμμάτων Gantt.**

Το όφελος του διαγράμματος Gantt είναι η δυνατότητα του να επιδεικνύει την κατάσταση κάθε δραστηριότητας με μια ματιά. Δυστυχώς, η διόγκωση των έργων σε μέγεθος και πολυπλοκότητα, έδειξε ότι το διάγραμμα Gantt δεν αρκεί πλέον από μόνο του, ως εργαλείο προγραμματισμού και ελέγχου. Ωστόσο, τα προβλήματα και τα μειονεκτήματα του μπορούν να ξεπεραστούν αν χρησιμοποιηθεί συνδεδεμένο με τη μέθοδο PERT/CPM που παρουσιάζεται παρακάτω και το αντίστοιχο διάγραμμα δικτύου. Για την αλληλουχία και την ανάλυση των κρίσιμων διαδρομών, τα πρότυπα δικτύων CPM ή PERT είναι ενδεδειγμένα για την ανάλυση των εξαρτήσεων και του χρόνου ολοκλήρωσης του έργου. Ακόμα και όταν χρησιμοποιούνται τα παραπάνω

---

<sup>57</sup> Ε. Καρασαββίδου Χατζηγηγορίου, Λήψη Επιχειρηματικών Αποφάσεων: προσέγγιση με την Επιχειρησιακή Έρευνα, University Studio Press, Ανατύπωση 1999, σελ. 179.

πρότυπα δικτύων, το διάγραμμα Gantt συχνά χρησιμοποιείται ως εργαλείο υποβολής εκθέσεων.<sup>58</sup>

Η τεχνική αυτή είναι σίγουρα η καταλληλότερη για μικρού μεγέθους έργα, αλλά όσο ο αριθμός των δραστηριοτήτων αυξάνεται στα μεγάλα έργα, τόσο η παρουσίαση τους γίνεται ολοένα και περισσότερο μπλεγμένη, καθιστώντας το διάγραμμα αρκετά ασαφές και δυσανάγνωστο.<sup>59</sup>

Γενικά σε ένα σύγχρονο **διάγραμμα Gantt**:

- Παρουσιάζεται η χρονική διάρκεια κάθε γεγονότος και αυτή αντιστοιχεί στο μήκος που έχει το κάθε ορθογώνιο παραλληλόγραμμο. Κάθε παραλληλόγραμμο δηλαδή, αντιστοιχεί σε ένα γεγονός. Ο χρονικός προγραμματισμός της κάθε δραστηριότητας αναπαριστάται από μία οριζόντια γραμμή-ράβδο, που ξεκινά από την ημερομηνία νωρίτερης έναρξης της δραστηριότητας και καταλήγει στην ημερομηνία νωρίτερης λήξης της. Το μήκος της γραμμής-ράβδου είναι ανάλογο της χρονικής διάρκειας που απαιτείται για την ολοκλήρωσή της δραστηριότητας.
- Δείχνει πότε ακριβώς ξεκινάει και πότε ολοκληρώνεται ένα γεγονός και συνήθως τα διαφορετικά γεγονότα απεικονίζονται με διαφορετικά χρώματα. Οι γραμμές – ράβδοι των δραστηριοτήτων μπορεί να ξεκινούν όταν αυτές που προηγούνται λόγω των σχέσεων αλληλουχίας ολοκληρώνονται, μπορούν όμως και να επικαλύπτονται σε περιπτώσεις όπου οι δραστηριότητες δύνανται να ξεκινήσουν πριν από την ολοκλήρωση άλλων, όταν δηλαδή υπάρχουν δραστηριότητες που διενεργούνται παράλληλα.
- Το πάχος που έχουν τα παραλληλόγραμμα δεν έχει καμία σημασία, ενώ ο αριθμός από τις μπάρες δείχνει τον αριθμό των γραμμών εργασιών που μπορούν να εξελίσσονται παράλληλα.
- Στον οριζόντιο άξονα του διαγράμματος τοποθετείται ο χρόνος σε κατάλληλες υποδιαίρεσεις. Η χρονική μονάδα εξαρτάται από το έργο και είναι συνήθως εβδομάδα ή μήνας.
- Στον κατακόρυφο άξονα τοποθετούνται τα ονόματα των δραστηριοτήτων ή χρησιμοποιούνται κωδικοί αριθμοί που παραπέμπουν σε συγκεκριμένες εργασίες. Συνήθως οι δραστηριότητες τοποθετούνται με βάση την αλληλουχία που έχει καταγραφεί στον πίνακα των άμεσα προαπαιτούμενων δραστηριοτήτων.

---

<sup>58</sup> <http://studentweb.tulane.edu/~mtruill/dev-pert.html>.

<sup>59</sup> Burke, R, Project Management, Διαχείριση Έργου - Τεχνικές Σχεδιασμού και Ελέγχου, Εκδόσεις Κριτική, Αθήνα 2002, σελ. 245 – 246.

- Δείχνει ποια είναι τα κρίσιμα γεγονότα και πόσο μπορούν να καθυστερήσουν τα μη-κρίσιμα γεγονότα χωρίς να αυξηθεί ο χρόνος ολοκλήρωσης του έργου.

Το γραμμικό διάγραμμα μπορεί να αναπτυχθεί περαιτέρω αν εισαχθεί και το χρονικό περιθώριο της κάθε δραστηριότητας. Η καθιερωμένη απεικόνιση επισημαίνει το χρονικό περιθώριο στο τέλος της κάθε δραστηριότητας από τη νωρίτερη λήξη (EF) μέχρι την αργότερη λήξη (LF), ως μία διακεκομμένη γραμμή με ένα συγκεκριμένο μικρό σύμβολο στο τέλος. Έτσι μπορεί να συναχθεί ότι κάθε δραστηριότητα που δεν έχει χρονικό περιθώριο, βρίσκεται πάνω στην κρίσιμη διαδρομή. Στην πράξη όμως, οι υπεύθυνοι προγράμματος εργασιών αποφεύγουν να απεικονίζουν το χρονικό περιθώριο των δραστηριοτήτων, γιατί είναι στην ανθρώπινη φύση, όταν οι εργαζόμενοι γνωρίζουν το τελευταίο χρονικό περιθώριο, να κατανέμουν την προσπάθεια τους μέχρι την ημερομηνία αργότερης λήξης της, καθιστώντας όλες τις δραστηριότητες κρίσιμες.<sup>60</sup>

#### 4.3. Μέθοδος Κρίσιμης διαδρομής (Critical Path Method-CPM).

Η μέθοδος της κρίσιμης διαδρομής αναπτύχθηκε το 1958 από τους J. E. Kelly της Remington Rand και M.R. Walker της Du Pont για την υποστήριξη του προγραμματισμού των εργασιών κατασκευής και συντήρησης βιομηχανικών συγκροτημάτων παραγωγής χημικών προϊόντων. Η Du Pont αναζητούσε μία μέθοδο που να προσδιορίζει με ακρίβεια το οικονομικό και χρονικό κόστος των φάσεων κατασκευής χημικών εργοστασίων. Αυτό που χρειαζόταν η εταιρία ήταν μία μέθοδος η οποία να διαπιστώνει ανά πάσα στιγμή αν υπάρχουν καθυστερημένες εργασίες σε σχέση με το χρονοδιάγραμμα και πως θα έπρεπε να ενεργήσουν ώστε να εναρμονίσουν τις εργασίες με το πρόγραμμα. Έτσι το χρονικό διάστημα 1956-1958 αναπτύχθηκε η μέθοδος CPM (Critical Path Method). Συγκεκριμένα η εταιρία κατάφερε να μειώσει το χρόνο συντήρησης ενός συγκεκριμένου έργου στην περιοχή Louisville από 125 στις 78 ώρες.

Μολονότι η CPM αναπτύχθηκε αρχικά για να αποτιμήσει ποσοτικά την αντισταθμιστική σχέση κόστους-χρόνου, ο όρος CPM χρησιμοποιείται σήμερα ως συνώνυμος του όρου PERT, για να υποδηλώσει είτε το χρονικό προγραμματισμό καθεαυτού, είτε τον ενιαίο κύκλο προγραμματισμού και ελέγχου.<sup>61</sup>

<sup>60</sup> Burke, R, Project Management, Διαχείριση Έργου - Τεχνικές Σχεδιασμού και Ελέγχου, ό.π., σελ. 227- 231

<sup>61</sup> Smith, D, Quantitative Business Analysis, John Wiley & Sons, Inc, Canada, 1977, σελ. 405 – 406.

Δύο χρονικές εκτιμήσεις με το αντίστοιχο κόστος τους γίνονται για κάθε δραστηριότητα: μία κανονική διάρκεια που αντανακλά τις τυπικές κανονικές συνθήκες και μία επιταχυνόμενη διάρκεια, που αντανακλά συνθήκες υπερφορών και επιτάχυνσης ενός έργου. Αυτή η επιταχυνόμενη διάρκεια πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας παραπάνω πόρους και άρα το κόστος αυξάνεται. Αντικειμενικός σκοπός της μεθόδου είναι η βελτιστοποίηση του συνολικού κόστους του έργου.<sup>62</sup>

#### 4.3.1. Προγραμματισμός έργων με την μέθοδο CPM.

Για μια απόλυτα επιτυχημένη εφαρμογή της μεθόδου θα πρέπει οι επιμέρους εργασίες (δράσεις ή δραστηριότητες) που σχετίζονται με το έργο, να έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά<sup>63</sup>:

- Να είναι καλώς ορισμένες στη διάσταση του χρόνου και η περάτωσή τους να συμπίπτει με το πέρας του συνόλου του έργου,
- Να είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους.
- Να ακολουθούν συγκεκριμένη σειρά εκτέλεσης.

Χαρακτηριστικές περιπτώσεις που πληρούν τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι η κατασκευή δομικών έργων, η κατασκευή αεροπλάνων και οι ναυπηγικές βιομηχανίες και έτσι η μέθοδος CPM βρίσκει ευρεία εφαρμογή σ' αυτές.

Η μέθοδος CPM μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά στις περιπτώσεις που ο χρόνος ολοκλήρωσης κάθε επιμέρους δράσεως του έργου, μπορεί να εκτιμηθεί με σχετική ακρίβεια, είναι δηλαδή μια ντετερμινιστική μεταβλητή. Αυτό συμβαίνει όταν υπάρχουν ικανοποιητικά στοιχεία για την προσέγγιση των προαναφερόμενων χρόνων, δηλαδή είτε στατιστικά στοιχεία από παρόμοια έργα, είτε σε έργα όπου τα υπεύθυνα για την εκτέλεση στελέχη μπορούν με βάση τις τεχνικές γνώσεις τους και την εμπειρία τους να προβλέψουν σωστά τους χρόνους ολοκλήρωσης των δράσεων.

#### 4.3.2. Χρόνοι που υπολογίζονται επάνω σε ένα διάγραμμα δικτύου.

Μετά τη σχεδίαση του δικτύου που το αναπαριστά, ο προγραμματισμός ενός έργου με τη μέθοδο CPM γίνεται εύκολα, με την βοήθεια συνήθως ενός κατάλληλου προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή. Το πρόγραμμα προσδιορίζει τον ελάχιστο

---

<sup>62</sup> Lombaers, H, Project Planning by Network Analysis, North Holland Publishing Company, Amsterdam, 1969, σελ. 44.

<sup>63</sup> Δ. Ασκούνης, Σημειώσεις Διοίκησης Παραγωγής & Συστημάτων Υπηρεσιών, Κεφάλαιο 10: Προγραμματισμός έργων, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ, ΕΜΠ, σελ 13-14.



χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση του έργου, τις δραστηριότητες που είναι καθοριστικές για τον χρόνο αυτό, και τους μικρότερους και μεγαλύτερους χρόνους έναρξης και λήξης κάθε δραστηριότητας, προκειμένου να μη καθυστερήσει το έργο. Τα γεγονότα και οι δραστηριότητες κάθε δικτύου χαρακτηρίζονται από κάποιους χρόνους, που καθορίζουν μεταξύ άλλων την συνολική διάρκεια του έργου και την δυνατότητα ευελιξίας κατά την εκτέλεση του, όπως θα δειχθεί στην συνέχεια. Οι χρόνοι αυτοί είναι οι εξής<sup>64</sup>:

- **Μικρότερος χρόνος γεγονότος ( EF ):** Είναι ο συντομότερος χρόνος, κατά τον οποίο μπορεί να συμβεί το γεγονός. Αν το γεγονός αφορά στην έναρξη μιας δραστηριότητας, τότε ο μικρότερος χρόνος έναρξης είναι ο συντομότερος χρόνος κατά τον οποίο μπορεί να αρχίσει να εκτελείται η δραστηριότητα. Αν το γεγονός αφορά το πέρας μιας δραστηριότητας, τότε ο μικρότερος χρόνος πέρατος της δραστηριότητας είναι ο συντομότερος χρόνος που μπορεί η εκτέλεση αυτής της δραστηριότητας να περατωθεί. Ο χρόνος αυτός υπολογίζεται αθροίζοντας τους χρόνους των δραστηριοτήτων που περιλαμβάνονται στον κλάδο (σύνολο διαδοχικών τόξων) που οδηγεί στο γεγονός. Αν οι κλάδοι είναι περισσότεροι από δύο, τότε ο μικρότερος χρόνος έναρξης του γεγονότος ισούται με το μεγαλύτερο από τους χρόνους όλων των κλάδων που οδηγούν στο γεγονός.
- **Μεγαλύτερος χρόνος γεγονότος ( FT ):** Είναι ο μεγαλύτερος χρόνος που επιτρέπεται να συμβεί το γεγονός, ώστε να μην παραταθεί η συνολική διάρκεια του έργου. Αν το γεγονός αφορά την έναρξη μιας δραστηριότητας, τότε ο μεγαλύτερος χρόνος της έναρξης της δραστηριότητας είναι το χρονικό όριο για την έναρξη της δραστηριότητας. Αν ξεπεραστεί αυτό το όριο θα παραταθεί ο χρόνος περάτωσης του έργου. Αν το γεγονός αφορά την λήξη μιας δραστηριότητας, τότε ο μεγαλύτερος χρόνος πέρατος της δραστηριότητας είναι ο χρόνος κατά τον οποίο το αργότερο πρέπει να τελειώσει η δραστηριότητα ώστε να μην παραταθεί η διάρκεια του έργου. Ο χρόνος αυτός καθορίζεται αφαιρώντας από το χρόνο του πέρατος του έργου τους χρόνους των δραστηριοτήτων του κλάδου που οδηγεί από το γεγονός αυτό στο γεγονός του πέρατος του έργου. Αν οι κλάδοι είναι περισσότεροι από δύο, τότε ο μεγαλύτερος χρόνος αντιστοιχεί στον κλάδο με τον μικρότερο συνολικό χρόνο.

---

<sup>64</sup> Παγώνη Σοφία, Αλγόριθμος για την επίλυση του προβλήματος ελαχιστοποίησης του χρόνου ολοκλήρωσης δραστηριοτήτων, ο.π., Πάτρα 2007,σελ. 25-27.

Με βάση τους παραπάνω ορισμούς του νωρίτερου και βραδύτερου χρόνου γεγονότος, ορίζονται οι ακόλουθοι χρόνοι για κάθε δραστηριότητα:

- ❖ **Νωρίτερος χρόνος έναρξης της δραστηριότητας j (ESj) :** Είναι ο συντομότερος χρόνος που μπορεί να αρχίσει η εκτέλεση μιας δραστηριότητας. Ο χρόνος αυτός ισούται με τον μικρότερο χρόνο του γεγονότος έναρξης της δραστηριότητας.  $ES_j = \max \{ \text{όλων των δρόμων από τη δραστηριότητα έναρξης μέχρι αυτή τη δραστηριότητα} \}$ .
- ❖ **Βραδύτερος χρόνος έναρξης της δραστηριότητας j (LSj) :** Είναι ο μεγαλύτερος χρόνος που επιτρέπεται να αρχίσει η δραστηριότητα, ώστε να μη παραταθεί η διάρκεια του έργου.  $LS_j = \min \{ T \}$  όπου, T = διάρκειες όλων των δρόμων από τη πρώτη δραστηριότητα ως τη δραστηριότητα τέλους.
- ❖ **Νωρίτερος χρόνος πέρατος της δραστηριότητας j (EFj) :** Είναι ο μικρότερος χρόνος που αναμένεται να περατωθεί η δραστηριότητα.  $EF_j = ES_j + \text{διάρκεια δραστηριότητας } j$ .
- ❖ **Βραδύτερος χρόνος πέρατος της δραστηριότητας j (LFj) :** Είναι ο μεγαλύτερος χρόνος που επιτρέπεται να περατωθεί μια δραστηριότητα, ώστε να μη παραταθεί η διάρκεια του έργου.  $LS_j = LF_j - \text{διάρκεια δραστηριότητας } j$ .
- ❖ **Μέγιστος διαθέσιμος χρόνος:** Είναι το χρονικό διάστημα που διατίθεται για την εκτέλεση μιας δραστηριότητας και ισούται με την διαφορά του μικρότερου χρόνου του γεγονότος έναρξης από τον μεγαλύτερο χρόνο του γεγονότος πέρατος της δραστηριότητας.

#### 4.3.3. Υπολογισμός χρονικών περιθωρίων δραστηριοτήτων<sup>65</sup>.

##### Ελεύθερο Περιθώριο (Free Slack FSj)

Ελεύθερο περιθώριο ενός γεγονότος λέγεται το χρονικό διάστημα το οποίο μπορεί να καθυστερήσει ένα γεγονός χωρίς να αναβληθεί η έναρξη του επόμενου γεγονότος. Υπολογίζεται ως η διαφορά του νωρίτερου χρόνου έναρξης του επόμενου γεγονότος μείον τον νωρίτερο χρόνο πέρατος του γεγονότος.

$$FS_j = ES_k - ES_j, j \rightarrow k$$

<sup>65</sup> Αικατερίνη Ελ Ράχεμπ, Χρονικός προγραμματισμός παραγωγής προϊόντων σύνθετων προτεραιοτήτων, Σχολή Χημικών Μηχανικών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2003.

### **Δεσμευμένο Περιθώριο (Interfering Slack)**

Πρόκειται για τη διαφορά του συνολικού περιθωρίου μιας εργασίας μείον το ελεύθερο του περιθώριο και ουσιαστικά αντιπροσωπεύει το τμήμα εκείνο του περιθωρίου κατά το οποίο αν μετακινηθεί η εργασία θα καθυστερήσει την έναρξη της ή των επόμενων εργασιών. Ορίζεται ως :

$$IS_j = TS_j - FS_j$$

### **Συνολικό Περιθώριο Χρόνου (Total Slack)<sup>66</sup>**

Είναι το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα κατά το οποίο μπορεί να επιβραδυνθεί ο χρόνος εκτέλεσης μια δραστηριότητας χωρίς να αυξηθεί ο συνολικός χρόνος εκτέλεσης του όλου έργου. Εάν το συνολικό αυτό περιθώριο χρησιμοποιηθεί από μόνο μια δραστηριότητα τότε οι επόμενες δραστηριότητες θα γίνουν κρίσιμες. Εξάλλου το χρονικό αυτό περιθώριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί τμηματικά σε περισσότερες από μία δραστηριότητες.

#### **4.3.4. Μέθοδος Προωθημένου Βήματος (Forward Pass-FPM)<sup>67</sup>.**

- Ορίζεται η αρχή του δικτύου, η οποία μπορεί να είναι ένα πραγματικό ή πλασματικό γεγονός, ή γενικότερα οποιοδήποτε γεγονός του οποίου η εκτέλεση δεν προϋποθέτει την εκτέλεση άλλου γεγονότος .
- Τίθεται ο νωρίτερος χρόνος έναρξης της αρχής του δικτύου τη χρονική στιγμή μηδέν.
- Στη συνέχεια ακολουθείται η πορεία που δείχνουν τα βέλη και τίθεται, ως νωρίτερο χρόνος έναρξης του γεγονότος k που συναντάται, το βραδύτερο χρόνο έναρξης του γεγονότος που προηγείται, j.
- Στην περίπτωση που του γεγονότος k προηγούνται περισσότερα του ενός γεγονότος τότε σημειώνεται το γεγονός με το μέγιστο νωρίτερο χρόνο περάτωσης.

$$ES_k = \max_{j:j \rightarrow k} \{EF_j\} = \max\{ES_j + p_j\}$$

$$EF_k = ES_k + p_k$$

<sup>66</sup> Ε. Καρασαββίδου Χατζηγηγορίου, Λήψη Επιχειρηματικών Αποφάσεων: προσέγγιση με την Επιχειρησιακή Έρευνα, University Studio Press, Ανατύπωση 1999, σελ. 182-183.

<sup>67</sup> Αικατερίνη Ελ Ράχεμπ, Χρονικός προγραμματισμός παραγωγής προϊόντων σύνθετων προτεραιοτήτων, Σχολή Χημικών Μηχανικών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2003.

#### 4.3.5. Μέθοδος Ανάστροφου Βήματος (Backward Pass Method-BPM)<sup>68</sup>.

- Αντίστοιχα με τη μέθοδο FPM, ορίζεται το τέλος του δικτύου, το οποίο μπορεί να είναι ένα πραγματικό ή πλασματικό γεγονός, ή γενικότερα οποιοδήποτε γεγονός του οποίου η εκτέλεση δεν ακολουθείται από την εκτέλεση άλλου γεγονότος.
- Τίθεται ο Β.Χ.Π του τελικού γεγονότος ίσο με το Ν.Χ.Π του γεγονότος, δηλαδή ίσο με τον ελάχιστο χρόνο εκτέλεσης του έργου.
- Στη συνέχεια ακολουθείται η ανάστροφη πορεία που δείχνουν τα βέλη και τίθεται ως βραδύτερο χρόνο πέρατος του γεγονότος j που συναντάται ίσο με το βραδύτερο χρόνο έναρξης του επόμενου γεγονότος, δηλαδή του k.
- Στην περίπτωση που το γεγονός j ακολουθούν περισσότερα του ενός γεγονότος τότε σημειώνεται το γεγονός με τον ελάχιστο βραδύτερο χρόνο έναρξης.

$$LF_j = \min_{k:j \rightarrow k} \{LS_k\} = \min \{LF_k + p_k\}$$

$$LS_j = LF_j + p_j$$

#### 4.3.6. Εύρεση της κρίσιμης διαδρομής.

Σε κάθε δίκτυο υπάρχουν οι λεγόμενες κρίσιμες δραστηριότητες. Κρίσιμη λοιπόν καλείται η διαδρομή (το μονοπάτι) το οποίο δείχνει το συντομότερο δρόμο μέσα στο δίκτυο των γεγονότων με σκοπό την εύρεση του ελαχίστου χρόνου στον οποίο μπορεί να ολοκληρωθεί ένα έργο (project). Με άλλα λόγια λέγεται κάθε δραστηριότητα που δεν έχει κανένα περιθώριο καθυστέρησης ή μετατόπισης, δηλαδή που οι μικρότεροι και μεγαλύτεροι χρόνοι έναρξης και πέρατός της ταυτίζονται. Κάθε καθυστέρηση μιας τέτοιας δραστηριότητας συνεπάγεται αντίστοιχη καθυστέρηση στην περάτωση του έργου. Μια δραστηριότητα καθίσταται κρίσιμη λόγω της σχετικής θέσης της στο δίκτυο του έργου και της επιδίωξης να μη ξεπεράσει η διάρκεια του έργου κάποιο χρονικό όριο. Ειδικότερα, οι κρίσιμες δραστηριότητες ενός δικτύου προκύπτουν όταν ταυτίζονται ο μικρότερος με τον μεγαλύτερο χρόνο πέρατος της τελευταίας δραστηριότητας (δραστηριότητας πέρατος) του έργου. Κάθε δίκτυο, στο οποίο συμβαίνει το γεγονός αυτό, περιλαμβάνει μια τουλάχιστον κρίσιμη διαδρομή, δηλαδή έναν κλάδο που οδηγεί από το γεγονός έναρξης στο γεγονός

<sup>68</sup> Αικατερίνη Ελ Ράχεμπ, Χρονικός προγραμματισμός παραγωγής προϊόντων σύνθετων προτεραιοτήτων, Σχολή Χημικών Μηχανικών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2003.

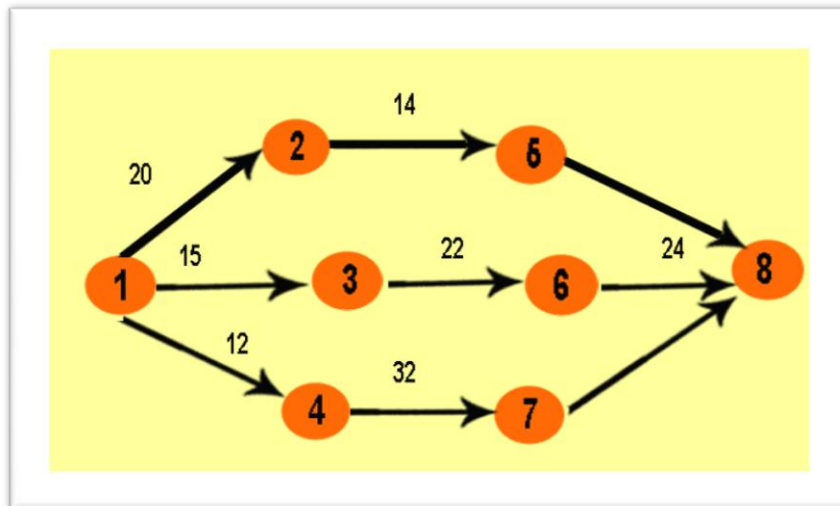
πέρατος του έργου και που αποτελείται μόνο από κρίσιμες δραστηριότητες. Η διαδρομή αυτή έχει την μεγαλύτερη χρονική διάρκεια από όλους τους κλάδους που οδηγούν από το γεγονός έναρξης στο γεγονός πέρατος του έργου<sup>69</sup>.

#### 4.3.7. Παράδειγμα εφαρμογής<sup>70</sup>.

Θεωρούνται τα δεδομένα του παρακάτω πίνακα και το δίκτυο που κατασκευάζεται βάση των δεδομένων στο **Σχήμα 4.10**.

**Πίνακας 4.1:** Δεδομένα δικτύου του σχήματος 4.10

Γεγονός	Προηγούμενο Γεγονός	Διάρκεια Εκτέλεσης
1	-	0
2	1	20
3	1	15
4	1	12
5	2	14
6	3	22
7	4	32
8	5,6 και 7	24



**Σχήμα 4.10.:** Παράδειγμα μεθόδου Κρίσιμης Διαδρομής . Με τη χοντρή γραμμή στο δίκτυο σχεδιάζεται το κρίσιμη διαδρομή του δικτύου.

<sup>69</sup> Παγώνη Σοφία, Αλγόριθμος για την επίλυση του προβλήματος ελαχιστοποίησης του χρόνου ολοκλήρωσης δραστηριοτήτων, ο.π., Πάτρα 2007, σελ. 25-27.

<sup>70</sup> Αικατερίνη Ελ Ράχεμπ, Χρονικός προγραμματισμός παραγωγής προϊόντων σύνθετων προτεραιοτήτων, Σχολή Χημικών Μηχανικών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2003.

Στο παράδειγμα του **Σχήματος 4.10**, το δίκτυο αποτελείται από 8 γεγονότα με πλασματικό αρχικό γεγονός διάρκειας μηδέν και πραγματικό τελικό γεγονός διάρκειας 25 χρονικών μονάδων. Χρησιμοποιείται εδώ ο συμβολισμός AoN (Activity on Node) ενώ πάνω από τα βέλη σημειώνεται η διάρκεια του γεγονότος το οποίο ξεκινά το βέλος.

Σύμφωνα λοιπόν με την υπολογιστική διαδικασία forward pass και τα παραπάνω δεδομένα. Για το αρχικό γεγονός 1 είναι:  $N.X.E.(1) + \Delta.E.(1) = N.X.Π(1) \Rightarrow 0 + 0 = 0$ . Ακολουθώντας τα βέλη συναντάται τα γεγονότα 2,3 και 4 με χρονικές διάρκειες 20,15 και 12 χρονικές μονάδες αντίστοιχα. Σε κάθε ένα από τα γεγονότα 2,3 και 4 προηγείται ένα και μοναδικό γεγονός το 1 με  $N.X.Π=0$ . Επομένως :

$$ES_2 = EF_1 = 0 \text{ και } EF_2 = ES_2 + p_2 = 0 + 20 = 20$$

$$ES_3 = EF_1 = 0 \text{ και } EF_3 = ES_3 + p_3 = 0 + 15 = 15$$

$$ES_4 = EF_1 = 0 \text{ και } EF_4 = ES_4 + p_4 = 0 + 12 = 12$$

Ακολουθώντας τα βέλη καθενός από τα γεγονότα είναι :

$$ES_5 = EF_2 = 20 \text{ και } EF_5 = ES_5 + p_5 = 20 + 14 = 34$$

$$ES_6 = EF_3 = 15 \text{ και } EF_6 = ES_6 + p_6 = 15 + 22 = 37$$

$$ES_7 = EF_4 = 12 \text{ και } EF_7 = ES_7 + p_7 = 12 + 32 = 44$$

Τέλος φτάνοντας στο τελικό γεγονός παρατηρείται ότι αυτού προηγούνται 3 γεγονότα το 5,6 και 7. Άρα :

$$ES_8 = \max\{EF_5, EF_6, EF_7\} = \max\{34, 37, 44\} = 44 \text{ και } EF_8 = ES_8 + p_8 = 44 + 24 = 68.$$

Αφού λοιπόν βρέθηκε ο N.X.E και ο N.X.Π και του τελικού γεγονότος η μέθοδος προωθημένου βήματος ολοκληρώθηκε και μάλιστα βρέθηκε και ο ελάχιστος χρόνος στον οποίο μπορεί να περατωθεί ολόκληρο το έργο και δεν είναι άλλος από τον N.X.Π του τελικού γεγονότος (EOP) και εν προκειμένω είναι ίσος με 68 χρονικές μονάδες.

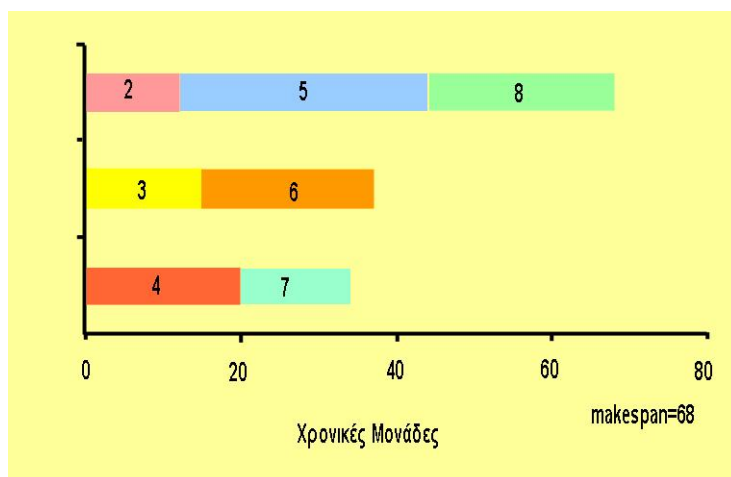
Με αντίστοιχο τρόπο όπως βρέθηκαν οι N.X.E και N.X.Π για κάθε γεγονός του παραδείγματος του **Σχήματος 4.10**, με τη μέθοδο FPM, βρίσκεται για όλα τα γεγονότα τους B.X.E και B.X.Π με την μέθοδο BPM. Έτσι μπορεί πλέον να υπολογιστεί το περιθώριο για κάθε γεγονός ως τη διαφορά  $S_k = LS_k - ES_k$  ή ισοδύναμα η διαφορά  $S_k = LF_k - EF_k$ . Τα τελικά αποτελέσματα της χρονικής ανάλυσης του έργου με τη μέθοδο CPM θα είναι για το παράδειγμα του **Σχήματος 4.10** όπως φαίνεται στον **Πίνακα 4.2**.

**Πίνακας 4.2.:** Αποτελέσματα Χρονικού Προγραμματισμού για το παράδειγμα του **διαγράμματος 4.10.** με τη μέθοδο CPM.

Γεγονός	ES <sub>j</sub>	EF <sub>j</sub>	LS <sub>j</sub>	LF <sub>j</sub>	TS <sub>j</sub>	FS <sub>j</sub>
10	0	0	0	0	0	0
2	0	20	10	30	10	0
3	0	15	7	22	7	0
4	0	12	0	12	0	0
5	20	34	30	44	10	0
6	15	37	22	44	7	0
7	12	44	10	30	10	0
8	44	68	44	68	0	0

Παρατηρείται λοιπόν ότι τα γεγονότα 4 και 8 είναι κρίσιμα γεγονότα αφού το συνολικό περιθώριο τους και το ελεύθερο περιθώριο τους είναι μηδενικό. Τα γεγονότα αντίθετα 2,3,5,6 και 7 έχουν μη μηδενικό συνολικό περιθώριο αλλά κανένα γεγονός δεν έχει ελεύθερο περιθώριο μη μηδενικό. Έτσι το γεγονός 2 π.χ. μπορεί να καθυστερήσει 10 χρονικές μονάδες, αλλά αυτό θα έχει ως επίπτωση τη μετατόπιση του νωρίτερου χρόνου έναρξης του επόμενου γεγονότος 5 από το 30 στο 40 και την καθυστέρηση ολόκληρου του έργου από τις 68 χρονικές μονάδες στις 78 χρονικές μονάδες. Παρατηρείται επίσης ότι για το αρχικό γεγονός το περιθώριο είναι μηδενικό αλλά αυτό δεν έχει καμία φυσική σημασία διότι το αρχικό γεγονός είναι πλασματικό και το μηδενικό περιθώριο προκύπτει απλά ως αποτέλεσμα του ότι όλα τα υπόλοιπα μεγέθη του είναι μηδενικά.

Σε αυτό το παράδειγμα θεωρείται ότι οι διαδικασίες οι οποίες δεν σχετίζονται μεταξύ τους με προτεραιότητες επομένως μπορούν να εκτελούνται παράλληλα σε τρεις γραμμές εργασιών όπως φαίνεται και στο διάγραμμα Gantt. Προφανώς αν στο ίδιο παράδειγμα όλες οι εργασίες έπρεπε να εκτελεστούν στην ίδια μηχανή ή σε δύο μηχανές ο μέγιστος χρόνος ολοκλήρωσης θα ήταν μεγαλύτερος. Έτσι αν οι μηχανές ήταν 2 και ο μέγιστος χρόνος ολοκλήρωσης θα ήταν μεγαλύτερος ανάλογα με τη σειρά που τοποθετούνταν στις μηχανές.



Σχήμα 4.11.: Διάγραμμα Gantt για το παράδειγμα του δικτύου 4.10.

Από τον πίνακα των αποτελεσμάτων (Πίνακας 4.2) προκύπτει το χρονοδιάγραμμα Gantt το οποίο σχεδιάζεται με βάση τους νωρίτερους χρόνους έναρξης και περάτωσης.

#### 4.3.8. Κριτήρια κρισιμότητας.

Τα κριτήρια κρισιμότητας τα οποία λαμβάνονται υπόψη σε τέτοιου είδους αναλύσεις κατατάσσονται συνήθως σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: το κόστος, τη διάρκεια και τον κίνδυνο που μπορεί να προκύψει από τη συμπίεση μιας εργασίας.

#### Κόστος<sup>71</sup>.

Η εκτίμηση του κόστους του έργου είναι ένα από τα σημαντικότερα βήματα στη διαχείριση έργων, καθώς οριοθετεί μια βάση ελέγχου για την πορεία του έργου. Υπολογίζονται δύο συνιστώσες του κόστους: το άμεσο και το έμμεσο κόστος του έργου.

Το *άμεσο κόστος* περιλαμβάνει όλες τις συνιστώσες κόστους που εμπλέκονται ευθέως στην περάτωση του έργου, δηλαδή:

- Το κόστος των πρώτων υλών (αγορά α' υλών, μεταφορά, προσωρινή αποθήκευση)
- Το κόστος του ανθρώπινου δυναμικού (μισθοί, ασφάλιση, επιδόματα και άλλα)
- Το κόστος χρήσης του μηχανολογικού εξοπλισμού (κόστος ενοικίασης/αγοράς και λειτουργίας των μηχανημάτων).

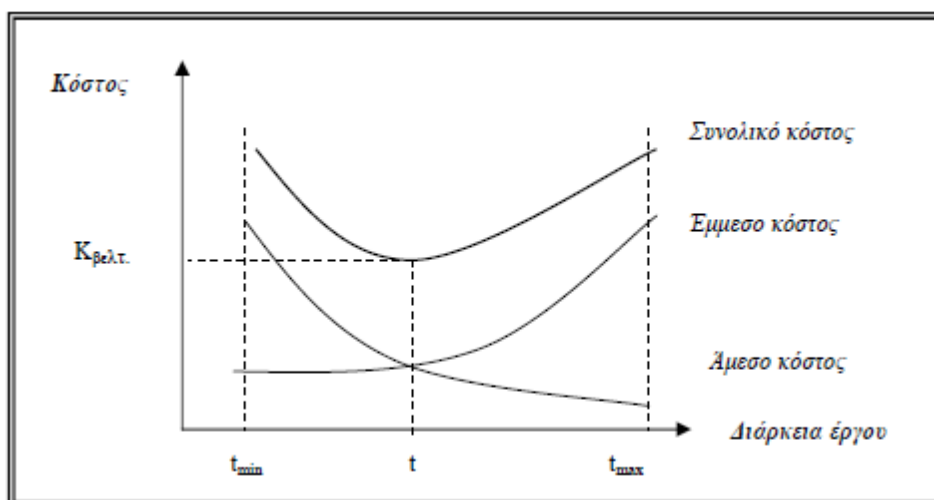
<sup>71</sup> Λέκου Βαρβαρα, Υπολογισμός της Κρισιμότητας Δραστηριοτήτων με τη Χρήση Ασαφούς Λογικής, Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Πειραιά, 2005, σελ 54-58.



Αντίστοιχα το έμμεσο κόστος περιλαμβάνει τα εξής:

- Το κόστος επίβλεψης και οργάνωσης των εργοταξίων και «στησίματος» των εργοταξιακών εγκαταστάσεων (ενοικίαση εγκαταστάσεων, φρούρηση, συντήρηση)
- Το κόστος διεύθυνσης και οργάνωσης της εταιρείας (δαπάνες διοικητικού προσωπικού, γραμματειακά έξοδα)
- Το κόστος χρηματοδότησης της κατασκευής ή του προϊόντος υπηρεσιών
- Το κόστος που πρέπει να προβλεφθεί για τυχόν ρήτρες, πρόστιμα, ασφάλειες κ.τ.λ.

Η εκτίμηση του έμμεσου κόστους γίνεται στην αρχή του έργου και στη συνέχεια επιμερίζεται κατά χρονική μονάδα του έργου. Κατά συνέπεια μπορεί να παραμένει σταθερό, ο γενικός κανόνας όμως είναι να αυξάνεται με την αύξηση της διάρκειας του έργου και να μειώνεται σε περίπτωση συμπίεσης.



Σχήμα 4.12.: Καμπύλες κόστους

Από τα παραπάνω προκύπτει η γραφική παράσταση του άμεσου, του έμμεσου και του συνολικού κόστους του έργου. Πρέπει να αναφερθεί ότι ως κριτήριο συμπίεσης μιας εργασίας λαμβάνεται το άμεσο κόστος συμπίεσης ανά μονάδα χρόνου.

#### 4.4. Μέθοδος PERT (Project Evaluation and Review Technique).

Την περίοδο 1958-1959 η εταιρία συμβούλων Booz-Allen και Hamilton σε συνεργασία με το τμήμα ειδικών προγραμμάτων του πολεμικού ναυτικού ανέπτυξε μία νέα μέθοδο ονόματι Project Evaluation Research Task, προκειμένου να καταφέρει

να σχεδιάσει, προγραμματίσει και ελέγξει το επιχειρησιακό πρόγραμμα της ανάπτυξης των οπλικών συστημάτων Polaris του πολεμικού ναυτικού των Η.Π.Α. Σύντομα η μέθοδος αυτή μετονομάστηκε σε Program Evaluation Review Technique, γνωστή σήμερα και ως μέθοδο PERT. Αναζητούσαν μία μέθοδο που να ελαχιστοποιεί κυρίως τις καθυστερήσεις και τις διακοπές που αποτελούν συχνό πρόβλημα στα κυβερνητικά έργα (projects).

Η μέθοδος PERT αναπτύχθηκε παράλληλα αλλά ανεξάρτητα από την μέθοδο CPM. Ωστόσο πολύ γρήγορα έγινε και αυτή το ίδιο δημοφιλής όσο και η CPM και αποτελεί ισχυρό εργαλείο στην διοίκηση και τον προγραμματισμό των έργων. Η ομοιότητα των δύο μεθόδων είναι εξόχως εντυπωσιακή αν σκεφτεί κανείς ότι αναπτύχθηκαν ανεξάρτητα μεταξύ τους. Οι ερευνητές χρησιμοποιούσαν τη μέθοδο PERT για το χειρισμό προβλημάτων με στοχαστικούς χρόνους δραστηριοτήτων και εφαρμόζεται όταν ο τελικός χρόνος πραγματοποίησης των δραστηριοτήτων ενός έργου δεν είναι δυνατό να καθοριστεί με ακρίβεια, λόγω της εμφανίσεως απρόβλεπτων. Επίσης στα δίκτυα PERT οι δραστηριότητες παριστάνονταν με ακμές, ενώ στα δίκτυα CPM οι κόμβοι συμβόλιζαν τις δραστηριότητες.<sup>72</sup>

#### 4.4.1. Γενικά στοιχεία για τη μέθοδο PERT.

Η μέθοδος PERT (Project Evaluation and Review Technique) εισάγει στον υπολογισμό την πιθανοτική (στοχαστική) θεώρηση με τρεις εκτιμήσεις των χρονικών διαρκειών των δραστηριοτήτων. Το πλεονέκτημα της πιθανοτικής θεωρήσεως κατά τη μέθοδο PERT είναι ότι οι διάρκειες των δραστηριοτήτων εισάγονται στον υπολογισμό με κατανομή πιθανότητας και ο χρόνος πέρας του έργου ή των ενδιαμέσων προθεσμιών υπολογίζεται με την αντίστοιχη πιθανότητα πραγματοποίησης πάνω ή κάτω από τις προγραμματισμένες προβλέψεις. Η μέθοδος PERT, παρόλα τα πολλά πλεονεκτήματά της, δεν βρίσκει μεγάλη εφαρμογή στα τεχνικά έργα. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός, ότι οι Μηχανικοί των εργοταξίων δεν έχουν την απαιτούμενη εμπειρία της εφαρμογής των στατιστικών μεθόδων στις παραγωγικές διαδικασίες. Η μέθοδος του στοχαστικού υπολογισμού χρησιμοποιείται, όταν τα χρονικά στοιχεία για τον υπολογισμό δεν είναι δυνατόν να προκαθοριστούν με την απαιτούμενη ακρίβεια, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση μακροχρονίων αναπτυξιακών προγραμμάτων ή όταν οι διαδικασίες παραγωγής του έργου

---

<sup>72</sup> Οικονόμου Γ., Γεωργίου Α, Ποσοτική Ανάλυση Για τη Λήψη Διοικητικών Αποφάσεων, Τόμος Β, Εκδόσεις Μπένου, Αθήνα 2000, σελ. 162.

επηρεάζονται από αστάθμητους παράγοντες. Στην περίπτωση αυτή η διάρκεια της δραστηριότητας καθορίζεται με πιθανοτική εκτίμηση του χρόνου της δραστηριότητας, και συγκεκριμένα με τις τρεις τιμές για τις οποίες γίνεται η παραδοχή, ότι ακολουθούν κατανομή βήτα. Η στοχαστική θεώρηση εξετάζεται σε συνδυασμό με την ανάλυση κινδύνου.<sup>73</sup>

#### 4.4.2. Αβεβαιότητα χρόνου εκτέλεσης δραστηριοτήτων-τεχνική της μεθόδου.

Κατά την εφαρμογή αυτής της τεχνικής ακολουθούμε τα βήματα που αναπτύχθηκαν στη μέθοδο CPM αφού λάβουμε υπόψη τα παρακάτω<sup>74</sup>:

- Σύμφωνα με τη τεχνική PERT οι συχνότητες εμφάνισης των χρόνων εκτέλεσης των δραστηριοτήτων ακολουθούν μια κατανομή και συγκεκριμένα την κατανομή Βήτα. Η καμπύλη της κατανομής αυτής μοιάζει με την καμπύλη της κανονικής κατανομής, με τη διαφορά ότι τα άκρα της τέμνουν τον άξονα του χρόνου  $t$  σε δύο σημεία, στο σημείο  $t_a$  και στο σημείο  $t_b$ . Επίσης, δεν είναι πάντα συμμετρική ως προς τον άξονα. Η υπόθεση ότι η κατανομή του χρόνου είναι η Βήτα, παρόλο που είναι αυθαίρετη, έχει αποδειχθεί ότι στην πράξη δίνει πολύ καλά αποτελέσματα.
- Με την παραδοχή αυτή η διάρκεια της δραστηριότητας υπολογίζεται με βάση τριών χρόνων εκτέλεσης:
  - (1) *Τον αισιόδοξο χρόνο,  $t_a$  ( $t_{aij}$ ), που εκφράζει την πιο αισιόδοξη εκτίμηση. Ο χρόνος αυτός, επειδή αντιστοιχεί στις πιο ευνοϊκές συνθήκες πραγματοποίησης της δραστηριότητας, είναι ο συντομότερος (ελάχιστος) και πραγματοποιείται πιο δύσκολα. Ουσιαστικά, αντιστοιχεί στις βέλτιστες συνθήκες κατασκευής του έργου. Η πιθανότητα εμφάνισης της είναι 1 φορά στις 100 (τρεις σταθερές αποκλίσεις από το μέσο όρο).*
  - (2) *Ο απαισιόδοξος χρόνος,  $t_b$  ( $t_{bv}$ ), που εκφράζει την πιο απαισιόδοξη εκτίμηση. Είναι ο χρόνος εκτέλεσης της δραστηριότητας κάτω από τις πιο δυσμενείς συνθήκες, γι' αυτό είναι ο μακρύτερος χρόνος (μέγιστος) και πραγματοποιείται εύκολα. Ουσιαστικά, αντιστοιχεί στις δυσμενέστερες συνθήκες κατασκευής του έργου. Η πιθανότητα να εμφανιστεί είναι 1 φορά στις 100 (τρεις σταθερές αποκλίσεις από το μέσο όρο).*

<sup>73</sup> Χ Εφραϊμίδης, Διαχείριση Κατασκευών, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1999, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1999, σελ. 2-6.

<sup>74</sup> Ε. Καρασαββίδου Χατζηγηγορίου, Λήψη Επιχειρηματικών Αποφάσεων: προσέγγιση με την Επιχειρησιακή Έρευνα, University Studio Press, Ανατύπωση 1999, σελ. 194-196.

(3) Ο πιο πιθανός χρόνος  $t_m$  ( $t_{mj}$ ), είναι ο κανονικός χρόνος εκτέλεσης της δραστηριότητας, δηλαδή αυτός που θα παρουσιαζόταν συχνότερα, εάν επαναλαμβάναμε την δραστηριότητα πολλές φορές. Συνεπώς, ο χρόνος  $t_m$ , που εκφράζει την πιο πιθανή εκτίμηση του χρόνου πραγματοποίησης μιας δραστηριότητας, είναι ο τύπος της κατανομής. Αντιστοιχεί δηλαδή στη μέγιστη συχνότητα εμφάνισης

➤ Η κατανομή Βήτα έχει σαν παράμετρο την μέση τιμή αυτής,  $t_e$ , που διαιρεί την κατανομή σε δύο (περίπου) ίσα μέρη. Η τιμή  $t_e$ , σύμφωνα με την τεχνική PERT, εκφράζει τον μέσο χρόνο που είναι απαραίτητος για να πραγματοποιηθεί η δραστηριότητα και θεωρείται σαν αναμενόμενος χρόνος,  $t_{ij}$ . Η τιμή αυτή επηρεάζεται από τις τιμές  $t_a$  και  $t_b$  και μπορεί να είναι μεγαλύτερη από την τιμή  $t_m$  (που αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη τεταγμένη της καμπύλης), όταν η καμπύλη παρουσιάζει αρνητική ασυμμετρία, ίση με την  $t_m$ , όταν η καμπύλη είναι κανονική, μικρότερη της  $t_m$ , όταν η καμπύλη είναι θετικά ασυμμετρική. Η τιμή της  $t_e$  προσδιορίζεται από τον τύπο:

$$t_e = \frac{1}{3} \left[ 2m + \frac{1}{2}(a + b) \right] \Rightarrow t_e = \frac{t_a + 4t_m + t_b}{6}$$

Η σχέση αυτή προκύπτει από την κατανομή βήτα και δίδει βαρύτητα στην συντηρητική εκτίμηση  $m$  τέσσερις φορές σε σχέση με τις άλλες δύο εκτιμήσεις.

Η δεύτερη παράμετρος της Βήτα-κατανομής είναι φυσικά η τυπική απόκλιση  $\sigma$ . Η τυπική απόκλιση είναι συνάρτηση του εύρους της καμπύλης και εδώ των ακραίων τιμών  $t_a$  και  $t_b$ . Κατά συνέπεια, οι τιμές αυτές καθορίζουν και την αβεβαιότητα ή την βεβαιότητα. Η τυπική απόκλιση προκύπτει από την σχέση:

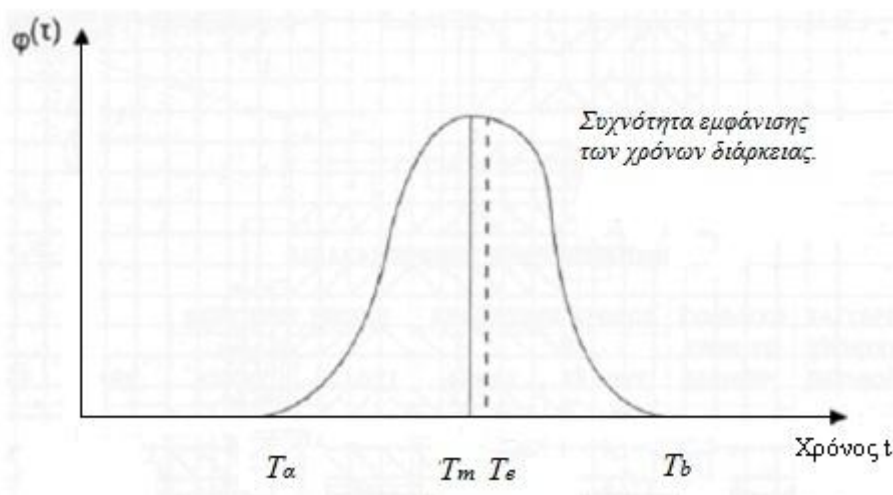
$$\sigma = \frac{t_a - t_b}{6}$$

Όπου γίνεται η υπόθεση ότι η απόσταση μεταξύ των άκρων,  $t_a$  και  $t_b$  είναι 6 τυπικές αποκλίσεις, δηλαδή το κάθε άκρο βρίσκεται τρεις τυπικές κλίσεις από την πιο πιθανή τιμή  $m$ . Εξάλλου, το τετράγωνο της τυπικής απόκλισης δίνει τη διακύμανση της κατανομής και αποτελεί και την τρίτη παράμετρο της:

$$\sigma^2 = \left( \frac{t_a - t_b}{6} \right)^2$$

όπου η διακύμανση του χρόνου όλου του έργου ισούται με το άθροισμα των διακυμάνσεων των δραστηριοτήτων της κρίσιμης διαδρομής του. Αν υπάρχουν περισσότερες της μία κρίσιμες διαδρομές χρησιμοποιείται εκείνη που έχει τη

μεγαλύτερη διακύμανση. Διαγραμματικά τους χρόνους που αναφέραμε μπορούμε να τους παρουσιάσουμε ως εξής:



**Σχήμα 4.13.:** Χρόνοι που απαιτούνται για τη PERT.

Τα βήματα της τεχνικής αυτής είναι παρόμοια με αυτά της προαναφερθείσας μεθόδου της κρίσιμης διαδρομής<sup>75</sup>. Αναγνωρίζονται οι δραστηριότητες, καθορίζονται οι σχέσεις αλληλουχίας τους και καταστρώνεται το δικτυωτό γράφημα, προσδιορίζονται οι τρεις διάρκειες στην τεχνική αυτή, και καταγράφεται κι εδώ η κρίσιμη διαδρομή. Η τελευταία καθορίζει το συνολικό ημερολογιακό χρόνο που απαιτείται για το πρόγραμμα. Εάν οι δραστηριότητες έξω από αυτήν επιταχύνονται ή επιβραδύνονται (μέσα στα όρια), η συνολική διάρκεια του έργου δεν αλλάζει. Επίσης, απαιτείται παρακολούθηση και έλεγχος για πιθανές αναπροσαρμογές στους χρόνους κατά την διάρκεια εφαρμογής του έργου. Σε περιπτώσεις καθυστερήσεων μπορεί να απαιτηθούν επιπλέον πόροι για την διατήρηση του αρχικού προγραμματισμού<sup>76</sup>.

#### 4.4.3. Προγραμματισμός και έλεγχος έργου: ένα ενισχυμένο δίκτυο PERT.

Η PERT είναι μια αποδεκτή μέθοδος για το σχεδιασμό προγραμμάτων και την αξιολόγηση. Για να βελτιωθεί η αποτελεσματικότητα της σαν ένα εργαλείο σχεδιασμού εργασιών και ελέγχου, η παράγραφος αυτή εστιάζει σε δύο πιθανούς περιορισμούς της PERT, δηλαδή την έλλειψη της μιας συνολικής ταξινόμησης των

<sup>75</sup> R.Martin, PERT, CPM and Agile Project Management, Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία, σελ.1-3.

<sup>76</sup> Χατζηνικολάου Γ. Ευαγγελία, Διαχείριση Έργου: Κατασκευή Οικοδομικού Έργου, Τμήμα Οργάνωσης και Διοίκησης Επιχειρήσεων, Πειραιάς 2005, σελ.136.

προτεραιοτήτων για όλες τις δραστηριότητες και την απουσία των ανεκτών ορίων χρόνου του έργου και της δραστηριότητας<sup>77</sup>.

#### **4.4.3.1. Έλλειψη της συνολικής ταξινόμησης προτεραιοτήτων της δραστηριότητας.**

Στο δίκτυο PERT, όλες οι δραστηριότητες, με την εξαίρεση αυτών στην κρίσιμη διαδρομή, υποτίθενται ότι είναι οι ίδιες με όρους ταξινόμησης των προτεραιοτήτων. Αυτό είναι και ανεπαρκές και παραπλανητικό. Στο προτεινόμενο μοντέλο, εισάγεται ένα νέο μέτρο (ένας συντελεστής ολοκλήρωσης της δραστηριότητας). Αυτό το μέτρο δίνει προτεραιότητα σε δραστηριότητες δείχνοντας τον επιπρόσθετο χρόνο που απαιτείται σε κάθε δραστηριότητα για να εξασφαλιστεί η ολοκλήρωσή τους. Συνεπώς, οι managers είναι πληροφορημένοι για την σχετική ταξινόμηση των προτεραιοτήτων όλων των δραστηριοτήτων του δικτύου.

#### **4.4.3.2. Απουσία των ανεκτών ορίων χρόνου.**

Με την εξαίρεση του χρόνου ροής που είναι διαθέσιμος σε κάποια γεγονότα, στην PERT, δεν έχει γίνει κανένας προσδιορισμός, στην έκταση του ποιες αποκλίσεις των δραστηριοτήτων και των χρόνων των δραστηριοτήτων απορροφώνται και είναι ανεκτές από το σύστημα. Σαν αποτέλεσμα, ο λήπτης αποφάσεων δεν είναι σε θέση να γνωρίζει, πότε μια καθυστέρηση στην εκτέλεση της δραστηριότητας έχει φτάσει σε ένα μη ανεκτό επίπεδο. Η δέσμευση στο να διεξαχθεί μια εργασία δεν σημαίνει «εκτέλεση με κάθε κόστος». Πέρα από ένα μέγιστο ανεκτό επίπεδο, η πιο λογική και οικονομική επιλογή μπορεί να είναι η διακοπή της εργασίας. Στο προτεινόμενο μοντέλο, ο manager γνωρίζει τον μέγιστο επιτρεπόμενο χρόνο του έργου όπως επίσης και τον επιτρεπόμενο χρόνο σε κάθε δραστηριότητα του δικτύου.

Στην ακόλουθη ενότητα αναπτύσσεται ένα μοντέλο για να διευθύνει αυτούς τους περιορισμούς. Αυτό το μοντέλο έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Σε κάθε δραστηριότητα έχει ανατεθεί μια ταξινόμηση προτεραιοτήτων που βασίζεται στο χρόνο που έχει εκτιμηθεί και μια τυπική απόκλιση.
- Ο μεγαλύτερος χρόνος ολοκλήρωσης που απορροφάται από το σύστημα έχει εκτιμηθεί. Ύστερα, αυτή η επιπλέον χωρητικότητα διατίθεται για τις δραστηριότητες του δικτύου.

---

<sup>77</sup> H. Kuklan, E. Erdem, F. Nasrit and M. J. Paknejad, Project planning and control: an enhanced PERT network, Butterworth-Heinemann Ltd, 1993.

- Μια διαδικασία σχεδιάζεται, εάν είναι απαραίτητο, για να τροποποιηθούν οι επιτρεπόμενοι χρόνοι για μια δραστηριότητα και να εξασφαλιστεί ότι οι υψηλότεροι επιτρεπόμενοι χρόνοι δεν παραβιάζονται.
- Η πιθανότητα της ολοκλήρωσης κάθε δραστηριότητας που βρίσκεται μέσα στον υψηλότερο επιτρεπόμενο χρόνο, υπολογίζεται.

Οι παραπάνω πληροφορίες, που τοποθετούνται στο πρόγραμμα PERT, παρέχουν στον manager ένα σημαντικό και αποτελεσματικό εργαλείο για σχεδιασμό και έλεγχο εργασιών. Το μοντέλο είναι μια εκτεταμένη και ενισχυμένη εκδοχή της PERT, και ως εκ τούτου αναφέρεται με το ακρωνύμιο EN- PERT. Οι σημειολογήσεις σε αυτό το μοντέλο είναι οι ακόλουθοι:

- $T_{ei}$  = χρόνος της δραστηριότητας  $i$ .
- $\sigma_i$  = τυπική απόκλιση για τη δραστηριότητα  $i$ .
- $ACC_i$  = συντελεστής ολοκλήρωσης δραστηριότητας για τη δραστηριότητα  $i$ .
- PAT = επιτρεπόμενος χρόνος έργου.
- AAT <sub>$i$</sub>  = επιτρεπόμενος χρόνος δραστηριότητας της δραστηριότητας  $i$ .
- $Z_i$ , = τυπικό Z σκορ για τη δραστηριότητα  $i$ .
- PCT = χρόνος ολοκλήρωσης έργου.
- C = κοινός παράγοντας μείωσης.
- PL = μήκος κρίσιμης διαδρομής.
- PR = πιθανότητα της ολοκλήρωσης δραστηριότητας μέσα στο AAT.
- ET = χρόνος γεγονότος
- ATT = συσσωρευμένος ανεκτός χρόνος.

#### 4.4.3.3 Μοντέλο.

Σε ένα πρόγραμμα PERT, η διαδικασία περιλαμβάνει (α) τον καταμερισμό της εργασίας σε δραστηριότητες και γεγονότα, (β) τον καθορισμό της ακολουθίας στην οποία οι δραστηριότητες πρέπει να εκτελεστούν και κατασκευή ενός δίκτυο για να απεικονίσει ποιες δραστηριότητες και γεγονότα σχετίζονται μεταξύ τους, γ) την εκτίμηση του χρόνου για κάθε δραστηριότητα, δ) την αναγνώριση των κρίσιμων διαδρομών, ε) την επανασχεδίαση του δικτύου χρησιμοποιώντας εναλλακτικούς πόρους από μη κρίσιμες σε κρίσιμες διαδρομές για να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος ολοκλήρωσης των εργασιών και στ) χρησιμοποιώντας το δίκτυο, όπως αναπτύχθηκε και τελειοποιήθηκε παραπάνω, για να υλοποιηθεί το σχέδιο κατά το χρόνο ζωής των

εργασιών. Το προτεινόμενο μοντέλο (EN- PERT) ξεκινά με ένα οριστικοποιημένο πρόγραμμα PERT και περιλαμβάνει την παρακάτω ακολουθία βημάτων<sup>78</sup>.

### **Βήμα 1: Συντελεστής ολοκλήρωσης της δραστηριότητας.**

Στην PERT, ο χρόνος δραστηριότητας  $T_e$  υπολογίζεται στη βάση των εκτιμήσεων των τριών χρόνων: (α) την πιο αισιόδοξη, (β) την πιο απαισιόδοξη και (γ) την πιο πιθανή τιμή.

$$T_{ei} = a_i + 4m_i + b_i/6 \quad (4.1)$$

Ο πραγματικός χρόνος που σπαταλάται σε μια δραστηριότητα μπορεί να ποικίλλει ανάμεσα στις αισιόδοξες και απαισιόδοξες εκτιμήσεις χρόνου, όπου το  $T_e$  μπορεί να είναι ανάμεσα σε αυτές τις δύο εκτιμήσεις χρόνου. Στατιστικά, υπάρχει μια πιθανότητα 99% ότι οι δραστηριότητες θα ολοκληρωθούν μέσα στις εκτιμήσεις χρόνου τους συν τρεις τυπικές αποκλίσεις ( $T_{ei} + 3\sigma_i$ ) με την τυπική απόκλιση να ορίζεται από την έκφραση:

$$\sigma_i = (b_i - a_i)/6 \quad (4.2)$$

Ωστόσο, κάτω από την υπόθεση της κανονικής κατανομής, οι τρεις τυπικές αποκλίσεις παρέχουν τη βάση για ένα μέτρο εμπιστοσύνης της ολοκλήρωσης της δραστηριότητας, που εδώ αναφέρεται σαν συντελεστής ολοκλήρωσης της δραστηριότητας (ACC). Για κάθε δραστηριότητα, αυτό το μέτρο δείχνει τον επιπλέον χρόνο που θα χρειαστεί, που εκφράζεται σαν ένα ποσοστό του  $T_{ei}$  με υψηλή εμπιστοσύνη ότι η δραστηριότητα θα ολοκληρωθεί.

$$ACC_i = 3\sigma_i/T_{ei} \quad (4.3)$$

### **Βήμα 2: Επιτρεπόμενος χρόνος έργου.**

Οι εργασίες δεν ολοκληρώνονται πάντα όπως σχεδιάζονται, έτσι συμβαίνουν πολλές φορές καθυστερήσεις. Η σημαντική ερώτηση είναι τότε ποιο είναι το υψηλότερο ποσοστό καθυστέρησης για την ολοκλήρωση του έργου που μπορεί να απορροφήσει ένας οργανισμός. Αυτό είναι μια σημαντική πληροφορία που δε μπορούμε να την έχουμε από την PERT. Στην EN-PERT, οι ομάδες διαχείρισης και σχεδιασμού προσδοκούν, με βάση την καλύτερη επαγγελματική και εξειδικευμένη κρίση τους, να εκτιμήσουν τον αργότερο επιτρεπόμενο χρόνο ολοκλήρωσης (PAT).

<sup>78</sup> H. Kuklan, E. Erdem, F. Nasrit and M. J. Paknejad, Project planning and control: an enhanced PERT network, Butterworth-Heinemann Ltd, 1993.



Αυτή η πληροφορία χρησιμοποιείται για να καθορίσει την υψηλότερη καθυστέρηση που είναι ανεκτή σε κάθε δραστηριότητα.

### Βήμα 3: Επιτρεπόμενος χρόνος δραστηριότητας.

Στο προτεινόμενο μοντέλο, ύστερα από τον καθορισμό του επιτρεπόμενου χρόνου εργασιών, προστίθεται η χωρητικότητα, (επιτρεπόμενος χρόνος έργου μείον το χρόνο ολοκλήρωσης του έργου (PCT)), η οποία κατανέμεται ανάμεσα στις δραστηριότητες με έναν τέτοιο τρόπο που σε κάθε δραστηριότητα δίνεται η ίδια πιθανότητα ολοκλήρωσης μέσα στον επιτρεπόμενο χρόνο δραστηριότητας (AAT). Κατά συνέπεια ο  $AAT_i$  είναι ο μέγιστος επιτρεπόμενος χρόνος ολοκλήρωσης μιας δραστηριότητας  $i$  μέσα στα ευρύτερα όρια που τίθενται από το PAT. Αυτό το βήμα δίνει σε όλες τις δραστηριότητες μια ίση θέση στους όρους ταξινόμησης των προτεραιοτήτων.

$$Z_1 = Z_2 = \dots = Z_m = Z_o \quad (4.4)$$

Και εξ' ορισμού:

$$Z_i = (AAT_i - T_{ei}) / \sigma_i$$

όπου το  $Z_i$ , είναι το τυπικό Z σκορ για τη δραστηριότητα  $i$  και  $Z_o$  είναι ένα σταθερό Z σκορ. Το άθροισμα των αποκλίσεων από τους αναμενόμενους χρόνους ολοκλήρωσης μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\sum_{i=1}^m (AAT_i - T_{ei}) = \frac{PAT}{PCT} (\sum_{i=1}^m T_{ei}) - (\sum_{i=1}^m T_{ei}) = (\sum_{i=1}^m T_{ei}) \left( \frac{PAT}{PCT} - 1 \right)$$

Ως εκ τούτου, ο όρος στην εξίσωση 4 μπορεί να εκφραστεί όπως:

$$\frac{AAT_1 - T_{e1}}{\sigma_1} = \frac{AAT_2 - T_{e2}}{\sigma_2} = \dots = \frac{AAT_m - T_{em}}{\sigma_m} = Z_o \text{ που είναι ισοδύναμο με}$$

$$[(AAT_1 - T_{e1}) + (AAT_2 - T_{e2}) + \dots + (AAT_m - T_{em})] = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \dots + \sigma_{m-1} + \sigma_m) = Z_o \text{ τότε}$$

$$Z_o = [\sum_{i=1}^m (AAT_i - T_{ei})] / \sum_{i=1}^m \sigma_i \text{ ή } Z_o = \left[ (\sum_{i=1}^m T_{ei}) \left( \frac{PAT}{PCT} - 1 \right) \right] / \sum_{i=1}^m \sigma_i \quad (4.5)$$

Κατά συνέπεια, ο επιτρεπόμενος χρόνος δραστηριότητας για κάθε δραστηριότητα μπορεί να υπολογιστεί ως:

$$AAT_i = T_{ei} + Z_o \sigma_i \text{ ή } AAT_i = T_{ei} + \left[ \frac{\sigma_i (\sum_{i=1}^m T_{ei}) \left( \frac{PAT}{PCT} - 1 \right)}{\sum_{i=1}^m \sigma_i} \right] \quad (4.6)$$

#### Βήμα 4: Υπολογισμός της κρίσιμης διαδρομής.

Χρησιμοποιώντας τις ΑΑΤ, το μήκος της κρίσιμης διαδρομής υπολογίζεται για να καθορίσει εάν το συνολικό έργο ξεπερνά το ΡΑΤ. Εάν το μήκος της κρίσιμης διαδρομής δεν ξεπερνά τον ΡΑΤ, η κατανομή του πρόσθετου επιτρεπόμενου χρόνου ολοκληρώνεται, το δίκτυο είναι στην τελική του μορφή, και κινούμεθα στο βήμα 7. Εάν ωστόσο η κρίσιμη διαδρομή είναι μεγαλύτερη από το ΡΑΤ, ο επιπλέον χρόνος είναι εξ ορισμού μη αποδεκτός και πρέπει να αφαιρεθεί.

#### Βήμα 5: Τροποποίηση των ΑΑΤ.

Όταν ο ολικός χρόνος της κρίσιμης διαδρομής δεν είναι μεγαλύτερος από το ΡΑΤ, ο χρόνος σε κάθε δραστηριότητα της κρίσιμης διαδρομής θα έπρεπε να μειωθεί ώστε ο ολικός χρόνος των εργασιών να μην ξεπερνά το ΡΑΤ. Ο τροποποιημένος επιτρεπόμενος χρόνος δραστηριότητας  $AAT_j^*$  για την δραστηριότητα  $j$  είναι ίσος με τον προηγούμενο χρόνο της δραστηριότητας  $AAT_j$  μείον οποιαδήποτε ρύθμιση  $\Delta_j$  που μπορεί να είναι απαραίτητη:

$$AAT_j^* = AAT_j - \Delta_j$$

Η διαδικασία για να τροποποιήσει τα ΑΑΤ των δραστηριοτήτων 1, 2, ..., n στη νέα κρίσιμη διαδρομή περιλαμβάνει τα εξής:

- ο υπολογισμός ενός κοινού παράγοντα  $C^*$  μείωσης είναι:

$$C^* = (PL - PAT) / \sum_{i=1}^m \sigma_i \quad (4.7)$$

- ο υπολογισμός της χρονικής ρύθμισης της δραστηριότητας  $\Delta_j$  χρειάζεται:

$$\Delta_j = C^* \sigma_j = [\sigma_j (PL - PAT)] / \sum_{i=1}^m \sigma_j \quad (4.8)$$

- η τροποποίηση των ΑΑΤ στην κρίσιμη πορεία:

$$AAT_j^* = AAT_j - \Delta_j \quad \text{ή} \quad AAT_j^* = AAT_j - [\sigma_j (PL - PAT)] / \sum_{i=1}^m \sigma_j \quad (4.9)$$

#### Βήμα 6: Υπολογισμός της κρίσιμης διαδρομής σε αναθεωρημένο δίκτυο.

Ο χρόνος ολοκλήρωσης των εργασιών στο τροποποιημένο δίκτυο υπολογίζεται για να εξασφαλιστεί ότι δε θα ξεπεραστεί το ΡΑΤ. Εάν ο χρόνος δικτύου συνεχίζει να ξεπερνά το ΡΑΤ, τότε επαναλαμβάνεται το Βήμα 5 μέχρι ο χρόνος εργασιών να μην παραβιάσει πλέον το ΡΑΤ. Εάν ο χρόνος εργασιών δεν ξεπερνά το ΡΑΤ, το δίκτυο είναι στην τελική του μορφή.

### Βήμα 7: Καθορισμός πιθανοτήτων.

Η πιθανότητα να ολοκληρωθεί κάθε δραστηριότητα μέσα στον τελικό ΑΑΤ καθορίζεται χρησιμοποιώντας έναν πίνακα κανονικής κατανομής.

$$P=P(Z<Z_0)$$

$$Z_0=(\text{ΑΑΤ}-T_e)/\sigma \quad (4.10)$$

### 4.5. Τεχνική Monte Carlo.

Η Monte Carlo, είναι ίσως η πλέον δημοφιλής, ανάμεσα σε αρκετές, επιστημονική μέθοδος διοίκησης. Δημιουργήθηκε το 1949 από τους μαθηματικούς John von Neumann και Stanislan Ulam, είναι μία μέθοδος που απαιτεί πολλές και επαναλαμβανόμενες διαδικασίες.

Η μέθοδος Monte Carlo, έχει δύο βασικά χαρακτηριστικά:

- Απλή μορφή του αλγόριθμου υπολογισμού. Σαν κανόνα, ένα πρόγραμμα γράφεται για να φέρει σε πέρας τον υπολογισμό μίας τυχαίας δειγματοληψίας.
- Το σφάλμα των υπολογισμών είναι ανάλογο με το μέγεθος  $\sqrt{(D/N)}$ , όπου D είναι μία σταθερά και N ο αριθμός των δοκιμών. Για να μειώσει λοιπόν κάποιος το σφάλμα κατά 10 φορές (ένα δεκαδικό ψηφίο), πρέπει να αυξήσει τον αριθμό δειγματοληψιών κατά 100.

Η επίτευξη υψηλής ακρίβειας, είναι σχεδόν αδύνατο. Συνεπώς, κατά κανόνα η Monte Carlo είναι κατάλληλη μέθοδος, όταν στο επιθυμητό αποτέλεσμα επιτρέπεται σφάλμα μεταξύ 5-10%. Ωστόσο μεγαλύτερη ακρίβεια είναι δυνατό να επιτευχθεί με τη μέθοδο, αν προσομοιωθεί το πρόβλημα με διαφορετικές τυχαίες παραμέτρους<sup>79</sup>.

Η προσομοίωση δεν αποτελεί πανάκεια στα προβλήματα της διοίκησης κινδύνων. Ωστόσο έχει ορισμένα πλεονεκτήματα σε συγκεκριμένες καταστάσεις. Επιτρέπει μία πιο πλούσια και λεπτομερή αναπαράσταση. Επομένως, η τεχνική της προσομοίωσης μπορεί να λύσει κάθε πρόβλημα αξιολόγησης. Η πραγματική χρήση της τεχνικής Monte Carlo σε συνδυασμό με το έργο είναι ο έλεγχος των κινδύνων. Σε πολλές περιπτώσεις οι ειδικοί επιθυμούν να ελέγξουν τους κινδύνους ή το κόστος ή και τα δύο.

<sup>79</sup> Σίσκος Παναγιώτης, Μοντελοποίηση Ρίσκου και Αβεβαιότητας στη διοίκηση Έργων με τη βοήθεια του Λογισμικού Crystal Ball, σελ. 18-19

#### 4.5.1. Προσομοίωση Monte Carlo και Διοίκηση έργου.

Η τεχνική αυτή είναι μια τεχνική πιθανολογικής προσομοίωσης που αφορά στη συλλογή αριθμών με τυχαία διαδικασία από μια ή περισσότερες κατανομές πιθανότητας για χρήση σε μια ειδική εφαρμογή μελέτης προσομοίωσης. Έχει αναφερθεί εκτενέστατα πως όλα τα έργα, και ιδιαιτέρως τα τεχνικά έργα, συνδέονται συχνά με υψηλούς βαθμούς αβεβαιότητας που προκύπτουν από την απρόβλεπτη φύση των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων. Είναι τόσο πολλοί οι παράγοντες που επηρεάζουν ένα τέτοιο έργο που κανείς δεν μπορεί να είναι απόλυτος για το αν θα ολοκληρωθεί το έργο στην ώρα του ή εντός των περιορισμών κόστους και ποιότητας που έχουν τεθεί<sup>80</sup>.

Ανάμεσα στα πεδία εφαρμογής είναι και η επίλυση της αναμενόμενης τιμής. Ένα έμμεσο όφελος είναι και η παρουσίαση αποτελεσμάτων σε μορφή διαγραμμάτων προσεγγιστικών κατανομών. Η προσομοίωση εξαρτάται από δύο ουσιώδη στοιχεία:

- Ένα μοντέλο που παρουσιάζει τα αποτελέσματα του έργου και την τιμή των αποτελεσμάτων.
- Μία τεχνική που επαναλαμβανόμενα δημιουργεί σενάρια, οδηγούμενη από τυχαία δειγματοληψία στοιχείων από κατανομές πιθανοτήτων.

Η μέθοδος της κρίσιμης διαδρομής (CPM), η μέθοδος PERT ή ακόμη και τα απλά ιστογράμματα ουσιαστικά παρέχουν τα μοντέλα για το πρόγραμμα του έργου. Μόλις κατασκευαστεί ένα μοντέλο ο υπεύθυνος του έργου εισάγει τα απαραίτητα δεδομένα και αναμένει την παραγωγή κάποιων δεδομένων εξόδου, πάνω στα οποία βασίζεται οποιαδήποτε περαιτέρω ανάλυση που πρόκειται να γίνει ή ακόμη και η λήψη συγκεκριμένων αποφάσεων. Στην ανάλυση προσομοίωσης το μοντέλο του συστήματος εισάγει τα δεδομένα εισόδου υπό την μορφή τυχαίων μεταβλητών. Στην συνέχεια ο Η/Υ αναλαμβάνει να εκτελέσει πειράματα με πολλές παραλλαγές των εισαγομένων και συλλέγει σύνολα δεδομένων εξόδου που παρουσιάζονται στην συνέχεια ως στατιστικές κατανομές. Τα εξαγόμενα μπορούν έπειτα αναλυθούν κατάλληλα ώστε να παρέχουν ένα μέτρο αβεβαιότητας και κινδύνου. Η προσομοίωση συνήθως προτιμάται όταν<sup>81</sup>:

<sup>80</sup> Τσιντζάς Κ. Χρήστος, Η πιθανολογική Προσέγγιση PERT και η Προσομοίωση Monte Carlo στην Διοίκηση/ Διαχείριση Έργου, Τμήμα Οργάνωσης και Διοίκησης Επιχειρήσεων, Πανεπιστήμιο Πειραιά, 2006, σελ 110-112.

<sup>81</sup> Σίσκος Παναγιώτης, Μοντελοποίηση Ρίσκου και Αβεβαιότητας στη διοίκηση Έργων με τη βοήθεια του Λογισμικού Crystal Ball, Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης & Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Πειραιά, σελ. 18-19.

- Έχουμε αρκετές αβεβαιότητες και ανοιχτά ενδεχόμενα
- Το πρόβλημα εντάσσεται στο πλαίσιο κι άλλων προβλημάτων μέσα στο έργο.
- Είναι επιθυμητές οι πιθανολογικές κατανομές των αποτελεσμάτων
- Περιλαμβάνεται πιο περίπλοκη διαδικασία απόφασης

#### 4.5.2. Η διαδικασία της προσομοίωσης.

Ένας βρόγχος επαναλήψεων περιβάλλει το μοντέλο του έργου και ελέγχει τη διεργασία, δημιουργώντας πολλές αληθοφανείς δοκιμαστικές λύσεις. Κάθε δοκιμή είναι ένα πέρασμα στα αριστερά του διαγράμματος, το οποίο δημιουργεί ένα πιθανό αποτέλεσμα για την πορεία του έργου. Ένα λογισμικό δημιουργεί αρκετές περιπτώσεις, ώσπου ένας ορισμένος από πριν αριθμός δοκιμών να πραγματοποιηθεί. Μία συνήθης αλληλουχία βημάτων στην προσομοίωση<sup>82</sup>.

Για ένα διευκρινισμένο μοντέλο με καθορισμένες μεταβλητές παραμέτρους, η προσομοίωση Monte Carlo μπορεί να συνοψισθεί από τον ακόλουθο αλγόριθμο<sup>83</sup>:

1. Παραγωγή ενός τυχαίου αριθμού που ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή στο διάστημα (0,1)
2. Μετασχηματισμός του τυχαίου αριθμού σε μια κατάλληλη στατιστική κατανομή (κανονική, βήτα και άλλες) που αντιπροσωπεύει τις διάφορες τυχαίες ή πιθανολογικές μεταβλητές.
3. Αντικατάσταση των τυχαίων τιμών στις κατάλληλες μεταβλητές στο προσδιοριστικό μοντέλο.
4. Υπολογισμός των επιθυμητών παραμέτρων εξόδου μέσα στο μοντέλο.
5. Αποθήκευση των προεπιλεγμένων τιμών -αποτελεσμάτων, όπως χρόνος, κόστος και άλλα για περαιτέρω στατιστική ανάλυση.
6. Επανάληψη των βημάτων 1-5 για ένα συγκεκριμένο αριθμό επαναλήψεων (να σημειωθεί ότι οι γενόμενοι ομοιόμορφοι τυχαίοι αριθμοί πρέπει να είναι διαφορετικοί σε κάθε επανάληψη) εωσότου το αποτέλεσμα να αποκομίσει την επιθυμητή ακρίβεια.
7. Ανάλυση του συλλεχθέντος δείγματος των δεδομένων εξόδου και ανάλυσης κινδύνου.

---

<sup>82</sup> Σίσκος Παναγιώτης, Μοντελοποίηση Ρίσκου και Αβεβαιότητας στη διοίκηση Έργων με τη βοήθεια του Λογισμικού Crystal Ball, ο.π., Πανεπιστήμιο Πειραιά σελ. 19-20.

<sup>83</sup> Τσιντζάς Κ. Χρήστος, Η πιθανολογική Προσέγγιση PERT και η Προσομοίωση Monte Carlo στην Διοίκηση/ Διαχείριση Έργου, ο.π., Πανεπιστήμιο Πειραιά, 2006, σελ 111.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **Ξενογλώσση Βιβλιογραφία.**

1. Kuklan, E. Erdem, F. Nasrit and M. J. Paknejad, Project planning and control: an enhanced PERT network, Butterworth-Heinemann Ltd, 1993.
2. Smith, D, Quantitative Business Analysis, John Wiley & Sons, Inc, Canada, 1977.
3. Lombaers, H, Project Planning by Network Analysis, North Holland Publishing Company, Amsterdam, 1969.

### **Ελληνική Βιβλιογραφία.**

4. Χατζηνικολάου Γ. Ευαγγελία, Διαχείριση Έργου: Κατασκευή Οικοδομικού Έργου, Τμήμα Οργάνωσης και Διοίκησης Επιχειρήσεων, Πειραιάς 2005.
5. Χ. Εφραιμίδης, Χρονικός και Οικονομικός Προγραμματισμός των Κατασκευών, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1992.
6. Χ Εφραιμίδης, Διαχείριση Κατασκευών, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1999.
7. Ε. Καρασαββίδου Χατζηγηγορίου, Λήψη Επιχειρηματικών Αποφάσεων: προσέγγιση με την Επιχειρησιακή Έρευνα, University Studio Press, Ανατύπωση 1999.
8. Τσάγκος Κωνσταντίνος, Χρονικός και Οικονομικός Προγραμματισμός και Διαχείριση Οικοδομικού Έργου με τη μέθοδο PERT/CPM, Τμήμα Οργάνωσης και Διοίκησης Επιχειρήσεων, Πειραιάς 2009.
9. Αικατερίνη Ελ Ράχεμπ, Χρονικός προγραμματισμός παραγωγής προϊόντων σύνθετων προτεραιοτήτων, Σχολή Χημικών Μηχανικών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο 2003.
10. Παγώνη Σοφία, Αλγόριθμος για την επίλυση του προβλήματος ελαχιστοποίησης του χρόνου ολοκλήρωσης δραστηριοτήτων, Τμήμα Μαθηματικών, Πάτρα 2007.
11. Burke, R, Project Management, Διαχείριση Έργου - Τεχνικές Σχεδιασμού και Ελέγχου, Εκδόσεις Κριτική, Αθήνα 2002.
12. Δ. Ασκούνης, Σημειώσεις Διοίκησης Παραγωγής & Συστημάτων Υπηρεσιών, Κεφάλαιο 10: Προγραμματισμός έργων, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ, ΕΜΠ.

13. Λέκου Βαρβαρα, Υπολογισμός της Κρισιμότητας Δραστηριοτήτων με τη Χρήση Ασαφούς Λογικής, Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Πειραιά, 2005.
14. Οικονόμου Γ., Γεωργίου Α, Ποσοτική Ανάλυση Για τη Λήψη Διοικητικών Αποφάσεων, Τόμος Β, Εκδόσεις Μπένου, Αθήνα 2000.
15. Τσιντζάς Κ. Χρήστος, Η πιθανολογική Προσέγγιση PERT και η Προσομοίωση Monte Carlo στην Διοίκηση/ Διαχείριση Έργου, Τμήμα Οργάνωσης και Διοίκησης Επιχειρήσεων, Πανεπιστήμιο Πειραιά, 2006.
16. Σίσκος Παναγιώτης, Μοντελοποίηση Ρίσκου και Αβεβαιότητας στη διοίκηση Έργων με τη βοήθεια του Λογισμικού Crystall Ball, Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης & Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Πειραιά.

**Διαδίκτυο.**

17. <http://studentweb.tulane.edu/~mtruill/dev-pert.html>.
18. <http://www.objectmentor.com/resources/articles/PertCpmAgile.pdf>. R.Martin, PERT, CPM and Agile Project Management.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΧΡΗΣΗ ΑΣΑΦΩΝ ΑΡΙΘΜΩΝ ΣΕ ΔΙΚΤΥΟ PERT ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΚΡΙΣΙΜΟΤΗΤΑ ΕΝΟΣ ΕΡΓΟΥ.

#### Εισαγωγή.

Η ασαφής PERT (FPERT) προήλθε από τους Chanas και Kamburowski. Παρουσίασαν το χρόνο ολοκλήρωσης του έργου υπό μορφή ασαφών συνόλων μέσα στο χρόνο. Με βάση τις δεδομένες κατανομές πιθανότητας των διαρκειών των δραστηριοτήτων, η κατανομή πιθανότητας για το χρόνο ολοκλήρωσης ενός έργου μπορεί να εξαχθεί. Έτσι ξεκίνησε μια άλλη μέθοδος FPERT που, εντούτοις, ούτε περιέχει τους ορισμούς της απαραίτητης κατανομής πιθανότητας ούτε δίνει έναν λεπτομερή αλγόριθμο για την εύρεση της κατανομής της διάρκειας του έργου. Ο Gazdik αναπτύσσει ένα ασαφές δίκτυο ενός άγνωστου έργου για να υπολογίσει τις διάρκειες των δραστηριοτήτων και χρησιμοποίησε ασαφείς αλγεβρικές διαδικασίες για να υπολογίσει τη διάρκεια του έργου και τη κρίσιμη διαδρομή του. Η εκτέλεση των εξισώσεων FPERT πρέπει να οδηγήσουν σε αποτελέσματα με όρια που είναι μεγαλύτερα από τα διορθωμένα όρια, λόγω των πολλαπλάσιων περιστατικών των ανεξάρτητων μεταβλητών.

Μια ασαφής PERT/κόστους μπορεί να περιλαμβάνει διαφορετικές ασαφείς κατανομές στη διάρκεια μιας δραστηριότητας κάτω από διάφορα α-επίπεδα και δείκτες αισιοδοξίας. Διαισθητικά, όσο υψηλότερο επίπεδο κινδύνου, τόσο περισσότερη αβεβαιότητα στο χρόνο/κόστος περιλαμβάνεται στο έργο. Από τη θεωρία ασαφών συνόλων, αυτό αντιστοιχεί στο χαμηλότερο επίπεδο εμπιστοσύνης (α-περικοπή) ή μια μεγαλύτερη τιμή του διαστήματος. Έτσι θεωρείται μια α-περικοπή ως επίπεδο κινδύνου και συνήθως για  $\alpha < 0.3$ , θεωρείται υψηλός κίνδυνος, για  $0.3 \leq \alpha < 0.7$  μέσος κίνδυνος και  $\alpha \geq 0.7$ , χαμηλός κίνδυνος.

Ένας δείκτης  $\lambda$  αντιπροσωπεύει το επίπεδο αισιοδοξίας ως τοποθέτηση της απόφασης του ιθύνοντα, ένα μεγάλο  $\lambda$  δείχνει υψηλότερο βαθμό αισιοδοξίας (απαιτείται λιγότερος χρόνος) και αντίστροφα. Αυτός ο τρόπος δημιούργησε μια πρακτικότερη και εύκαμπτη ανάλυση και κατάλληλο προγραμματισμό για τη διαχείριση έργων σε πραγματικό επίπεδο<sup>84</sup>.

---

<sup>84</sup> Don Lin Mon, Ching- Hsue Cheng, Han Chung Lu, Applications of fuzzy distributions on project management, Fuzzy sets and systems 73, 227-234, 1995.



### 5.1. Ασαφείς αριθμοί.

Οι ασαφείς αριθμοί εισάχθηκαν από τον Zadeh. Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιάσουμε βασικές έννοιες από αυτό τον τομέα και το δείκτη της αισιοδοξίας λ.

**Ορισμός 5.1.:** Ένας πραγματικός ασαφής αριθμός,  $\tilde{A}$  είναι ένα ασαφές υποσύνολο των πραγματικών  $\mathbb{R}$  με τη συνάρτηση συμμετοχής  $\mu_{\tilde{A}}$  που ορίζεται ως:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} w\mu_{\tilde{A}}^L(x) & a \leq x \leq b \\ w & a \leq x \leq b, 0 < w \leq 1 \\ w\mu_{\tilde{A}}^R(x) & c \leq x \leq d \\ 1, & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

Όπου  $\mu_{\tilde{A}}^L: [a, b] \rightarrow [0,1]$  και  $\mu_{\tilde{A}}^R: [c, d] \rightarrow [0,1]$ . Όταν  $w=1$  καλείται κανονικός ασαφής αριθμός.

Ένας ασαφής αριθμός μπορεί να ερμηνευθεί βασικά με δύο τρόπους. Πρώτον, μπορεί να εκφράσει τον τρόπο με τον οποίο ο λήπτης αποφάσεων καταλαβαίνει την κατοχή μιας ορισμένης ιδιότητας, για παράδειγμα όταν μια εργασία είναι κρίσιμη. Για να διατηρηθεί το παράδειγμα της κρισιμότητας της εργασίας: εάν ένα ορισμένο πραγματικό χαρακτηριστικό της εργασίας πάρει την τιμή  $x$ , τότε η εργασία θα είναι κρίσιμη (σύμφωνα με τον λήπτη αποφάσεων) στο βαθμό  $\mu_A(x)$ .

Είναι προφανές ότι κάθε απόφαση μπορεί να έχει έναν άλλο ασαφή αριθμό που σχετίζεται με κάθε ιδιότητα. Αυτός ο ασαφής αριθμός θα μπορούσε να έχει τη συνάρτηση συμμετοχής να ορίζεται σε διάφορους τομείς (αυτός ο τομέας θα είναι πάντα το σύνολο των πραγματικών αριθμών, αλλά θα μπορεί να αναπαριστά διαφορετικά πραγματικά χαρακτηριστικά-στην περίπτωση της κρισιμότητας της εργασίας ή θα μπορεί να είναι το διάστημα των περιθωρίων των δραστηριοτήτων). Ακόμα και εάν ο τομέας είναι ο ίδιος, η συνάρτηση συμμετοχής μπορεί να πάρει διαφορετικές τιμές, σύμφωνα με το πως ο λήπτης αποφάσεων εν προκειμένω καταλαβαίνει μια συγκεκριμένη ιδιότητα. Πρέπει να επισημανθεί ότι εδώ θεωρείται δεδομένος ο ασαφής αριθμός<sup>85</sup>.

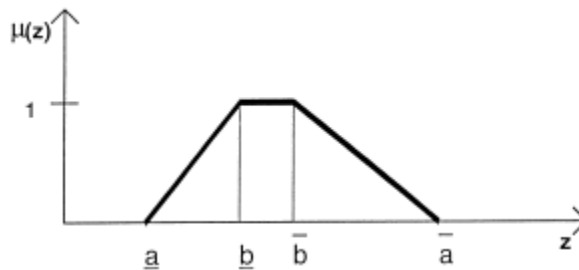
Η άλλη ερμηνεία των ασαφών αριθμών είναι η ακόλουθη: ένας ασαφής αριθμός δείχνει ποιες αξίες και με ποιο βαθμό πιθανότητας μπορούν να ληφθούν από μια ποσότητα  $a$ , που είναι ακόμα άγνωστη και θα είναι γνωστή μόνο στο μέλλον. Για παράδειγμα ένας ασαφής αριθμός  $\tilde{A}$  μπορεί να εκφράσει τον άγνωστο χρόνο διάρκειας σε μια εργασία. Σε αυτή την περίπτωση, η τιμή  $\mu_A(x)$  είναι ίση με τον

<sup>85</sup> Dorota Kuchta, Use of fuzzy numbers in project risk (criticality) assessment, International Journal of Project Management 19, 305-310, 2001.

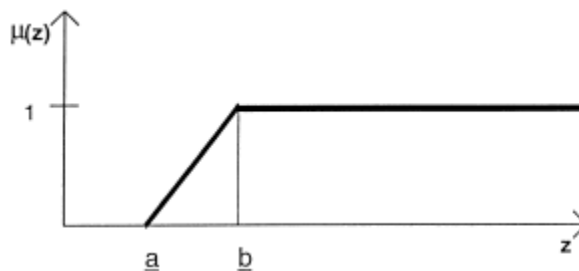
βαθμό εκτίμησης της πιθανότητας του  $x$  κατά την πραγματική διάρκεια του χρόνου. Ο ακόλουθος τύπος ασαφών αριθμών, είναι τέλεια επαρκείς για τις περισσότερες πρακτικές εφαρμογές και εύκολος στο χειρισμό του.

**Ορισμός 5.2. :** Οι τραπεζοειδείς ασαφείς αριθμοί είναι τέτοιοι αριθμοί στους οποίους η συνάρτηση συμμετοχής έχει το σχήμα τραπεζιού (**Σχήμα 5.1**).

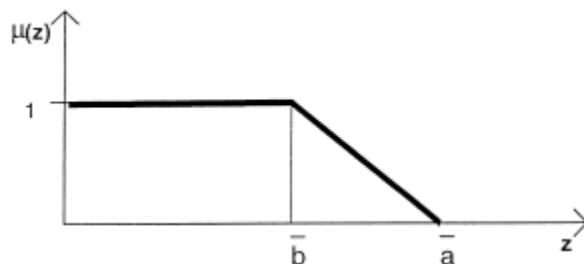
Οι τραπεζοειδείς ασαφείς αριθμοί μπορούν να αναπαρασταθούν από τέσσερις πραγματικές παραμέτρους  $\underline{\alpha}, \underline{b}, \bar{b}, \bar{\alpha}$  με  $\underline{\alpha} \leq \underline{b} \leq \bar{b} \leq \bar{\alpha}$ . Μία τετράδα  $(\underline{\alpha}, \underline{b}, \bar{b}, \bar{\alpha})$  όπου  $\underline{\alpha} = \underline{b} = \bar{b} = \bar{\alpha}$  αναπαριστά ένα σαφή αριθμό. Είναι επίσης βολικό να ληφθούν υπόψη τραπεζοειδείς ασαφείς αριθμοί ενός ειδικού τύπου:  $(\underline{\alpha}, \underline{b}, \infty, \infty)$  ή  $(\infty, \infty, \bar{b}, \bar{\alpha})$ . Η συνάρτηση συμμετοχής τέτοιων ασαφών αριθμών φαίνεται στα **Σχήματα 5.2 και 5.3**.



**Σχήμα 5.1.:** Η συνάρτηση συμμετοχής ενός τραπεζοειδούς ασαφούς αριθμού.



**Σχήμα 5.2.:** Συνάρτηση σχήματος ενός ασαφούς αριθμού  $(\underline{\alpha}, \underline{b}, \infty, \infty)$ .



**Σχήμα 5.3.:** Συνάρτηση σχήματος ενός ασαφούς αριθμού  $(\infty, \infty, \bar{b}, \bar{\alpha})$ .

**Ορισμός 5.2.:** Το ασαφές υποσύνολο  $\tilde{A} \subset \mathbb{R}$  είναι κυρτό εάν  $\tilde{A}_\alpha = \{x | \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\}, \alpha \in [0,1]$ . Το υποσύνολο είναι κυρτό εάν δηλαδή είναι ένα κλειστό διάστημα του  $\mathbb{R}$ .

**Ορισμός 5.3.:** Υποθέτουμε ότι το  $\tilde{A}$  είναι ένας ασαφής αριθμός με τη συνάρτηση συμμετοχής  $\mu_{\tilde{A}}$ , τότε για το κάθε  $\alpha \in [0,1]$ , το σύνολο  $\tilde{A}_\alpha = \{x | \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\}$ , καλείται  $\alpha$ - περικοπή του  $\tilde{A}$ .

**Ορισμός 5.4.:** Εάν το  $\tilde{A}$  είναι ένας ασαφής αριθμός με τη συνάρτηση συμμετοχής  $\mu_{\tilde{A}}$  και το  $\tilde{A}_\alpha = [a_L^a, a_R^a]$ , το  $\alpha_\lambda^a = \lambda a_L^a + (1-\lambda) a_R^a$  μπορεί να αντιπροσωπεύσει ένα στοιχείο στον γλωσσικό κόσμο που καθορίζεται από έναν δείκτη της αισιοδοξίας  $\lambda$ . Ο δείκτης αισιοδοξίας  $\lambda$  δείχνει το βαθμό αισιοδοξίας ενός ιθύνοντα. Μεγαλύτερα  $\lambda$  δείχνουν έναν υψηλότερο βαθμό αισιοδοξίας.

## 5.2. Αλγόριθμος της ασαφούς FPERT.

Από τους παραπάνω ορισμούς εάν το αντίστοιχο επίπεδο κινδύνου ( $\alpha$ -περικοπή) καθοριστεί, τότε η κρίσιμη διαδρομή του δικτύου της ασαφούς PERT/κόστους εξαρτάται από το δείκτη αισιοδοξίας  $\lambda$ . Οι υπολογιστικές διαδικασίες συνοψίζονται ως εξής<sup>86</sup>:

**[Βήμα 1]:** επιλέγεται ένα επίπεδο κινδύνου  $\alpha$  και υπολογίζονται οι  $\alpha$ -περικοπές όλων των ασαφών κατανομών που εισέρχονται στο πρόβλημα FPERT/κόστους.

**[Βήμα 2]** εκτιμάται ο βαθμός ικανοποίησης του ιθύνοντος με τη χρήση του δείκτη αισιοδοξίας,  $\lambda$ , για να καθοριστούν οι τρεις χρονικές παράμετροι.

**[Βήμα 3]** υπολογίζεται ο χρόνος ολοκλήρωσης και η κρίσιμη διαδρομή χρησιμοποιώντας τις τρεις χρονικές παραμέτρους του έργου που αναπτύχθηκαν στο κεφάλαιο 4 για τη PERT.

**[Βήμα 4]** υπολογίζονται δύο τύποι περιθωρίου, δηλαδή το συνολικό περιθώριο ( $T_f$ ) και το ελεύθερο ( $F_f$ )

**[Βήμα 5]** εφαρμόζοντας την ασαφή PERT/κόστους από την επιλογή χρόνου-κόστους, το αυξητικό κόστος ( $I_c$ ) είναι ένας σημαντικός δείκτης της επιλογής χρόνου/κόστους που είναι

$$I_c = \frac{\text{Κόστος συμπίεσης} - \text{Κανονικό κόστος}}{\text{Κανονικός χρόνος} - \text{Χρόνος συμπίεσης}}$$

<sup>86</sup> Don Lin Mon, Ching- Hsue Cheng, Han Chung Lu, Applications of fuzzy distributions on project management, Fuzzy sets and systems 73, 227-234, 1995.

### 5.3. Κλασσική προσέγγιση στην κρισιμότητα των δραστηριοτήτων που επεκτείνεται από τη ασαφή προσέγγιση.

Στο σημείο αυτό πρέπει να συνδεθεί η έννοια του κινδύνου με την έννοια της κρισιμότητας. Η βασική ιδέα είναι ότι μια δραστηριότητα είναι πιο επικίνδυνη όσο πιο κρίσιμη γίνεται και τόσο λιγότερη καθυστέρηση επιτρέπεται για αυτή. Ο στόχος είναι να προταθεί μια εκτίμηση του κινδύνου που συνδέεται με την εργασία στη βάση της κρισιμότητας των δραστηριοτήτων. και η έννοια της κρισιμότητας, πρέπει να τροποποιηθεί, σχετιζόμενη, με τη δομή του δικτύου εργασιών και τη θέση της δραστηριότητας σε αυτή.

Στην κλασική βιβλιογραφία της διαχείρισης κινδύνων μια δραστηριότητα είναι κρίσιμη ή μη κρίσιμη. Είναι κρίσιμη εάν είναι δυνατό να μην υπάρχει καμία καθυστέρηση αλλιώς δε θα είναι κρίσιμη. Ωστόσο, θα ήταν βοηθητικό να διαφοροποιηθούν οι δραστηριότητες για τις οποίες θα ήταν δυνατή μια πολύ μικρή καθυστέρηση και σε αυτές που θα μπορούσαν να καθυστερήσουν για πολύ χρόνο χωρίς να επηρεάσουν την προθεσμία. Γι αυτό αποφασίζεται η κρισιμότητα μιας δραστηριότητας με ένα ασαφή τρόπο. Πρώτον, ο λήπτης αποφάσεων εκφράζει με τη μορφή ασαφών αριθμών κάτι που αντιλαμβάνεται σαν «πολύ κρίσιμο», «λίγο κρίσιμο» και άλλα. Στη βάση της συμπεριφοράς και στη δομή του δικτύου εργασιών, για κάθε δραστηριότητα (και για ολόκληρη την εργασία) ένας βαθμός κρισιμότητας θα υπολογιζόταν (έναν πραγματικός αριθμός ανάμεσα στο 0 και στο 1). Ο βαθμός κρισιμότητας για ολόκληρο το έργο θα μπορούσε να βοηθήσει το διαχειριστή να δει που θα έπρεπε να επικεντρωθεί στην προσπάθεια επίβλεψης<sup>87</sup>.

Ας υποθέσουμε ένα κλασικό διάγραμμα δικτύου που αποτελείται:

- ένα διακριτό και πεπερασμένο σύνολο δραστηριοτήτων  $\Omega = \{A_i : i = 1, \dots, N\}$ .
- ένα σύνολο όρων προτίμησης  $L = \{(J_i, K_i) : i = 1, \dots, N\}$ , όπου  $J_i$  είναι το σύνολο δραστηριοτήτων που προηγούνται του  $A_i$  και  $K_i$  είναι το σύνολο δραστηριοτήτων που προηγούνται από το  $A_i$ .
- ένα σύνολο χρόνων διάρκειας  $\{D_i : i = 1, \dots, N\}$ , όπου το  $D_i$  είναι ο χρόνος διάρκειας της δραστηριότητας  $A_i$ .

Οποιαδήποτε ακολουθία δραστηριοτήτων στην οποία κάθε προκάτοχος συνδέεται με μια άμεση σχέση προς τον διάδοχο, είναι μια διαδρομή στο δίκτυο εργασιών και θα σημειωθεί ως  $P$ . Το μήκος της πορείας  $P$ , δηλ., το άθροισμα των

<sup>87</sup> Dorota Kuchta, Use of fuzzy numbers in project risk (criticality) assessment, International Journal of Project Management 19, 305-310, 2001.

χρόνων διάρκειας των στοιχείων του, θα δειχτεί ως  $|P|$ . Ο νωρίτερος και ο αργότερος χρόνος έναρξης κάθε δραστηριότητας, όπως επίσης και η συνολική ελάχιστη διάρκεια της εργασίας, μπορεί να υπολογιστεί με τον ακόλουθο τρόπο:

- ο νωρίτερος χρόνος έναρξης της δραστηριότητας  $A_i$ :  $t_i^e = \max_{j \in J_i} \{t_j^e + D_j\}$  υποθέτοντας ότι  $t_i^e = 0$  για δραστηριότητες με  $J_i = \emptyset$
- η συνολική ελάχιστη διάρκεια της εργασίας  $D^* = \max_{i=1, \dots, N} \{t_i^e + D_i\}$ 
  - ο αργότερος χρόνος εκκίνησης κάθε δραστηριότητας  $A_i$ :  $t_i^l = \min_{j \in K_i} \{t_j^l - D_k\}$  υποθέτοντας ότι  $t_i^l = D^* - D_i$  για δραστηριότητες με  $K_i = \emptyset$ .

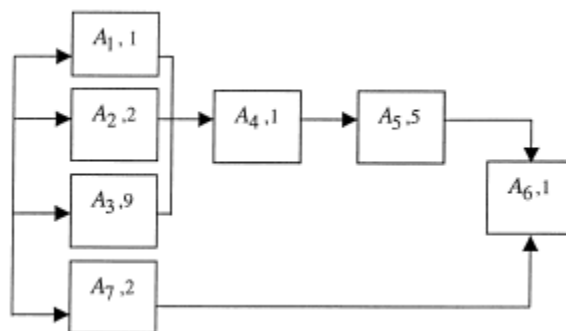
**Ορισμός 5.5.:** (α) το περιθώριο της δραστηριότητας  $A_i$  (που συνήθως αναφέρεται  $SL_i$ ) είναι η διαφορά  $t_i^l - t_i^e$ . (β) μια κρίσιμη δραστηριότητα είναι μια τέτοια δραστηριότητα  $A_i$  για την οποία  $SL_i = 0$ . Σημειώνεται με T, ο χρόνος διάρκειας που γίνεται αποδεκτός από τον πελάτη και θεωρείται εκείνο το  $T \geq D^*$  (ειδάλλως, συμπίεζονται οι δραστηριότητες ή απορρίπτουμε το πρόγραμμα). Μπορούμε έπειτα να εξετάσουμε το ακόλουθο (διορθωμένο) περιθώριο δραστηριότητας :

**Ορισμός 5.6.:** Εάν ο χρόνος δραστηριότητας των εργασιών που αποδέχονται από τον πελάτη είναι T και  $T \geq D^*$ , τότε το διορθωμένο περιθώριο κάθε δραστηριότητας που σημειώνεται ως  $SL_i(T)$ , είναι ίσο με  $SL_i + T - D^*$ . Μιλώντας για το περιθώριο, είναι το διορθωμένο περιθώριο.

Σε περίπτωση που υπάρχει δυνατότητα ελιγμών που δίνεται από μια θετική διαφορά,  $T - D^*$  μπορεί να είναι χρήσιμο να επεκταθεί η έννοια της κρισιμότητας από τον ορισμό 5.5 με τη μορφή ασαφών αριθμών. Ο manager ορίζει με τη μορφή ασαφούς αριθμού εκεί που καταλαβαίνει μια πολύ κρίσιμη δραστηριότητα με μια δραστηριότητα λιγότερο κρίσιμη. Σπάνια θα έδινε μια γενική απάντηση, που θα ίσχυε για όλες τις δραστηριότητες. Πιο πιθανό θα ήταν να προσπαθήσει να σχετίσει την απάντησή του σε κάθε μήκος της δραστηριότητας, τον αριθμό και την ποιότητα των πόρων ή άλλων συγκεκριμένων παραγόντων. Για κάθε δραστηριότητα  $A_i$  θα έδινε ως εκ τούτου έναν ασαφή αριθμό  $\tilde{C}_i = (\infty, \infty, c_1^i, c_2^i)$  που ορίζεται στο διάστημα των τιμών  $SL_i(T)$ . Οι αριθμοί  $c_1^i, c_2^i$  μπορούν να αφορούν το χρόνο ή/και τους πόρους διάρκειας μιας δραστηριότητας.

Παραδείγματος χάριν, εάν διαρκέσει μια δραστηριότητα  $A_i$  4 εβδομάδες, μπορεί να ειπωθεί ότι  $\tilde{C}_i = (\infty, \infty, 1, 3)$ : είναι κρίσιμη στο βαθμό 1 εάν  $SL_i(T)$ , είναι λιγότερο από 1 εβδομάδα (25% του κατ' εκτίμηση χρόνου διάρκειας) και είναι

κρίσιμη για το βαθμό 0 εάν  $SL_i(T)$ , είναι μεγαλύτερο από 3 εβδομάδες (75% του χρόνου διάρκειας). Με άλλα λόγια, δεν απαιτείται πολύ προσοχή εάν το περιθώριο αυτής της δραστηριότητας είναι μεγαλύτερο από 3 εβδομάδες, επειδή δεν θεωρείται δυνατό ότι τη δραστηριότητα μπορεί να καθυστερήσει κατά τουλάχιστον 75% του χρόνου διάρκειάς της. Θεωρείται ένα άλλο παράδειγμα: εάν μια δραστηριότητα  $A_i$  έχει πέντε εργαζόμενους για μια δραστηριότητα που πρέπει να διαρκέσει 5 ημέρες, μπορεί να επίσης να ειπωθεί ότι το  $\tilde{C}_i = (\infty, \infty, 1, 3)$ : είναι κρίσιμο (κατά τη γνώμη μας) στο βαθμό 1 εάν  $SL_i(T)$ , είναι λιγότερο από 1 μέρα (κάθε εργαζόμενος απών για το 20% του χρόνου διάρκειας της δραστηριότητας) και είναι κρίσιμο για το βαθμό 0 όταν  $SL_i(T)$ , είναι μεγαλύτερο από 3 εβδομάδες (κάθε εργαζόμενος απών για το 60% του χρόνου διάρκειας της δραστηριότητας). Πάλι, εάν το περιθώριο είναι μεγαλύτερο από 3 εβδομάδες, γίνεται η σκέψη ότι η δραστηριότητα μάλλον δεν θα το υπερβεί ακόμα κι αν δεν εποπτευθεί πολύ, δεδομένου ότι δεν είναι δυνατό (σύμφωνα με μας) ότι η απουσία εργαζομένων θα είναι μεγαλύτερη από το 60% του κατ' εκτίμηση χρόνου διάρκειας. Μόλις ληφθεί υπόψη η κρισιμότητα κάθε δραστηριότητας με έναν ασαφή τρόπο, μπορούν να αναγνωριστούν οι δραστηριότητες σαν πολύ κρίσιμες και που πρέπει να δοθεί ειδική προσοχή. (το **Σχήμα 5.4** για το υπολογιστικό παράδειγμα)<sup>88</sup>. Για κάθε δραστηριότητα  $A_i$  ( $i = 1, \dots, 7$ ), στο παρακάτω δίκτυο ορίζουμε το  $\tilde{C}_i$  με τον ακόλουθο τρόπο:  $\tilde{C}_i = (\infty, \infty, 25\% D_i, 75\% D_i)$ . Προφανώς  $D^*=16$ . Κατόπιν μπορούμε να υπολογίσουμε το ακόλουθο περιθώριο και τους βαθμούς κρισιμότητας όλων των δραστηριοτήτων για τις διάφορες τιμές του  $T$  (**Πίνακας 5.1**).



**Σχήμα 5.4.:** Διάγραμμα δικτύου (κάθε ορθογώνιο αναπαριστά μια δραστηριότητα και περιέχει το όνομα και τη διάρκεια (Dorota Kuchta 2001).

<sup>88</sup> Dorota Kuchta, Use of fuzzy numbers in project risk (criticality) assessment, International Journal of Project Management 19, 305-310, 2001.

**Πίνακας 5.1:** Περιθώρια και βαθμοί κρισιμότητας των διαφόρων δραστηριοτήτων για τιμές  $T$ . (Dorota Kuchta 2001).

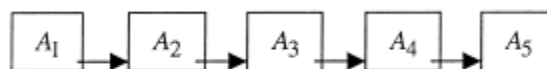
Δραστηριότητα	$SL_i(17)$	Βαθμός Κρισιμότητας $T=17$	$SL_i(19)$	Βαθμός Κρισιμότητας $T=19$
$A_1$	9	0	11	0
$A_2$	8	0	10	0
$A_3$	1	1	3	0.83
$A_4$	1	0	3	0
$A_5$	1	1	3	0.3
$A_6$	1	0	3	0
$A_7$	8	0	10	0

Η κρισιμότητα των δραστηριοτήτων  $A_3$  και  $A_5$  μικραίνει καθώς ο χρόνος διάρκειας του έργου που γίνεται αποδεκτός από τον πελάτη αυξάνεται, και γίνεται έτσι με διαφορετικές ταχύτητες: το  $A_3$  παραμένει μάλλον κρίσιμο ακόμη και με  $T = 19$ , ενώ το  $A_5$  γίνεται όχι πολύ κρίσιμο.

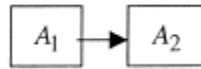
#### 5.4. Μια άλλη προσέγγιση στην κρισιμότητα των δραστηριοτήτων.

Σε αυτό το τμήμα, θα παρουσιαστεί μια άλλη προσέγγιση στην κρισιμότητα των δραστηριοτήτων. Θεωρούμε δύο έργα όπως φαίνεται στα **Σχήματα 5.5 και 5.6**. Φυσικά έχουμε:  $D^*(P_1)=25$ ,  $D^*(P_2)=10$ . Υποθέτοντας  $T(P_1)=29$  και  $T(P_2)=14$  είναι προφανές ότι όλες οι δραστηριότητες και στα δύο προγράμματα θα έχουν το ίδιο διορθωμένο περιθώριο (θα είναι ίσο με 4). Συνεπώς, εάν οι ασαφείς αριθμοί  $\tilde{C}_i$  είναι οι ίδιοι για όλες τις δραστηριότητες (που είναι πολύ πιθανό, δεδομένου ότι είναι του ίδιου μήκους), οι δραστηριότητες θα έχουν επίσης τον ίδιο βαθμό κρισιμότητας υπό την έννοια του προηγούμενου τμήματος.

Εντούτοις, είναι σαφές ότι οι δραστηριότητες  $A_3$ ,  $A_4$  και βεβαίως η  $A_5$  είναι σε μερικές περιπτώσεις κρισιμότερες από το  $A_1$  και  $A_2$ . Αυτό συμβαίνει επειδή το  $A_1$  και το  $A_2$  καταναλώνουν ήδη μερικά από τα κοινά περιθώρια της διαδρομής και αφήνουν μόνο ένα μικρό τμήμα για να χρησιμοποιηθεί από τα  $A_2$ ,  $A_4$  και  $A_5$ . Αυτό σημαίνει ότι από την αρχή, πρέπει να προετοιμαστεί η εποπτεία των  $A_3$ ,  $A_4$  και  $A_5$  προσεκτικότερα από τα  $A_1$  και  $A_2$ .



**Σχήμα 5.5.:** Δίκτυο έργου  $P_1$  - όλες οι δραστηριότητες έχουν διάρκεια 5 μέρες.



**Σχήμα 5.6.:** Δίκτυο έργου  $P_2$  - όλες οι δραστηριότητες έχουν διάρκεια 5 μέρες.

Θεωρείται ένα άλλο πρόγραμμα όπως φαίνεται στο **Σχήμα 5.7**. Ακριβώς όπως στην περίπτωση του  $P_1$ , έχουμε  $D^*(P_3) = 25$ . Υποθέτοντας επίσης  $T(P_3) = 29$  είναι σαφές ότι η δραστηριότητα  $A_3$  στο πρόγραμμα  $P_1$  είναι λιγότερο κρίσιμη από ότι είναι στο πρόγραμμα  $P_3$ , επειδή στο τελευταίο το περιθώριο της μπορεί να μικρύνει σε δύο διαδρομές (και όχι μόνο σε μια, όπως στην περίπτωση  $P_1$ ). Η προσέγγιση στην κρισιμότητα που παρουσιάζεται στο προηγούμενο τμήμα δεν λαμβάνει, αυτό το φαινόμενο υπόψη -σύμφωνα με εκείνη την προσέγγιση, όλες οι δραστηριότητες και στα δύο έργα θα ήταν κρίσιμες στον ίδιο βαθμό (φυσικά εάν όλοι οι αριθμοί  $\tilde{C}_i$  είναι ίδιοι, αλλά πάλι, αυτό είναι πολύ πιθανό).

Προκειμένου να ληφθεί υπόψη η δομή του δικτύου υπολογίζοντας το βαθμό κρισιμότητας των δραστηριοτήτων, προτείνεται να χρησιμοποιηθεί η ακόλουθη προσέγγιση. Για κάθε δραστηριότητα  $A_i$  ο ιθύνων πρέπει να δώσει μια τιμή  $Del_i$  - μια εκτίμηση του κινδύνου που συνδέεται με τη δραστηριότητα, που εκφράζει τη μέση καθυστέρηση που μπορεί να έχει μια δραστηριότητας εάν τα πράγματα δεν εκτιμηθούν σωστά. Αυτή η καθυστέρηση μπορεί να συνδεθεί με τον κατ' εκτίμηση χρόνο διάρκειας της δραστηριότητας, με τον αριθμό και την ποιότητα των πόρων ή με άλλους παράγοντες.

Κατόπιν προτείνεται να επαναληφθεί ο υπολογισμός του νωρίτερου χρόνου έναρξης κάθε δραστηριότητας λαμβάνοντας υπόψη την καθυστέρηση  $Del_i$ . Σημειώνεται με  $t_i^{e,del}$  ο νωρίτερος χρόνος έναρξης της δραστηριότητας σε περίπτωση που οι καθυστερήσεις των δραστηριοτήτων που προηγούνται αυτής έχουν πραγματοποιηθεί. Το  $t_i^{e,del}$  υπολογίζεται ως<sup>89</sup>:

$$t_i^{e,del} = \max_{j \in J_i} \{t_j^{e,del} + D_j + Del_i\}$$

Το  $t_i^{e,del} = 0$  για δραστηριότητες με  $J_i = \emptyset$ .

Ο παραπάνω υπολογισμός εξαλείφει το πρόβλημα που διευκρινίζεται στις εργασίες  $P_1$  και  $P_2$  (**Σχήματα 5.5. και 5.6.**), αλλά όχι αυτό που εμφανίζεται στις

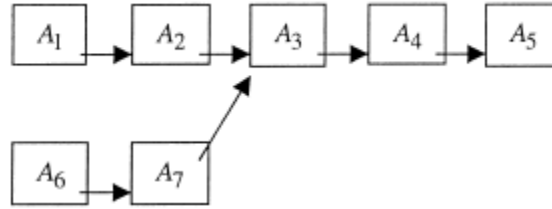
<sup>89</sup> Dorota Kuchta, Use of fuzzy numbers in project risk (criticality) assessment, International Journal of Project Management 19, 305-310, 2001



εργασίες  $P_1$  και  $P_3$  (Σχήματα 5.5. και 5.7.). Προκειμένου να λυθεί το τελευταίο πρόβλημα, τροποποιείται ο υπολογισμός με τον ακόλουθο τρόπο:

$$t_i^{e,del} = \max_{j \in J_i} \{t_i^{e,del} + D_j + Del_i\} + \frac{|J_i|-1}{K} \cdot \frac{\sum_{j \in J_i} Del_i}{|J_i|} \quad (5.1)$$

όπου το  $|J_i|$  είναι η ισχυρότητα του  $J_i$  και  $K = \max_{i=1, \dots, N} |J_i|$ . Το  $t_i^{e,del,m} = 0$  για δραστηριότητες με  $J_i = \emptyset$ .



Σχήμα 5.7.: Δίκτυο έργου  $P_3$  - όλες οι δραστηριότητες έχουν διάρκεια 5 μέρες.

Ο όρος  $\frac{|J_i|-1}{K} \cdot \frac{\sum_{j \in J_i} Del_i}{|J_i|}$  μπορεί να τροποποιηθεί από τον ιθύνοντα. Η ιδέα είναι ότι εάν μια δραστηριότητα έχει ένα πολύριθμο σύνολο ενδιάμεσων προκατόχων ( $|J_i| > 1$ ), μπορεί να καθυστερήσει περισσότερο χρόνο από μια δραστηριότητα που έχει μόνο έναν προκατόχο, επειδή εάν υπάρχουν περισσότεροι προκατόχοι, είναι πιθανότερο ότι οι καθυστερήσεις θα πραγματοποιηθούν. Τώρα μπορεί να οριστεί το τροποποιημένο περιθώριο:

**Ορισμός 5.7.:** Το τροποποιημένο περιθώριο της δραστηριότητας  $A_i$  (που δείχνεται ως  $SL_i^m$ ) είναι η διαφορά  $t_i^l - t_i^{e,del,m}$  και το διορθωμένο τροποποιημένο περιθώριο, συνδέεται με το χρόνο  $T$  που έγινε αποδεκτός από τον πελάτη:

$$SL_i^m(T) = SL_i^m + T - D^*$$

Τώρα μπορεί να καθοριστεί η κρισιμότητα των δραστηριοτήτων με έναν ασαφή, διαλογικό τρόπο, χρησιμοποιώντας τους ασαφείς αριθμούς  $\tilde{C}_i$  ( $i=1, \dots, N$ ) που ορίστηκαν στο προηγούμενο τμήμα, αλλά εφαρμόζοντας τους το διορθωμένο περιθώριο (είναι το διορθωμένο περιθώριο που θα αποτελέσει την περιοχή του ασαφούς αριθμού  $\tilde{C}_i$ ). Για να επεξηγηθεί η επίδραση της τροποποίησης, θεωρούνται οι εργασίες  $P_1$ ,  $P_2$  και  $P_3$  με  $D^*(P_1) = D^*(P_3) = 25$ ,  $T(P_1) = T(P_3) = 29$ . Τίθεται  $Del_i = 1$  ( $i=1, \dots, 7$ ) και  $\tilde{C}_i = (\infty, \infty, 25\% D_i, 75\% D_i)$  και στις 2 εργασίες.

Δίνεται προσοχή στη δραστηριότητα  $A_3$ . Οι βαθμοί κρισιμότητας στα έργα και οι προσεγγίσεις στην κρισιμότητα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2. Επαναφορά

στο **Σχήμα 5.4.** και τίθεται  $T=19$ ,  $\tilde{C}_i = (\infty, \infty, 0.5, 5)$ ,  $Del_i = 1$  ( $i = 1, \dots, 7$ ). Ο **Πίνακας 5.3.** παρουσιάζει τα αποτελέσματα των υπολογισμών. Ο βαθμός κρισιμότητας δραστηριοτήτων αυξάνεται στη νέα προσέγγιση, και φυσικά αυτή η αύξηση αφορά εκείνες τις δραστηριότητες που είναι ένα επιπλέον στοιχείο μιας διαδρομής. Επίσης λαμβάνεται υπόψη η πολυπλοκότητα του δικτύου, δηλαδή, το γεγονός ότι το  $A_4$  έχει τρεις προκατόχους,.

Φυσικά, είναι δύσκολο να δοθεί μια ακριβής τιμή  $Del_i$  για κάθε δραστηριότητα. Εάν αυτή η τιμή είναι γνωστή μόνο στο περίπου, ο ιθύνων μπορεί να αισθανθεί να την δώσει υπό μορφή ασαφούς αριθμού, χρησιμοποιώντας τη δεύτερη ερμηνεία των ασαφών αριθμών που συζητήθηκαν στην *παράγραφο 5.1.* (αντιπροσώπευση μιας άγνωστης ποσότητας). Σε αυτή την περίπτωση, όλοι οι υπολογισμοί θα πρέπει να εκτελεστούν στους ασαφούς αριθμούς. Σε περίπτωση που οι νωρίτεροι και αργότεροι χρόνοι έναρξης -συνεπώς και τα περιθώρια - είναι ασαφείς αριθμοί, το μέτρο του βαθμού κρισιμότητας θα έπρεπε να βασιστεί σε κάποιο πραγματικό χαρακτηριστικό των ασαφών αριθμών (αναλογία της μέσης τιμής στη θεωρία πιθανοτήτων).

**Πίνακας 5.2.:** Κρισιμότητα της δραστηριότητας  $A_3$ . (Dorota Kuchta 2001).

Έργο P <sub>1</sub>		Έργο P <sub>2</sub>	
Προηγούμενη προσέγγιση	Νέα προσέγγιση	Προηγούμενη προσέγγιση	Νέα προσέγγιση
0	0,7	0	0,9

**Πίνακας 5.3.:** Υπολογισμοί του παραδείγματος του **Σχήματος 5.4.** ( $T=19$ ) (Dorota Kuchta 2001).

Δραστηριότητα	$t_i^e$	$t_i^l$	$t_i^{e,del,m}$	$SL_i$	Βαθμός Κρισιμότητας (παλιά Προσέγγιση)	$SL_i^m$	Βαθμός Κρισιμότητας (νέα Προσέγγιση)
A <sub>1</sub>	0	11	0	11	0	11	0
A <sub>2</sub>	0	10	0	10	0	10	0
A <sub>3</sub>	0	3	0	3	0,44	3	0,44
A <sub>4</sub>	9	12	10,7	3	0,44	1,3	0,88
A <sub>5</sub>	10	13	12,7	3	0,44	0,3	1
A <sub>6</sub>	15	18	18,7	3	0,44	-0,7	1
A <sub>7</sub>	0	10	0	10	0	10	0

### 5.5. Κρισιμότητα έργου.

Στην κλασσική προσέγγιση, κάποιος συνήθως μιλά για την κρισιμότητα των μεμονωμένων δραστηριοτήτων. Εντούτοις, για το manager μπορεί να είναι σημαντικό να είναι σε θέση να αξιολογήσει την κρισιμότητα ολόκληρου του έργου. Εδώ, προτείνεται μια γενική έννοια της αξιολόγησης της κρισιμότητας ολόκληρου του έργου.

Προτείνεται να μετρηθεί η κρισιμότητα του έργου με το να ληφθεί υπόψη η κρισιμότητα των δραστηριοτήτων. Δεδομένου ότι ο βαθμός κρισιμότητας των δραστηριοτήτων μετρά πόση προσοχή πρέπει να δοθεί στην εκτέλεση και εποπτεία τους, κατά συνέπεια, η κρισιμότητα του έργου πρέπει να είναι η μέγιστη ή η μέση κρισιμότητα των δραστηριοτήτων. Αυτό θα έδινε πληροφορίες, για το πόση προσπάθεια απαιτείται για να ελεγχθεί το έργο και πως μια πιθανή καθυστέρηση δεν θα γινόταν άλλο αποδεκτή από τον πελάτη. Επίσης θα έδινε ένα εργαλείο για τη σύγκριση διάφορων έργων μεταξύ τους και στο να βρεθεί ένας λογικός συμβιβασμός μεταξύ της αποδοτικότητας και της κρισιμότητας, δηλαδή της προσπάθειας ελέγχου και εποπτείας. Προτείνεται να μετρηθεί η κρισιμότητα του έργου από ένα αθροισμένο βάρος των βαθμών κρισιμότητας των μεμονωμένων δραστηριοτήτων<sup>90</sup>.

**Ορισμός 5.8.:** Θεωρείται  $Crit_i$  ( $i = 1, \dots, N$ ) ο βαθμός κρισιμότητας των δραστηριοτήτων του έργου. Η κρισιμότητα του έργου ( $Crit_{Pr}$ ) είναι το αποτέλεσμα του ακόλουθου αθροίσματος:

$$Crit_{Pr} = \sum_{i=1}^N w_i Crit_i \quad (5.2)$$

όπου  $w_i$  ( $i = 1, \dots, N$ ) είναι τα βάρη έτσι ώστε  $\sum_{i=1}^N w_i = 1$ .

Τα βάρη  $w_i$  ( $i = 1, \dots, N$ ) επιλέγονται από τον υπεύθυνο για τη λήψη αποφάσεων. Μπορεί να αναφέρονται στο μήκος των δραστηριοτήτων, στον αριθμό ή την ποιότητα των πόρων που ορίζονται στις δραστηριότητες, στο βαθμό δυσκολίας της δραστηριότητας που καθορίζεται με έναν άλλο τρόπο, στο μέρος του προϋπολογισμού (κόστος) που κάθε δραστηριότητα αντιπροσωπεύει και άλλα. Η ελλοχεύουσα ιδέα είναι ότι τα βάρη πρέπει κάπως να αντιπροσωπεύουν τη σημαντικότητα της δραστηριότητας στο έργο και τον αντίκτυπο που η κρισιμότητα κάθε δραστηριότητας μπορεί να έχει σε ολόκληρο το έργο. Εάν θεωρηθεί το παράδειγμα του **Σχήματος 5.4.** και του **Πίνακα 5.3.**, τότε  $w_i = D_i / \sum_{i=1}^N D_i$ . Για  $T = 19$  η κρισιμότητα του έργου είναι ίση με 0.52 και για  $T = 20$  η κρισιμότητα είναι 0.39.

<sup>90</sup> Dorota Kuchta, Use of fuzzy numbers in project risk (criticality) assessment, International Journal of Project Management 19, 305-310, 2001.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Dorota Kuchta, Use of fuzzy numbers in project risk (criticality) assessment, International Journal of Project Management 19, 305-310, 2001.
2. Don Lin Mon, Ching- Hsue Cheng, Han Chung Lu, Applications of fuzzy distributions on project management, Fuzzy sets and systems 73, 227-234, 1995.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΕΥΡΕΣΗ ΤΗΣ ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ ΜΕ ΑΣΑΦΕΙΣ ΧΡΟΝΟΥΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ ΜΕΣΩ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ.

#### 6.1. Εισαγωγή.

Όταν οι χρόνοι διάρκειας των δραστηριοτήτων στις εργασίες είναι γνωστοί και αιτιοκρατικοί, η μέθοδος της κρίσιμης διαδρομής (CPM) έχει καταδειχθεί σαν ένα χρήσιμο εργαλείο στο σχεδιασμό και στον έλεγχο των σύνθετων εργασιών σε μια ευρεία γκάμα εφαρμογών εφαρμοσμένης μηχανικής και management. Ωστόσο στην πράξη, υπάρχουν περιπτώσεις που οι χρόνοι διάρκειας της δραστηριότητας μπορούν να εκτιμηθούν υποκειμενικά. Διάφοροι ερευνητές όπως οι Zielinski, Slyeptson, Dubois και Chanas, Chanas και Zielinski, Kuchta και άλλοι εφάρμοσαν την έννοια της ασάφειας σε αυτές τις περιπτώσεις και ανέπτυξαν αναλυτικές προσεγγίσεις.

Με βάση τη διατύπωση του γραμμικού προγραμματισμού (LP) και της μεθόδου ταξινόμησης των ασαφών αριθμών, το κεφάλαιο αυτό, αναπτύσσει μια απλή προσέγγιση στο πρόβλημα της κρίσιμης διαδρομής όταν οι διάρκειες των χρόνων των δραστηριοτήτων είναι ασαφείς αριθμοί. Όπως είναι ευρέως γνωστό, εφόσον το σαφές πρόβλημα της CPM μπορεί να θεωρηθεί σαν το αντίθετο του προβλήματος της συντομότερης διαδρομής, μπορεί να διατυπωθεί σαν ένα LP, που ο στόχος του είναι η μεγιστοποίηση του γραμμικού συνδυασμού του χρόνου των δραστηριοτήτων που υπόκεινται σε ορισμένους περιορισμούς. Ακολουθώντας αυτό, οι χρόνοι δραστηριότητας είναι ασαφείς αριθμοί και το ασαφές πρόβλημα της CPM μπορεί να διατυπωθεί σαν ένα LP, όπου στόχος του θα είναι να μεγιστοποιήσει έναν ασαφή αριθμό που είναι ένας γραμμικός συνδυασμός των ασαφών χρόνων δραστηριοτήτων. Ως εκ τούτου, μια απλή ιδέα είναι να ταξινομηθούν οι ασαφείς αντικειμενικές τιμές των διαφόρων διαδρομών, με προσεγγίσεις ταξινόμησης για τους ασαφείς αριθμούς με σκοπό να βρεθεί η ασαφής κρίσιμη διαδρομή που είναι η διαδρομή με το μεγαλύτερο δείκτη ταξινόμησης που υπολογίστηκε με την προσέγγιση ταξινόμησης. Για να μπορούν οι συμβατικές βελτιστοποιημένες μέθοδοι επίλυσης να λύσουν το LP μοντέλο που διατυπώνεται σε αυτή την εργασία, υιοθετείται μια κατάλληλη μέθοδος ταξινόμησης, γνωστή ως μέθοδος ταξινόμησης του Yager, που χρησιμοποιείται για να μετασχηματίσει τα ασαφή προβλήματα της CPM σε σαφή. Επιπροσθέτως, ο

σχετικός βαθμός κρισιμότητας της διαδρομής προσδιορίζεται για ορισμένες διαδρομές<sup>91</sup>.

## 6.2. Η διατύπωση LP του ασαφούς CPM προβλήματος.

Θεωρείται ένα μοντέλο  $G=(N,A)$ , το οποίο είναι ένα δίκτυο, με  $N$  το σύνολο των  $n$  κόμβων και  $A$  το σύνολο των  $(i,j) \in A$  τόξων. Πρέπει να σημειωθεί ότι  $T_{ij}$  είναι ο χρόνος της δραστηριότητας  $(i,j) \in A$ . Η CPM είναι μια μέθοδος που βασίζεται σε δίκτυα και είναι σχεδιασμένη να δημιουργεί τον προγραμματισμό του χρόνου για κάθε εργασία, δηλαδή έχει δύο βασικά αποτελέσματα, το χρόνο της συνολικής διάρκειας που χρειάζεται για να ολοκληρωθεί ένα έργο και το χρόνο της κρίσιμης διαδρομής. Μια ικανοποιητική προσέγγιση για να βρεθούν οι χρόνοι της κρίσιμης διαδρομής και των συνολικών διαδρομών του δικτύου εργασιών είναι ο LP. Εφόσον ένα CPM πρόβλημα μπορεί να θεωρηθεί σαν το αντίθετο πρόβλημα της συντομότερης διαδρομής, για να καθοριστεί η κρίσιμη διαδρομή στο δίκτυο εργασιών αρκεί να βρεθεί η μεγαλύτερη διαδρομή από την αρχή ως το τέλος. Μετά το μήκος αυτής της μεγαλύτερης διαδρομής είναι ο χρόνος της συνολικής διάρκειας του δικτύου εργασιών. Υποτίθεται ότι μια μονάδα ροής μπαίνει στο δίκτυο εργασιών στον κόμβο εκκίνησης και εξέρχεται στον κόμβο εξόδου. Το CPM πρόβλημα με  $n$  κόμβους διατυπώνεται ως<sup>92</sup>:

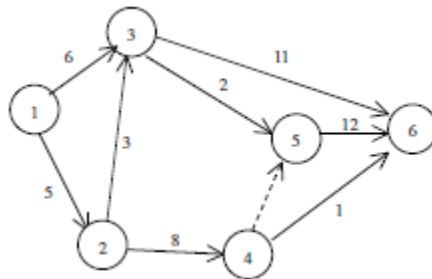
$$\begin{aligned} \max D &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n T_{ij} x_{ij} \\ \text{υ.π.} \quad & \sum_{j=1}^n x_{1j} = 1, \\ & \sum_{j=1}^n x_{ij} = \sum_{k=1}^n x_{ki}, \quad i = 2, \dots, n-1, \\ & \sum_{k=1}^n x_{kn} = 1, \\ & x_{ij} \geq 0, (i,j) \in A. \end{aligned} \tag{6.1}$$

όπου  $x_{ij}$  είναι η μεταβλητή απόφασης που εκφράζει την ποσότητα ροής στην δραστηριότητα  $(i,j) \in A$ . Ο στόχος είναι να μεγιστοποιηθεί η συνολική χρονική διάρκεια του δικτύου από τον κόμβο 1 στον κόμβο  $n$ . Οι περιορισμοί καλούνται εξισώσεις διατήρησης ροής και δείχνουν ότι η ροή δεν μπορεί ούτε να δημιουργηθεί ούτε να καταστραφεί στο δίκτυο ενός έργου. Σαν πρόβλημα της συντομότερης διαδρομής, όλες οι βασικές εφικτές μεταβλητές σε κάθε βασική εφικτή λύση (BFS)

<sup>91</sup> Shih-Pin Chen, Yi-Ju Hsueh, A simple approach to fuzzy critical path analysis in project networks, Applied Mathematical Modelling, 32, 1289-1297, 2008.

<sup>92</sup> Shih-Pin Chen, Yi-Ju Hsueh, A simple approach to fuzzy critical path analysis in project networks, Applied Mathematical Modelling, 32, 1289-1297, 2008.

στο Μοντέλο (6.1) είναι δυαδικές. Η κρίσιμη πορεία για αυτό το δίκτυο αποτελείται από ένα σύνολο δραστηριοτήτων  $(i,j) \in A$  από την αρχή έως το τέλος στο οποίο κάθε δραστηριότητα στην πορεία αντιστοιχεί στη βέλτιστη μεταβλητή απόφασης  $x_{ij}^* = 1$  στη βέλτιστη λύση για το μοντέλο (6.1). Ο συνολικός χρόνος διάρκειας που απαιτείται για να συμπληρώσει το πρόγραμμα δίνεται ως η μέγιστη αντικειμενική τιμή  $D$  του μοντέλου (6.1). Το παράδειγμα που περιγράφει ο Ταχα χρησιμοποιείται για να επεξηγήσει τη μέθοδο. Το πρόβλημα είναι να βρεθεί η κρίσιμη διαδρομή μεταξύ του κόμβου 1 και του κόμβου 6 στο δίκτυο, με δραστηριότητες-τόξων (ΑΟΑ) και τους χρόνους δραστηριότητας  $T_{ij}$  να παρουσιάζονται στο **Σχήμα 6.1**. Ο αντίστοιχος γραμμικός προγραμματισμός είναι<sup>93</sup>:



**Σχήμα 6.1.:** Δίκτυο σαφούς παραδείγματος CPM.

$$\begin{aligned} \max \quad & 5x_{12} + 6x_{13} + 3x_{23} + 8x_{24} + 2x_{35} + 11x_{36} + x_{46} + 12x_{56} \\ \text{υ.π.} \quad & x_{12} + x_{13} = 1 \\ & x_{12} - x_{23} - x_{24} = 0 \\ & x_{13} + x_{23} - x_{35} - x_{36} = 0 \\ & x_{13} + x_{23} - x_{35} - x_{36} = 0 \\ & x_{24} - x_{45} - x_{46} = 0 \\ & x_{35} + x_{45} - x_{56} = 0 \\ & x_{36} - x_{46} - x_{56} = 1 \\ & x_{12}, x_{13}, x_{23}, x_{24}, x_{35}, x_{36}, x_{45}, x_{46}, x_{56} = 0 \text{ ή } 1. \end{aligned}$$

Διαισθητικά, εάν οποιοσδήποτε από τους χρόνους διάρκειας δραστηριότητας  $T_{ij}$  που είναι ο συντελεστής στην αντικειμενική συνάρτηση (6.1) είναι ασαφείς, ο

<sup>93</sup> Shih-Pin Chen, Interfaces with Other Disciplines, Analysis of critical paths in a project network with fuzzy activity times, European Journal of Operational Research, 183, 442-459, 2007.

συνολικός χρόνος διάρκειας  $D$  γίνεται ασαφής επίσης. Το συμβατικό πρόβλημα CPM που ορίστηκε στην (6.1) τροποποιείται έπειτα σε πρόβλημα CPM με τις ασαφείς παραμέτρους στην αντικειμενική συνάρτηση. Συνεπώς, δεν μπορεί να μεγιστοποιηθεί άμεσα.

Γίνεται η υπόθεση ότι οι χρόνοι δραστηριότητας  $T_{ij}, (i,j) \in A$  είναι ανακριβείς και μπορούν να αναπαρασταθούν σαν ασαφείς αριθμοί  $\tilde{T}_{ij}, (i,j) \in A$ . Τότε η LP διατύπωση του ασαφούς προβλήματος είναι:

$$\begin{aligned} \max \quad & \tilde{D} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{T}_{ij} x_{ij} \\ \text{υ.π.} \quad & \sum_{j=1}^n x_{1j} = 1, \\ & \sum_{j=1}^n x_{ij} = \sum_{k=1}^n x_{ki}, \quad i = 2, \dots, n-1, \\ & \sum_{k=1}^n x_{kn} = 1, \\ & x_{ij} \geq 0, (i,j) \in A. \end{aligned} \quad (6.2)$$

Να σημειωθεί ότι ο χρόνος συνολικής διάρκειας  $\tilde{D}$  γίνεται ένας ασαφής αριθμός παρά ένας ορισμένος. Επομένως, το μοντέλο (6.2) μπορεί να λυθεί απευθείας.

### 6.2.1. Προτεινόμενη προσέγγιση.

Η προτεινόμενη προσέγγιση είναι βασισμένη σε έναν συνδυασμό της έννοιας της  $\alpha$ -περικοπής και της αρχής επέκτασης του Zadeh. Μια προσέγγιση για να κατασκευάσει τη συνάρτηση συμμετοχής  $\mu_{\tilde{D}}(d)$  είναι να εξαχθούν οι  $\alpha$ -περικοπές του  $\mu_{\tilde{D}}(d)$ . Η  $\alpha$ -περικοπή του  $\tilde{T}_{ij}$  καθορίζεται ως εξής<sup>94</sup>:

$$(T_{ij})_{\alpha} = \{t_{ij} \in S(\tilde{T}_{ij}) \mid \mu_{\tilde{T}_{ij}}(t_{ij}) \geq \alpha\}$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι το  $(T_{ij})_{\alpha}$  είναι ένα σαφές σύνολο παρά ένα ασαφές σύνολο. Η χρησιμοποίηση των  $\alpha$ -περικοπών, το  $\tilde{T}_{ij}$  μπορεί να αντιπροσωπευθεί από τα διαφορετικά επίπεδα διαστημάτων εμπιστοσύνης. Επομένως, η  $\alpha$ -περικοπή  $\tilde{T}_{ij}$  που καθορίζεται είναι ένα σαφές διάστημα που μπορεί να εκφραστεί στην ακόλουθη μορφή:

$$\begin{aligned} (T_{ij})_{\alpha} &= \left[ \inf_{t_{ij}} \{t_{ij} \in S(\tilde{T}_{ij}) \mid \mu_{\tilde{T}_{ij}}(t_{ij}) \geq \alpha\}, \sup_{t_{ij}} \{t_{ij} \in S(\tilde{T}_{ij}) \mid \mu_{\tilde{T}_{ij}}(t_{ij}) \geq \alpha\} \right] \\ &= [(T_{ij})_{\alpha}^L, (T_{ij})_{\alpha}^U] \end{aligned}$$

<sup>94</sup> Shih-Pin Chen, Interfaces with Other Disciplines, Analysis of critical paths in a project network with fuzzy activity times, European Journal of Operational Research, 183, 442-459, 2007.

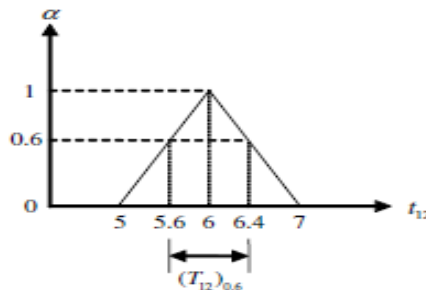


Αυτά τα διαστήματα δείχνουν που βρίσκονται οι τιμές του  $t_{ij}$  στα πιθανά  $\alpha$ . Παραδείγματος χάριν, θεωρείται ένας χρόνος μιας δραστηριότητας που είναι «περίπου 6», έτσι η τιμή αυτή μπορεί να αντιπροσωπευθεί από έναν τριγωνικό ασαφή αριθμό με τη συνάρτηση συμμετοχής  $\mu_{\tilde{T}_{12}}(t_{12})$ :

$$\mu_{\tilde{T}_{12}}(t_{12}) = \begin{cases} t_{12} - 5, & 5 \leq t_{12} \leq 6 \\ 7 - t_{12}, & 6 \leq t_{12} \leq 7 \end{cases}$$

Αυτός ο ασαφής χρόνος της δραστηριότητας μπορεί να αντιπροσωπευθεί ως  $\tilde{T}_{12} = \{(t_{12}, \mu_{\tilde{T}_{12}}(t_{12})) | t_{12} \in [5,7]\}$  ή  $\tilde{T}_{12} = (5, 6, 7)$ , όπου τα σημεία  $(x, y, z)$  είναι ένας τριγωνικός ασαφής αριθμός με  $x, y$  και  $z$  να είναι οι συντεταγμένες των τριών κορυφών του τριγώνου. Η  $\alpha$ -περικοπή  $\tilde{T}_{12}$  καθορίζεται ως εξής:

$$(T_{12})_{\alpha} = \{t_{12} \in [5,7] | \mu_{\tilde{T}_{12}}(t_{12}) \geq \alpha\}.$$



**Σχήμα 6.2.:** Η συνάρτηση συμμετοχής  $\tilde{T}_{12} = (5,6,7)$  και η  $\alpha$ -περικοπή του  $(\tilde{T}_{12})_{0.6}$ .

Εάν  $\alpha = 0.6$  τότε  $(T_{12})_{0.6} = t_{12} \in [5,7] | \mu_{\tilde{T}_{12}}(t_{12}) \geq 0.6\} = [5.6, 6.4]$ . Η συνάρτηση συμμετοχής του  $\tilde{T}_{12}$  και οι  $\alpha$ -περικοπές της με  $\alpha = 0.6$  παρουσιάζονται στο **Σχήμα 6.2**.

### 6.3. Η διαδικασία επίλυσης.

Μια προσέγγιση που έχει αποδειχθεί ως σωστή είναι να μετατραπούν οι ασαφείς αριθμοί σε σαφείς. Για παράδειγμα, οι Buckley και Feuring πρότειναν μια προσέγγιση για ένα πλήρως ασαφοποιημένο πρόβλημα LP που βασίζεται στο μετασχηματισμό της αντικειμενικής συνάρτησης ενός ασαφούς προβλήματος γραμμικού προγραμματισμού σε ένα σαφές πρόβλημα πολυαντικείμενου προγραμματισμού, παρείχαν επίσης και την απόδειξη της ορθότητας του σαφούς μετασχηματισμού. Στη βάση της έννοιας της αποασαφοποίησης, στο κεφάλαιο αυτό μετασχηματίζεται το μοντέλο (6.2) μετατρέπεται σε σαφές, μέσω αποασαφοποίησης των ασαφών χρόνων δραστηριότητας στην αντικειμενική συνάρτηση,

χρησιμοποιώντας μια ασαφή μέθοδο ταξινόμησης που είναι απλή και ακόμα οι συμβατικοί επιλυτές LP μπορούν να την εφαρμόσουν. Η ιδέα είναι ότι εάν μπορούν να βρεθούν όλες οι πιθανές εφικτές λύσεις, που αντιστοιχούν στις πιθανές διαδρομές, που περιγράφονται από τους περιορισμούς στο μοντέλο (6.2), τότε μπορεί να βρεθεί η κρίσιμη διαδρομή απλά συγκρίνοντας όλες τις ασαφείς αντικειμενικές τιμές. Η διαδρομή με τη μεγαλύτερη αντικειμενική τιμή αναγνωρίζεται ως η κρίσιμη διαδρομή. Ωστόσο, μια σύγκριση των μηκών όλων των δυνατών διαδρομών είναι μη-πρακτική ακόμα και σε έναν υπολογιστή υψηλής ταχύτητας, ειδικότερα για ένα μεγάλο αριθμό εργασιών με πολλές πιθανές ασαφείς διαδρομές. Ευτυχώς, όπως σε μια CPM σε σαφή περιβάλλοντα, δεν είναι απαραίτητο να βρεθούν όλες οι ασαφείς διαδρομές που είναι μια βραδυκίνητη διαδικασία. Ως εκ τούτου, για να βρεθεί η κρίσιμη διαδρομή σε ασαφή περιβάλλοντα, αρκεί να λυθεί το σαφές LP μοντέλο που μετασχηματίζεται το μοντέλο (6.2), όπου η ασαφής αντικειμενική τιμή του μοντέλου (6.2) αποασαφοποιείται σε μια σαφή βασισόμενη σε μια μέθοδο ταξινόμησης των ασαφών αριθμών.

Πολλές μέθοδοι ταξινόμησης ασαφών αριθμών έχουν προταθεί και συζητηθεί κατά καιρούς. Το μοντέλο (6.2), απαιτεί να επιλεγθεί μια προσέγγιση που είναι απλή και μπορεί να εφαρμοστεί για να αναγνωριστεί η κρίσιμη διαδρομή χρησιμοποιώντας απλοποιημένη μέθοδο Simplex. Μια δημοφιλής προσέγγιση που πληροί αυτές τις προσεγγίσεις είναι η μέθοδος ταξινόμησης του Yager. Αυτή η μέθοδος υιοθετείται για να ταξινομήσει τις αντικειμενικές τιμές που αντιστοιχούν στα μήκη των διαδρομών του δικτύου εργασιών<sup>95</sup>.

### 6.3.1. Δείκτης Ταξινόμησης του Yager.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, μπορούμε να βρούμε τουλάχιστον δύο κρίσιμες πορείες σε ένα πιθανό επίπεδο  $\alpha$ . Εντούτοις, μπορούν να είναι διαφορετικές, ακόμη και για το ίδιο πιθανό επίπεδο. Δηλαδή για δύο ευδιάκριτα πιθανά επίπεδα δυνατότητας  $\alpha_1$  και  $\alpha_2$  μπορούμε να βρούμε τέσσερις ευδιάκριτες κρίσιμες πορείες, δηλαδή  $(fcp)_{\alpha_1}^L, (fcp)_{\alpha_1}^U, (fcp)_{\alpha_2}^L$  και  $(fcp)_{\alpha_2}^U$  τέτοιες ώστε  $(fcp)_{\alpha_1}^L \neq (fcp)_{\alpha_1}^U \neq (fcp)_{\alpha_2}^L \neq (fcp)_{\alpha_2}^U$  όσον αφορά τα χαμηλότερα και ανώτερα όρια των  $\alpha$ -περικοπών. Αν και αυτό διατηρεί εντελώς όλη την ασάφεια των χρόνων δραστηριότητας, από πρακτική άποψη, δεν αναγνωρίζεται ξεκάθαρα ποια είναι η κρισιμότερη πορεία που

<sup>95</sup> Shih-Pin Chen, Yi-Ju Hsueh, A simple approach to fuzzy critical path analysis in project networks, Applied Mathematical Modelling, 32, 1289-1297, 2008.

περιέχει τις κρίσιμότερες δραστηριότητες που πρέπει να ελεγχθούν. Για να επιλυθεί αυτό το πρόβλημα, μετασχηματίζονται αρχικά οι ασαφείς χρόνοι των κρίσιμων δραστηριοτήτων μιας ασαφούς κρίσιμης πορείας σε σαφείς χρόνους και έπειτα αθροίζονται οι (σαφείς) χρόνοι των δραστηριοτήτων για να βρεθεί το σαφές μήκος αυτής της ασαφούς κρίσιμης πορείας. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου βρεθούν όλα τα σαφή μήκη αυτών των διαφορετικών ασαφών κρίσιμων πορειών<sup>96</sup>.

Οι Fortemps και Roubens υπέδειξαν ότι η «αντιστάθμιση εμβαδού» είναι ισχυρή και κατέχει τις ιδιότητες της γραμμικότητας και της προσθετικότητας. Με βάση την έννοια της αντιστάθμισης του εμβαδού, ο Yager πρότεινε μια διαδικασία για τη διάταξη ασαφών συνόλων, στα οποία ένας δείκτης ταξινόμησης  $I(\tilde{t})$  υπολογίζεται για τον κυρτό ασαφή αριθμό  $\tilde{t}$  από τις  $\alpha$ -περικοπές  ${}^{\alpha}t = [t_a^L, t_a^U]$  σύμφωνα με την ακόλουθη διατύπωση:

$$I(\tilde{t}) = \int_0^1 \frac{1}{2}(t_a^L + t_a^U) da \quad (6.3)$$

η οποία είναι το κέντρο της μέσης τιμής του  $\tilde{t}$ . Θεωρώντας δύο ασαφείς αριθμούς  $\tilde{D}_1$  και  $\tilde{D}_2$  στην περίπτωση που  $I(\tilde{D}_1) \geq I(\tilde{D}_2)$  υποδηλώνεται ότι  $\tilde{D}_1 \geq \tilde{D}_2$  και τότε  $\max\{\tilde{D}_1, \tilde{D}_2\} = \tilde{D}_1$ . Αυτός ο δείκτης είναι πολύ εύκολος στην εφαρμογή και σύμφωνα με την (6.3), εφόσον υπολογίζεται για τον κυρτό ασαφή αριθμό  $\tilde{t}$  για τις ακραίες τιμές των  $\alpha$ -περικοπών  $t_a^L$  και  $t_a^U$  παρά για τη συνάρτηση συμμετοχής των ασαφών αριθμών, χωρίς να απαιτείται η γνώση της αναλυτικής συνάρτησης συμμετοχής των ασαφών αριθμών για να ταξινομηθούν. Αυτό σημαίνει, σε αντίθεση με τις περισσότερες μεθόδους ταξινόμησης που απαιτούν τη γνώση των συναρτήσεων συμμετοχής όλων των ασαφών αριθμών για να ταξινομηθούν, ο δείκτης ταξινόμησης του Yager είναι εφαρμόσιμος ακόμα και εάν η αναλυτική μορφή της συνάρτησης συμμετοχής των χρόνων μιας ασαφούς δραστηριότητας είναι άγνωστη.

Επιπλέον, η μέθοδος ταξινόμησης του Yager κατέχει επίσης τις ιδιότητες της γραμμικότητας και της προσθετικότητας εφόσον είναι μια από τις τεχνικές ταξινόμησης που βασίζεται στην αντιστάθμιση εμβαδού. Αν θεωρηθεί ένας κυρτός ασαφής αριθμός  $\tilde{A}$  που είναι ένας γραμμικός συνδυασμός δύο άλλων κυρτών ασαφών αριθμών  $\tilde{B}$  και  $\tilde{C}$  τότε  $\tilde{A} = u\tilde{B} + v\tilde{C}$ , όπου  $u$  και  $v$  είναι σταθερές. Τότε έχουμε  $I(\tilde{A}) = uI(\tilde{B}) + vI(\tilde{C})$ . Συνεπώς, βάση της μεθόδου ταξινόμησης του Yager, το

<sup>96</sup> Shih-Pin Chen, Interfaces with Other Disciplines, Analysis of critical paths in a project network with fuzzy activity times, European Journal of Operational Research, 183, 442-459, 2007.

ασαφές CPM πρόβλημα μπορεί να μετασχηματιστεί σε ένα συμβατικό CPM πρόβλημα με σαφείς χρόνους δραστηριότητας<sup>97</sup>.

### 6.3.2. Σαφείς μετασχηματισμός.

Θεωρείται το πρόβλημα της κρίσιμης διαδρομής με τη μορφή του μοντέλου (6.2) με  $m$  διαδρομές. Αν  $x_{ij}^{(k)}$ ,  $(i,j) \in A$  είναι η  $k$  βασική εφικτή λύση (BFS) που αντιστοιχεί στη  $k$  διαδρομή  $p_k$ ,  $k=1,2,\dots,m$  τότε  $\tilde{D}^{(k)} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{T}_{ij} x_{ij}^{(k)}$  είναι ο ασαφής συνολικός χρόνος της διάρκειας της  $k$  διαδρομής. Από αυτές τις  $m$  διαδρομές, η μια με το μεγαλύτερο χρόνο συνολικής διάρκειας  $\tilde{D}^* = \max\{\tilde{D}^{(k)}, k = 1, 2, \dots, m\}$  θα μπορούσε να αναγνωριστεί σαν μια ασαφή κρίσιμη διαδρομή που είναι πολύ πιθανόν να έχει το μεγαλύτερο χρόνο συνολικής διάρκειας, που σημαίνει την πιο κρίσιμη διαδρομή. Σύμφωνα με την ιδιότητα της μεθόδου του Yager που συζητήθηκε στη παράγραφο 6.3.1., εφαρμόζοντας αυτή τη μέθοδο για να βρεθεί το  $\tilde{D}^*$  αρκεί να βρεθεί ο μεγαλύτερος δείκτης ταξινόμησης Yager  $I(\tilde{D}^*) = \max\{I(\tilde{D}^{(k)}), k = 1, 2, \dots, m\}$ . Περαιτέρω, εφόσον η μέθοδος ταξινόμησης του Yager κατέχει τις ιδιότητες της γραμμικότητας και της προσθετικότητας έχουμε:

$$I(\tilde{D}^{(k)}) = I\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{T}_{ij} x_{ij}^{(k)}\right) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I(\tilde{T}_{ij}) x_{ij}^{(k)}.$$

Αυτό σημαίνει ότι, η μέγιστη ασαφής αντικειμενική τιμή  $\tilde{D}^*$  αντιστοιχεί στο μεγαλύτερο δείκτη ταξινόμησης  $I(\tilde{D}^*) = \max_k \{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I(\tilde{T}_{ij}) x_{ij}^{(k)}\}$ . Συνεπώς, το πρόβλημα της κρίσιμης διαδρομής με ασαφείς χρόνους δραστηριότητας μπορεί να διατυπωθεί ως εξής:

$$\begin{aligned} I(\tilde{D}^*) &= \max \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I(\tilde{T}_{ij}) x_{ij} \\ \text{υ.π.} \quad &\sum_{j=1}^n x_{1j} = 1, \\ &\sum_{j=1}^n x_{ij} = \sum_{k=1}^n x_{ki}, \quad i = 2, \dots, n-1, \\ &\sum_{k=1}^n x_{kn} = 1, \\ &x_{ij} \geq 0, (i,j) \in A. \end{aligned} \tag{6.4}$$

Το πρόβλημα είναι βασικά ένα συμβατικό γραμμικό πρόγραμμα εφόσον οι συντελεστές στην αντικειμενική συνάρτηση  $I(\tilde{T}_{ij})$ ,  $(i,j) \in A$ , είναι σαφείς πραγματικοί αριθμοί παρά ασαφείς αριθμοί. Από την αποκτημένη βέλτιστη BFS  $(x_{ij}^*)$ ,  $(i,j) \in A$ ,

<sup>97</sup> Shih-Pin Chen, Yi-Ju Hsueh, A simple approach to fuzzy critical path analysis in project networks, Applied Mathematical Modelling, 32, 1289-1297, 2008.

του μοντέλου (6.4), η πιο κρίσιμη διαδρομή  $p^*$  μπορεί να αναγνωριστεί και ο ασαφής χρόνος συνολικής διάρκειας μπορεί να υπολογιστεί σαν  $\tilde{D}^* = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{T}_{ij} x_{ij}^*$ . Το μοντέλο (6.4) μπορεί να αποδειχθεί ότι είναι σωστό<sup>98</sup>.

### 6.3.3. Δυική επαλήθευση.

Είναι ευρέως γνωστό ότι σύμφωνα με το θεώρημα δυαδικότητας του γραμμικού προγραμματισμού τα απλά και τα δυικά μοντέλα έχουν την ίδια αντικειμενική τιμή. Έτσι, ένας τρόπος να αποδειχθεί η ισχύς του παραπάνω σαφούς μετασχηματισμού είναι να διατυπωθεί η δυκότητα του μοντέλου (6.1).

$$\begin{aligned} & \min y_n - y_1 \\ \text{υ.π.} \quad & y_j - y_i \geq T_{ij}, \quad (i, j) \in A, \\ & y_i, y_j \text{ απεριόριστα } \forall (i, j) \in A, \end{aligned} \quad (6.5)$$

όπου οι μεταβλητές απόφασης  $y_i$  και  $y_j$  εκφράζουν το χρόνο εμφάνισης των κόμβων  $i$  και  $j$  αντιστοίχως. Κάθε περιορισμός που συνδέεται με μια δραστηριότητα καθορίζει τις σχέσεις προτεραιότητας ανάμεσα στις διάφορες δραστηριότητες, που είναι, ο περιορισμός του  $y_j - y_i \geq T_{ij}$  και δείχνει ότι ο νωρίτερος χρόνος εμφάνισης για τον κόμβο  $j$  δε μπορεί να είναι νωρίτερος από το χρόνο  $y_i + T_{ij}$ . Ο αντικειμενικός σκοπός είναι να βρεθεί το συντομότερο χρονικό τόξο έτσι ώστε να ικανοποιούνται όλες οι σχέσεις προτεραιότητας. Όταν οι χρόνοι δραστηριότητας είναι ασαφείς αριθμοί, το μοντέλο (6.5) γίνεται:

$$\begin{aligned} & \min y_n - y_1 \\ \text{υ.π.} \quad & y_j - y_i \geq \tilde{T}_{ij}, \quad (i, j) \in A, \\ & y_i, y_j \text{ απεριόριστα } \forall (i, j) \in A, \end{aligned} \quad (6.6)$$

που είναι ένα γραμμικό πρόγραμμα με τιμές περιορισμού στη μορφή ασαφών αριθμών. Ένας τρόπος για να λυθεί το μοντέλο (6.6) είναι να εφαρμοσθεί ο σαφής μετασχηματισμός που αναφέρθηκε προηγουμένως, και τότε έχουμε:

$$\begin{aligned} & \min y_n - y_1 \\ \text{υ.π.} \quad & y_j - y_i \geq I(\tilde{T}_{ij}), \quad (i, j) \in A, \\ & y_i, y_j \text{ απεριόριστα } \forall (i, j) \in A \end{aligned} \quad (6.7)$$

<sup>98</sup> Shih-Pin Chen, Yi-Ju Hsueh, A simple approach to fuzzy critical path analysis in project networks, Applied Mathematical Modelling, 32, 1289-1297, 2008.

Το δυικό μοντέλο (6.7) είναι ακριβώς το ίδιο με το μοντέλο (6.4), που αποδεικνύει την ορθότητα του σαφούς μετασχηματισμού στην προηγούμενη υποενότητα<sup>99</sup>.

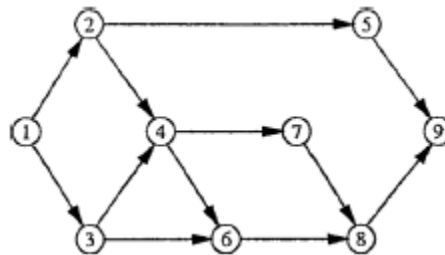
### 6.3.4. Σχετικός βαθμός κρισιμότητας της διαδρομής.

Θεωρούνται οι BFS του μοντέλου (6.4). Όπως υποστηρίχθηκε στην παράγραφο 6.3.2., οποιοσδήποτε BFS ανταποκρίνονται σε μια διαδρομή στο δίκτυο εργασιών. Ορίζοντας το βαθμό κρισιμότητας μιας διαδρομής, η πιο κρίσιμη διαδρομή ορίζεται ως 1.0 δηλαδή  $deg_{Cr}^R(p^*) = 1$  και ο σχετικός βαθμός κρισιμότητας της  $k$  διαδρομής  $p_k$   $k=1,2,\dots,m$  μπορεί να οριστεί ως<sup>100</sup>:

$$deg_{Cr}^R(p_k) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I(\tilde{T}_{ij})x_{ij}^{(k)}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I(\tilde{T}_{ij})x_{ij}^*}, \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (6.8)$$

### 6.4. Αριθμητικό παράδειγμα<sup>101</sup>.

Για να ενισχυθεί η ισχύς της προτεινόμενης προσέγγισης, το παράδειγμα που μελετήθηκε από τους Chanas και Zielinski αναφέρεται εδώ. Το πρόβλημα είναι να βρεθεί η κρίσιμη διαδρομή ανάμεσα στον κόμβο 1 και στον κόμβο 9 στο δίκτυο εργασιών με ασαφείς χρόνους δραστηριοτήτων όπως φαίνεται στο **Σχήμα 6.3**. Οι χρόνοι δραστηριότητας είναι ασαφείς αριθμοί τύπου L-R  $((i, j) \in A)$ .



**Σχήμα 6.3.:** δομή του δικτύου του παραδείγματος.

Ένα ασαφές σύνολο  $\tilde{T} = (t_{a=1}^L, t_{a=1}^U, ls, rs)_{LR}$  καλείται ασαφής αριθμός τύπου L-R, με το υποσύνολο  $[t_{a=1}^L, t_{a=1}^U]$  αποτελούμενο από τους πραγματικούς αριθμούς

<sup>99</sup> Shih-Pin Chen, Yi-Ju Hsueh, A simple approach to fuzzy critical path analysis in project networks, Applied Mathematical Modelling, 32, 1289-1297, 2008.

<sup>100</sup> Shih-Pin Chen, Yi-Ju Hsueh, A simple approach to fuzzy critical path analysis in project networks, Applied Mathematical Modelling, 32, 1289-1297, 2008.

<sup>101</sup> Stefan Chanas, Pawe l Zielinski, Critical path analysis in the network with fuzzy activity times, Fuzzy Sets and Systems, 122, 195-204, 2001.

με την υψηλότερη πιθανότητα πραγματοποίησης και το ls και rs, η ύπαρξη του αριστερού και δεξιού άκρου που είναι μη αρνητικοί πραγματικοί αριθμοί αντίστοιχα, εάν η συνάρτηση συμμετοχής  $\mu_{\tilde{T}}(t)$  έχει την εξής μορφή:

$$\mu_{\tilde{T}}(t) = \begin{cases} L\left(\frac{t_{a=1}^L - t}{ls}\right) & \text{για } t \leq t_{a=1}^L \\ 1 & \text{για } t_{a=1}^L \leq t \leq t_{a=1}^U \\ R\left(\frac{t - t_{a=1}^U}{rs}\right) & \text{για } t \geq t_{a=1}^U \end{cases} \quad (6.9)$$

όπου L και R είναι συνεχείς, μη-αυξανόμενες συναρτήσεις που καθορίζουν τις αριστερές και δεξιές μορφές  $\mu_{\tilde{T}}(t)$  αντίστοιχα και  $L(0) = R(0) = 1$ .

**Πόρισμα.:** Εάν το σύνολο  $[t_{a=1}^L, t_{a=1}^U]$  αποτελείται από ένα στοιχείο, δηλαδή  $t_{a=1}^L = t_{a=1}^U = t_{a=1}$  ο ασαφής αριθμός αντιπροσωπεύεται ως  $\tilde{T} = (t_{a=1}, ls, rs)_{LR}$ . Μια συνάρτηση που καθορίζει τις αριστερές και δεξιές μορφές ενός ασαφούς αριθμού καλείται συνάρτηση αναφοράς. Δύο ειδικές περιπτώσεις υπάρχουν, μια τριγωνική (όταν το σύνολο  $[t_{a=1}^L, t_{a=1}^U]$  αποτελείται από ένα στοιχείο) και μια τραπεζοειδής όταν για τον ασαφή αριθμό  $L(x) = R(x) = \max\{0, 1 - |x|\}$  είναι γραμμικές συναρτήσεις. Τέσσερις συνήθως χρησιμοποιούμενες μη γραμμικές συναρτήσεις αναφοράς με παράμετρο p, που αναφέρονται ως  $RF_p$ , συνοψίζονται ως εξής:

$$\text{Γραμμική: } RF_p(x) = \max(0, 1 - x) \quad (6.10a)$$

$$\text{Εκθετική: } RF_p(x) = e^{-px}, \quad p \geq 1 \quad (6.10b)$$

$$\text{Δύναμης: } RF_p(x) = \max(0, 1 - x^p), \quad p \geq 1 \quad (6.10c)$$

$$\text{Εκθετική δύναμης: } RF_p(x) = e^{-x^p}, \quad p \geq 1 \quad (6.10d)$$

$$\text{Λογική: } RF_p(x) = 1/(1 + x^p), \quad p \geq 1 \quad (6.10e)$$

Η προτεινόμενη προσέγγιση που αναφέρθηκε στην παράγραφο 6.2.1. περιλαμβάνει τις α-περικοπές των χρόνων δραστηριότητας που είναι L-R ασαφείς αριθμοί  $(\tilde{T}_{ij}) = ((t_{ij})_{a=1}^L, (t_{ij})_{a=1}^U, ls_{ij}, rs_{ij})_{L_{ij}-R_{ij}} \forall (i, j) \in A$ . Εάν αυτές οι δύο αντίστροφες συναρτήσεις  $L^{-1}$  και  $R^{-1}$  υπάρχουν, σαφώς μπορούν να αντιπροσωπευθούν ως <sup>102</sup>:

$$(T_{ij})_a = [(T_{ij})_{a=1}^L, (T_{ij})_{a=1}^U] = [(t_{ij})_{a=1}^L - L_{ij}^{-1}(a) \cdot ls_{ij}, (t_{ij})_{a=1}^U + R_{ij}^{-1}(a) \cdot rs_{ij}]$$

<sup>102</sup> Shih-Pin Chen, Interfaces with Other Disciplines, Analysis of critical paths in a project network with fuzzy activity times, European Journal of Operational Research, 183, 442-459, 2007.

Όλες οι αντίστροφες συναρτήσεις των γραμμικών και μη γραμμικών συναρτήσεων αναφοράς που απαριθμούνται στις (10α) - (10d) υπάρχουν και ορίζονται ως εξής:

$$\text{Για τη γραμμική: } RF_p^{-1}(\alpha) = 1 - \alpha, \quad \alpha \in (0,1]$$

$$\text{Για την εκθετική: } RF_p^{-1}(\alpha) = -(\ln \alpha)/p, \quad \alpha \in (0,1]$$

$$\text{Για τη δύναμη: } RF_p^{-1}(\alpha) = \sqrt[p]{1 - \alpha}, \quad \alpha \in (0,1]$$

$$\text{Για την εκθετική δύναμη: } RF_p^{-1}(\alpha) = \sqrt[p]{-\ln \alpha}, \quad \alpha \in (0,1]$$

$$\text{Για τη λογική: } RF_p^{-1}(\alpha) = \sqrt[p]{(1 - \alpha)/\alpha}, \quad \alpha \in (0,1]$$

Πρέπει να αναφερθεί το εξής: το πώς ο διευθυντής έργου επιλέγει τις συναρτήσεις αναφοράς και τις σχετικές μεταβλητές είναι σημαντικό αλλά δεν αντιμετωπίζεται εδώ. Στο σημείο αυτό υποθέτουμε ότι οι ασαφείς αριθμοί που αντιπροσωπεύουν τους χρόνους δραστηριότητας είναι ήδη γνωστοί. Σε αυτό το παράδειγμα οι ασαφείς χρόνοι δίνονται στον **Πίνακα 6.1**.

**Πίνακας 6.1.:** Ασαφείς χρόνοι (Chanas 2001, Chen 2007).

$\tilde{T}_{ij}$	$L_{ij}(x)$	$R_{ij}(x)$
$\tilde{T}_{12} = [1,1,5,1,1]_{L_{12}-R_{12}}$	$L_{12}(x) = \max(1 - x^2, 0)$	$R_{12}(x) = \max(0, 1 - x)$
$\tilde{T}_{13} = [2,3,0,2]_{L_{13}-R_{13}}$	$L_{13}(x) = e^{-x}$	$R_{13}(x) = \max(0, 1 - x)$
$\tilde{T}_{24} = [0,0,0,0]_{L_{24}-R_{24}}$	$L_{24}(x) = \max(0, 1 - x)$	$R_{24}(x) = \max(0, 1 - x)$
$\tilde{T}_{25} = [2,3,1,2]_{L_{25}-R_{25}}$	$L_{25}(x) = \max(0, 1 - x^4)$	$R_{25}(x) = e^{-x}$
$\tilde{T}_{34} = [0,0,0,0]_{L_{34}-R_{34}}$	$L_{34}(x) = \max(0, 1 - x)$	$R_{34}(x) = \max(1 - x^2, 0)$
$\tilde{T}_{36} = [6,7,0,2]_{L_{36}-R_{36}}$	$L_{36}(x) = e^{-x^2}$	$R_{36}(x) = \max(1 - x^2, 0)$
$\tilde{T}_{46} = [5,5,1,1]_{L_{46}-R_{46}}$	$L_{46}(x) = \max(0, 1 - x)$	$R_{46}(x) = \max(0, 1 - x^4)$
$\tilde{T}_{47} = [9,9,1,1]_{L_{47}-R_{47}}$	$L_{47}(x) = \max(0, 1 - x^4)$	$R_{47}(x) = e^{-x}$
$\tilde{T}_{59} = [8,9,2,4]_{L_{59}-R_{59}}$	$L_{59}(x) = \max(0, 1 - x^4)$	$R_{59}(x) = \max(1 - x^2, 0)$
$\tilde{T}_{68} = [4,4,2,2]_{L_{68}-R_{68}}$	$L_{68}(x) = \max(1 - x^2, 0)$	$R_{68}(x) = \max(0, 1 - x^4)$
$\tilde{T}_{78} = [3,4,2,0]_{L_{78}-R_{78}}$	$L_{78}(x) = \max(0, 1 - x)$	$R_{78}(x) = \max(0, 1 - x^4)$
$\tilde{T}_{89} = [6,9,2,3]_{L_{89}-R_{89}}$	$L_{89}(x) = \max(1 - x^2, 0)$	$R_{89}(x) = e^{-x^2}$

Σύμφωνα με το μοντέλο (6.2) το πρόβλημα μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$\max \tilde{T}_{12}x_{12} + \tilde{T}_{13}x_{13} + \tilde{T}_{24}x_{24} + \tilde{T}_{34}x_{34} + \tilde{T}_{25}x_{25} + \tilde{T}_{36}x_{36} + \tilde{T}_{46}x_{46} + \tilde{T}_{47}x_{47} \\ + \tilde{T}_{59}x_{59} + \tilde{T}_{68}x_{68} + \tilde{T}_{78}x_{78} + \tilde{T}_{89}x_{89}$$

υ.π.

$$x_{12} + x_{13} = 1$$

$$x_{12} = x_{24} + x_{25}$$



$$\begin{aligned}
 x_{13} &= x_{34} + x_{36} \\
 x_{24} + x_{34} &= x_{47} + x_{46} \\
 x_{25} &= x_{59} \\
 x_{46} + x_{36} &= x_{68} \\
 x_{47} &= x_{78} \\
 x_{78} + x_{68} &= x_{89} \\
 x_{59} + x_{89} &= 1 \\
 x_{12}, x_{13}, x_{24}, x_{34}, x_{25}, x_{36}, x_{46}, x_{47}, x_{59}, x_{68}, x_{78}, x_{89} &\geq 0
 \end{aligned} \tag{6.11}$$

Το σχετικό μαθηματικό πρόβλημα μπορεί να ξαναγραφτεί με βάση το μοντέλο (6.4):

$$\begin{aligned}
 \max \quad & I(\tilde{T}_{12})x_{12} + I(\tilde{T}_{13})x_{13} + I(\tilde{T}_{24})x_{24} + I(\tilde{T}_{34})x_{34} + I(\tilde{T}_{25})x_{25} + I(\tilde{T}_{36})x_{36} + \\
 & I(\tilde{T}_{46})x_{46} + I(\tilde{T}_{47})x_{47} + I(\tilde{T}_{59})x_{59} + I(\tilde{T}_{68})x_{68} + I(\tilde{T}_{78})x_{78} + I(\tilde{T}_{89})x_{89} \\
 \text{υ.π.} \quad & x_{12} + x_{13} = 1 \\
 & x_{12} = x_{24} + x_{25} \\
 & x_{13} = x_{34} + x_{36} \\
 & x_{24} + x_{34} = x_{47} + x_{46} \\
 & x_{25} = x_{59} \\
 & x_{46} + x_{36} = x_{68} \\
 & x_{47} = x_{78} \\
 & x_{78} + x_{68} = x_{89} \\
 & x_{59} + x_{89} = 1 \\
 & x_{12}, x_{13}, x_{24}, x_{34}, x_{25}, x_{36}, x_{46}, x_{47}, x_{59}, x_{68}, x_{78}, x_{89} \geq 0
 \end{aligned}$$

Οι δείκτες ταξινόμησης του Yager για  $\tilde{T}_{ij}$  υπολογίζονται ως<sup>103</sup>:  $I(\tilde{T}_{12}) = I(\tilde{T}_{36}) = 1.6667, I(\tilde{T}_{13}) = I(\tilde{T}_{78}) = 3, I(\tilde{T}_{24}) = I(\tilde{T}_{34}) = 0, I(\tilde{T}_{25}) = 3.1, I(\tilde{T}_{46}) = 5.15, I(\tilde{T}_{47}) = 9.1, I(\tilde{T}_{59}) = 9.03333, I(\tilde{T}_{68}) = 4.13333$  και  $I(\tilde{T}_{89}) = 8.16267$ . Αντικαθιστώντας αυτές τις τιμές στα αποτελέσματα του μοντέλου (6.11) ένα συμβατικό πρόβλημα κρίσιμων πορειών είναι εύκολο να λυθεί. Μέσω ενός μαθηματικού προγράμματος λύνεται αυτό το γραμμικό πρόγραμμα. Μια βέλτιστη λύση  $x_{13}^* = x_{34}^* = x_{47}^* = x_{78}^* = x_{89}^* = 1$  και  $x_{12}^* = x_{24}^* = x_{25}^* = x_{36}^* = x_{46}^* = x_{59}^* = x_{68}^* = 0$ , με  $I(\tilde{D}^*) = 23.26267$ . Δηλαδή η κρισιμότερη πορεία είναι

<sup>103</sup> Shih-Pin Chen, Yi-Ju Hsueh, A simple approach to fuzzy critical path analysis in project networks, Applied Mathematical Modelling, 32, 1289-1297, 2008.

$p^* = \{1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 9\}$ . Αυτή η λύση είναι η ίδια όπως αυτή που απαρίθμησαν οι Chanas και Zielinski. Για να ελεγχθεί εάν αυτή η πορεία είναι η κρίσιμη, βρίσκουμε όλες τις πορείες συγκρίνοντας τους δείκτες ταξινόμησης του Yager. Υπάρχουν μόνο έξι διαδρομές που αρχίζουν από τον κόμβο 1 στον κόμβο 9:

$$P_1 = \{1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 9\}, P_2 = \{1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 8 \rightarrow 9\}$$

$$P_3 = \{1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 8 \rightarrow 9\}, P_4 = \{1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 9\}$$

$$P_5 = \{1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 8 \rightarrow 9\} \text{ και } P_6 = \{1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 9\}$$

Οι δείκτες ταξινόμησης  $I(\tilde{D}_{p_i}^*)$ ,  $i = 1, 2, \dots, 6$  υπολογίστηκαν με τη χρήση της προσέγγισης του Yager και είναι 23.26267, 22.46267, 20.446, 13.3, 18.61267, και 21.42934, αντίστοιχα. Το μέγιστο αυτών των έξι δεικτών ταξινόμησης είναι  $I(\tilde{D}_{p_1}^*) = 23.26267$  δείχνοντας την  $P_1 = \{1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 9\}$  που είναι πραγματικά η κρίσιμη διαδρομή και είναι η ίδια με αυτή που λύνεται από την προτεινόμενη προσέγγιση. Εφαρμόζοντας την εξίσωση (6.8) που αναφέρθηκε στην παράγραφο 6.3.4, που θέτει το σχετικό βαθμό κρισιμότητας της περισσότερο κρίσιμης διαδρομής να είναι ίσο με 1 ( $P_1 = \{1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 9\}$ ), οι σχετικοί βαθμοί κρισιμότητας των άλλων πορειών μπορούν να υπολογιστούν ως :

$$deg_{Cr}^R(p_i) = \frac{I(\tilde{D}_{p_i}^*)}{I(\tilde{D}_{p_1}^*)}, \quad i = 2, \dots, 6$$

Τα αποτελέσματα παρατίθενται με την κατιούσα σειρά στον παρακάτω **Πίνακα 6.2**.

**Πίνακας 6.2:** Ο σχετικός βαθμός κρισιμότητας της διαδρομής με την κατιούσα σειρά  
(Chen & Hsueh 2008)

Διαδρομή	$deg_{Cr}^R(p_i)$
$P_1 = \{1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 9\}$	1
$P_2 = \{1 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 8 \rightarrow 9\}$	0.9574
$P_6 = \{1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow 9\}$	0.9212
$P_3 = \{1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 8 \rightarrow 9\}$ ,	0.8789
$P_5 = \{1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 8 \rightarrow 9\}$	0.8001
$P_4 = \{1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 9\}$	0.5717

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Shih-Pin Chen, Yi-Ju Hsueh, A simple approach to fuzzy critical path analysis in project networks, *Applied Mathematical Modelling*, 32, 1289-1297, 2008.
2. Shih-Pin Chen, Interfaces with Other Disciplines, Analysis of critical paths in a project network with fuzzy activity times, *European Journal of Operational Research*, 183, 442-459, 2007.
3. Stefan Chanas, Pawe l Zielinski, Critical path analysis in the network with fuzzy activity times, *Fuzzy Sets and Systems*, 122, 195-204, 2001.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ PERT ΣΕ ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ.

#### 7.1. Εισαγωγή.

Οι τεχνικές που εφαρμόζονται σε δίκτυα αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο για τον προγραμματισμό εργασιών και μπορούν να αποδειχτούν εξαιρετικά ακριβείς, ωστόσο είναι δύσκολο να εφαρμοστούν όταν τα δίκτυα εργασιών είναι περίπλοκα και οι εκτιμήσεις των χρόνων των δραστηριοτήτων είναι αβέβαιοι.

Οι πιο πολλές από τις αναλυτικές διαδικασίες, όπως η συμβατική προσέγγιση PERT, οδηγούν σε μια αισιόδοξα εσφαλμένη εκτίμηση των νωρίτερων αναμενόμενων χρόνων. Παραδείγματος χάριν, αν εξετάσουμε δύο δραστηριότητες A και B που τελειώνουν στον ίδιο κόμβο και συνδέονται με ένα γεγονός P. Η διάρκεια των δύο δραστηριοτήτων ( $T_A$  και  $T_B$ ) είναι μια τυχαία μεταβλητή έτσι ώστε ο χρόνος του γεγονότος P να είναι επίσης μια τυχαία μεταβλητή  $T_P$ . Το  $T_P$  ορίζεται ως  $\max\{T_A, T_B\}$ . Συνεπώς, ο αναμενόμενος χρόνος  $E[T_P]$  του γεγονότος P είναι ίσος με το  $E[\max\{T_A, T_B\}]$ , ενώ στην συμβατική προσέγγιση PERT υποτίθεται ότι είναι το  $E[T_P] = \max\{E[T_A], E[T_B]\}$ , υποτιμώντας έτσι την αναμενόμενη τιμή. Ως εκ τούτου, η πραγματική μέση διάρκεια οφείλεται ουσιαστικά στην αβεβαιότητα των εκτιμήσεων της διάρκειας της δραστηριότητας που συνδέονται με τους κόμβους του δικτύου. Η πολυπλοκότητα του δικτύου ενισχύει το σφάλμα, που αυξάνεται πράγματι με τον αριθμό των παράλληλων διαδρομών στο γεγονός τέλους του δικτύου.

Ανάμεσα στις προσεγγίσεις χειρισμού της πραγματικής μέσης διάρκειας του έργου, ορισμένοι αλγόριθμοι ή άλλες ευρετικές προσεγγίσεις επιτυγχάνουν μια ανταλλαγή ανάμεσα στην υπολογιστική προσπάθεια και στην αξιοπιστία των εκτιμήσεων διάρκειας. Μετά από μια σύντομη περιγραφή των τεχνικών, που δίνεται στο επόμενο τμήμα, ερευνώνται οι σχέσεις μεταξύ των χρονικών μεταβλητών ολόκληρου του προγράμματος (μέση διάρκεια και διακύμανση διάρκειας της εργασίας) και ολόκληρης της πορείας, δηλαδή τις ακολουθίες των καταστάσεων που μπορεί να περάσει το έργο. Παράγονται οι εξισώσεις που περιγράφουν τέτοιες σχέσεις και χρησιμοποιούνται για να υπολογίσουν τη διάρκεια του έργου. Τα αποτελέσματα αξιολογούνται ενάντια σε εκείνες της συμβατικής προσέγγισης PERT

και της προσομοίωσης Μόντε Κάρλο. Η προτεινόμενη προσέγγιση αποδεικνύεται ακριβής καθώς και αποτελεσματική για τη πραγματική μέση διάρκεια του έργου<sup>104</sup>.

## 7.2. Καταστάσεις PERT και τεχνικές διαδρομής PERT.

Οι καταστάσεις PERT και οι τεχνικές διαδρομής PERT χρησιμοποιούν τις ίδιες πληροφορίες που απαιτούνται από τη συμβατική προσέγγιση PERT, δηλαδή λογικοί δεσμοί ανάμεσα στις δραστηριότητες και στις διάρκειες των δραστηριοτήτων, αλλά διαφορετικά από αυτό, αναπαριστούν ρητά κάθε πιθανή διαδρομή που μπορεί να περάσει η εργασία. Και στις καταστάσεις PERT και στις τεχνικές διαδρομής PERT, μια διαδρομή είναι μια ακολουθία κόμβων, με κάθε κόμβο να είναι μια πιθανή κατάσταση της εξέλιξης της εργασίας.

Για ένα δίκτυο PERT με  $n$  δραστηριότητες, η κατάσταση εργασιών είναι ένα δυαδικό διάνυσμα με  $n$  στοιχεία  $ps=[ps_1, ps_2, \dots, ps_n]$ . Κάθε στοιχείο  $ps_k$  είναι ίσο είτε με 1 είτε με 0, εάν η δραστηριότητα  $k$  ολοκληρώνεται ή όχι, αντιστοίχως. Η εξέλιξη του έργου είναι μια εκ των  $r$  πιθανών ακολουθιών  $\pi_i$  ( $i = 1, 2, \dots, r$ ) των  $n + 1$  καταστάσεων. Η πρώτη κατάσταση είναι  $(0, 0, \dots, 0)$  και η τελευταία  $(1, 1, \dots, 1)$  και κάθε κατάσταση μέσα στην ακολουθία παρουσιάζει ένα νέο στοιχείο  $ps_k$  που γίνεται 1, όπου  $k$  είναι η τελευταία ολοκληρωμένη δραστηριότητα. Η ακολουθία της κατάστασης (διαδρομή PERT) και οι χρόνοι των  $n$  μεταβάσεων καθορίζουν την εξέλιξη μιας εργασίας.

Το δίκτυο διαδρομής PERT είναι ένα δέντρο που δείχνει όλες τις  $r$  πιθανές διαδρομές  $\pi_i$  των εργασιών. Η ρίζα του δέντρου είναι η κατάσταση  $[0, 0, \dots, 0]$  και όλες οι διακλαδώσεις του, σταματούν στην κατάσταση  $[1, 1, \dots, 1]$ . Μια μετάβαση ανάμεσα στις καταστάσεις συμβαίνει όταν ολοκληρώνεται μια δραστηριότητα. Επομένως, σε μια δεδομένη κατάσταση οι ρυθμοί μετάβασης των δραστηριοτήτων εξαρτώνται από τη διάρκεια των δραστηριοτήτων που μπορούν να ξεκινήσουν ή να ολοκληρωθούν σε αυτό το στάδιο (κατάσταση).

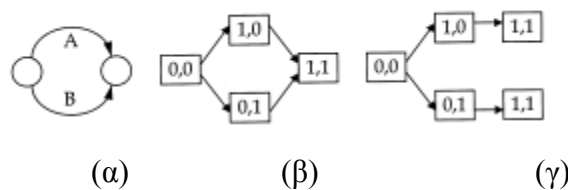
Οι καταστάσεις PERT και οι τεχνικές διαδρομής PERT είναι χρήσιμες για να κατανοηθούν οι μηχανισμοί που ελέγχουν την εξέλιξη των εργασιών μέσω μιας ή όλων των διαθέσιμων εναλλακτικών. Στην πραγματικότητα, εάν σε κάποιο δεδομένο χρονικό σημείο και σε μια ορισμένη κατάσταση εργασιών επιτρέπονται διάφορες

<sup>104</sup> Pierpaolo Pontrandolfo, Project duration in stochastic networks by the PERT-path technique, International Journal of Project Management, 18, 215-222, 2000.

εναλλακτικές, το δέντρο επιλογών PERT παρουσιάζει ένα μικρότερο δέντρο που ξεκινά από την παρούσα κατάσταση. Ακόμα, ο τρόπος με τον οποίο μια εργασία επιλέγεται μεταξύ των εναλλακτικών ή αλλιώς επιλέγεται μια διαδρομή περιγράφεται ποσοτικά.

Για ένα δεδομένο PERT δίκτυο, οι διαφορετικοί βαθμοί πολυπλοκότητας που χαρακτηρίζουν το δέντρο διαδρομών PERT (καθώς επίσης και το δίκτυο κατάστασης PERT), είναι ανάλογοι με το πόσο αβέβαιες είναι οι διάρκειες δραστηριοτήτων. Στην πραγματικότητα, αφενός, μόνο μια κατάσταση ακολουθίας ( $r = 1$ ) είναι δυνατή εάν οι διάρκειες είναι όλες αιτιοκρατικές, αφετέρου, τα  $r$  είναι τα μέγιστα όταν οι διάρκειες είναι όλες, χαμηλότερα οριακές από 0 και όχι στο άνω όριο (παράδειγμα όταν κατανέμονται εκθετικά). Συγκεκριμένα, η μέγιστη τιμή του  $r$  εξαρτάται αποκλειστικά από το δίκτυο PERT, όταν δηλαδή το  $r$  τείνει να αυξηθεί με τον αριθμό  $n$  των δραστηριοτήτων και την πολυπλοκότητα του δικτύου<sup>105</sup>.

Στο **Σχήμα 7.1** απεικονίζεται ένα πολύ απλό δίκτυο PERT με δραστηριότητες σε τόξα (AOA). Η υπόθεση των διαρκειών δραστηριότητας είναι με χαμηλότερα όρια κοντά στο 0 και όχι στο άνω όριο και έχουν φτιαχτεί έτσι ώστε οι καταστάσεις PERT και οι τεχνικές διαδρομής PERT να παρουσιάζουν τη μέγιστη σχετική πολυπλοκότητα. Το έργο αποτελείται από δύο δραστηριότητες A και B, με συνέπεια μια κατάσταση διανύσματος 2 στοιχείων  $ps$ . Τα στοιχεία  $ps_1$  και  $ps_2$  αναφέρονται στις δραστηριότητες A και B, αντίστοιχα. Οι πραγματικές τιμές  $ps$ , στις οποίες η κατάσταση του έργου μπορεί περάσει, αντιπροσωπεύονται στα τμήματα του **Σχήματος 7.1 (β), (γ)**.



**Σχήμα 7.1.:** (α) AOA δίκτυο PERT, (β) δίκτυο κατάστασης PERT και (γ) διαδρομή δικτύου PERT κάτω από την υπόθεση των διαρκειών δραστηριότητας χαμηλότερου ορίου κοντά στο 0 (Pierpaolo Pontrandolfo 2000).

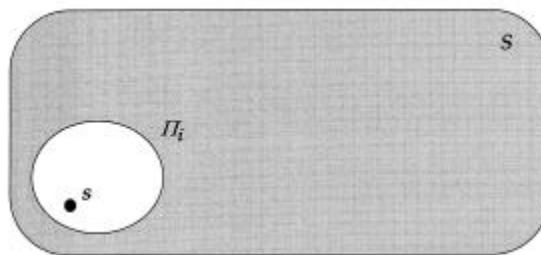
<sup>105</sup> Pierpaolo Pontrandolfo, Project duration in stochastic networks by the PERT-path technique, International Journal of Project Management, 18, 215-222, 2000.

### 7.3. Διάρκειες έργου και διαδρομής.

Σε αυτό το τμήμα καθορίζονται οι σχέσεις μεταξύ της διάρκειας του έργου και των διαδρομών PERT. Εάν κάποιος γνωρίζει τις διάρκειες των διαδρομών PERT (για τις οποίες έχει αναπτυχθεί μια αναλυτική προσέγγιση), κατόπιν η διάρκεια του έργου μπορεί εύκολα και ακριβώς να καθοριστεί. Η εκτέλεση μπορεί να θεωρηθεί ως πείραμα (Σχήμα 7.2.), ώστε να καθιερωθεί μια αντιστοιχία μεταξύ κάθε πιθανής εξέλιξης και μιας πειραματικής έκβασης. Ως εκ τούτου, ορίζεται ένα δείγμα  $S$  ενός διαστήματος, του οποίου τα στοιχεία  $s$  είναι διανύσματα  $n + 1$  στοιχείων:

$$s = (\pi_i, t_1, \dots, t_n)$$

όπου  $\pi_i$  είναι το  $i$  μονοπάτι ( $i=1, \dots, r$ ),  $t_j$  είναι ο χρόνος της  $j$  μετάβασης σε μια κατάσταση με  $j$  ολοκληρωμένες δραστηριότητες ( $j=1, \dots, n$ ) και  $r =$  ο αριθμός όλων των πιθανών διαδρομών του έργου. Μια τυχαία μεταβλητή  $T: S \rightarrow (0, +\infty)$  μπορεί να οριστεί πέρα από το δείγμα του διαστήματος  $S$  που επιστρέφει τη διάρκεια του έργου  $t$  που εμφανίζεται όταν η εξέλιξη του έργου είναι  $s$ , δηλαδή  $T(s) = t = t_n - t_0$ , με  $t_0$  ο χρόνος έναρξης. Επομένως, τα  $E[T]$  και τα  $V[T]$  αντίστοιχα είναι ο μέσος όρος και η διακύμανση της διάρκειας της εργασίας.



$S$ : Διάστημα δείγματος όλων των εξελίξεων του έργου

$s$ : εξέλιξη έργου

$\Pi_i$ : Υποσύνολο όλων των εξελίξεων του έργου στη διαδρομή  $\pi_i$

$P_i$ :  $Prob.(\Pi_i)$

$T$ :  $s \in S \rightarrow T(s) = t \in (0, +\infty)$  με  $\sigma.π.π p$

$T_i$ :  $s \in \Pi_i \rightarrow T_i(s) = T(s) = t \in (0, +\infty)$  με  $\sigma.π.π p_i$

**Σχήμα 7.2.:** Η εκτέλεση του έργου σαν πείραμα (Pierpaolo Pontrandolfo 2000).

Ο στόχος είναι, αφενός ο προσδιορισμός των σχέσεων μεταξύ του μέσου  $E[T]$  και της διακύμανσης  $V[T]$  της διάρκειας του έργου και αφετέρου ο μέσος όρος και η διακύμανση κάθε διάρκειας διαδρομών. Συγκεκριμένα, μπορεί να βρεθεί ότι οι

διάρκειες των εργασιών και της διαδρομής σχετίζονται με τις πιθανότητες που ο προγραμματισμός ακολουθεί για κάθε μια από τις  $r$  διαδρομές.

Για αυτόν τον λόγο, θεωρείται ένα ιδιαίτερο χώρισμα στο δείγμα διαστήματος  $S$ . Αυτό το χώρισμα αποτελείται από  $r$  υποσύνολα  $\Pi_i$  ( $i=1,2,\dots,r$ ). Ένα υποσύνολο  $\Pi_i$  είναι το γεγονός που εμφανίζεται όταν πραγματοποιείται το έργο ακολουθώντας τη διαδρομή  $\pi_i$ . Ως εκ τούτου, όλα τα στοιχεία  $S \in \Pi_i$  χαρακτηρίζονται από την ίδια πορεία  $\pi_i$ . Ορίζονται  $r$  τυχαίες μεταβλητές, για όλα τα  $i$  τέτοιες ώστε: το  $T_i$  να ορίζεται πέρα από την περιοχή  $\Pi_i$  και  $T_i(s) = T(s)$ , για όλα τα  $S \in \Pi_i$ . Πρέπει να σημειωθεί ότι οι τιμές του  $T_i(s)$  για  $s \in \Pi_i$  είναι όλες οι πιθανές διάρκειες του έργου δεδομένου ότι ακολουθούν την πορεία  $\pi_i$ . Επιπλέον, το  $E[T_i]$  και το  $V[T_i]$  είναι ο μέσος όρος και η διακύμανση της διάρκειας της διαδρομής  $\pi_i$ , καθώς επίσης και η πιθανότητα  $P_i = \text{Prob.}(\Pi_i)$  του γεγονότος  $\Pi_i$  που είναι η πιθανότητα του έργου να ακολουθήσει την διαδρομή  $\pi_i$ .

Οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας (σ.π.π.)  $p$  και  $p_i$  ( $i = 1, \dots, r$ ) που συνδέονται με τις τυχαίες μεταβλητές  $T$  και  $T_i$  σχετίζονται με τη βοήθεια των τιμών της πιθανότητας  $P_i$  ως εξής<sup>106</sup>:

$$p = \sum_{i=1}^r p_i \cdot P_i \quad (7.1)$$

Ο **Πίνακας 7.1.** συνοψίζει τις σημειώσεις που εισήχθησαν μέχρι τώρα. Οι ακόλουθες εξισώσεις μπορούν να ληφθούν:

$$E[T] = \sum_{i=1}^r P_i \cdot E[T_i] \quad (7.2)$$

$$V[T] = \sum_{i=1}^r P_i \cdot V[T_i] + \sum_{i=1}^r P_i \cdot E^2[T_i] - E^2[T] \quad (7.3\alpha)$$

$$V[T] = \sum_{i=1}^r P_i \cdot [V[T_i] + (E[T_i] - E[T])^2] \quad (7.3\beta)$$

<sup>106</sup> Pierpaolo Pontrandolfo, Project duration in stochastic networks by the PERT-path technique, International Journal of Project Management, 18, 215-222, 2000.



**Πίνακας 7.1.:** Οι παράμετροι που ορίζονται για το στοχαστικό δίκτυο.

Μεταβλητή	Περιγραφή
T	Τυχαία μεταβλητή της διάρκειας του έργου
E[T]	μέση διάρκεια έργου
V[T]	διακύμανση της διάρκειας του έργου
p	σ.π.π. της τυχαίας μεταβλητής T
T <sub>i</sub>	Τυχαία μεταβλητή της διάρκειας της διαδρομής π <sub>i</sub>
E[T <sub>i</sub> ]	μέση διάρκεια της μεταβλητής π <sub>i</sub>
V[T <sub>i</sub> ]	διακύμανση της διάρκειας της διαδρομής π <sub>i</sub>
P <sub>i</sub>	πιθανότητα ότι το έργο θα ακολουθήσει τη διαδρομή π <sub>i</sub>
p <sub>i</sub>	σ.π.π. της τυχαίας μεταβλητής T <sub>i</sub>
i	δείκτης που χαρακτηρίζει μια συγκεκριμένη διαδρομή π <sub>i</sub> (i=1,2,...,r)

Η χρήση τριών βοηθητικών τυχαίων μεταβλητών  $E_p$ ,  $ESQ_p$ , και  $V_p$  καθιστούν πιθανή μια καλύτερη κατανόηση των εξισώσεων (7.2), (7.3α) και (7.3β). Θεωρείται ότι όλες τους έχουν την ίδια περιοχή δείγματος  $S_p$ . Θεωρείται ότι η  $S_p$  διαμορφώνεται από  $r$  πειραματικές  $sp_i$  εκβάσεις ( $i = 1, 2, \dots, r$ ) που χαρακτηρίζονται από τις πιθανότητες  $P_i$  ακριβώς ίδιες με εκείνες που χαρακτηρίστηκαν οι  $r$  διαδρομές του  $\pi_i$ , δηλαδή:  $\text{Prob.}(\{sp_i\}) = \text{Prob.}(\pi_i) = P_i$ , για όλα τα  $i=1, \dots, r$ . Οι τρεις μεταβλητές παίρνουν τις τιμές ως εξής:

$$E_p[sp_i] = E[T_i]$$

$$ESQ_p[sp_i] = E^2[T_i]$$

$$V_p[sp_i] = V[T_i]$$

με  $i=1, \dots, r$ .

Οι εξισώσεις (7.2), (7.3α) και (7.3β) μπορούν να ξαναγραφτούν ως εξής:

$$E[T] = E[E_p] \tag{7.4}$$

$$V[T] + E^2[T] = E[V_p] + E[ESQ_p] \tag{7.5α}$$

$$V[T] = E[V_p] + V[E_p] \tag{7.5β}$$

Οι Εξισώσεις (7.4), (7.5α) και (7.5β) είναι πιο σημαντικές από τις αντίστοιχες εξισώσεις (7.2), (7.3α) και (3β):

- Η μέση διάρκεια του έργου ισούται με το μέσο της μέσης διάρκειας της διαδρομής, (εξίσωση 7.4).

- Η διακύμανση της διάρκειας του έργου συν το τετράγωνο της μέσης διάρκειας του έργου ισούται με το μέσο όρο των διακυμάνσεων διάρκειας της διαδρομής συν το μέσο όρο του τετραγώνου της μέσης διάρκειας της διαδρομής, (εξίσωση 7.5α).
- Η διακύμανση της διάρκειας του έργου ισούται με το μέσο όρο των διακυμάνσεων διάρκειας της διαδρομής συν τη διακύμανση της μέσης διάρκειας της διαδρομής, (εξίσωση 7.5β).

Τέλος, η διαφορά των εξισώσεων (7.5α, 7.5β) οδηγεί:

$$E^2[T] = E[ESQp] - V[E_p]$$

δηλαδή, το τετράγωνο της μέσης διάρκειας του έργου ισούται με το μέσο όρο του τετραγώνου διάρκειας της διαδρομής μείον τη διακύμανση της μέσης διάρκειας της διαδρομής.

Συνοψίζοντας, οι καταστάσεις PERT και οι τεχνικές διαδρομής PERT μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καθοριστεί η διάρκεια του έργου σύμφωνα με τα τρία βήματα στο **Σχήμα 7.3**.

<b>Βήμα 1:</b> Ανάπτυξη της διαδρομής του δικτύου PERT που βασίζεται στο δίκτυο PERT και των διαρκειών των δραστηριοτήτων του έργου.
--

<b>Βήμα 2:</b> Για κάθε διαδρομή καθορίζεται ο μέσος και η διακύμανση της διάρκειας της διαδρομής και η πιθανότητα (περιστατικού) ότι το έργο θα ακολουθήσει τη συγκεκριμένη διαδρομή.
--

<b>Βήμα 3:</b> υπολογισμός της αναμενόμενης διάρκειας του έργου μέσω της εξίσωσης 2 και της διακύμανσης της διάρκειας του έργου μέσω των εξισώσεων (7.3α) και (7.3β).
---

**Σχήμα 7.3.:** Υπολογισμός της διάρκειας του έργου μέσω της τεχνικής PERT – διαδρομής (Pierpaolo Pontrandolfo 2000).

Ειδικά, το βήμα δύο είναι σχετικά εύκολο να εφαρμοστεί, υπό τον όρο ότι καμία στοχαστική εξάρτηση δεν υπάρχει μεταξύ των διαδρομών. Ακόμα και αν δεν κρατούσε αυτή η υπόθεση, η αναλυτική προσέγγιση θα παρείχε και στην περίπτωση αυτή ικανοποιητικές προσεγγίσεις για τα δεδομένα της διαδρομής. Διαισθητικά, οι στοχαστικές εξαρτήσεις και η μνήμη επιδρούν στο να γίνονται λογικότερα τα αποτελέσματα προς το τέλος ενός έργου, δηλαδή προς το τέλος του δέντρου της διαδρομής PERT. Εντούτοις, ο πολλαπλασιασμός των διαδρομών που χαρακτηρίζουν

το δέντρο μειώνουν την πιθανότητα κάθε πορείας και αυτό αντισταθμίζει τα αυξανόμενα σφάλματα που συνδέονται με τις καταστάσεις μετάβασης που εμφανίζονται προς το τέλος των πορειών. Η επόμενη παράγραφος θα συζητήσει περαιτέρω αυτό το ζήτημα.

#### 7.4. Κάποια παραδείγματα εργασιών<sup>107</sup>.

Σε αυτό το τμήμα επιδεικνύεται πώς χρησιμοποιούνται οι εξισώσεις (7.2), (7.3α) και (7.3β) για να καθορίσουν τη διάρκεια του έργου. Χάριν απλότητας, υποτίθεται ότι οι διάρκειες των δραστηριοτήτων κατανέμονται εκθετικά (χαρακτηρίζονται από τις παραμέτρους  $\lambda_i$ ). Η υπόθεση αυτή δεν μειώνει τη γενική ισχύ της προσέγγισης και ιδιαίτερα την ακρίβεια των εξισώσεων (7.2), (7.3α) και (7.3β), όμως αρκετές συνέπειες πρέπει να επισημανθούν:

- Η αβεβαιότητα του χρόνου που συνδέεται με την εκθετική κατανομή (που χαρακτηρίζεται από τις παραμέτρους  $\lambda_i$ ) δίνει έμφαση στο σφάλμα του γεγονότος ή αλλιώς το λάθος που δεσμεύεται από τη συμβατική προσέγγιση PERT .
- Η στοχαστική διαδικασία της εξέλιξης του έργου είναι μια συνεχούς χρόνου διαδικασία Markov.
- Η μη διατήρηση μνήμης χαρακτηρίζει τις μεταβάσεις μεταξύ των καταστάσεων του έργου, έτσι ώστε να μην υπάρχει στοχαστική εξάρτηση μεταξύ των πορειών.
- Οι μεταβλητές των διαδρομών (μέσος όρος διακύμανση, πιθανότητα εμφάνισης) μπορούν να καθοριστούν εύκολα, επιτρέποντας έτσι να εφαρμοστεί γρήγορα, το βήμα 2 και η προτεινόμενη προσέγγιση να εστιάσει στο βήμα 3.

Η πολύ γνωστή διατήρηση καμίας μνήμης, που συνδέεται με την εκθετική κατανομή και έπειτα με το χρόνο της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας των δραστηριοτήτων των εργασιών, μπορεί να εξηγηθεί ως εξής: Γίνεται η υπόθεση ότι το  $\Phi$  δείχνει το χρόνο ολοκλήρωσης μιας δραστηριότητας, τότε η κατανομή του  $\Phi$  δεν έχει καμία μνήμη εάν η συνθήκη της δοσμένης κατανομής  $\Phi$ - $\theta$  με  $\Phi > \theta$ , είναι ίδια με την άνευ όρων κατανομή του  $\Phi$ . Με άλλο τρόπο, η πιθανότητα ολοκλήρωσης της δραστηριότητας σε μια δεδομένη χρονική στιγμή δεν επηρεάζεται από αυτό που συνέβη μέχρι εκείνη τη στιγμή, δηλαδή η δραστηριότητα δεν ενθυμείται την

---

<sup>107</sup> Pierpaolo Pontrandolfo, Project duration in stochastic networks by the PERT-path technique, International Journal of Project Management, 18, 215-222, 2000.

προηγούμενη ιστορία. Στη μαθηματική τυπολογία, η μη διατήρηση μνήμης μπορεί να γραφτεί ως:

$$\text{Prob.}(\Phi - \theta > \tau | \Phi > \theta) = \text{Prob.}(\Phi > \tau)$$

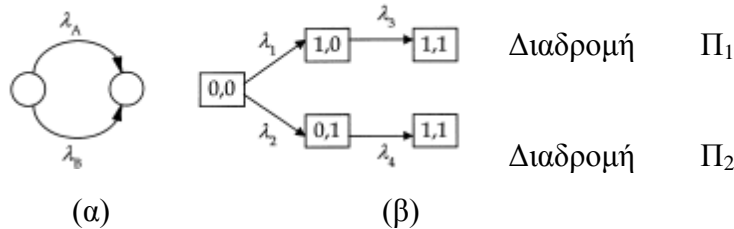
Είναι εύκολο να αποδειχθεί ότι το παραπάνω είναι αληθές για την εκθετική κατανομή.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία διαφέρει από άλλες από την άποψη ότι : (i) βασίζεται στην τεχνική διαδρομών PERT και αφορά πιο πολύ τη σχέση μεταξύ της διάρκειας των εργασιών μέσω μιας ακολουθίας καταστάσεων και πιθανών τεχνικών για να ελεγχθεί. Καθώς τα δεδομένα μιας διαδρομής μπορούν να αποκτηθούν αναλυτικά ασχέτως του τύπου χρόνου (συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας) που υποτίθεται για τις διάρκειες των δραστηριοτήτων, (ii) η μεθοδολογία δεν απαιτεί την υπόθεση της εκθετικής κατανομής.

Αναφερόμενοι στο τελευταίο ζήτημα, πρέπει να τονιστεί ότι εάν οι δραστηριότητες δεν χαρακτηρίζονται από στοχαστική ανεξαρτησία, τα στοιχεία των διαδρομών που καθορίζονται στο βήμα 2 του αλγορίθμου και στη συνέχεια η διάρκεια του έργου είναι κατά προσέγγιση. Οι αβεβαιότητες στις δραστηριότητες είναι ισχυρά εξαρτώμενες η μια από την άλλη και οφείλονται σε ένα σύνολο γενικών πηγών αβεβαιότητας. Η αξιολόγηση κάθε δραστηριότητας μπορεί τότε να γίνει υπό όρους, υποθέτοντας ότι όλες οι άλλες αβεβαιότητες είναι στην κανονική κατάσταση τους. Αυτό μπορεί σε έναν ικανοποιητικό βαθμό, να αναπτύξει την απαραίτητη στοχαστική ανεξαρτησία, η οποία απαιτείται για τον αλγόριθμο.

Για να επιδειχτεί πώς οι μεταβλητές μιας διαδρομής μπορούν να υπολογιστούν θεωρείται ένα πολύ απλό (ΑΟΑ) PERT δίκτυο που απεικονίζεται στο **Σχήμα 7.4α**. Το βήμα 1 της προσέγγισης (**Σχήμα 7.3**) απαιτεί την ανάπτυξη ενός δέντρου διαδρομών PERT, το οποίο παριστάνεται στο **Σχήμα 7.4β**. Όπως ειπώθηκε παραπάνω, η μη διατήρηση μνήμης συνδέεται με την εκθετική κατανομή και καθιστά ευκολότερο την εφαρμογή του βήματος 2, δηλαδή (i) τον υπολογισμό των  $\lambda_i$  μεταβλητών μετάβασης ( $i = 1, \dots, 4$ ) από τις μεταβλητές των δραστηριοτήτων  $\lambda_A$  και  $\lambda_B$  και (ii) τις μεταβλητές της διαδρομής από τις μεταβλητές μετάβασης. Ο **Πίνακας 7.2** αναφέρει τις μεταβάσεις των μεταβλητών, δηλαδή το ποσοστό, το μέσο χρόνο, τη διακύμανση και τη πιθανότητα κάθε μετάβασης. Ο **Πίνακας 7.3** αναφέρει τις μεταβλητές της διαδρομής. Συγκεκριμένα, τη μέση διάρκεια της διαδρομής και τη διακύμανση της που είναι αντίστοιχα ίσες με το άθροισμα των μέσων χρόνων μετάβασης και το άθροισμα των διακυμάνσεων όλων των μεταβάσεων που ανήκουν

στην εξεταζόμενη διαδρομή, ενώ η πιθανότητα εμφάνισης των διαδρομών είναι ίσες με το γινόμενο των τιμών της πιθανότητας όλων των μεταβάσεων μέσα στην εξεταζόμενη διαδρομή.



**Σχήμα 7.4.:** (α) Από το δίκτυο PERT και το χρόνο της σ.π.π. των δραστηριοτήτων (β) στο δίκτυο διαδρομής PERT και το χρόνο της σ.π.π. των μεταβάσεων (Pierpaolo Pontrandolfo 2000).

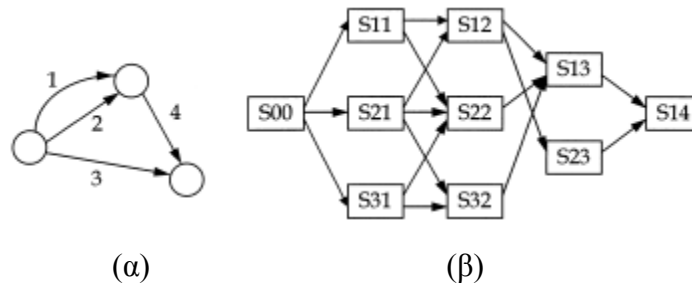
**Πίνακας 7.2.:** Στοιχεία μετάβασης του δικτύου διαδρομής PERT του Σχήματος 7.4 (Pierpaolo Pontrandolfo 2000).

i	$\lambda_i$	ποσοστό	μέσος Χρόνος	Διακύμανση	Πιθανότητα
1	$\lambda_A + \lambda_B$	$\lambda_1$	$1/\lambda_1$	$(1/\lambda_1)^2$	$\lambda_1/(\lambda_1 + \lambda_2)$
2	$\lambda_A + \lambda_B$	$\lambda_2$	$1/\lambda_2$	$(1/\lambda_2)^2$	$\lambda_2/(\lambda_1 + \lambda_2)$
3	$\lambda_A$	$\lambda_3$	$1/\lambda_3$	$(1/\lambda_3)^2$	1
4	$\lambda_B$	$\lambda_4$	$1/\lambda_4$	$(1/\lambda_4)^2$	1

**Πίνακας 7.3.:** Δεδομένα διαδρομής του δικτύου διαδρομής PERT του Σχήματος 7.4 (Pierpaolo Pontrandolfo 2000).

Διαδρομή	μέσος Χρόνος	Διακύμανση	Πιθανότητα
$\pi_1$	$1/\lambda_1 + 1/\lambda_3$	$(1/\lambda_1)^2 + (1/\lambda_3)^2$	$\lambda_1/(\lambda_1 + \lambda_2) \cdot 1$
$\pi_2$	$1/\lambda_2 + 1/\lambda_4$	$(1/\lambda_2)^2 + (1/\lambda_4)^2$	$\lambda_2/(\lambda_1 + \lambda_2) \cdot 1$

Εφαρμόζεται η διαδικασία που περιγράφηκε προηγουμένως, στο πρόγραμμα  $P_1$ , στο οποίο η PERT και οι καταστάσεις της διαδρομής PERT απεικονίζονται στο Σχήμα 7.5. Για το δίκτυο PERT (Σχήμα 7.5α) υιοθετείται η AOA απεικόνιση.



Σχήμα 7.5.: Πρόγραμμα  $P_1$ : (α) PERT δίκτυο και (β) δίκτυο κατάστασης PERT.

Τα στοιχεία των δραστηριοτήτων και οι καταστάσεις των εργασιών αναφέρονται στον Πίνακα 7.4. Η μέση διάρκεια των διαδρομών, οι διακυμάνσεις και οι πιθανότητες των πορειών τους υπολογίζονται για κάθε μια από τις οκτώ πιθανές διαδρομές σύμφωνα με τα βήματα 1 και 2 της προσέγγισης όπως στο παράδειγμα του Σχήματος 7.4. Τα στοιχεία των διαδρομών αναφέρονται στον Πίνακα 7.5.

Πίνακας 7.4.: Δεδομένα δραστηριοτήτων και καταστάσεων του έργου  $P_1$ .

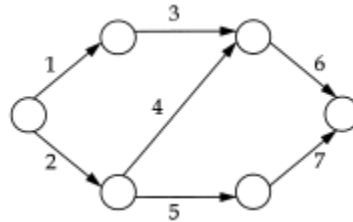
Δραστηριότητα	$\lambda_i$	Κατάσταση	Διάνυσμα
1	2	S00	(0,0,0,0)
2	2	S11	(1,0,0,0)
3	1	S21	(0,1,0,0)
4	2	S31	(0,0,1,0)
		S12	(1,1,0,0)
		S22	(1,0,1,0)
		S32	(0,1,1,0)
		S13	(1,1,1,0)
		S23	(1,1,0,1)
		S14	(1,1,1,1)

Πίνακας 7.5.: Δεδομένα διαδρομής του έργου  $P_1$  (Pierpaolo Pontrandolfo 2000).

Διαδρομή	Κατάσταση ακολουθίας	Μέσος χρόνος	Διακύμανση	Πιθανότητα
$\pi_1$	S00, S11, S12, S13, S14	1.3667	0.5122	4/45
$\pi_2$	S00, S11, S12, S23, S14	1.8667	1.2622	8/45
$\pi_3$	S00, S11, S22, S13, S14	1.5333	0.6511	2/15
$\pi_4$	S00, S21, S12, S13, S14	1.3667	0.5122	4/45
$\pi_5$	S00, S21, S12, S23, S14	1.8667	1.2622	8/45
$\pi_6$	S00, S21, S32, S13, S14	1.5333	0.6511	2/15
$\pi_7$	S00, S31, S22, S13, S14	1.4500	0.6025	1/10
$\pi_8$	S00, S31, S32, S13, S14	1.4500	0.6025	1/10

Η ίδια διαδικασία, ακολουθείται για το ΑΟΑ δίκτυο PERT που παρουσιάζεται στο **Σχήμα 7.6.** (πρόγραμμα P<sub>2</sub>). Όλες οι δραστηριότητες χαρακτηρίζονται από εκθετικά κατανομημένες διάρκειες με λ<sub>i</sub> παραμέτρους (i = 1, ..., 7) όλες ίσες με τη μονάδα του χρόνου.

Τέλος, μέσω των εξισώσεων (7.2), (7.3α) και (7.3β), η διάρκεια των έργων P<sub>1</sub> και P<sub>2</sub> λαμβάνεται από τα στοιχεία των διαδρομών (βήμα 3).



**Σχήμα 7.6.:** Πρόγραμμα P<sub>2</sub>: PERT δίκτυο.

Η προτεινόμενη διαδικασία συγκρίθηκε με την συμβατική PERT προσέγγιση και τη προσομοίωση Μόντε Κάρλο (100.000 πειράματα). Τα αποτελέσματα αναφέρονται στον **Πίνακα 7.6.**, στον οποίο τα σχετικά λάθη υπολογίζονται σε σχέση με τις εκτιμήσεις της προσομοίωσης.

Η προσέγγιση της διαδρομής PERT αποδεικνύεται αποτελεσματική δεδομένου ότι παρέχει τα ακριβή αποτελέσματα. Παρουσιάζονται τα σφάλματα της PERT προσέγγισης (οι μέσες διάρκειες είναι περίπου 30% και 40% χαμηλότερες από τις ακριβείς τιμές), οι οποίες εξαρτώνται κατά ένα μεγάλο μέρος από υψηλή αβεβαιότητα που συνδέεται με τις εκθετικά κατανομημένες διάρκειες των δραστηριοτήτων.

**Πίνακας 7.6.:** Τεχνική διαδρομής PERT ενάντια της PERT και προσομοίωσης Μόντε Κάρλο (Pierpaolo Pontrandolfo 2000).

Έργο	Προσέγγιση	Μέσος	% Σφάλμα	Τυπική απόκλιση	% Σφάλμα
P <sub>1</sub>	Προσομοίωση	1.606	-	0.931	-
	RERT	1	37.714	1	7.429
	RERT- διαδρομή	1.606	-	0.935	0.468
P <sub>2</sub>	Προσομοίωση	4.266	-	1.796	-
	RERT	3	29.670	3	67.047
	RERT- διαδρομή	4.258	0.176	1.794	0.129

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Pierpaolo Pontrandolfo, Project duration in stochastic networks by the PERT-path technique, International Journal of Project Management, 18, 215-222, 2000.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### ΜΕΘΟΔΟΣ ΎΞΙ ΣΙΓΜΑ.

#### 8.1. Η μέθοδος Ύξι Σίγμα από την σκοπιά της Οργάνωσης και της Διοίκησης.

Η μέθοδος Ύξι Σίγμα πρωτοεφαρμόστηκε στην Motorola από τον τον Bill Smith. Ο αρχικός προσανατολισμός της, ήταν η ποιότητα. Η μέθοδος Ύξι Σίγμα εφαρμόζεται τα τελευταία χρόνια ευρέως σε πολλές κορυφαίες εταιρίες κυρίως στις Ηνωμένες Πολιτείες αλλά και σε όλο τον κόσμο με εντυπωσιακά αποτελέσματα και δεν περιορίζεται μόνο στον κλάδο της βιομηχανίας και των κατασκευαστικών εταιριών. Η μέθοδος Ύξι Σίγμα αποτελεί μια ολοκληρωμένη τεχνική επιχειρησιακής βελτίωσης. Είναι μια επαναστατική διαδικασία που επιτρέπει σε εταιρίες και οργανισμούς να αυξήσουν τα κέρδη τους οργανώνοντας συγκεκριμένες διαδικασίες, έτσι ώστε να βελτιώσουν την ποιότητα τους και να ελαχιστοποιήσουν ατέλειες και λάθη. Σε γενικές γραμμές, μπορεί να ορισθεί ως ένα σύνολο πρακτικών που βελτιώνουν την αποδοτικότητα μειώνοντας τη μεταβλητότητα και αποβάλλουν τις ατέλειες. Η AlliedSignal είναι η εταιρία που δημιούργησε την σημερινή οργανωτική δομή της Ύξι Σίγμα: Champion, Mentors και άλλα που θα αναφερθούν στις επόμενες παραγράφους<sup>108</sup>.

Ο Defeo (1999) περιγράφοντας το πρόγραμμα Ύξι Σίγμα αναφέρει ότι είναι μια προσανατολισμένη προς τα δεδομένα μέθοδος για την επίτευξη σχεδόν τέλειας ποιότητας και διαφέρει από άλλες ποιοτικές προσπάθειες επειδή εντοπίζει τα λάθη προτού να εμφανισθούν.

Ο Hairy (2000) προσδιορίζει την έννοια του Ύξι Σίγμα ως μια επιχειρησιακή διαδικασία που επιτρέπει στις επιχειρήσεις να βελτιώσουν δραστικά την κατώτατη γραμμή τους με το σχεδιασμό και τον έλεγχο των καθημερινών επιχειρησιακών δραστηριοτήτων με τρόπους που ελαχιστοποιούν, τα σφάλματα και τους πόρους, αυξάνοντας την ικανοποίηση των πελατών.

Ο Breyfogle (2001) βασίζει τον ορισμό για το Ύξι Σίγμα στην προσέγγιση εκπαίδευσης ποιότητας που είναι γνωστή με την ορολογία «Εξυπνότερες Λύσεις». Η προσέγγιση των «Εξυπνότερων Λύσεων» θεωρεί τη μεθοδολογία ως μια στρατηγική επιχειρησιακή πρωτοβουλία παρά ένα πρόγραμμα ποιότητας. Οι «Εξυπνότερες

---

<sup>108</sup> [http://www.mtcltd.com/mtc2002/newsleter6sigma2/MTC\\_News/Articles.htm](http://www.mtcltd.com/mtc2002/newsleter6sigma2/MTC_News/Articles.htm).

Λύσεις» καθορίζουν ότι η προσέγγιση Έξι Σίγμα αποτελεί μια ευφυή φιλοσοφία ανάμειξης της επιχείρησης με καθιερωμένα στατιστικά εργαλεία για βελτίωση της αποδοτικότητας και αποτελεσματικότητας<sup>109</sup>.

Ο θεμελιώδης στόχος της μεθόδου Έξι Σίγμα είναι η εφαρμογή μιας ποσοτικοποιημένης στρατηγικής που εστιάζει στη βελτιστοποίηση των διαδικασιών και στη μείωση των αποκλίσεων μέσω των διαφόρων επιμέρους προγραμμάτων της. Κύριος σκοπός της μεθόδου Έξι Σίγμα είναι η απόκτηση γνώσης στο πώς θα βελτιωθούν οι διαδικασίες για να γίνονται όλα καλύτερα, γρηγορότερα και σε χαμηλότερο κόστος έτσι ώστε να παραδοθεί η υψηλή απόδοση, η αξία και η αξιοπιστία στον πελάτη. Ενώ αναπτύσσεται αρχικά για τον ποιοτικό έλεγχο, η μέθοδος Έξι Σίγμα χρησιμοποιείται στις μέρες μας, για τη βελτίωση κάθε τομέα των επιχειρήσεων, από την παραγωγή μέχρι τη διεύθυνση προσωπικού και από την τεχνική υποστήριξη μέχρι το τμήμα εξυπηρέτησης. Το ελαττωματικό προϊόν βάσει της μεθόδου αυτής είναι οτιδήποτε δεν συνάδει με τις απαιτήσεις των πελατών (Μπλέσιος 2005). Η μοναδικότητα της μεθόδου βασίζεται σε δύο στοιχεία: Το πρώτο είναι ο καθορισμός υψηλών προδιαγραφών εξαιτίας της ακρίβειας των μετρήσεων λόγω χρήσης της στατιστικής ανάλυσης με ποιότητα που αγγίζει την τελειότητα. Το δεύτερο είναι οι τυποποιημένες διαδικασίες που βοηθούν στην πρακτική εφαρμογή των παραπάνω προδιαγραφών<sup>110</sup>.

## 8.2. Μοντέλο ανάπτυξης Έξι Σίγμα για τις επιλογές ενός έργου.

Εξετάζοντας την κατάλληλη επιλογή, τα έργα πρέπει να συνδεθούν με τις στρατηγικές ανάγκες και τις προτεραιότητες του οργανισμού (Snee 2002). Σύμφωνα με τον Antony (2007) η επιλογή του σωστού έργου είναι ένας ζωτικής σημασίας παράγοντας για το κέρδος της πρόωρης και μακροπρόθεσμης αποδοχής του προγράμματος έξι σίγμα μεταξύ των διευθυντών και των υπαλλήλων σε οποιοδήποτε οργανισμό. Τα έργα πρέπει να επιλεγτούν σύμφωνα με τους στόχους και τις στρατηγικές της οργάνωσης (Gijo & Rao 2005).

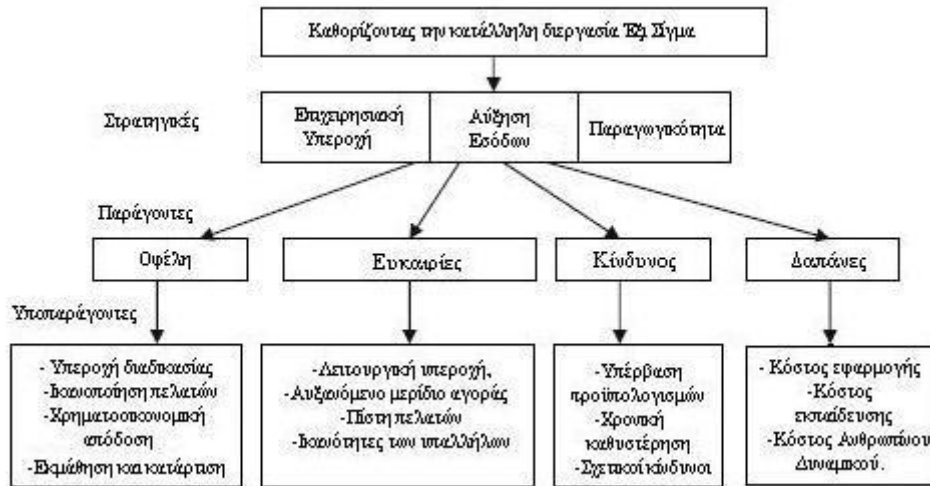
Οδηγώντας τις ανάγκες της επιχείρησης και των πελατών, μια κατάλληλη διαδικασία επιλέγεται για να είναι εφαρμοστεί στοχεύοντας στη βελτίωση της

---

<sup>109</sup> Μπλέσιος, Ν., Σημειώσεις διαλέξεων του μαθήματος της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας του Διαπανεπιστημιακού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Τεχνοοικονομικά Συστήματα», Πανεπιστήμιο Πειραιά, 2005 σελ. 2-3.

<sup>110</sup> Στεφανία-Στυλιανή Δ. Ξηντάρη, Δείκτες Επίδοσης Διεργασίας και Ποιότητα Έξι Σίγμα, Τμήμα Στατιστικής και Ασφαλιστικής Επιστήμης, Πανεπιστήμιο Πειραιά, 2008, σελ.47.

απόδοσης και για να επιτευχθεί μια βέλτιστη λύση. Παρακάτω, ταξινομούνται τα κριτήρια κάτω από τρεις στρατηγικές (επιχειρησιακή υπεροχή, αύξηση εισοδήματος και παραγωγικότητα), τέσσερις παράγοντες (όφελος, ευκαιρίες, κίνδυνοι και δαπάνες) και ένα συνολικός αριθμό 14 υποπαράγοντων που καθορίζονται παρακάτω<sup>111</sup>. Το γενικό μοντέλο αξιολόγησης της επιλογής έξι σίγμα δίνεται στο **Σχήμα 8.1**.



**Σχήμα 8.1.:** Μοντέλο αξιολόγησης έργου Έξι Σίγμα (Bóyókozkan & Ozturkcan 2010).

Σαν στρατηγική, η *επιχειρησιακή υπεροχή* είναι η συστηματική βελτίωση της επιχειρησιακής επίδοσης που βασίζεται στις αρχές των απαιτήσεων των πελατών και της διαχείρισης των διαδικασιών (Bendell 2006, Banuelas, Antony & Brace 2005, Gijo & Rao 2005). Οι βασικές πρακτικές της επιχειρησιακής υπεροχής που εφαρμόζονται στις λειτουργικές περιοχές σε μια επιχείρηση περιλαμβάνει τη συνεχή και σημαντική βελτίωση, προληπτική διοίκηση και τη διαχείριση των γεγονότων (Pyzdek 2003). Μερικά χρησιμοποιούμενα εργαλεία είναι καρτέλες καταγραφής σκορ, στατιστικά εργαλεία έξι σίγμα, διαχείριση διαδικασιών και διοίκηση του έργου (Antony 2004).

Η ακόλουθη στρατηγική, *αύξηση εσόδων* είναι η αύξηση τιμών των αγαθών και υπηρεσιών που παράγονται από μια επιχείρηση. Κατά συνέπεια από την εφαρμογή ενός προγράμματος έξι σίγμα, η σύμφωνη αύξηση του εισοδήματος, θεωρείται ουσιαστική για μια επιχείρηση (Goldstein 2001, Soloy 2003). Αυτό δίνει στους αναλυτές, στους επενδυτές και στους συμμετέχοντες μια ιδέα για το πώς οι πωλήσεις μιας επιχείρησης αυξάνουν με την πάροδο του χρόνου.

<sup>111</sup> Gulcin Bóyókozkan, Demet Ozturkcan, An integrated analytic approach for Six Sigma project selection, Expert Systems with Applications, 37, 5835–5847, 2010.

Η τρίτη στρατηγική, *παραγωγικότητα* είναι μια από τις κύριες διαδικασίες μιας επιχείρησης διοικούμενη από ένα πρόγραμμα έξι σίγμα. Η παραγωγικότητα είναι το ποσό της παραγωγής που σχετίζεται με το ποσό των πόρων (χρόνος και χρήματα) που πηγαίνουν στην παραγωγή. Η παραγωγικότητα αυξάνεται όταν αυξάνεται η ποσότητα παραγωγής σχετικά με την ποσότητα που εισάγεται με τη βοήθεια της μεθοδολογίας έξι σίγμα (Kumar, Saranga, Marquez & Nowicki 2007). Οι επιχειρήσεις μπορούν να αυξήσουν την παραγωγικότητα με ποικίλους τρόπους.

Τα *οφέλη* μπορούν να είναι ένας από τους παράγοντες που έχουν επιπτώσεις στην επιλογή έξι σίγμα και αναλύεται σε τέσσερις υποπαράγοντες: *υπεροχή διαδικασίας, ικανοποίηση πελατών, χρηματοοικονομική απόδοση και εκμάθηση και κατάρτιση*. Η υπερροχή διαδικασίας μπορεί απλά να θεωρηθεί σαν η συστηματική ανάπτυξη της επιχειρησιακής διαδικασίας που είναι ένας από τους κύριους στόχους της έξι σίγμα (Antony και λοιποί. 2007 De Koning & De Mast 2006) και απαιτεί το σύνολο των δραστηριοτήτων που προγραμματίζονται και τον έλεγχο της απόδοσης μιας πιθανής διαδικασίας με μια ακριβής διαδικασία διοίκησης. Η *ικανοποίηση πελατών* είναι ένα μέτρο για το πώς τα προϊόντα ή οι υπηρεσίες που παρέχονται από μια επιχείρηση ικανοποιούν ή ξεπερνούν την προσδοκία των πελατών. Από την άποψη της διατήρησης των υπαρχόντων πελατών και της στοχοθέτησης των μη-πελατών, η μέτρηση της *ικανοποίησης πελατών* παρέχει μια ένδειξη για το πόσο επιτυχής είναι η επιχείρηση στην παροχή του προϊόντος ή/και των υπηρεσιών (Antony 2006 Banuelas 2005).

Σαν ακόλουθος υποπαράγοντας, η *χρηματοοικονομική απόδοση* είναι μια από τις πιο σημαντικές πτυχές της επιχειρησιακής διοίκησης σε ένα οργανισμό (Goldstein 2001). Η χρηματοοικονομική απόδοση γενικά περιλαμβάνει την ισορροπία κινδύνου και αποδοτικότητας, ενώ προσπαθεί να μεγιστοποιήσει τον πλούτο μιας οντότητας και την αξία του αποθέματός. (Breyfogle & Cupello 2001, Pyzdek 2003). Ο τελευταίος υποπαράγοντας των οφελών είναι η *εκμάθηση και κατάρτιση*. Είναι μια προοπτική που περιλαμβάνει την κατάρτιση και προσαρμογή των υπαλλήλων (Antony 2004, Banuelas 2006). Σε κάθε περίπτωση, η εκμάθηση και η κατάρτιση αποτελεί το ουσιαστικό βήμα για την επιτυχία της έξι σίγμα. (Pande και λοιποί 2000, Snee & Rodebaugh 2002).

Οι *ευκαιρίες* είναι ένας άλλος παράγοντας που συμπεριλαμβάνει τους υποπαράγοντες: *λειτουργική υπερροχή, αυξανόμενο μερίδιο αγοράς, πίστη πελατών και ικανότητες των υπαλλήλων*. Η *λειτουργική υπερροχή* είναι μια φιλοσοφία της ηγεσίας

και των ομάδων εργασίας με συνέπεια τη συνεχή βελτίωση όλου του οργανισμού εστιάζοντας στις ανάγκες του πελάτη, εξουσιοδοτώντας τους υπαλλήλους και προσδιορίζοντας τις σπάταλες των διαφόρων δραστηριοτήτων από τη διαδικασία (Adams, Gupta & Wilson, 2003). Επίσης καθορίζει μια ασφαλή, υγιή, αξιόπιστη, αποδοτική και συστηματική προσέγγιση της διοίκησης για να επιτύχει μια παγκόσμιας ποιότητας απόδοση (Harry & Schroeder 2000). Το *αυξανόμενο μερίδιο αγοράς* είναι ένας από τους σημαντικότερους στόχους μιας επιχείρησης με σκοπό να αυξήσει το ποσοστό της συνολικής διαθέσιμης αγοράς που αναλογεί σε μια επιχείρηση. Είναι η σαφέστερη ένδειξη του ποσοστού της, έναντι των ανταγωνιστών.

Ο ακόλουθος υποπαράγοντας, *πίστη πελατών* περιγράφει την τάση ενός πελάτη να επιλέξει την επιχείρηση ή ένα προϊόν της πέρα από ένα άλλο για μια συγκεκριμένη ανάγκη. Ο τελικός σκοπός των *προγραμμάτων πίστης πελατών* είναι να ικανοποιηθούν οι πελάτες ώστε να ξαναγοράσουν και να πείσουν άλλους υποψήφιους πελάτες να χρησιμοποιήσουν προϊόντα ή/και υπηρεσίες της επιχείρησης (Bendell 2006, Starbord 2002).

Η *ικανότητα των υπαλλήλων* είναι ο τελευταίος υποπαράγοντας που αναλύεται στον παράγοντα ευκαιριών. Είναι η δυνατότητα των υπαλλήλων να εκτελέσουν έναν συγκεκριμένο στόχο, δράση ή μια λειτουργία.

Ο ακόλουθος παράγοντας *κινδύνου* αποτελείται από τους υποπαράγοντες: *υπέρβαση προϋπολογισμών, τη χρονική καθυστέρηση και σχετικούς με το έργο κινδύνους*, υποπαράγοντες που έχουν αναλυθεί εκτενώς σε προηγούμενα κεφάλαια. Οι σχετικοί με το έργο κίνδυνοι μπορούν να φέρουν δυσμενείς επιπτώσεις στο τρέχον πρόγραμμα έξι σίγμα (Antony, 2004).

Ο τελευταίος παράγοντας που δηλώνεται είναι *οι δαπάνες* και εξετάζεται σε τρεις διαφορετικούς υποπαράγοντες, ως *κόστος εφαρμογής, κόστος εκπαίδευσης και κόστος του ανθρωπίνου δυναμικού*. Το κόστος εφαρμογής είναι το κόστος που απαιτείται στην πραγματοποίηση της έξι σίγμα στην επιχείρηση. Είναι αποδεδειγμένο γεγονός ότι τα οφέλη που λαμβάνονται από την εφαρμογή της έξι σίγμα αντισταθμίζει τις δαπάνες επένδυσης (Antony 2007). Το κόστος εκπαίδευσης είναι το κόστος που χρησιμοποιείται στην έξι σίγμα διαδικασία για τους υπαλλήλους και τους εργαζομένους της επιχείρησης. Η διάρκεια κάθε έξι σίγμα μπορεί να κυμανθεί από 4-6 μήνες (Nonthaleerak & Hendry 2008). Η κατάρτιση περιλαμβάνει μια ιδιαίτερη χρονική περίοδο, για τη μαύρη ζώνη αυτή η περίοδος είναι αρκετοί μήνες, ενώ οι περίοδοι άσκησης για τη πράσινη ζώνη είναι περίπου δύο μήνες (Nonthaleerak &

Hendry 2008). Το κόστος του ανθρωπίνου δυναμικού αναφέρεται στη συνολική δαπάνη που χρησιμοποιείται στον προσανατολισμό των φάσεων έξι σίγμα για τους υπαλλήλους και τους εργαζομένους.

### 8.3. Σύγκριση μεταξύ της μεθόδου Έξι Σίγμα και της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας.

Η Διοίκηση Ολικής Ποιότητας και η μέθοδος Έξι Σίγμα μοιράζονται την ίδια φιλοσοφία για το πώς θα βοηθήσουν τις επιχειρήσεις να ολοκληρώσουν τη συνολική ποιότητα και επισημαίνουν τη σημασία υποστήριξης από την ανώτερη διοίκηση και την ηγεσία. Και οι δύο προσεγγίσεις για τη βελτίωση της ποιότητας καθιστούν σαφές ότι η συνεχής βελτίωση της ποιότητας είναι κρίσιμη για τη μακροπρόθεσμη επιχειρησιακή επιτυχία<sup>112</sup>. Ο T. Pyzdek (2001) δήλωσε ότι η αρχική διαφορά τους είναι στη διοίκηση. Η μέθοδος Έξι Σίγμα σε αντίθεση με τη Διοίκηση Ολικής Ποιότητας δεν αναπτύχθηκε από τεχνικούς που απασχολούνταν μόνο στη διοίκηση, με επακόλουθο να δημιουργούν τις βασικότερες κατευθύνσεις για τον τρόπο διοίκησης. Σύμφωνα με τον Pyzdek (2001), οι διαφορές μεταξύ της μεθόδου Έξι Σίγμα και της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας μπορούν να συνοψιστούν ως εξής<sup>113</sup>:

**Πίνακας 8.1.: Βασικότερες διαφορές μεταξύ της διοίκησης ολικής ποιότητας και της μεθόδου Έξι Σίγμα.**

Διοίκηση Ολικής Ποιότητας (TQM)	Μέθοδος Έξι Σίγμα
Είναι ένας λειτουργικός τομέας μέσα στην επιχείρηση.	Εστιάζει στη λειτουργική αξία των υπαλλήλων παρά στο λειτουργικό καταμερισμό εργασίας.
Παρακινείται από τον ποιοτικό ιδεαλισμό.	Εστιάζει στους στρατηγικούς στόχους και τους εφαρμόζει με κόστος, πρόγραμμα και με άλλα βασικά επιχειρησιακά και οικονομικά μέτρα
Παρακολουθεί αόριστα την πρόοδο.	Καθοδηγείται από το όφελος.
Οι υπάλληλοι συμμετέχουν στα καθημερινά τους καθήκοντα (προγραμματισμός, βελτίωση και έλεγχος).	Εξασφαλίζει ότι η επένδυση παράγει το αναμενόμενο κέρδος.
Δίνει έμφαση στην επίλυση του προβλήματος.	Οι πόροι που εξασφαλίζονται αλλάζουν τις βασικές επιχειρησιακές διαδικασίες και την ίδια την επιχείρηση.
Εστιάζει στην τυποποιημένη απόδοση.	Δημιουργεί ένα νέο περιβάλλον που προωθεί τη δημιουργία των συνεχόμενων προσπαθειών βελτίωσης της ποιότητας.
Η ποιότητα είναι μια μόνιμη, πλήρους απασχόλησης εργασία	Εστιάζει στην απόδοση της παγκόσμιας τάξης, δηλαδή στο ποσοστό λάθους 3.4 PPM.

<sup>112</sup> Στεφανία-Στυλιανή Δ. Ξηντάρη, Δείκτες Επίδοσης Διεργασίας και Ποιότητα Έξι Σίγμα, Τμήμα Στατιστικής και Ασφαλιστικής Επιστήμης, Πανεπιστήμιο Πειραιά, 2008, σελ.49-52.

<sup>113</sup> [http://www.sixsigmatraining.org/six\\_sigma\\_vs\\_tqm](http://www.sixsigmatraining.org/six_sigma_vs_tqm).

Παρέχει ένα απεριόριστο σύνολο εργαλείων και τεχνικών χωρίς όμως να παρέχει εκείνο το σαφές πλαίσιο για να τα χρησιμοποιήσουμε αποτελεσματικά.	Η εργασία Έξι Σίγμα είναι κυρίως προσωρινή, μερικής απασχόλησης.
Οι στόχοι που αναπτύσσονται από το ποιοτικό τμήμα της επιχείρησης βασίζονται σε ποιοτικά κριτήρια.	Παρέχει ένα επιλεγμένο υποσύνολο στατιστικών εργαλείων και τεχνικών με ένα σαφές καθορισμένο πλαίσιο για να τα χρησιμοποιήσουμε και να επιτύχουμε τα αποτελέσματα
Αναπτύσσεται από το τεχνικό προσωπικό.	Οι στόχοι που καθορίζονται βασίζονται στην ικανοποίηση των πελατών και στη στρατηγική της ανώτερης διοίκησης της επιχείρησης. Οι στόχοι είναι μετρήσιμοι με συνέπεια να μπορούν να διαπιστωθούν ευκολότερα τα οικονομικά οφέλη από την εφαρμογή της. Οι στόχοι αναθεωρούνται όταν βεβαιωθεί ότι η διεργασία δε βελτιώνεται.
Εστιάζει σε μακροπρόθεσμα αποτελέσματα. Η αναμενόμενη απόδοση δεν είναι καθορισμένη με σαφήνεια.	Βασίζεται στα Κρίσιμα Ποιοτικά Χαρακτηριστικά ( <i>Critical to Quality Characteristics – CTQs</i> ).
Εκτελεί συνεχώς πολυδάπανες επιθεωρήσεις στην παραγωγική διαδικασία και επενδύει στον εξοπλισμό ή στις εγκαταστάσεις με σκοπό τη βελτίωση του προϊόντος ή της διεργασίας χωρίς όμως να επιφέρει τα αναμενόμενα κέρδη.	Επενδύει στο ανθρώπινο δυναμικό, στην εκπαίδευση, στη χρήση στατιστικών εργαλείων και τεχνικών για τη μείωση της μεταβλητότητας των διεργασιών και την ικανοποίηση των πελατών και όχι σε πολυδάπανες αγορές εξοπλισμού.

## 8.4. Μεθοδολογίες και εργαλεία Έξι Σίγμα.

### 8.4.1. Μεθοδολογίες Έξι Σίγμα.

Για να εφαρμοστεί με επιτυχία η μέθοδος Έξι Σίγμα σχηματίζονται οι λεγόμενες «ομάδες Έξι Σίγμα». Οι ομάδες αποτελούνται από άτομα με διαφορετικό μορφωτικό επίπεδο, ικανότητες και καθήκοντα και για να μπορέσουν να εργαστούν σε μία κοινή βάση χρειάζεται να ακολουθήσουν μια κοινή στρατηγική. Επιπλέον στα παραπάνω μπορούμε να προσθέσουμε τρεις ακόμα στρατηγικές, οι οποίες εστιάζουν στις διεργασίες της επιχείρησης<sup>114</sup>. Ο συνδυασμός αυτών των τριών στρατηγικών είναι μια από τις σημαντικότερες καινοτομίες που προσφέρει η μεθοδολογία Έξι Σίγμα και παρουσιάζονται εν συντομία παρακάτω<sup>115</sup>.

1. *Βελτίωση των διεργασιών (Process improvement)*: Είναι μια στρατηγική η οποία προσπαθεί να εφευρίσκει λύσεις για να αποβάλλει τα αίτια που προκαλούν τα ελαττώματα και τις ατέλειες έτσι ώστε να μειωθεί η μεταβλητότητα της υπάρχουσας διεργασίας και να ικανοποιηθεί ο πελάτης. Η βελτίωση μιας

<sup>114</sup> Στεφανία-Στυλιανή Δ. Ξηντάρη, Δείκτες Επίδοσης Διεργασίας και Ποιότητα Έξι Σίγμα, Τμήμα Στατιστικής και Ασφαλιστικής Επιστήμης, Πανεπιστήμιο Πειραιά, 2008, σελ.53-54.

<sup>115</sup> Pande, S. P., Neuman, P. R. and Cavanagh, R R., *The Six Sigma Way, Team Fieldbook: An Implementation Guide For Process Improvement Teams*. McGraw-Hill, 2002, σελ.13-20.

διεργασίας είναι ένα απαραίτητο μέρος για τη διατήρηση της βιωσιμότητας μιας επιχείρησης.

2. *Σχεδιασμός/ επανασχεδιασμός διεργασιών (Process design/ redesign)*. Η στρατηγική αυτή χρησιμοποιείται:
  - όταν μια επιχείρηση θέλει να αντικαταστήσει και όχι να διορθώσει, μία ή περισσότερες διεργασίες.
  - όταν η ανώτερη διοίκηση της επιχείρησης διαπιστώσει ότι η βελτίωση της υπάρχουσας διεργασίας δεν θα φέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα και
  - όταν η επιχείρηση αναγνωρίσει την ευκαιρία για την παραγωγή ενός καινούργιου προϊόντος ή υπηρεσίας.
3. *Διαχείριση των διεργασιών (Process management)*: Αυτή είναι μια στρατηγική που σκοπό έχει να εστιάσει στη διαχείριση των διεργασιών σε όλα τα προγράμματα και τις δραστηριότητες της επιχείρησης και να μην επικεντρωθεί μόνο στα προγράμματα βελτίωσης μιας διεργασίας. Είναι η πιο εξελίξιμη από τις στρατηγικές που αναφέρθηκαν διότι περιέχει αλλαγές στη διοίκηση και στη νοοτροπία μέσα στην επιχείρηση, εξελίσσεται καθώς η επιχείρηση εφαρμόζει και αναπτύσσει τη μέθοδο Έξι Σίγμα και αποκτάει πιο εξειδικευμένες και βαθύτερες γνώσεις για τις διαδικασίες, τους πελάτες και τους υπαλλήλους.

Η μέθοδος Έξι Σίγμα παρέχει συγκεκριμένες μεθοδολογίες για τον επανασχεδιασμό της διαδικασίας ή και τον σχεδιασμό εκ νέου της διαδικασίας, έτσι ώστε οι ατέλειες και τα λάθη να μην προκύψουν ξανά σε αρχικές φάσεις. Υπάρχουν διάφορες μεθοδολογίες διαχείρισης επίλυσης του προβλήματος που συνδέονται με τη μέθοδο Έξι Σίγμα οι οποίες είναι γνωστές με τα αρχικά DMAIC, DMADV και DFSS. Η πρώτη μεθοδολογία είναι καθορισμένη με μεγαλύτερη σαφήνεια και λειτουργεί καλύτερα στην περίπτωση που έχουμε ένα πρόβλημα με μια άγνωστη λύση στα υπάρχοντα προϊόντα, τις διαδικασίες ή τις υπηρεσίες.

#### **8.4.1.1 Μεθοδολογία DMAIC.**

Η μεθοδολογία DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) αποτελείται από πέντε κύρια στάδια με το ακρωνύμιο DMAIC<sup>116</sup>. Τα στάδια παρουσιάζονται παρακάτω:

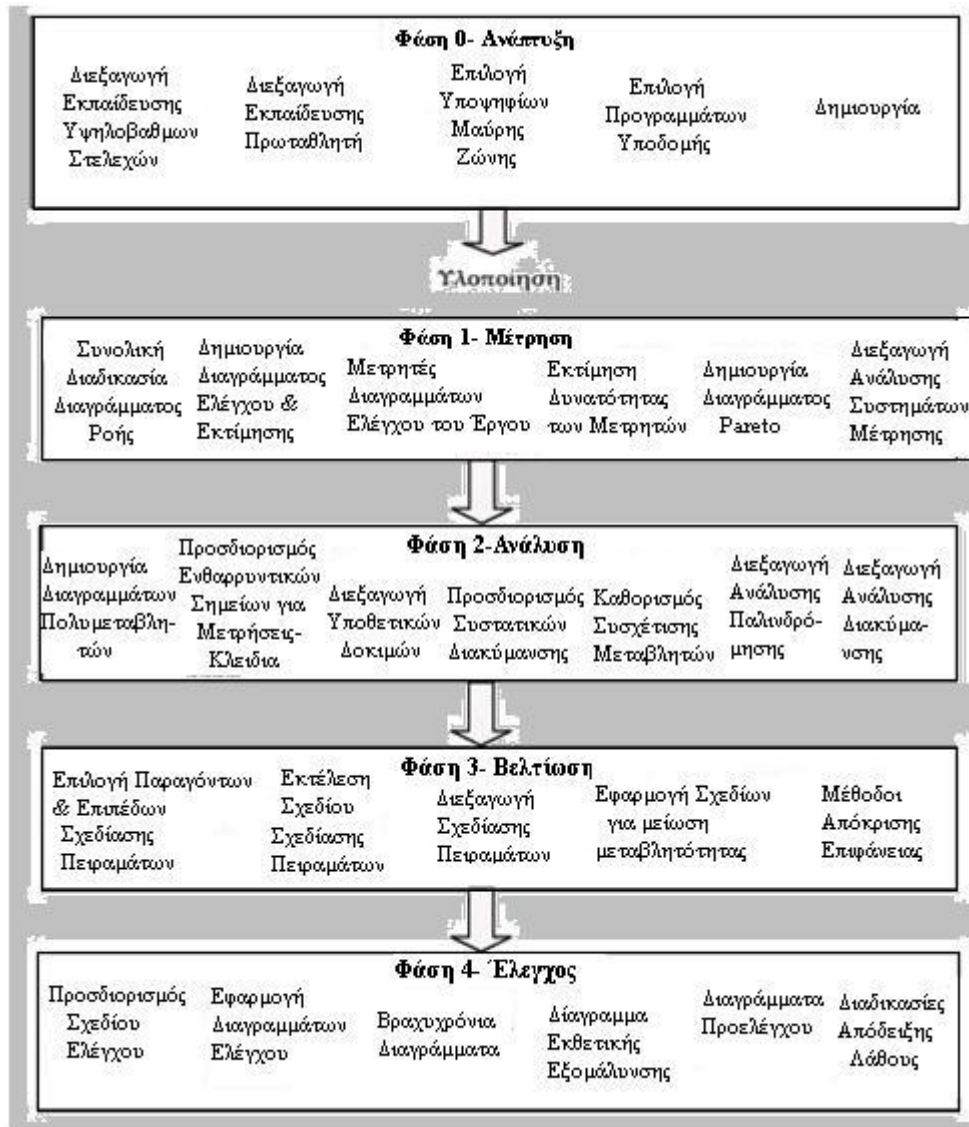
---

<sup>116</sup> Pande, S. P. and Holpp, L. What is Six Sigma. McGraw-Hill. Two Penn Plaza, New York, 2002.



- 1. Define (Καθορισμός).** Σε αυτό το πρώτο στάδιο, είναι σημαντικό να καθοριστούν οι συγκεκριμένοι στόχοι στην επίτευξη των εκβάσεων που είναι σύμφωνες με τις απαιτήσεις των πελατών και τη στρατηγική των επιχειρήσεων. Συγκεκριμένα προσδιορίζεται το προϊόν ή η διεργασία που βελτιώνεται. Προσδιορίζονται οι ανάγκες των πελατών και μεταφράζονται σε κρίσιμα ποιοτικά χαρακτηριστικά (*Critical to Quality Characteristics - CTOs*). Ως κρίσιμα χαρακτηριστικά ορίζονται εκείνα τα χαρακτηριστικά του προϊόντος ή των υπηρεσιών που επηρεάζουν δραστικά το κόστος ή την ικανοποίηση και τις προσδοκίες του πελάτη.
- 2. Measure (Μέτρηση).** Ο στόχος αυτού του σταδίου είναι να κατανοηθεί τι είναι ελάττωμα και ποια διεργασία ορίζεται ως μη αποδεκτή. Σε αυτό το στάδιο μετριοούνται τα ελαττώματα που παράγονται σχετικά με τα προσδιορισμένα κρίσιμα ποιοτικά χαρακτηριστικά και καθορίζονται οι βασικές εσωτερικές διεργασίες που τα επηρεάζουν. Προκειμένου να καθοριστεί αν τα ελαττώματα έχουν μειωθεί ή όχι, χρειάζεται να γίνουν ακριβείς μετρήσεις και να συλλεχθούν τα σχετικά στοιχεία έτσι ώστε να μπορούν να μετρηθούν για μελλοντικές συγκρίσεις και να εκτιμηθεί η τρέχουσα διεργασία.
- 3. Analyze (Ανάλυση).** Αναλύονται τα στοιχεία που έχουν συλλεχθεί για να διαπιστωθεί η ικανότητα της διεργασίας. Καθορίζονται οι σχέσεις και οι παράγοντες που προκαλούν και δημιουργούν τις ατέλειες και τα ελαττώματα. Είναι σημαντικό να γίνει κατανοητή αυτή η σχέση γιατί καθορίζει τους παράγοντες που μπορούν να εξασφαλίσουν τη στρατηγική των επιχειρήσεων σύμφωνα με τις απαιτήσεις των πελατών.
- 4. Improve (Βελτίωση).** Αυτό το στάδιο στοχεύει στην τροποποίηση και στη βελτιστοποίηση της υπάρχουσας διεργασίας για να μείνει στο προσδιορισμένο μέγιστο αποδεκτό εύρος που θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση αν όχι την εξάλειψη των ελαττωμάτων. Περιλαμβάνει επίσης την επιβεβαίωση των βασικών μεταβλητών που προκαλούν τις ατέλειες και τα ελαττώματα και ποσοτικοποιείται η επίδραση αυτών των μεταβλητών στα κρίσιμα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Μια τεχνική που χρησιμοποιείται συχνά για τη συνεχή βελτίωση μιας διεργασίας είναι ο σχεδιασμός πειραμάτων.
- 5. Control (Ελεγχος).** Αυτό είναι το τελευταίο στάδιο στη μεθοδολογία DMAIC. Ο στόχος αυτού του σταδίου είναι να διατηρηθούν οι βελτιώσεις και να εξασφαλιστεί ότι η τροποποιημένη διεργασία επιτρέπει στις βασικές μεταβλητές

να παραμείνουν μέσα στο μέγιστο αποδεκτό εύρος. Περιλαμβάνει επίσης τον έλεγχο και τη διόρθωση οποιασδήποτε διαφοράς που θα οδηγούσε ενδεχομένως στην απώλεια ποιότητας<sup>117</sup>.



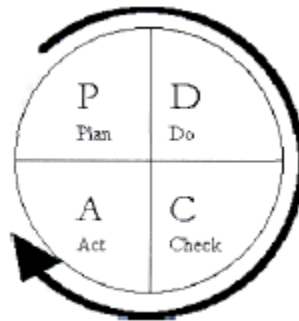
*Σχήμα 8.2.: Εικονογραφημένη αναπαράσταση της υλοποίησης του έργου Έξι Σίγμα (Breyfogle 2001)*

Ουσιαστικά η παραπάνω μεθοδολογία είναι όμοια με τον κύκλο του Deming.

<sup>117</sup> Pande, S. P., Neuman, P. R. and Cavanagh, R R., The Six Sigma Way, Team Fieldbook: An Implementation Guide For Process Improvement Teams. McGraw-Hill, 2002.

#### 8.4.1.2. D.M.A.I.C. εναντίον του κύκλου P.D.C.A<sup>118</sup>.

Η έννοια του κύκλου «Σχέδιο - Δράση - Έλεγχος - Ενέργεια» (*Plan-Do-Check-Act - PDCA*) αναπτύχθηκε αρχικά από τον W.A. Shewhart στη δεκαετία του 30. Παρέχει τη βασική φιλοσοφία για μια πειθαρχημένη, κυκλική προσέγγιση στη συνεχή βελτίωση. Αργότερα, ο κύκλος εισήχθη από τον Edward Deming στην εργασία του με την ιαπωνική βιομηχανία μετά από τον Β΄ παγκόσμιο πόλεμο και έγινε ευρέως γνωστό ως «Κύκλος του Deming». Ο κύκλος P.D.C.A. (**Σχήμα 8.3**) είναι ένα πλαίσιο, ένας κύκλος εκμάθησης που επιτρέπει να χρησιμοποιηθούν τα διάφορα εργαλεία και οι τεχνικές βελτίωσης στη βελτιστοποίηση των διαδικασιών (*Wheeler 1998*).



**Σχήμα 8.3.:** Κύκλος Deming PDCA (*Wheeler 1998*).

Στον κύκλο P.D.C.A., υπάρχουν τέσσερις κύριες φάσεις και ορισμένες δραστηριότητες που πρέπει να αναφερθούν (*Wheeler 1998*):

- Σχέδιο (*Plan*): Καθορισμός βελτίωσης των διαδικασιών που πρέπει να γίνουν, της μεθόδου βελτίωσης και της μεθόδου εκτίμησης των αποτελεσμάτων.
- Δράση (*Do*): Ανάλυση των δραστηριοτήτων που έχουν καθοριστεί στο σχέδιο.
- Έλεγχος (*Check*): Σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα επιθυμητά αποτελέσματα και εκμάθηση από αυτά. Μερικές φορές αυτό το βήμα αναφέρεται επίσης ως «μελέτη».
- Ενέργεια (*Act*): Εκμετάλλευση των θεμάτων που έχουν προσδιοριστεί. Αυτά γίνονται μέρος της διαδικασίας και αποφασίζεται ποια θα είναι η επόμενη προσπάθεια.

<sup>118</sup> Μπλέσιος, Ν., Σημειώσεις διαλέξεων του μαθήματος της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας του Διαπανεπιστημιακού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Τεχνοοικονομικά Συστήματα», Πανεπιστήμιο Πειραιά, 2005, σελ. 28-29.

Ένα υπονοούμενο χαρακτηριστικό γνώρισμα στον κύκλο είναι η επανάληψη του. Μετά την ενέργεια (act) αρχίζει ένας νέος κύκλος πάλι: σχεδιασμός, έλεγχος, ενέργεια - ένας ατελείωτος κύκλος εκμάθησης, αξιολόγησης και εργασίας για τη βελτίωση της διαδικασίας.

Η μεθοδολογία εφαρμογής D.M.A.I.C. του Έξι Σίγμα είναι υποδηλωτική του κύκλου P.D.C.A. Στην πραγματικότητα υπάρχουν πολυάριθμες ομοιότητες. Και στις δυο μεθοδολογίες η πρόληψη της αποτυχίας είναι ο αρχικός στόχος της διαδικασίας βελτίωσης της ποιότητας. Και στις δύο μεθοδολογίες η αρχή για να προκαλέσει την πρόληψη πραγματοποιείται μέσω μιας καθορισμένης διαδικασίας. Και οι δύο χρησιμοποιούν διάφορες τεχνικές ανάλυσης στοιχείων, ενσωματώνουν την ανατροφοδότηση και τη συνέχιση που είναι ουσιαστική για την εκμάθηση και βελτίωση των διαδικασιών.

Οι προφανείς διαφορές μεταξύ D.M.A.I.C και P.D.C.A. είναι δύσκολο να βρεθούν. Αν και μπορούν και οι δύο να εφαρμοστούν σε διάφορες περιπτώσεις, πιθανώς η κύρια διάκριση είναι ότι το P.D.C.A. ισχύει ακόμα ευρύτερα. Το D.M.A.I.C. συγκεντρώνεται περισσότερο σε επιχειρησιακές διαδικασίες ενώ το P.D.C.A. είναι εφαρμόσιμο σε οποιοδήποτε τύπο διαδικασίας. Επιπλέον, το D.M.A.I.C. απαιτεί στοιχεία και ο στόχος του είναι πάντα ο ίδιος: η επίτευξη ποιοτικού επίπεδο Έξι σίγμα από άποψη αποτυχιών.

#### **8.4.1.3. Μεθοδολογία DMADV.**

Το DMADV (Define, Measure, Analyze, Design, Verity) είναι η δεύτερη σημαντική μεθοδολογία της μεθόδου Έξι Σίγμα. Το DMADV είναι ένας εξαιρετικά αποτελεσματικός τρόπος για να δημιουργηθεί ένα νέο προϊόν ή μια διεργασία. Η χρησιμοποίηση DMADV για τα νέα προγράμματα, μπορεί να οδηγήσει σε μια πιο προβλέψιμη διαδικασία και τελικά σε ένα υψηλότερο ποιοτικά προϊόν.

Η μεθοδολογία DMADV χρησιμοποιείται στη στρατηγική σχεδιασμός/επανασχεδιασμός διεργασιών και περιγράφει την εφαρμογή των παρακάτω πέντε σταδίων για το σχεδιασμό ενός νέου προϊόντος ή μιας νέας διεργασίας με σκοπό την ικανοποίηση των πελατών<sup>119</sup>.

1. **Define (Καθορισμός).** Σε πρώτη φάση, καθορίζονται οι στόχοι που πρέπει να είναι σύμφωνοι με τις απαιτήσεις του πελάτη και της επιχειρησιακής στρατηγικής.

---

<sup>119</sup> Στεφανία-Στυλιανή Δ. Ξηντάρη, Δείκτες Επίδοσης Διεργασίας και Ποιότητα Έξι Σίγμα, Τμήμα Στατιστικής και Ασφαλιστικής Επιστήμης, Πανεπιστήμιο Πειραιά, 2008, σελ. 56-57.

Συγκεκριμένα προσδιορίζεται το προϊόν ή η διεργασία που αναμένεται να σχεδιαστεί και προσδιορίζονται οι ανάγκες των πελατών που μεταφράζονται σε Κρίσιμα Ποιοτικά Χαρακτηριστικά. Χαρτογραφούνται οι υπάρχουσες λειτουργίες της επιχείρησης καθώς και πώς θα επηρεασθούν από τις νέες διεργασίες / προϊόντα οι οποίες θα προκύψουν.

2. **Measure (Μέτρηση).** Ο στόχος αυτού του σταδίου είναι να μετρηθεί η απόδοση και να εναρμονιστεί με τις απαιτήσεις του πελάτη. Σε αυτό το στάδιο προσδιορίζονται οι βασικές εσωτερικές διεργασίες που επηρεάζουν τα προσδιορισμένα κρίσιμα ποιοτικά χαρακτηριστικά και μετρούνται οι ατέλειες που παράγονται από αυτά.
3. **Analyze (Ανάλυση).** Σε αυτή τη φάση γίνεται ανάλυση και αξιολόγηση της διεργασίας. Αυτό το στάδιο στοχεύει να χρησιμοποιήσει τη διαδικασία της ανάλυσης για να αναπτύξει και να σχεδιάσει τις καλύτερες εναλλακτικές λύσεις που μπορούν να μειώσουν τα ελαττώματα εφόσον έχουν προσδιοριστεί οι βασικές μεταβλητές που τα προκαλούν.
4. **Design (Σχεδιασμός).** Ο στόχος αυτού του σταδίου είναι ο σχεδιασμός και η εφαρμογή των νέων διεργασιών. Είναι σημαντικό όχι μόνο να σχεδιαστούν οι βασικές μεταβλητές αλλά και να ποσοτικοποιηθεί η επίδραση αυτών των μεταβλητών στα κρίσιμα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Περιλαμβάνει επίσης την τροποποίηση και τη βελτιστοποίηση της υπάρχουσας διεργασίας για να μείνει στο μέγιστο αποδεκτό εύρος.
5. **Verify (Επαλήθευση).** Αυτό είναι το τελευταίο στάδιο στη μεθοδολογία DMADV. Ο στόχος αυτού του σταδίου είναι να επαληθευτεί ότι η νέα διεργασία επιτρέπει στις βασικές μεταβλητές να παραμείνουν μέσα στο μέγιστο αποδεκτό εύρος, ότι ο στόχος που ορίστηκε επιτεύχθηκε και ότι έγινε εφικτό να διατηρηθεί η απόδοση<sup>120</sup>.

#### 8.4.1.4. Μεθοδολογία DFSS (Design For Six Sigma ).

Η DFSS είναι μια ξεχωριστή και αναδυόμενη μεθοδολογία επιχειρησιακής διοίκησης που σχετίζεται με το παραδοσιακό Έξι Σίγμα. Αποτελεί μια παραγωγική διαδικασία παρά μια βελτίωση διαδικασίας<sup>121</sup>. Επομένως η DFSS είναι μια

---

<sup>120</sup> Pande, S. P., Neuman, P. R. and Cavanagh, R R., The Six Sigma Way, Team Fieldbook: An Implementation Guide For Process Improvement Teams. McGraw-Hill, 2002.

<sup>121</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Design\\_for\\_Six\\_Sigma](http://en.wikipedia.org/wiki/Design_for_Six_Sigma).

συστηματική μεθοδολογία που χρησιμοποιεί διάφορα εργαλεία, εκπαιδεύει και γίνονται μετρήσεις με σκοπό να επιτρέψουν σε ένα οργανισμό τη σχεδίαση προϊόντων και διαδικασιών που ικανοποιούν τις προσδοκίες των πελατών και μπορεί να παραχθεί σε ποιοτικό επίπεδο Έξι Σίγμα (Mader, 2002). Ο στόχος της DFSS είναι να επιτευχθεί το ελάχιστο ποσοστό ατέλειας, σε επίπεδο Έξι Σίγμα, με αποτέλεσμα θετικές επιδράσεις κατά το στάδιο ανάπτυξης των προϊόντων. Χρησιμοποιείται για να αναπτύξει νέα προϊόντα ή υπηρεσίες με κριτήρια έξι σίγμα, με ικανότητα και απόδοση (Tennant, 2002)<sup>122</sup>.

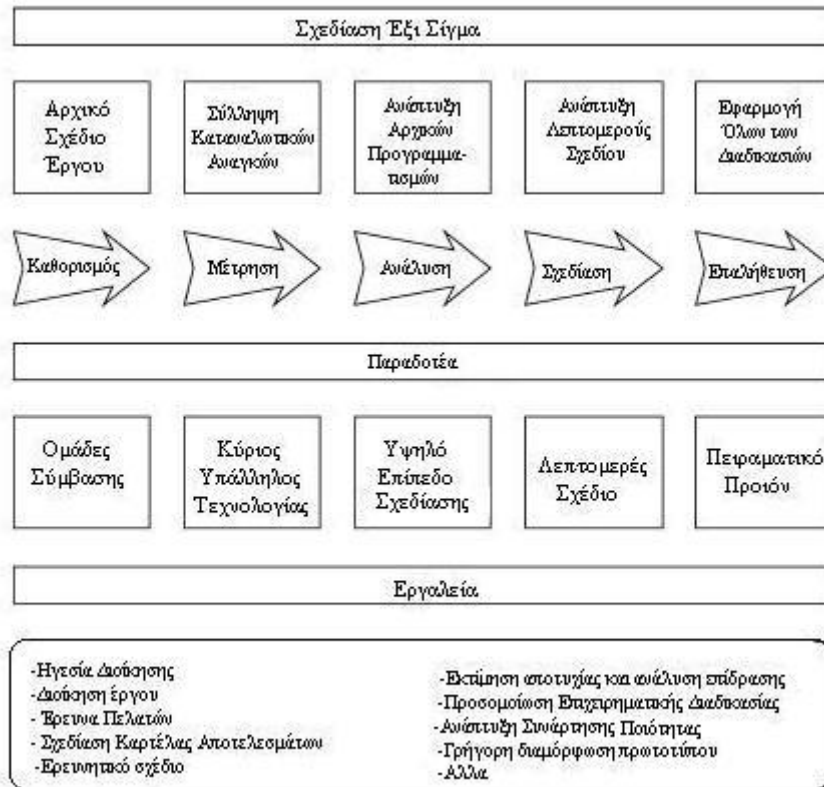
Χρησιμοποιεί ποικίλα εργαλεία και τεχνικές για τον προσανατολισμό της ποιότητας και για να καλυφθούν οι απαιτήσεις πελατών, παρουσιάζει μια αύξηση στα οφέλη του κύκλου ζωής μια διεργασίας. Ο Treichler (2002) σημείωσε ότι η ουσία του DFSS είναι η προβλεπόμενη ποιότητα σχεδίασης οδηγώντας προς ποιοτικές μετρήσεις και τη προβλεπόμενη βελτίωση κατά τη διάρκεια των πρόωρων φάσεων σχεδιασμού. Ουσιαστικά, η διαδικασία DFSS στρέφεται προς νέα, καινοτόμα σχέδια που παράγουν ένα υψηλότερο επίπεδο απόδοσης. Ο De Feo και ο Bar-EL (2002) συνοψίζουν επτά στοιχεία της DFSS ως εξής<sup>123</sup>:

- Οδηγεί στην προσανατολισμένη, προς τους πελάτες, διαδικασία σχεδιασμού με υποστήριξη έξι σίγμα.
- Προβλέπει την ποιότητα του σχεδίου στην έναρξη.
- Ταιριάζει το εύρος απαιτήσεων.
- Διασταυρώνει τους λειτουργικούς σχεδιασμούς που εμπλέκονται.
- Οδηγεί προς ποιοτικές μετρήσεις και βελτιώνει την προβλεψιμότητα στις πρόωρες φάσεις σχεδιασμού.
- Επεξεργάζεται τη δυναμικότητα των διαδικασιών στην παραγωγή τελικών αποφάσεων.
- Απεικονίζει τις ποικίλες διαδικασίες για να ελέγξει τις απαιτήσεις των πελατών.

---

<sup>122</sup> Young Hoon Kwak, Frank T. Anbari, Benefits, obstacles, and future of six sigma approach, *Technovation*, 26, 708–715, 2006.

<sup>123</sup> Young Hoon Kwak, Frank T. Anbari, Benefits, obstacles, and future of six sigma approach, *Technovation*, 26, 708–715, 2006.



Σχήμα 8.4.: Τα πέντε βήματα της DFSS διαδικασίας (De Feo & Bar-El 2002).

### 8.4.2. Εργαλεία Έξι σίγμα.

Μερικά βασικά εργαλεία Έξι Σίγμα παρατίθενται παρακάτω (Breyfogle, Pyzdek 1999):

Πίνακας 8.2.: Εργαλεία Έξι Σίγμα.

Περιγραφική στατιστική	Ανάλυση πεδίου προσδιοριστικών επιρροών
Διάγραμμα Ροής	Διάγραμμα αιτίας -αποτελέσματος (Διάγραμμα Ishikawa 1987) - Ψαροκόκκαλο
Ιστόγραμμα	Διάγραμμα συσχέτισης
Χάρτες Ελέγχου	Διάγραμμα συνάφειας
Φύλλα ελέγχου	Διάγραμμα διασποράς (σχέδιο δυο μεταβλητών)
Διάγραμμα Pareto	
Σύσκεψη για ανταλλαγή ιδεών	
Ονομαστική τεχνική ομάδας	

Ενδιάμεσες μέθοδοι Έξι Σίγμα περιλαμβάνουν απαριθμητικές και αναλυτικές στατιστικές μεθόδους. Σε μια αναλυτική μελέτη η εστίαση γίνεται στη διαδικασία και πώς να βελτιωθεί, ενώ σε μια απαριθμητική μελέτη η δραστηριότητα θα έπρεπε να

λαμβάνει χώρα στο περιβάλλον (Pyzdek 1999). Προηγμένες μέθοδοι Έξι Σίγμα περιλαμβάνουν περιπλοκότερα εργαλεία. Ο επόμενος πίνακας περιλαμβάνει ένα μεγάλο μέρος προηγμένων εργαλείων (Pyzdek 1999)<sup>124</sup>:

**Πίνακας 8.3.: Προηγμένα Εργαλεία Έξι Σίγμα.**

Σχεδίαση Πειραμάτων (Design of Experiment - D.O.E.)	Πίνακες συνάφειας- $\chi^2$
Ανάλυση διακύμανσης (Analysis of Variance -A.N.O.V.A.)	Ανάλυση αξιοπιστίας
Ανάσυρση δεδομένων	Εργαλεία αξιολόγησης κινδύνου
Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα	Ανάλυση ασφάλειας
Εικονική χαρτογράφηση διαδικασίας	Προσομοίωση διαδικασίας
Παλινδρόμηση και συσχέτιση	Στατιστική ανάλυση

### 8.5. Οργανωτική δομή της μεθόδου Έξι Σίγμα.

Η μέθοδος Έξι Σίγμα απαιτεί μια προσεκτική οργάνωση της επιχείρησης και ειδικότερα αφοσίωση από τα κορυφαία κλιμάκια ώστε να βοηθήσουν και να καθοδηγήσουν τους χαμηλότερους εργαζόμενους και τις πολιτικές βαθμίδων.

Για να υλοποιηθεί με επιτυχία, διαμορφώνεται μια οργανωτική δομή. Η AlliedSignal είναι η εταιρία που δημιούργησε τη σημερινή οργανωτική δομή της μεθόδου η οποία περιλαμβάνει τους εξής ρόλους: Champion (πρωταθλητής), Master Black-Belt (κάτοχος κύριας μαύρης ζώνης), Black-Belt (κάτοχος μαύρης ζώνης), Green-Belt (κάτοχος πράσινης ζώνης). Ενώ οι περισσότεροι από τους ρόλους που αναφέρθηκαν παραπάνω χρησιμοποιούνται σε πολλές επιχειρήσεις για την εφαρμογή της μεθόδου, πρέπει να σημειωθεί ότι δεν είναι καθολικοί. Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά οι ρόλοι και οι αρμοδιότητες των εμπλεκόμενων ατόμων<sup>125</sup>.

**Champion (πρωταθλητής):** Συνήθως είναι ένας από τους κορυφαίους ανώτερους υπαλλήλους με υψηλό επίπεδο γνώσης που καταλαβαίνει την μέθοδο Έξι Σίγμα και είναι αφοσιωμένος στην επιτυχία της. Αρμοδιότητα του είναι να δημιουργεί το όραμα και να διευκολύνει την εφαρμογή της μεθόδου. Ο πρωταθλητής είναι εκείνο το πρόσωπο που διασφαλίζει ότι τα προγράμματα συμφωνούν με τους στόχους που έχει θέσει η επιχείρηση, μετρά την πρόοδο τους και ενημερώνει τα μέλη, στηρίζει τις βελτιώσεις και παρέχει τους απαραίτητους πόρους στην ομάδα. Οι πρωταθλητές

<sup>124</sup> Μπλέσιος, Ν. Διοίκηση Ολικής Ποιότητας, Σημειώσεις διαλέξεων του μαθήματος της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας ο.π. , Πανεπιστήμιο Πειραιά, 2005, σελ. 14-15.

<sup>125</sup> Στεφανία-Στυλιανή Δ. Ξηντάρη, Δείκτες Επίδοσης Διεργασίας και Ποιότητα Έξι Σίγμα, Τμήμα Στατιστικής και Ασφαλιστικής Επιστήμης, Πανεπιστήμιο Πειραιά, 2008, σελ. 57-59.



ουσιαστικά φροντίζουν πώς να εκτελούνται τα προγράμματα και αναθέτουν στους ιδιαίτερα εκπαιδευμένους κατόχους κύριας μαύρης ζώνης να βοηθήσουν τους υπεύθυνους συμβούλους των προγραμμάτων για τη ρύθμιση αυτών. Αυτό είναι και το κλειδί της επιτυχίας της μεθοδολογίας Έξι Σίγμα. Σε όλες τις επιχειρήσεις, οι πρωταθλητές αποτελούν τους άτυπους ηγέτες που χρησιμοποιούν τη μέθοδο στην καθημερινή εργασία τους σε κάθε ευκαιρία.

**Process Owner (υπεύθυνος διαδικασίας):** Είναι ένα πρόσωπο που είναι υπεύθυνο για μια συγκεκριμένη διεργασία. Οι υπεύθυνοι διαδικασίας βοηθούν να ξεκινήσει και συντονίζουν τις δραστηριότητες για τη βελτίωση της μεθόδου Έξι Σίγμα στους τομείς των ευθυνών τους.

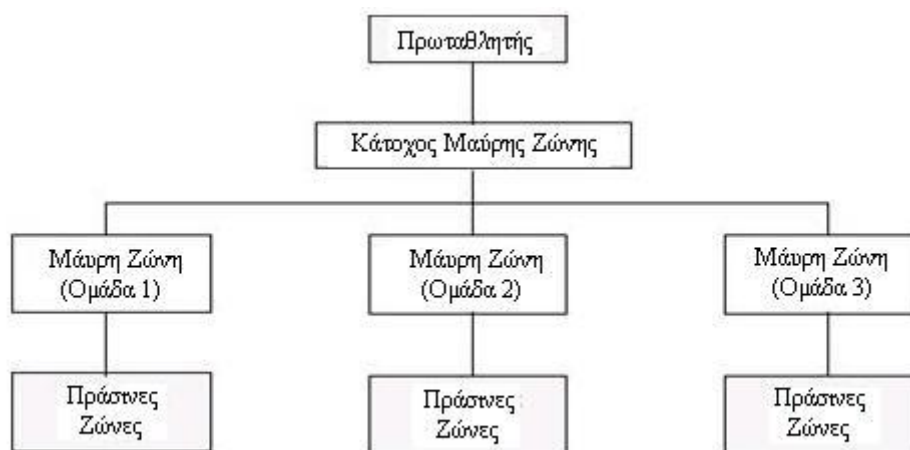
**Master Black-Belt (κάτοχος κύριας μαύρης ζώνης):** Αυτό είναι το πιο υψηλό επίπεδο τεχνικής και οργανωτικής ικανότητας. Έχει αρμοδιότητες πάνω σε συγκεκριμένη λειτουργία ή περιοχή της επιχείρησης. Συνεργάζεται καθημερινά με τους υπεύθυνους των διαδικασιών ώστε να διασφαλίζεται ότι οι στόχοι και τα πλάνα για την ποιότητα έχουν ανατεθεί και καθοριστεί, εποπτεύει τη μέθοδο Έξι Σίγμα. Οι κάτοχοι κύριας μαύρης ζώνης αποτελούν την τεχνική ηγεσία του προγράμματος Έξι Σίγμα. Κατά συνέπεια, οι κάτοχοι κύριας μαύρης ζώνης πρέπει να γνωρίζουν και να καταλαβαίνουν τη μαθηματική θεωρία στην οποία είναι βασισμένες οι στατιστικές μέθοδοι. Οι κάτοχοι κύριας μαύρης ζώνης πρέπει να είναι σε θέση να βοηθήσουν τους κατόχους μαύρης ζώνης να εφαρμόσουν τις μεθόδους σωστά σε ασυνήθιστες καταστάσεις. Όποτε είναι δυνατό, η στατιστική κατάρτιση πρέπει να διευθετηθεί μόνο από τους κατόχους κύριας μαύρης ζώνης διαφορετικά θα εμφανιστεί το γνωστό φαινόμενο «διάδοσης του λάθους».

**Black-Belt (κάτοχος μαύρης ζώνης):** Ο ρόλος του είναι σημαντικός για την εκτέλεση της μεθόδου Έξι Σίγμα. Πρέπει να συμμετέχει ενεργά στη διαδικασία των οργανωτικών αλλαγών και της ανάπτυξης. Ο υποψήφιος για το ρόλο του κατόχου μαύρης ζώνης μπορεί να προέλθει από ένα ευρύ φάσμα επιστημών και να μην χρειαστεί να είναι τυπικά εκπαιδευμένος στατιστικός. Εντούτοις, επειδή αναμένεται να χρησιμοποιήσει μια ευρεία ποικιλία τεχνικών εργαλείων, ο κάτοχος μαύρης ζώνης κατέχει πιθανώς ένα υπόβαθρο μαθηματικών, που είναι το βασικό εργαλείο της ποσοτικής ανάλυσης. Καθοδηγεί και εκπαιδεύει τα άτομα από τα οποία πλαισιώνεται, που συνήθως είναι οι κάτοχοι πράσινης ζώνης και είναι υπεύθυνος για τα αποτελέσματα του προγράμματος Έξι Σίγμα. Εκπαιδεύεται στη χρήση εργαλείων Έξι Σίγμα και καταδεικνύει την αξιόπιστη εφαρμογή αυτών. Ένας κάτοχος μαύρης ζώνης

θα ολοκληρώσει τυπικά 5 έως 7 προγράμματα ετησίως. Οι κάτοχοι μαύρης ζώνης δίνουν αναφορά στον κάτοχο κύριας μαύρης ζώνης και είναι θέση πλήρους απασχόλησης.

**Green-Belt (κάτοχος πράσινης ζώνης):** Συνήθως είναι υπάλληλοι της εταιρίας ειδικά εκπαιδευόμενοι στη μέθοδο Έξι Σίγμα. Οι κάτοχοι πράσινης ζώνης είναι υπεύθυνοι του προγράμματος, ικανοί να σχηματίσουν, να καθοδηγήσουν και να διευκολύνουν την ομάδα έργου του προγράμματος Έξι Σίγμα και το αναλαμβάνουν από την αρχή μέχρι την ολοκλήρωση. Η εκπαίδευση τους καλύπτει τη διαχείριση του προγράμματος, τα εργαλεία ποιοτικής διαχείρισης, τα εργαλεία ποιοτικού ελέγχου, την επίλυση προβλήματος και την περιγραφική ανάλυση στοιχείων. Ο πρωταθλητής πρέπει να παρευρεθεί στην κατάρτιση των κατόχων πράσινης ζώνης. Συνήθως, οι κάτοχοι μαύρης ζώνης βοηθούν τους κατόχους πράσινης ζώνης να καθορίζουν τα προγράμματα τους πριν την κατάρτιση, παρευρίσκονται στην κατάρτιση μαζί τους και τους βοηθούν με τα προγράμματά τους μετά από την κατάρτιση. Οι κάτοχοι πράσινης ζώνης, σε αντίθεση με τους κατόχους μαύρης ζώνης και τους κατόχους κύριας μαύρης ζώνης δεν υιοθετούνται αποκλειστικά στο πρόγραμμα Έξι Σίγμα, εργάζονται με μειωμένο ωράριο στα προγράμματα και δίνουν αναφορά στους κατόχους μαύρης ζώνης<sup>126</sup>.

Η οργανωτική δομή Έξι Σίγμα παρουσιάζεται στο **Σχήμα 8.5**. Είναι αξιοπρόσεκτο ότι μια επιχείρηση μπορεί να περιλαμβάνει διάφορες μαύρες και πράσινες ζώνες ανάλογα με το μέγεθος του προγράμματος<sup>127</sup> (Keeni 2000).



**Σχήμα 8.5.: Οργανωτική δομή για το Έξι Σίγμα (Keeni 2000).**

<sup>126</sup> Pande, S. P., Neuman, P. R. and Cavanagh, R R., The Six Sigma Way, Team Fieldbook: An Implementation Guide For Process Improvement Teams. McGraw-Hill, 2002.

<sup>127</sup> Μπλέσιος, Ν. Διοίκηση Ολικής Ποιότητας, Σημειώσεις διαλέξεων του μαθήματος της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας, ο.π., Πανεπιστήμιο Πειραιά, 2005, σελ. 23-24.

## 8.6. Κριτική για τη μέθοδο Έξι Σίγμα.

### 8.6.1 Κρίσιμοι παράγοντες για την επιτυχία της μεθόδου Έξι Σίγμα.

Η επιτυχία της μεθόδου Έξι Σίγμα καθοδηγείται κατά ένα μεγάλο μέρος από τους ακόλουθους παράγοντες<sup>128</sup>:

1. *Υποχρέωση ηγεσίας.* Εφόσον η ανώτερη διοίκηση υποστηρίζει την πρωτοβουλία βελτίωσης με τη μέθοδο Έξι Σίγμα ταυτόχρονα πρέπει να έχει έναν ενεργό ρόλο σε ολόκληρο τον κύκλο ανάπτυξης και βελτίωσης των διεργασιών.
2. *Εστιάζει στον πελάτη.* Ένα από τα πρώτα βήματα της μεθοδολογίας Έξι Σίγμα είναι η ανάπτυξη και η καθιέρωση μιας στενής επικοινωνίας με τους πελάτες, τους προμηθευτές και τους υπαλλήλους ώστε να καθοριστούν οι απαιτήσεις τους και οι διαδικασίες που σχετίζονται με αυτές.
3. *Στρατηγική ανάπτυξη.* Επικεντρώνεται στους πόρους της επιχείρησης που είναι η σωστή υποστήριξη, οι σωστές προτεραιότητες, οι κατάλληλοι άνθρωποι να αναλάβουν το πρόγραμμα που ενδείκνυται, και τα σωστά εργαλεία, για τον προσδιορισμό και τη βελτίωση των μέτρων απόδοσης που σχετίζονται με την επιχειρησιακή απόδοση και κατ' επέκταση με την επιτυχία. Σκοπός είναι να αναπτυχθεί ένα πλαίσιο ώστε να μετρηθεί η ικανοποίηση των απαιτήσεων του πελάτη και να συγκριθεί με την απόδοση της επιχειρησιακής διαδικασίας.
4. *Η επιτυχία της μεθόδου Έξι Σίγμα εξαρτάται και από την ενεργή συμμετοχή όλων των στελεχών της επιχείρησης που την εφαρμόζουν.*
5. *Πειθαρχημένο πλαίσιο.* Η επιτυχία της μεθόδου «6 Σίγμα» βασίζεται και στη σωστή εφαρμογή των πέντε φάσεων της μεθόδου διαμέσου των προγραμμάτων που ορίζονται από τις ανώτερες βαθμίδες και υλοποιούνται από τις μεσαίες βαθμίδες.
6. *Εκπαίδευση και κατάρτιση.* Η μεθοδολογία Έξι Σίγμα, χρησιμοποιεί την ποιότητα και τα στατιστικά εργαλεία για να μετατρέψει ένα πρόβλημα σε μια πρακτική λύση. Κατά συνέπεια, η εκπαίδευση και η κατάρτιση που παρέχεται από την ανώτερη διοίκηση ως τους κατώτατους υπαλλήλους, σκοπό έχουν να υιοθετήσουν τη φιλοσοφία της μεθόδου Έξι Σίγμα και να εφαρμόσουν τις τεχνικές βελτίωσης συστημάτων σε όλα τα επίπεδα.

---

<sup>128</sup> Στεφανία-Στυλιανή Δ. Ξηντάρη, Δείκτες Επίδοσης Διεργασίας και Ποιότητα Έξι Σίγμα, Τμήμα Στατιστικής και Ασφαλιστικής Επιστήμης, Πανεπιστήμιο Πειραιά, 2008, σελ. 63-65.

### 8.6.2. Λόγοι αποτυχίας της μεθόδου Έξι Σίγμα.

Μία επιχείρηση είναι δημιουργική όταν παρουσιάζει την επιθυμητή μεταβλητότητα, αφθονία πόρων και αποτελεσματικό στρατηγικό σχέδιο ανάπτυξης. Για να μπορέσει λοιπόν μία επιχείρηση να διατηρήσει τη βιωσιμότητα της μακροπρόθεσμα πρέπει να λάβει υπόψη της τους παρακάτω παράγοντες που μπορούν να οδηγήσουν στην αποτυχημένη εφαρμογή της μεθόδου Έξι Σίγμα<sup>129</sup>.

- Δίνεται υπερβολική έμφαση στα στατιστικά εργαλεία και στις στατιστικές τεχνικές με αποτέλεσμα να χαθεί η πραγματική αξία της μεθόδου Έξι Σίγμα.
- Δίνεται υπερβολική έμφαση στο κόστος. Η μέθοδος Έξι Σίγμα δεν απαιτεί την δαπάνη σημαντικών κεφαλαίων παρά μονάχα για την επένδυση στην εκπαίδευση και ανάπτυξη των συμμετεχόντων στη διαδικασία. Εάν η επιχείρηση δεν ασπαστεί τη φιλοσοφία της μεθόδου Έξι Σίγμα και θεωρήσει ότι είναι ένα πρόγραμμα μείωσης των εξόδων της τότε δεν θα μπορέσει να τη στηρίξει, να την αναπτύξει και να αποκομίσει τα προσδοκώμενα οφέλη.
- Δε δίνεται το απαραίτητο ενδιαφέρον στο δυναμικό της ομάδας. Δεν προσδιορίζονται οι αιτίες, δεν καθορίζεται το πρόβλημα, δεν αξιολογούνται σωστά τα προγράμματα και οι μεθοδολογίες για την αντιμετώπιση της μεταβλητότητας, και δεν αναπτύσσονται οι τρόποι και οι ικανότητες εκείνες που θα οδηγήσουν στην επιτυχία των ομάδων με αποτέλεσμα να μην καταδεικνύεται η αξία τους.
- Η επιτυχής εφαρμογή της μεθόδου Έξι Σίγμα δεν είναι αποκλειστική ευθύνη του κατόχου μαύρης ζώνης αλλά ολόκληρης της οργανωτικής δομής στην οποία βασίζεται η μέθοδος.
- Η ανώτερη διοίκηση δε μπορεί να διακρίνει τα συνήθη από τα ειδικά αίτια που προκαλούν την μεταβλητότητα.
- Η ανώτερη διοίκηση δεν πρέπει μόνο να δεσμευτεί αλλά και να συμμετάσχει ενεργά στη διαδικασία βελτίωσης της επιχείρησης και να καθοδηγεί την ανάπτυξη μιας διοικητικής υποδομής για την υποστήριξη της μεθόδου Έξι Σίγμα.
- Υπάρχει αδυναμία διαχείρισης της αλλαγής<sup>130</sup>.

---

<sup>129</sup> Στεφανία-Στυλιανή Δ. Ξηντάρη, Δείκτες Επίδοσης Διεργασίας και Ποιότητα Έξι Σίγμα, Τμήμα Στατιστικής και Ασφαλιστικής Επιστήμης, Πανεπιστήμιο Πειραιά, 2008, σελ. 65-67.

<sup>130</sup> <http://www.sixsigmatraining.org/introduction-to-six-sigma/10-reasons-why-six-sigma-is-fading.html>.

### 8.6.3. Μειονεκτήματα της μεθόδου Έξι Σίγμα.

Για την πλειοψηφία των επιχειρήσεων, η μέθοδος Έξι Σίγμα έχει βοηθήσει ώστε να γίνουν ανταγωνιστικές στην αγορά και να μειώσουν τις δαπάνες τους. Ωστόσο πρέπει να σημειώσουμε ορισμένα μειονεκτήματα που υπάρχουν<sup>131</sup>.

- Οι μεθοδολογίες και οι τεχνικές που εφαρμόζονται στη μέθοδο Έξι Σίγμα είναι αποτελεσματικές για τη μείωση της μεταβλητότητας μιας διεργασίας αλλά είναι ανεπαρκείς για να βελτιώσουν και να επιταχύνουν το ρυθμό ανάπτυξης της διεργασίας.
- Το κόστος εφαρμογής της μεθόδου Έξι Σίγμα είναι αρκετά μεγάλο αφού θεωρείται ως μία από τις πιο ακριβές και πολύπλοκες για να υλοποιηθούν διεργασίες.
- Για την επιτυχή εφαρμογή της μεθόδου Έξι Σίγμα θα πρέπει να υπάρχει η απαραίτητη υποστήριξη και ο ενθουσιασμός από όλους τους υπαλλήλους όλων των επιπέδων. Ωστόσο η μη ύπαρξη αυτών μπορεί τελικά να οδηγήσει στην αποτυχία.
- Επικρατεί μια παρερμηνεία της ποιότητας. Μερικοί υποστηρίζουν ότι ο καθορισμός της ποιότητας ως τη μειωμένη ύπαρξη ελαττωμάτων και ατελειών απεικονίζει μία περιορισμένη άποψη της ποιότητας. Στην πραγματικότητα, ακόμη και οι μηδενικές ατέλειες υπολείπονται.
- Ορισμένες φορές δεν μετριέται η αποτελεσματικότητα της μεθόδου.
- Η έλλειψη χρόνου δημιουργίας της οργανωτικής δομής, εκπαίδευσης του προσωπικού και χρήσης των στατιστικών εργαλείων.
- Αμφισβητείται η οργανωτική δομή της μεθόδου Έξι Σίγμα και ο τρόπος εμπλοκής αυτών.
- Είναι μία ριζική μακροπρόθεσμη μεθοδολογία που απαιτεί δέσμευση.

---

<sup>131</sup> Στεφανία-Στυλιανή Δ. Ξηντάρη, Δείκτες Επίδοσης Διεργασίας και Ποιότητα Έξι Σίγμα, Τμήμα Στατιστικής και Ασφαλιστικής Επιστήμης, Πανεπιστήμιο Πειραιά 2008, σελ. 68-69.

## **ΒΙΒΛΙΟΦΡΑΦΙΑ**

### **Ξενογλώσση Βιβλιογραφία.**

1. Gulcin Bógókozkan, Demet Ozturkcan, An integrated analytic approach for Six Sigma project selection, *Expert Systems with Applications*, 37, 5835–5847, 2010.
2. Young Hoon Kwak, Frank T. Anbari, Benefits, obstacles, and future of six sigma approach, *Technovation*, 26, 708–715, 2006.
3. Pande, S. P. and Holpp, L. What is Six Sigma. McGraw-Hill. Two Penn Plaza, New York, 2002.
4. Pande, S. P., Neuman, P. R. and Cavanagh, R R., *The Six Sigma Way, Team Fieldbook: An Implementation Guide For Process Improvement Teams*. McGraw-Hill, 2002.

### **Ελληνική Βιβλιογραφία.**

5. Μπλέσιος, Ν. Διοίκηση Ολικής Ποιότητας, Σημειώσεις διαλέξεων του μαθήματος της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας του Διαπανεπιστημιακού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Τεχνοοικονομικά Συστήματα», Πανεπιστήμιο Πειραιά 2005.
6. Στεφανία-Στυλιανή Δ. Ξηντάρη, Δείκτες Επίδοσης Διεργασίας και Ποιότητα Έξι Σίγμα, Τμήμα Στατιστικής και Ασφαλιστικής Επιστήμης, Πανεπιστήμιο Πειραιά 2008.

### **Διαδύκτιο.**

7. [http://www.mtcltd.com/mtc2002/newsleter6sigma2/MTC\\_News/Articles.htm](http://www.mtcltd.com/mtc2002/newsleter6sigma2/MTC_News/Articles.htm).
8. [http://www.pyzdek.com/six\\_sigma\\_vs\\_tqm.html](http://www.pyzdek.com/six_sigma_vs_tqm.html), Pyzdek. T. Why Six Sigma is not TQM, 2001.
9. [http://en.wikipedia.org/wiki/Design\\_for\\_Six\\_Sigma](http://en.wikipedia.org/wiki/Design_for_Six_Sigma)
10. <http://www.sixsigmatraining.org/introduction-to-six-sigma/10-reasons-why-six-sigma-is-fading.html>.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

### ΔΕΙΚΤΕΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ.

#### 9.1. Στατιστικός ορισμός του Έξι Σίγμα.

Προκειμένου να καθορισθεί το Έξι Σίγμα στατιστικά, είναι χρήσιμο να προσδιοριστούν δύο σχετικές έννοιες, τα όρια προδιαγραφών και η κανονική κατανομή.

##### 9.1.1. Όρια προδιαγραφών.

Τα όρια προδιαγραφών είναι οι ανοχές ή το εύρος της απόδοσης των προϊόντων ή των διαδικασιών. Σε πολλές περιπτώσεις τα όρια των προδιαγραφών καθορίζονται από τις απαιτήσεις των πελατών. Θεωρώντας μια διεργασία ή την κατασκευή ενός αντικειμένου μια προδιαγραφή μπορεί να είναι το μέγεθος. Στόχος είναι να επιτευχθούν συγκεκριμένες διαστάσεις, αλλά οι διαστάσεις εμπίπτουν στο εύρος μεταξύ του κατώτερου (*Low Specification Limit - LSL*) και του ανώτερου ορίου προδιαγραφών (*Upper Specification Limit - USL*) και οι οποίες γίνονται αποδεκτές. Αυτό συμβαίνει επειδή η μεταβλητότητα είναι πανταχού παρούσα και αναπόφευκτη στον πραγματικό κόσμο, ώστε να επιτρέπεται κάποιος βαθμός ανακρίβειας (*Breyfogle 2001*). Η τιμή στόχος του εύρους των προδιαγραφών -ιδανική τιμή- βρίσκεται τυπικά στο ακριβές κέντρο μεταξύ LSL και USL. Τα όρια προδιαγραφών είναι τελείως ανεξάρτητα από τη καμπύλη (*Breyfogle 2001*)<sup>132</sup>.

##### 9.1.2. Η κανονική κατανομή.

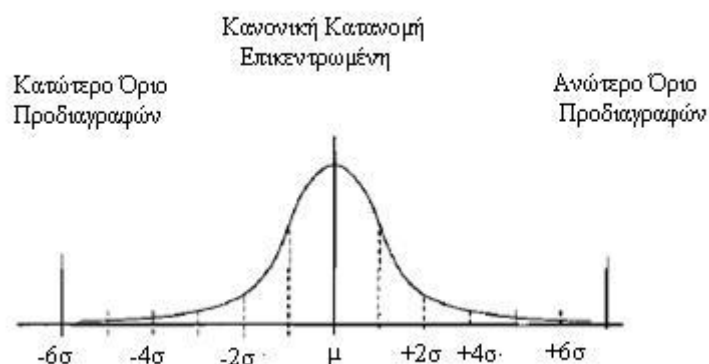
Η καμπύλη (*Σχήμα 9.1*) καλείται κανονική κατανομή, επίσης γνωστή ως καμπύλη του Gauss. Λόγω των πολυάριθμων ιδιοτήτων της, είναι ένα χρήσιμο και πολύτιμο εργαλείο στον κόσμο της στατιστικής και της ποιότητας. Η καμπύλη διαμορφώνεται συμμετρικά και επεκτείνεται από το μείον στο συν άπειρο στον x-άξονα. Αυτή η κανονική καμπύλη είναι ανεξάρτητη από το LSL και το USL και αντιπροσωπεύει τη διασπορά των διαμέτρων που προκύπτουν. Με άλλα λόγια, η

---

<sup>132</sup> Μπλέσιος Ν., Σημειώσεις διαλέξεων του μαθήματος της *Διοίκησης Ολικής Ποιότητας* του Διαπανεπιστημιακού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Τεχνοοικονομικά Συστήματα», Πανεπιστήμιο Πειραιά, 2005, σελ. 5.

καμπύλη συνοψίζει τον εμπειρικό προσδιορισμό της ποσότητας της μεταβλητότητας που υπάρχει μέσα στη διαδικασίες (Breyfogle 2001).

Οι σκιασμένες κάθετες γραμμές στην καμπύλη στο **Σχήμα 9.1.** αντιπροσωπεύουν τον αριθμό μονάδων τυπικής απόκλισης ( $\sigma$ ) που μια δεδομένη διεργασία μπορεί να απέχει από το μέσο όρο, ο οποίος παρουσιάζεται ως  $\mu$  στον x-άξονα. Ο **Πινάκας 9.1.** κάτω από το σχήμα παρουσιάζει τον αριθμό των διεργασιών ανά εκατομμύριο που θα ήταν έξω από την προδιαγραφή ορίων Έξι Σίγμα εάν τα δεδομένα είχαν κεντροθετηθεί μέσα σε αυτά τα όρια και είχαν διάφορες τυπικές αποκλίσεις<sup>133</sup> (Breyfogle 1999).



**Σχήμα 9.1.:** Επικεντρωμένη κανονική κατανομή μεταξύ των ορίων σίγμα Έξι σίγμα με ένα πίνακα ελαττωματικών σύμφωνα με το επίπεδο σίγμα (Breyfogle 1999).

**Πινάκας 9.1.:** Αριθμός διεργασιών ανά εκατομμύριο που θα ήταν έξω από την προδιαγραφή ορίων Έξι Σίγμα.

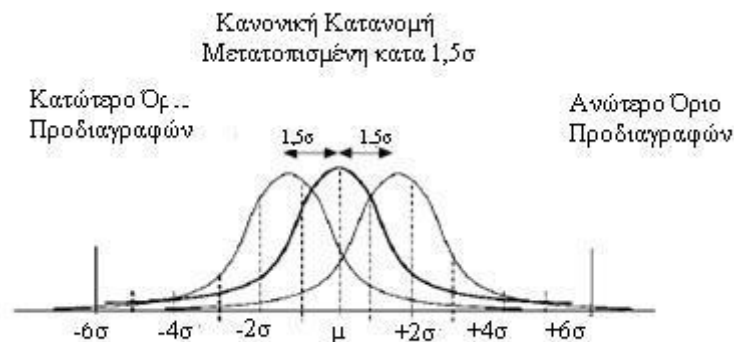
Όρια προδιαγραφών	Ποσοστό	Ελαττωματικά ανά εκατομμύριο
$\pm 1\sigma$	68,27	317300
$\pm 2\sigma$	95,45	45500
$\pm 3\sigma$	99,73	2700
$\pm 4\sigma$	99,9937	63
$\pm 5\sigma$	99,999943	0,57
$\pm 6\sigma$	99,9999998	0,002

<sup>133</sup> Μπλέσιος Ν., Σημειώσεις διαλέξεων του μαθήματος της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας, ο.π., Πανεπιστήμιο Πειραιά, 2005, σελ.6.



### 9.1.3. Επίπεδο ποιότητας Σίγμα.<sup>134</sup>

Το σενάριο που παρουσιάζεται παραπάνω εξετάζει την κατάσταση όπου μια διαδικασία είναι κεντροθετημένη. Μια μετατόπιση  $\pm 1.5\sigma$  στο μέσο όρο προστίθεται συνήθως προκειμένου να εξεταστούν χαρακτηριστικές μετατοπίσεις και κλίσεις του μέσου μιας διαδικασίας από μια κεντροθετημένη τιμή προδιαγραφής. Αυτή η μετατόπιση του μέσου όρου χρησιμοποιείται κατά τον υπολογισμό μιας διαδικασίας επιπέδου ποιότητας σίγμα, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 9.2.** (Breyfogle 2001)



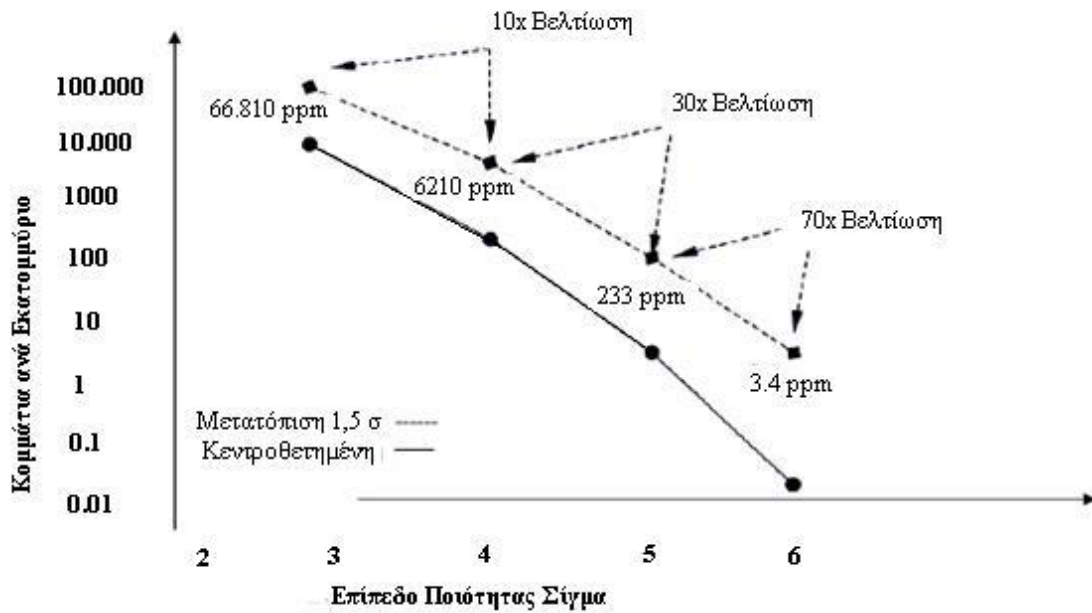
**Σχήμα 9.2.:** Επίδραση μετατόπισης 1,5 σίγμα με ένα πίνακα ελαττωματικών σε σχέση με το επίπεδο σίγμα (Breyfogle 2001).

**Πινάκας 9.2.:** Αριθμός διεργασιών ανά εκατομμύριο που θα ήταν έξω από την προδιαγραφή ορίων με τη μετατόπιση 1,5σ.

Όρια προδιαγραφών	Ποσοστό	Ελαττωματικά ανά εκατομμύριο
$\pm 1\sigma$	30,23	697700
$\pm 2\sigma$	69,13	308700
$\pm 3\sigma$	93,32	66810
$\pm 4\sigma$	99,379	6210
$\pm 5\sigma$	99,9767	233
$\pm 6\sigma$	99,9997	3,4

Το **Σχήμα 9.3.** παρουσιάζει τη σχέση των ποσοστών ελαττωμάτων ανά εκατομμύριο (PPM) σε σχέση με το επίπεδο ποιότητας σίγμα για κεντροθετημένη και μετατοπισμένη διαδικασία κατά 1,5σ, μαζί με τον προσδιορισμό της ποσότητας για το ποσό βελτίωσης που επιτυγχάνεται με την αλλαγή ενός επιπέδου ποιότητας σίγμα (Breyfogle 1999).

<sup>134</sup> Μπλέσιος Ν., Σημειώσεις διαλέξεων του μαθήματος της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας, ο.π., Πανεπιστήμιο Πειραιά, 2005, σελ. 5-9.



Σχήμα 9.3.: Κατανομή ελαττωμάτων (ppm) έναντι επιπέδου ποιότητας  $\sigma$  (Μπλέσιος 2005).

Είναι σημαντικό να παρατηρηθεί ότι το επίπεδο ποιότητας σίγμα δεν είναι γραμμικό. Συνεπώς, μια ποσοστιαία βελτίωση ελαττωματικών μονάδων ανά εκατομμύριο (PPM) δεν ισούται ποσοστιαία με την ίδια βελτίωση στο επίπεδο ποιότητας σίγμα (Breyfogle 1999). Μια μετατόπιση στο επίπεδο ποιότητας σίγμα από πέντε σε έξι είναι πολύ δυσκολότερη από μια μετατόπιση επιπέδου ποιότητας σίγμα από τρία σε τέσσερα.

## 9.2. Ο δείκτης επίδοσης $C_p$ .

Έστω ότι σε μια διεργασία, το χαρακτηριστικό  $X$  που ενδιαφέρει ακολουθεί την κανονική κατανομή με μέση τιμή  $\mu$  και τυπική απόκλιση  $\sigma$ . Τότε η παρατηρούμενη τιμή  $X$  του χαρακτηριστικού θα βρίσκεται με βεβαιότητα 99.73% μέσα στο διάστημα  $(\mu-3\sigma, \mu+3\sigma)$ , δηλαδή, εντός ενός διαστήματος εύρους  $6\sigma$  (φυσικό εύρος) της διεργασίας θα υπάρχει το 99.73% των παραγόμενων προϊόντων<sup>135</sup>. Για να καθορισθεί το πόσο αποτελεσματική είναι μια διεργασία στο να παράγει προϊόντα με

<sup>135</sup> Byoung-Chul Choi, Donald B. Owen, A study of a new process capability index, Communications in Statistics - Theory and Methods, 19, 1231-1245 1990.

τιμές  $X$  εντός των ορίων προδιαγραφών, χρησιμοποιούνται διάφορα μέτρα. Το πιο απλό μέτρο για την ικανότητα μιας διεργασίας είναι ο δείκτης  $C_p$ <sup>136</sup>.

### 9.2.1. Ορισμός και ιδιότητες του δείκτη $C_p$ .

Ο δείκτης  $C_p$  ορίζεται ως εξής<sup>137</sup>:

$$C_p = \frac{USL-LSL}{6\sigma} \quad (9.1)$$

όπου το  $USL$  είναι το άνω όριο προδιαγραφών, το  $LSL$  είναι το κάτω όριο προδιαγραφών και  $\sigma$  είναι η τυπική απόκλιση της διεργασίας. Ο δείκτης  $C_p$  εκφράζει τη σχέση του εύρους των ορίων προδιαγραφών ενός προϊόντος ( $USL-LSL$ ) με το φυσικό εύρος τιμών της διεργασίας ( $(\mu-3\sigma)-(\mu+3\sigma)=6\sigma$ ). Η ποσότητα:

$$P = \left(\frac{1}{C_p}\right) \cdot 100\% = \left(\frac{6\sigma}{USL-LSL}\right) \cdot 100\% \quad (9.2)$$

δηλώνει το ποσοστό του εύρους των ορίων προδιαγραφών που χρησιμοποιεί η διεργασία. Είναι εμφανές ότι επιθυμείται υψηλή τιμή του δείκτη  $C_p$  σε μια διεργασία (κατ επέκταση μικρή τυπική απόκλιση, δηλαδή μικρή φυσική μεταβλητότητα) και επομένως μικρή τιμή του  $P$ .

Ο δείκτης  $C_p$  έχει ορισθεί όταν η διεργασία περιγράφεται από μια κανονική κατανομή, κάτι το οποίο δικαιολογεί την επιλογή της τιμής 6 στον παρανομαστή. Έτσι, όταν ο δείκτης  $C_p$  λαμβάνει την τιμή 1 και η διεργασία περιγράφεται από μια κανονική κατανομή με μέση τιμή  $\mu$  ίση με την κεντρική τιμή του εύρους των προδιαγραφών, τότε το 99.73% των παραγόμενων προϊόντων θα είναι συμμορφούμενα δηλαδή θα βρίσκονται εντός των ορίων προδιαγραφών ή ισοδύναμα το 0.27% των παραγόμενων διεργασιών θα είναι ελαττωματικά. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι όταν ο δείκτης  $C_p$  λαμβάνει την τιμή 1 δεν σημαίνει απαραίτητα ότι το 0.27% των παραγόμενων προϊόντων θα είναι ελαττωματικά αλλά ότι θα παραχθούν το λιγότερο 0.27% προϊόντα που θα είναι ελαττωματικά. Θα μπορούμε να πούμε με βεβαιότητα ότι παράγονται ακριβώς 0.27% ελαττωματικά (μη συμμορφούμενα)

<sup>136</sup> Στεφανία-Στυλιανή Δ. Ξηντάρη, Δείκτες Επίδοσης Διεργασίας και Ποιότητα Έξι Σίγμα, Τμήμα Στατιστικής και Ασφαλιστικής Επιστήμης, Πανεπιστήμιο Πειραιά 2008, σελ. 4.

<sup>137</sup> Byoung-Chul Choi, Donald B. Owen, A study of a new process capability index, Communications in Statistics - Theory and Methods, 19, 1231-1245, 1990.

προϊόντα μόνο όταν η μέση τιμή της διεργασίας είναι ίση με την κεντρική τιμή της περιοχής προδιαγραφών<sup>138</sup>.

Όταν η μέση τιμή της διεργασίας,  $\mu$ , διαφέρει από την κεντρική τιμή του διαστήματος που ορίζουν τα όρια προδιαγραφών δηλαδή όταν  $\mu \neq \frac{1}{2}(LSL + USL)$  και ισχύει  $C_p = 1$  τότε η διεργασία θα παράγει το λιγότερο 0.27% ελαττωματικά προϊόντα. Στη συνέχεια θεωρείται ότι οι τιμές του ποιοτικού χαρακτηριστικού  $X$  που μελετήθηκε, ακολουθεί την κανονική κατανομή με μέση τιμή  $\mu$  και τυπική απόκλιση  $\sigma$ , και έχουν καθοριστεί τα όρια προδιαγραφών  $LSL$  και  $USL$  στη φάση σχεδιασμού της διεργασίας. Η πιθανότητα  $p_c$  να παραχθεί ένα προϊόν εντός των ορίων προδιαγραφών ονομάζεται απόδοση της διεργασίας και δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$p_c = 1 - p_{nc} = 1 - (P(X > USL) + P(X < LSL)) = 1 - (1 - P(LSL < X < USL)) = P(LSL < X < USL) = \Phi\left(\frac{USL - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{LSL - \mu}{\sigma}\right) \quad (9.3)$$

όπου  $\Phi(\cdot)$  είναι η αθροιστική συνάρτηση κατανομής της τυποποιημένης κανονικής κατανομής  $N(0,1)$ <sup>139</sup>. Παρακάτω δείχνεται πως, γνωρίζοντας την τιμή του δείκτη  $C_p$ , μπορεί να υπολογιστεί το όριο το οποίο δεν είναι δυνατόν να υπερβεί η απόδοση της διεργασίας. Στην περίπτωση όπου  $\mu = M = \left(\frac{LSL + USL}{2}\right)$  διαπιστώνεται ότι  $LSL = \mu - 3\sigma C_p$  και  $USL = \mu + 3\sigma C_p$  επομένως:

$$p_c = \Phi\left(\frac{USL - \mu}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{LSL - \mu}{\sigma}\right) = \Phi(3C_p) - \Phi(-3C_p) = 2\Phi(3C_p) - 1 \quad (9.4)$$

Στη γενική περίπτωση και εφόσον  $LSL < \mu < USL$  ισχύουν τα εξής:  $\mu - LSL \leq \frac{USL - LSL}{2}$ ,  $USL - \mu \leq \frac{USL - LSL}{2}$  οπότε  $\Phi\left(\frac{\mu - LSL}{\sigma}\right) \leq \Phi(3C_p)$ ,  $\Phi\left(\frac{USL - \mu}{\sigma}\right) \leq \Phi(3C_p)$  και επομένως θα ισχύει ότι  $p_c \leq 2\Phi(3C_p) - 1$  δηλαδή η υψηλότερη απόδοση που μπορεί να έχει μια διεργασία είναι:

$$2\Phi(3C_p) - 1 \quad (9.5)$$

Σημειώνεται ότι, εάν ο δείκτης  $C_p$  λάβει την τιμή 1.33, τότε η διεργασία θεωρείται ικανοποιητική. Για τιμές μικρότερες του 1.33 η διεργασία θεωρείται ότι χρειάζεται παρακολούθηση ενώ για μικρότερες τιμές του 1 η διεργασία θεωρείται μη

<sup>138</sup> Στεφανία-Στυλιανή Δ. Ξηντάρη, Δείκτες Επίδοσης Διεργασίας και Ποιότητα Έξι Σίγμα, ο.π., Πανεπιστήμιο Πειραιά 2008, σελ. 4-5.

<sup>139</sup> W.L. Pearn, G.H. Lin, K.S. Chen, Distributional and inferential properties of the process accuracy and process precision indices, Communications in Statistics - Theory and Methods., 27, 985-1000, 1998.

ικανοποιητική και χρειάζεται αναθεώρηση του σχεδιασμού. Σύμφωνα με το κλασικό σύγγραμμα του Montgomery (1997), οι ελάχιστες τιμές, τις οποίες η τιμή του δείκτη  $C_p$  θα πρέπει να υπερβαίνει για να θεωρηθεί μια διεργασία ικανή, είναι 1.33 για υπάρχουσα διεργασία, 1.5 για νέα διεργασία, 1.55 για υπάρχουσα διεργασία συσχετιζόμενη με την ασφάλεια του κοινού και τέλος, 1.67 για την νέα διεργασία συσχετιζόμενη με την ασφάλεια του κοινού.

Το βασικό μειονέκτημα του δείκτη  $C_p$  είναι ότι δε λαμβάνει υπόψη το μέσο της διεργασίας. Αυτό έχει ως συνέπεια να μην επηρεάζεται από τη διαφορά του μέσου από την κεντρική τιμή της περιοχής προδιαγραφών και πολλές φορές αδυνατεί να εντοπίσει την περισσότερο ικανή διεργασία. Σε αυτό το σημείο πρέπει να επισημανθεί ότι, για να εξαχθούν ακριβή στατιστικά συμπεράσματα, εκμεταλλευόμενοι ουσιαστικά την τιμή ενός δείκτη επίδοσης διεργασίας, θα πρέπει να έχουν εξασφαλιστεί οι επόμενες τρεις συνθήκες<sup>140</sup>:

1. ότι η διεργασία είναι εντός στατιστικού ελέγχου,
2. ότι η διεργασία περιγράφεται από μία κανονική κατανομή και
3. ότι οι παρατηρήσεις είναι ανεξάρτητες.

### 9.2.2 Εκτίμηση του δείκτη $C_p$ .

Η μοναδική παράμετρος που περιέχεται στον ορισμό του δείκτη  $C_p$  είναι η τυπική απόκλιση,  $\sigma$ , της διαδικασίας. Συνήθως η παράμετρος αυτή είναι άγνωστη και επομένως θα πρέπει να εκτιμηθεί. Έστω ότι μια διεργασία αποδίδει προϊόντα ή διεργασίες των οποίων οι τιμές του ποιοτικού χαρακτηριστικού  $X$  κατανέμονται κανονικά με μέση τιμή  $\mu$  και τυπική απόκλιση  $\sigma$ . Τότε συλλέγεται ένα τυχαίο δείγμα μεγέθους  $n$  έστω  $X_1, X_2, \dots, X_n$  από την υπό εξέταση διαδικασία και εκτιμάται η διασπορά  $\sigma^2$  μέσω της αμερόληπτης δειγματικής διασποράς<sup>141</sup>:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (9.6)$$

Οπού  $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i)}{n}$ . Στη συνέχεια εκτιμάται η τυπική απόκλιση  $\sigma$  μέσω της

δειγματικής τυπικής απόκλισης  $S$  και τέλος ο δείκτης  $C_p$  μέσω της εκτιμήτριας:

$$\hat{C}_p = \frac{USL - LSL}{6S}$$

<sup>140</sup> Στεφανία-Στυλιανή Δ. Ξηντάρη, Δείκτες Επίδοσης Διεργασίας και Ποιότητα Έξι Σίγμα, ο.π., Πανεπιστήμιο Πειραιά 2008, σελ. 5-7.

<sup>141</sup> W.L. Pearn, G.H. Lin, K.S. Chen, Distributional and inferential properties of the process accuracy and process precision indices, Communications in Statistics - Theory and Methods., 27, 985-1000, 1998.

Είναι φανερό ότι η εκτιμήτρια  $S$  δεν είναι αμερόληπτη εκτιμήτρια του  $\sigma$ , ούτε η  $\hat{C}_p$  είναι αμερόληπτη εκτιμήτρια του  $C_p$  αφού :

$$E(\hat{C}_p) = E\left(\frac{USL-LSL}{6S}\right) = \frac{USL-LSL}{6} \cdot E\left(\frac{1}{S}\right) \text{ και επιπλέον } E\left(\frac{1}{S}\right) \neq \frac{1}{E(S)}.$$

Στο γεγονός ότι μια μονομερής προδιαγραφή επισυνάπτεται σε κάποιο χαρακτηριστικό, ο δείκτης ικανότητας μπορεί επίσης να παρουσιαστεί ως  $C_{pl}$  και  $C_{pu}$ . Ο αριστερά πλαισιωμένος δείκτης ικανότητας  $C_{pl}$  ορίζεται ως:

$$C_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}$$

όπου  $\mu$  είναι η μέση τιμή των μετρήσεων, όσον αφορά το μέσο της διαδικασίας, που προκύπτει από ένα δείγμα. Ο  $C_{pl}$  ισχύει όταν οι απαιτήσεις δεν διευκρινίζουν το ανώτερο όριο  $USL$  των προδιαγραφών για μια παράμετρο παραγωγής. Ο δεξιά πλαισιωμένος δείκτης ικανότητας  $C_{pu}$  ορίζεται ως:

$$C_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma}$$

Ομοίως, ο  $C_{pu}$  ισχύει όταν οι απαιτήσεις δε διευκρινίζουν το χαμηλότερο όριο προδιαγραφών  $LSL$  για μια παράμετρο παραγωγής. Το  $USL$  και το  $LSL$  αντιπροσωπεύουν τη μικρότερη χρήσιμη τιμή.

### 9.3. Δείκτης επίδοσης $C_{pk}$ .

Ένας άλλος δείκτης ικανότητας είναι ο  $C_{pk}$ . Ο αριθμός που συνδέεται με το  $C_{pk}$ , δείχνει πόσο μακριά είναι η μέση τιμή  $\mu$  από το κέντρο της προδιαγραφής λαμβάνοντας υπόψη το εύρος της κατανομής. Από μαθηματική άποψη, ο  $C_{pk}$  μπορεί να παρουσιαστεί ως η ελάχιστη τιμή δύο ποσοτήτων<sup>142</sup>.

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{USL-\mu}{3\sigma}, \frac{\mu-LSL}{3\sigma} \right\} \quad (9.7)$$

Η σχέση μεταξύ  $C_{pk}$  και  $C_p$  είναι<sup>143</sup>:

$$C_{pk} = C_p (1 - k) \quad (9.8)$$

Ο παράγοντας  $k$  εκφράζει (ποσοτικά) κατά πόσο η διαδικασία έχει μετατοπιστεί από την ιδανική τιμή (τιμή στόχος) και ισούται με:

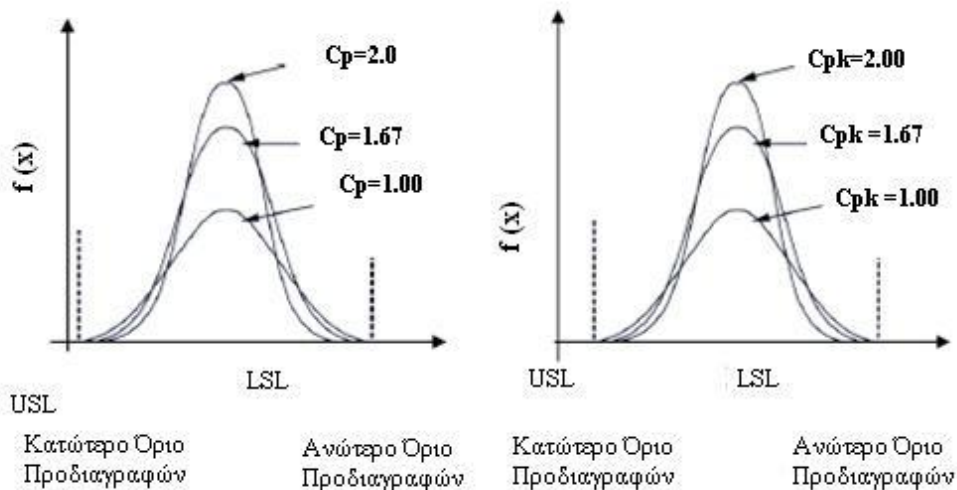
$$k = \frac{|\mu - \mu_0|}{(USL-LSL)/2} \quad (9.9)$$

<sup>142</sup> Chien-Wei Wu, W.L.Pearn, Samuel Kotz, An overview of theory and practice on process capability indices for quality assurance, Int. J. Production Economics 117, 338–359, 2009.

<sup>143</sup> Byoung-Chul Choi, Donald B. Owen, A study of a new process capability index, Communications in Statistics - Theory and Methods, 19, 1231-1245, 1990.

όπου,  $m = [(USL+LSL)/2]$  είναι το μέσο του εύρους των προδιαγραφών και επίσης ισχύει  $0 < k < 1$ .

Μια διαδικασία λέγεται ότι είναι ίση με το επίπεδο ποιότητας Έξι Σίγμα όταν  $C_p = 2,0$  και  $C_{pk} = 1,5$ , το οποίο μεταφράζεται σε 3,4 PPM χρησιμοποιώντας τυποποιημένη μετατόπιση κατά 1.5σ. Αυτός ο θεμελιώδης στόχος του Έξι Σίγμα σημαίνει να είναι ικανός να παραγάγει τουλάχιστον 99,99966% ποιότητα σε οποιοδήποτε επίπεδο βημάτων και μερών διαδικασίας συναρμολόγησης. Το **Σχήμα 9.4.** επεξηγεί πώς η κατανομή μιας διάστασης θα μπορούσε να συνδέεται με μια προδιαγραφή, παράγοντας τους διάφορους δείκτες ικανότητας διαδικασίας  $C_{pk}$  και  $C_p$ .<sup>144</sup>



**Σχήμα 9.4.:** Παραδείγματα  $C_p$  και  $C_{pk}$  (Breyfogle 2001).

#### 9.4. Μετατροπή από PPM σε επίπεδο ποιότητας Σίγμα.

Το ποσοστό ελαττωματικών μερών (PPM) ή ο ρυθμός ατελειών ανά εκατομμύριο ευκαιριών (*Defects Per Million Opportunities - DPMO*) μπορεί να μετατραπεί σε μονάδα μέτρησης Έξι Σίγμα που λαμβάνει υπόψη μετατόπιση κατά 1.5σ. Αυτή η σχέση επιπέδου ποιότητας σίγμα με την μετατόπιση κατά 1.5σ μπορεί να προσεγγιστεί από την εξίσωση<sup>145</sup> (Breyfogle 1999):

$$\text{Επίπεδο Ποιότητας Σίγμα} = 0.8406 + \sqrt{29.37 - 2.221 \ln (ppm)} \quad (9.10)$$

<sup>144</sup> Μπλέσιος Ν., Σημειώσεις διαλέξεων του μαθήματος της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας ο.π., Πανεπιστήμιο Πειραιά, 2005, σελ. 10-11.

<sup>145</sup> Μπλέσιος Ν., Σημειώσεις διαλέξεων του μαθήματος της Διοίκησης Ολικής Ποιότητας ο.π., Πανεπιστήμιο Πειραιά, 2005, σελ. 12.

## **ΒΙΒΛΙΟΦΡΑΦΙΑ**

### **Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία.**

1. Chien-WeiWu, W.L.Pearn, Samuel Kotz, An overview of theory and practice on process capability indices for quality assurance, *Int. J. Production Economics* 117, 338–359, 2009.
2. Byoung-Chul Choi, Donald B. Owen, A study of a new process capability index, *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 19, 1231-1245 1990.
3. W.L. Pearn, G.H. Lin, K.S. Chen, Distributional and inferential properties of the process accuracy and process precision indices, *Communications in Statistics - Theory and Methods.*, 27, 985-1000, 1998.

### **Ελληνική Βιβλιογραφία.**

4. Στεφανία-Στυλιανή Δ. Ξηντάρη, Δείκτες Επίδοσης Διεργασίας και Ποιότητα Έξι Σίγμα, Τμήμα Στατιστικής και Ασφαλιστικής Επιστήμης, Πανεπιστήμιο Πειραιά 2008.
5. Μπλέσιος, Ν., Σημειώσεις διαλέξεων του μαθήματος της *Διοίκησης Ολικής Ποιότητας* του Διαπανεπιστημιακού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Τεχνοοικονομικά Συστήματα», Πανεπιστήμιο Πειραιά 2005.



## **ΕΠΙΛΟΓΟΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.**

Οι δυσκολίες και οι αβεβαιότητες εξαρτώνται από το μέγεθος, την πολυπλοκότητα, την καινοτομία και την τεχνική εξειδίκευση. Συχνά απαρτίζονται από την παρουσία περιορισμών επάνω στο χρόνο και στους φυσικούς πόρους κατά την εκτέλεση και συχνά επιδεινώνονται από τους συγκρουόμενους στόχους των επιμέρους δραστηριοτήτων που εμπλέκονται. Η ανάλυση κινδύνου αναλαμβάνει να παρουσιάσει εάν το πρόγραμμα δεν προχωρά σύμφωνα με το σχέδιο λόγω πιθανών κινδύνων και προειδοποιεί τον υπεύθυνο για το πώς πρέπει να ανταποκριθεί και να τους αντιμετωπίσει. Η ανάλυση και η εκτίμηση κινδύνων δεν εκτελείται μόνο στην αρχή του έργου αλλά σε όλα τα διάφορα στάδια εξέλιξης του και όσο αυτό εξελίσσεται οι αποφάσεις παίρνονται με μεγαλύτερη αντικειμενικότητα.

Οι μέθοδοι της ανάλυσης κινδύνου ταξινομούνται σε δύο βασικές κατηγορίες: κλασικά μοντέλα (ανάλυση πιθανότητας και προσομοίωση Μόντε Κάρλο) και εννοιολογικά μοντέλα (ανάλυση ασαφών συνόλων). Τα μοντέλα πιθανότητας πάσχουν από δύο σημαντικούς περιορισμούς. Μερικά μοντέλα απαιτούν λεπτομερείς ποσοτικές πληροφορίες που δεν είναι συνήθως διαθέσιμες κατά την διάρκεια του προγραμματισμού και η δυνατότητα εφαρμογής τέτοιων μοντέλων στην πραγματική ανάλυση κινδύνου είναι περιορισμένη, επειδή οι υπηρεσίες που συμμετέχουν στο έργο έχουν πρόβλημα με τη λήψη σχολαστικών αποφάσεων. Τα προβλήματα είναι λάθος ορισμένα και αόριστα και συνεπώς απαιτούν υποκειμενικές αξιολογήσεις που τα κλασικά πρότυπα δεν μπορούν να χειριστούν. Η χρήση της ασαφούς λογικής βοηθά στο να ποσοτικοποιηθούν οι υποκειμενικές αξιολογήσεις και θεωρείται κατάλληλη για την ανακρίβεια και την αβεβαιότητα που συνδέεται με τα δεδομένα στα προβλήματα αξιολόγησης κινδύνου.

Οι σημερινές απαιτήσεις παραγωγής, στενότητας μέσων και ανταγωνισμού επιβάλλουν την εφαρμογή των ποσοτικών μεθόδων οργάνωσης. Η εφαρμογή τους πρέπει να γίνεται σε όλο το κύκλωμα, που συμμετέχει στην παραγωγή του έργου. Οι ποσοτικές μέθοδοι παρέχουν με κατάλληλη θεώρηση, μαθηματικά υποδείγματα για τη λήψη βέλτιστων αποφάσεων που οδηγούν στη βελτίωση παραγωγικών διαδικασιών.

Η CPM χρησιμοποιείται πιο συχνά σε κατασκευαστικά έργα όπου τα υλικά και οι δραστηριότητες είναι δεδομένα. Αντί να εστιάζει στον υπολογισμό της

αβεβαιότητας στις εκτιμήσεις των χρονικών διαρκειών, εστιάζει στην ελαχιστοποίηση του κόστους των έργων.

Η πιθανολογική προσέγγιση PERT παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με την ντετερμινιστική μέθοδο CPM καθώς χρησιμοποιεί κάποια κατάλληλη κατανομή (συνήθως την κατανομή Βήτα) και υπολογίζει την μέση τιμή και την διακύμανση για κάθε δραστηριότητα, λαμβάνοντας ουσιαστικά υπόψη την πιθανή μεταβλητότητα στην οποία υπόκειται συχνά οι χρονικές διάρκειες των διαφόρων δραστηριοτήτων. Όμως χρησιμοποιώντας τις μέσες τιμές που προκύπτουν καταλήγει στον υπολογισμό μιας ντετερμινιστικής τιμής για την αναμενόμενη μέση διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου. Παράλληλα, τόσο στον υπολογισμό της αναμενόμενης διάρκειας ολοκλήρωσης του έργου όσο και στον καθορισμό της κρίσιμης διαδρομής δεν λαμβάνονται υπόψη οι διακυμάνσεις των χρονικών διαρκειών των δραστηριοτήτων. Συγκεκριμένα στην κρίσιμη διαδρομή ανήκουν μόνο οι δραστηριότητες εκείνες που παρουσιάζουν μηδενικό συνολικό περιθώριο χρόνου. Επιπλέον το γεγονός ότι κατά τους υπολογισμούς που πραγματοποιούνται, στην μέθοδο PERT χρησιμοποιείται μόνο η μέση τιμή των δραστηριοτήτων για να φτάσει στην κρίσιμη διαδρομή, οδηγεί στον υπολογισμό μιας *αισιόδοξης* εκτίμησης της μέσης διάρκειας του έργου σε σχέση με την πραγματική μέση διάρκεια.

Η έννοια της κρισιμότητας σύμφωνα με τη θεώρηση αυτή, περιορίζεται σε μία τιμή της μορφής κρίσιμη/ μη κρίσιμη με μόνο κριτήριο το συνολικό περιθώριο των εργασιών. Ένα από τα προβλήματα που δημιουργούνται από τη δίτιμη αυτή λογική είναι ότι δραστηριότητες που είναι τυπικά μη κρίσιμες, δηλαδή το περιθώριο τους είναι μη μηδενικό ή παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση στον χρόνο εκτέλεσης τους, δεν εμπεριέχονται στην κρίσιμη διαδρομή και έτσι δεν δίνεται σε αυτές η απαραίτητη προσοχή τόσο κατά τον προγραμματισμό όσο και κατά την εκτέλεση του έργου και κατά συνέπεια μπορεί να βρίσκονται πολύ κοντά στην έννοια της κρισιμότητας με την ευρύτερη έννοια.

Η χρήση Ασαφούς Λογικής σε συνδυασμό με τα παραπάνω για τον καθορισμό της κρισιμότητας των δραστηριοτήτων ενός έργου αποδεικνύεται αποτελεσματική καθώς είναι δυνατό να υπολογιστούν περισσότερες από μια κρίσιμες διαδρομές και ο βαθμός κρισιμότητας τους.

Γενικά, η Ασαφής Λογική προσφέρει ένα εκτεταμένο πεδίο διερεύνησης για την εφαρμογή των αρχών της στην Διαχείριση Έργου. Ο συνδυασμός αυτών των δυο

επιστημών μπορεί ίσως να οδηγήσει σε μοντέλα λήψης αποφάσεων που θα προσφέρουν τα βέλτιστα αποτελέσματα.

Η μέθοδος Έξι Σίγμα αποτελεί μια ολοκληρωμένη τεχνική επιχειρησιακής βελτίωσης. Περιέχει ένα σύνολο πρακτικών που επιτρέπει σε εταιρίες και οργανισμούς να αυξήσουν την αποδοτικότητα και την αποτελεσματικότητά τους και να βελτιώσουν την ποιότητα ελαχιστοποιώντας τις ατέλειες και τα λάθη. Αποτελεί μια ποσοτική μέθοδο που παράγει καλύτερα αποτελέσματα από οποιαδήποτε άλλη ποιοτική μέθοδο και βασίζεται σε μια επιστημονική ανάλυση στοιχείων και μια συνεχή αναζήτηση για αποδοτικότερες λύσεις με απώτερο σκοπό την ικανοποίηση των καταναλωτών. Ο βαθμός ικανοποίησης των καταναλωτών επηρεάζεται από το τελικό προϊόν και συγκεκριμένα από την ποιότητα και το κόστος. Τα οφέλη από τη συγκεκριμένη μέθοδο εντοπίζονται σε όλα τα επίπεδα μιας επιχείρησης. Οι επιχειρήσεις υιοθετούν όλο και περισσότερο τη μέθοδο Έξι Σίγμα στην προσπάθεια να βελτιώσουν την ποιότητα και να αυξήσουν την παραγωγικότητά τους για να διατηρήσουν μια κυρίαρχη θέση στην αγορά. Για να συμβάλει η μέθοδος Έξι Σίγμα στη μακροπρόθεσμη επιτυχία μιας επιχείρησης θα πρέπει να κατορθώσει να παραμείνει σε υψηλά επίπεδα η παραγωγικότητα, η ποιότητα και η καινοτομία.