

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΤΜΗΜΑ LOGISTICS**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

***ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΚΡΙΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ  
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΣΑΦΟΥΣ ΛΟΓΙΚΗΣ***

**ΛΕΚΟΥ ΒΑΡΒΑΡΑ**

**Επιβλέπων: ΕΜΙΡΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

**ΑΘΗΝΑ, Σεπτέμβριος 2005**

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαδικασία της συμπίεσης της χρονικής διάρκειας ενός έργου, είναι μια αναγκαιότητα την οποία οι διοικητές των έργων καλούνται συχνά να αντιμετωπίσουν. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος είναι η συμπίεση της διάρκειας των δραστηριοτήτων του έργου, οι οποίες έχουν χαρακτηριστεί ως κρίσιμες σύμφωνα με την μέθοδο της Κρισίμου Διαδρομής (*Critical Path Method*). Η έννοια της κρισιμότητας σύμφωνα με τη θεώρηση αυτή, περιορίζεται σε μία δίτιμη λογική 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, μπορεί να έχουν πολύ μικρό περιθώριο ή να προκύπτουν άλλου είδους προβλήματα από την συμπίεσή τους και κατά συνέπεια να βρίσκονται πολύ κοντά στην έννοια της κρισιμότητας με την ευρύτερη έννοια. Η παρούσα εργασία έχει σαν αντικείμενο μελέτης της την ανάπτυξη ενός Συστήματος Υποστήριξης Απόφασης με χρήση Ασαφούς Λογικής για τον καθορισμό της κρισιμότητας των δραστηριοτήτων ενός έργου.

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της ολοκλήρωσης της φοίτησής μου στο μεταπτυχιακό τμήμα Logistics του τμήματος Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Πειραιά. Η πραγματοποίηση της έγινε υπό την ευθύνη του Λέκτορα του τμήματος κ. Δημήτρη Εμίρη.

Αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Δ. Εμίρη για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε και την καθοριστική συνεισφορά του σε κρίσιμα σημεία της εκπόνησής της. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Φίλιππο Καμπούκο για την πολύτιμη βοήθεια και συμπαράσταση που μου πρόσφερε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας μου.

## Περιεχόμενα σχέσεων, πινάκων, σχημάτων- διαγραμμάτων

A/A	Περιγραφή	σελ.
<b>Σχέσεις</b>		
2.1	κόστος συμπίεσης	57
2.2	κόστος υπερανάθεσης	58
3.1	τελεστής AND	89
3.2	τελεστής OR	89
3.3	τελεστής NOT	89
3.4	κανόνας max-min	96
3.5	κανόνας max-product	97
4.1	υπολογισμός κρισιμότητας δραστηριότητας	113
4.2	μεταβλητή εισόδου: κόστος συμπίεσης Cc	117
4.3	μεταβλητή εισόδου: κόστος υπερανάθεσης C <sub>ov</sub>	117
4.4	μεταβλητή εισόδου: κόστος παγίων C <sub>mash</sub>	117
4.5	μεταβλητή εισόδου: συνολικό περιθώριο St	117
4.6	μεταβλητή εισόδου: ελεύθερο περιθώριο Sf	117
4.7	μεταβλητή εισόδου: διάρκεια δραστηριότητας DU	117
4.8	μεταβλητή εισόδου: βαθμός κινδύνου RR	118
<b>Πίνακες</b>		
2.1	λίστα κινδύνων	68
2.2	βαθμολόγηση επίπτωσης κινδύνων	70
2.3	τελική κατάταξη κινδύνων	75
2.4	βαθμολόγηση χαρακτηριστικών δραστηριότητας	79
3.1	ορισμός ασαφών τελεστών	90
4.1	μεταβλητές των ασαφών συστημάτων	118
5.1	διαθέσιμο προσωπικό έργου και αμοιβές αυτού	145
5.2	δραστηριότητες έργου	146
5.3	δραστηριότητες κρίσιμης διαδρομής	148
5.4	κόστος συμπίεσης εργασιών κρίσιμης διαδρομής	149
5.5	τιμές εισόδων ασαφούς συστήματος κόστους	154
5.6	τιμές εισόδων ασαφούς συστήματος διάρκειας	155
5.7	αριθμητικά δεδομένα για βαθμολόγηση κινδύνου	156
5.8	τιμές εισόδων ασαφούς συστήματος κινδύνου	157
5.9	χαρακτηριστικά κρίσιμων δραστηριοτήτων	165
<b>Σχήματα - Διαγράμματα</b>		
2.1	καμπύλες κόστους	56
3.1	παράδειγμα ασαφούς συνόλου	83
3.2	παράδειγμα συναρτήσεων συμμετοχής	92
3.3	δομή ασαφούς ελεγκτή	98
3.4	παράδειγμα λειτουργίας ασαφούς αλγόριθμου	102
4.1	απεικόνιση συστήματος υπολογισμού κρισιμότητας	114
4.2	συναρτήσεις συμμετοχής Cc, C <sub>ov</sub> , C <sub>mash</sub> , CRc	121
4.3	συναρτήσεις συμμετοχής St	122
4.4	συναρτήσεις συμμετοχής Sf	122
4.5	συναρτήσεις συμμετοχής DU	123
4.6	συναρτήσεις συμμετοχής CRd	123
4.7	συναρτήσεις συμμετοχής RR, CRr	124
4.8	απεικόνιση συστήματος κόστους	125
4.9	απεικόνιση συστήματος διάρκειας	126
4.10	απεικόνιση συστήματος κινδύνου	126

<b>Α/Α</b>	<b>Περιγραφή</b>	<b>σελ.</b>
<b>Σχήματα - Διαγράμματα</b>		
4.11	επιφάνεια απόφασης CRc - Cc/Cov	135
4.12	επιφάνεια απόφασης CRc - Cc/Cmash	135
4.13	επιφάνεια απόφασης CRc - Cov/Cmash	136
4.14	διάγραμμα απόφασης CRc-Cc	137
4.15	διάγραμμα απόφασης CRc-Cov	137
4.16	διάγραμμα απόφασης CRc-Cmash	138
4.17	επιφάνεια απόφασης CRd - St/Sf	139
4.18	επιφάνεια απόφασης CRd - St/DU	139
4.19	επιφάνεια απόφασης CRd - Sf/DU	140
4.20	διάγραμμα απόφασης CRd-St	141
4.21	διάγραμμα απόφασης CRd-Sf	141
4.22	διάγραμμα απόφασης CRd-DU	142
4.23	διάγραμμα απόφασης CRr - RR	143
5.1	Αρχικό διάγραμμα Gantt	145
5.2	Διάγραμμα Gantt μετά το πρώτο βήμα συμπίεσης	146
5.3	Διάγραμμα Gantt μετά το δεύτερο βήμα συμπίεσης	148
5.4	Διάγραμμα Gantt μετά το τρίτο βήμα συμπίεσης	149
5.5	Διάγραμμα Gantt μετά το τέταρτο βήμα συμπίεσης	152

<b>1.Εισαγωγή στη διαχείριση έργου</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Εισαγωγή</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Διοίκηση Έργων</b>	<b>2</b>
<b>1.2.1 Διοίκηση ολοκλήρωσης έργου [1]</b>	<b>3</b>
1.2.1.1 Ανάπτυξη σχεδίου έργου	4
1.2.1.2 Εκτέλεση σχεδίου έργου	4
1.2.1.3 Ολοκληρωμένος έλεγχος αλλαγών	5
<b>1.2.2 Διοίκηση αντικειμένου έργου [1]</b>	<b>6</b>
1.2.2.1 Έναρξη	6
1.2.2.2 Σχεδιασμός αντικειμένου	6
1.2.2.3 Ορισμός αντικειμένου	7
1.2.2.4 Επαλήθευση αντικειμένου	8
1.2.2.5 Έλεγχος αλλαγών αντικειμένου	8
<b>1.2.3 Διοίκηση χρόνου έργου [1]</b>	<b>9</b>
1.2.3.1 Ορισμός Δραστηριοτήτων	9
1.2.3.2 Ακολουθία Δραστηριοτήτων	10
1.2.3.3 Εκτίμηση Διάρκειας Δραστηριοτήτων	12
1.2.3.4 Ανάπτυξη Χρονοδιαγράμματος	13
1.2.3.5 Έλεγχος Χρονοδιαγράμματος	17
<b>1.2.4 Διοίκηση κόστους έργου [1]</b>	<b>18</b>
1.2.4.1 Σχεδιασμός Πόρων	19
1.2.4.2 Εκτίμηση Κόστους	19
1.2.4.3 Προϋπολογισμός Κόστους	21
1.2.4.4 Έλεγχος Κόστους	21
<b>1.2.5 Διοίκηση ποιότητας έργου [1]</b>	<b>23</b>
1.2.5.1 Σχεδιασμός Ποιότητας	24
1.2.5.2 Διασφάλιση Ποιότητας	26
1.2.5.3 Έλεγχος Ποιότητας	26
<b>1.2.6 Διοίκηση ανθρώπινων πόρων έργου [1]</b>	<b>28</b>
1.2.6.1 Οργανωσιακός Σχεδιασμός	28
1.2.6.2 Απόκτηση Προσωπικού	29
1.2.6.3 Ανάπτυξη Ομάδας	30
<b>1.2.7 Διοίκηση επικοινωνιών έργου [1]</b>	<b>32</b>
1.2.7.1 Σχεδιασμός Επικοινωνιών	32
1.2.7.2 Διανομή Πληροφοριών	33
1.2.7.3 Αναφορές Απόδοσης	34
1.2.7.4 Διαχειριστική Ολοκλήρωση	36
1.2.8 Διοίκηση κινδύνων έργου [1]	36
1.2.8.1 Σχεδιασμός Διοίκησης Κινδύνων	37
1.2.8.2 Αναγνώριση Κινδύνων	37
1.2.8.3 Ποιοτική Ανάλυση Κινδύνων	39
1.2.8.4 Ποσοτική Ανάλυση Κινδύνων	41
1.2.8.5 Σχεδιασμός Απόκρισης σε Κινδύνους	43
1.2.8.6 Παρακολούθηση και Έλεγχος Κινδύνων	45
<b>1.2.9 Διοίκηση προμηθειών έργου [1]</b>	<b>47</b>
1.2.9.1 Σχεδιασμός Προμηθειών	47
1.2.9.2 Σχεδιασμός Προσκλήσεων Ενδιαφέροντος	48
1.2.9.3 Προσκλήσεις Ενδιαφέροντος	48
1.2.9.4 Επιλογή Πηγών	49
1.2.9.5 Διαχείριση Συμβάσεων	50
1.2.9.6 Κλείσιμο Συμβάσεων	51
<b>2. Συμπύεση χρονοδιαγράμματος- Κρισιμότητα εργασιών</b>	<b>53</b>

<b>2.1</b>	<b>Εισαγωγή</b>	<b>53</b>
<b>2.2</b>	<b>Κριτήρια κρισιμότητας</b>	<b>54</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Κόστος</b>	<b>54</b>
2.2.1.1	Κόστος συμπίεσης	57
2.2.1.2	Κόστος υπερανάθεσης	57
2.2.1.3	Πάγιο κόστος	58
<b>2.2.2</b>	<b>Διάρκεια</b>	<b>58</b>
2.2.2.1	Συνολικό περιθώριο δραστηριότητας	62
2.2.2.2	Διάρκεια δραστηριότητας	63
2.2.2.3	Ελεύθερο Περιθώριο δραστηριότητας	63
<b>2.2.3</b>	<b>Κίνδυνος</b>	<b>64</b>
<b>3.</b>	<b>Ασαφής λογική (fuzzy logic)</b>	<b>81</b>
<b>3.1</b>	<b>Εισαγωγή στην ασαφή λογική</b>	<b>81</b>
<b>3.2</b>	<b>Βασικοί Όροι και Ορισμοί</b>	<b>84</b>
3.2.1	Πράξεις σε Ασαφή Σύνολα	85
3.2.2	Αλγεβρικές Ιδιότητες	86
3.2.3	Λεκτικές Μεταβλητές	87
3.2.4	Τελεστές Ασαφούς Λογικής	89
3.2.5	Συναρτήσεις Συμμετοχής	90
3.2.6	Ασαφείς Δηλώσεις - Αλγόριθμοι	93
3.2.7	Ασαφείς Συνεπαγωγές	94
<b>3.3</b>	<b>Δομή Συστήματος Ασαφούς Λογικής</b>	<b>97</b>
3.3.1	Ασαφοποίηση εισόδων	98
3.3.2	Εφαρμογή μεθόδου συνεπαγωγής	99
3.3.3	Ομαδοποίηση εξόδων	99
3.3.4	Απο-ασαφοποίηση	100
<b>3.4</b>	<b>Βιβλιογραφική ανασκόπηση [9]</b>	<b>103</b>
3.4.1	Διαχείριση ποιότητας	104
3.4.2	Προγραμματισμός έργων	106
3.4.3	Επιλογή τοποθεσίας και διάταξη εγκαταστάσεων	108
3.4.4	Προγραμματισμός παραγωγής και διαχείριση αποθεμάτων	110
<b>4.</b>	<b>Μοντελοποίηση συστήματος</b>	<b>113</b>
<b>4.1</b>	<b>Εισαγωγή</b>	<b>113</b>
<b>4.2</b>	<b>Παρουσίαση Fuzzy Toolbox Matlab7</b>	<b>115</b>
<b>4.3</b>	<b>Μοντελοποίηση συστήματος</b>	<b>116</b>
4.3.1	Ορισμός γλωσσικών μεταβλητών	116
4.3.2	Ορισμός συναρτήσεων συμμετοχής	119
4.3.3	Ορισμός τελεστών, συνεπαγωγής, απο-ασαφοποίησης	124
4.3.4	Βάσεις κανόνων	127
4.3.5	Συντελεστές βαρύτητας	134
<b>5.</b>	<b>Παράδειγμα εφαρμογής</b>	<b>145</b>
<b>5.1</b>	<b>Δεδομένα παραδείγματος</b>	<b>145</b>
<b>5.2</b>	<b>Συμπίεση εργασιών μέσω CPM</b>	<b>147</b>
<b>5.3</b>	<b>Συμπίεση εργασιών μέσω ασαφούς συστήματος</b>	<b>153</b>
<b>6.</b>	<b>Συμπεράσματα</b>	<b>167</b>

# 1.Εισαγωγή στη διαχείριση έργου

## 1.1 Εισαγωγή

Από την αρχαιότητα ως σήμερα, οι άνθρωποι έθεταν στόχους τους οποίους πραγματοποιούσαν εργαζόμενοι σε ομάδες και ορίζοντας συγκεκριμένες εργασίες που έπρεπε να ολοκληρωθούν για να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Με άλλα λόγια είναι εμφανής από πολύ παλιά η λογική του σχεδιασμού και της ολοκλήρωσης έργων προκειμένου να επέλθει το ζητούμενο αποτέλεσμα.

Ως έργο μπορεί να οριστεί, σύμφωνα με τον οδηγό διοίκησης έργων [1], μια προσωρινή προσπάθεια που εκτελείται προκειμένου να δημιουργήσει ένα μοναδικό προϊόν ή υπηρεσία. Η έννοια της προσωρινότητας έγκειται στο ότι κάθε έργο έχει μια ορισμένη αρχή και τέλος, ανεξάρτητα από την διάρκειά του, ενώ το αποτέλεσμα ενός έργου, προϊόν ή υπηρεσία, διαφέρει κατά τρόπο ξεχωριστό από όλα τα υπόλοιπα προϊόντα ή υπηρεσίες και γι' αυτό είναι μοναδικό.

Τα έργα αναλαμβάνονται σε όλα τα επίπεδα ενός οργανισμού. Μπορεί να εμπλέκουν ένα μόνο πρόσωπο ή πολλές χιλιάδες. Όπως προαναφέρθηκε, η διάρκειά τους μπορεί να κυμαίνεται από λίγες εβδομάδες ως και αρκετά χρόνια. Ανάλογα με το είδος του έργου και την οργανωτική δομή του οργανισμού που το εκτελεί, τα έργα μπορεί να εμπλέκουν ένα μόνο τμήμα του οργανισμού ή να διασχίζουν τα οργανωσιακά όρια, όπως συμβαίνει σε κοινές επενδύσεις και συνεταιρισμούς. Τα έργα είναι κρίσιμα για την επίτευξη της επιχειρηματικής πολιτικής ενός οργανισμού καθώς αποτελούν το μέσο υλοποίησης της στρατηγικής του. Παραδείγματα έργων περιλαμβάνουν τα παρακάτω:

- Ανάπτυξη ενός νέου προϊόντος ή υπηρεσίας
- Επιβολή αλλαγών στη δομή ή τον τύπο ενός οργανισμού
- Ανάπτυξη ενός νέου πληροφοριακού συστήματος

- Κατασκευή κτιρίων
- Κατασκευή οδικών αρτηριών, γεφυρών, δικτύων ύδρευσης
- Εκτέλεση μιας προεκλογικής εκστρατείας
- Υλοποίηση μιας νέας επιχειρηματικής διαδικασίας ή λειτουργίας.

Ανεξάρτητα από το είδος του έργου (αν το αποτέλεσμα θα είναι προϊόν ή υπηρεσία) , όλα τα έργα έχουν τρία κοινά χαρακτηριστικά: εκτελούνται από ανθρώπους, περιορίζονται από τους διαθέσιμους πόρους και τέλος προγραμματίζονται, εκτελούνται και ελέγχονται.

## 1.2 Διοίκηση Έργων

Η συστηματική διοίκηση και διαχείριση των έργων προέκυψε από τις συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες για πολυπλοκότερα, ανώτερης ποιότητας, διαφοροποιημένα προϊόντα και υπηρεσίες, σε συνδυασμό με την αυξανόμενη ανθρώπινη γνώση. Για να παρέχονται τέτοια προϊόντα χρειάζεται η σωστή εκτέλεση ενός πλάνου σχεδίασης, παραγωγής και διανομής των προϊόντων ενώ η αύξηση της ανθρώπινης γνώσης επιτρέπει τη συμβολή διάφορων ακαδημαϊκών αρχών και θεωριών στην ανάπτυξη προϊόντων και υπηρεσιών. [8]

*Η διοίκηση έργων* είναι στην ουσία η εφαρμογή γνώσεων, ικανοτήτων, εργαλείων και τεχνικών στις δραστηριότητες ενός έργου προκειμένου να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις του έργου. Με άλλα λόγια, παρέχει στον οργανισμό που εκτελεί το έργο, βοήθεια ώστε να βελτιστοποιήσει το σχεδιασμό, την οργάνωση, την εφαρμογή και τον έλεγχο των λειτουργιών που αποτελούν το έργο.

Μπορούμε να πούμε ότι τα εργαλεία και οι αρχές που διακρίνουν την διοίκηση έργων, παρέχουν τα μέσα για συστηματικότερη:

- ανάλυση και ομαδοποίηση των εργασιών που αποτελούν το έργο
- καθορισμό αλληλεπιδράσεων μεταξύ των εργασιών του έργου
- ανάθεση και ανακατανομή των πόρων του έργου (υλικά και ανθρώπινο δυναμικό)
- εκτίμηση του κόστους και της χρονικής διάρκειας του έργου και τέλος,



- παρακολούθηση της εξέλιξης του έργου.

Σκοπός της εφαρμογής αυτών των τεχνικών και εργαλείων είναι η μείωση του κόστους και της διάρκειας του έργου σε συνδυασμό με την αύξηση της ποιότητας του προϊόντος ή της υπηρεσίας. [8]

Ο όρος διοίκηση έργων χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια οργανωσιακή προσέγγιση στη διοίκηση τρεχουσών λειτουργιών. Η προσέγγιση αυτή διαχειρίζεται πολλές πτυχές τρεχουσών λειτουργιών ως έργα προκειμένου να εφαρμόσει σε αυτές τις αρχές που τη διέπουν. Όπως γίνεται λοιπόν κατανοητό, οι διάφορες λειτουργίες και διαδικασίες που ακολουθούνται κατά τη διάρκεια εκτέλεσης ενός έργου εμπίπτουν σε ορισμένους τομείς διοίκησης προκειμένου να υπάρχει σωστότερη αντιμετώπιση του έργου. Οι τομείς αυτοί είναι:

- διοίκηση ολοκλήρωσης έργου
- διοίκηση αντικειμένου του έργου
- διοίκηση χρόνου έργου
- διοίκηση κόστους έργου
- διοίκηση ποιότητας έργου
- διοίκηση ανθρωπίνου δυναμικού του έργου
- διοίκηση επικοινωνιών έργου
- διοίκηση κινδύνου έργου
- διοίκηση προμηθειών έργου

Ακολουθεί μια πιο αναλυτική παρουσίαση των τομέων αυτών και των τεχνικών που εφαρμόζονται σε κάθε τομέα.

### **1.2.1 Διοίκηση ολοκλήρωσης έργου [1]**

Η διοίκηση ολοκλήρωσης έργου περιλαμβάνει τις διαδικασίες που απαιτούνται ώστε να διασφαλιστεί ότι τα διάφορα στοιχεία του έργου συντονίζονται σωστά. Περιέχει την πραγματοποίηση των αντισταθμίσεων μεταξύ των ανταγωνιστικών αντικειμενικών στόχων και των εναλλακτικών λύσεων ώστε να επιτευχθούν ή να ξεπεραστούν οι

ανάγκες και οι προσδοκίες των συντελεστών του έργου. Περιλαμβάνει τις ακόλουθες κύριες διαδικασίες:

1. Ανάπτυξη σχεδίου έργου
2. Εκτέλεση σχεδίου έργου και
3. Ολοκληρωμένος έλεγχος αλλαγών

Η διοίκηση ολοκλήρωσης έργου έρχεται στο προσκήνιο όταν απαιτείται μια εκτίμηση κόστους για ένα σχέδιο εκτάκτου ανάγκης ή όταν πρέπει να προσδιοριστούν οι κίνδυνοι που σχετίζονται με διάφορες εναλλακτικές λύσεις στελέχωσης.

#### **1.2.1.1 Ανάπτυξη σχεδίου έργου**

Πρόκειται για την ολοκλήρωση και το συντονισμό όλων των σχεδίων του έργου ώστε να δημιουργηθεί ένα συνεπές και συνεκτικό κείμενο. Οι τεχνικές και τα εργαλεία που συναντώνται σε αυτή την φάση είναι:

1. *Μεθοδολογία σχεδιασμού έργου*. Μπορεί να είναι απλή όπως συγκεκριμένες φόρμες και πρότυπα ή σύνθετη όπως μια σειρά προσομοιώσεων όπως η ανάλυση Monte Carlo για τον κίνδυνο στο χρονικό προγραμματισμό.
2. *Ικανότητες και γνώσεις συντελεστών*
3. *Πληροφοριακό σύστημα διοίκησης έργων*
4. *Διοίκηση Δεδουλεμένης Αξίας*. Είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για την ολοκλήρωση του αντικειμένου, του χρονοδιαγράμματος και των πόρων του έργου, καθώς και για τη μέτρηση και την αναφορά της απόδοσης του έργου από την εκκίνηση μέχρι το κλείσιμο.

#### **1.2.1.2 Εκτέλεση σχεδίου έργου**

Σε αυτή τη φάση γίνεται εκπόνηση του σχεδίου έργου με εκτέλεση των εμπεριεχομένων δραστηριοτήτων. Συναντώνται οι παρακάτω τεχνικές:

1. *Γενικές ικανότητες διοίκησης*
2. *Ικανότητες και γνώσεις για το προϊόν*

3. **Σύστημα έγκρισης εργασιών.** Πρόκειται για μια διαδικασία για την επικύρωση των εργασιών ώστε να διασφαλιστεί ότι οι εργασίες θα γίνουν στο σωστό χρόνο και με τη σωστή σειρά.
4. **Συναντήσεις ανασκόπηση τρέχουσας κατάστασης.** Είναι τακτικά ορισμένες συναντήσεις για την ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με το έργο.
5. **Πληροφοριακό σύστημα διοίκησης έργων**
6. **Οργανωσιακές διαδικασίες**

### 1.2.1.3 Ολοκληρωμένος έλεγχος αλλαγών

Η διαδικασία αυτή ασχολείται με τον επηρεασμό των παραγόντων που δημιουργούν αλλαγές ώστε να διασφαλιστεί ότι οι αλλαγές αυτές είναι οι συμφωνημένες, με την επιβεβαίωση ότι μια αλλαγή έχει επισυμβεί και τέλος, με τη διοίκηση των πραγματικών αλλαγών όταν και εάν συμβούν. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη φάση είναι οι ακόλουθες:

1. **Σύστημα ελέγχου αλλαγών:** Πρόκειται για συλλογή από επίσημες, καταγεγραμμένες διαδικασίες που ορίζει με ποιόν τρόπο θα παρακολουθείται και θα αξιολογείται η απόδοση του έργου, ενώ περιλαμβάνει και διαδικασίες διαχείρισης αλλαγών που μπορούν να εγκριθούν χωρίς προηγούμενη ανασκόπηση ως αποτέλεσμα επειγουσών καταστάσεων.
2. **Διοίκηση διαμορφώσεων.** Περιλαμβάνει οποιαδήποτε καταγεγραμμένη διαδικασία που χρησιμοποιείται για την εφαρμογή τεχνικών και διοικητικών κατευθύνσεων και επισκοπήσεων σε θέματα προσδιορισμού και καταγραφής των λειτουργικών και φυσικών χαρακτηριστικών ενός συστήματος, ελέγχου και καταγραφής αλλαγών στα χαρακτηριστικά των συστημάτων.
3. **Μέτρηση απόδοσης (πχ. Δεδουλευμένη αξία)**
4. **Πρόσθετος σχεδιασμός μετά από αλλαγές**
5. **Πληροφοριακό σύστημα διοίκησης έργων.**

## 1.2.2 Διοίκηση αντικειμένου έργου [1]

Η διοίκηση αντικειμένου έργου περιλαμβάνει τις διαδικασίες που απαιτούνται ώστε να διασφαλιστεί ότι το έργο περιέχει όλη την απαραίτητη εργασία και μόνο αυτή για να ολοκληρωθεί με επιτυχία. Ασχολείται πρωτίστως με τον ορισμό και τον έλεγχο του τι περιλαμβάνεται και τι όχι στο έργο. Οι κύριες διαδικασίες της διοίκησης αντικειμένου είναι οι ακόλουθες:

1. Έναρξη – έγκριση του έργου ή της φάσης
2. Σχεδιασμός αντικειμένου
3. Ορισμός αντικειμένου
4. Επαλήθευση αντικειμένου
5. Έλεγχος αλλαγών αντικειμένου

### 1.2.2.1 Έναρξη

Οι τεχνικές και τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη διαδικασία είναι οι εξής:

1. **Μέθοδοι επιλογής έργων.** Οι μέθοδοι επιλογής έργων εμπίπτουν εν γένει σε μια εκ των δύο ευρύτερων κατηγοριών: α) μέθοδοι μέτρησης οφέλους - συγκριτικής προσέγγισης, μοντέλα βαθμολόγησης, συνεισφορά οφελών ή οικονομικά μοντέλα και β) μέθοδοι βελτιστοποίησης με περιορισμούς – μαθηματικά μοντέλα με αλγόριθμους γραμμικού, ακέραιου, δυναμικού προγραμματισμού.
2. **Κρίση εμπειρογνομώνων**

### 1.2.2.2 Σχεδιασμός αντικειμένου

Ο σχεδιασμός αντικειμένου είναι η διαδικασία της προοδευτικής ανάπτυξης και καταγραφής της εργασίας του έργου. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται σε αυτή την φάση είναι οι εξής:

1. **Ανάλυση προϊόντος:** χρησιμεύει στην καλύτερη κατανόηση του προϊόντος του έργου και περιέχει τεχνικές όπως μηχανική συστημάτων ανάλυσης προϊόντων,

μηχανική αξίας, ανάλυση αξίας, ανάλυση λειτουργίας και ανάπτυξη συναρτήσεων ποιότητας.

2. **Ανάλυση κόστους/ωφέλειας:** η ανάλυση κόστους/ωφέλους περιλαμβάνει την εκτίμηση χειροπιαστών και μη εξόδων (εκταμιεύσεων) και οφελών (εσόδων) για διάφορα εναλλακτικά έργα και προϊόντα, και τη μετέπειτα χρήση οικονομικών μεγεθών, όπως η απόδοση επένδυσης ή η περίοδος αποπληρωμής, προκειμένου να εκτιμηθεί η σχετική προτίμηση στις προσδιορισθείσες εναλλακτικές.
3. **Προσδιορισμός εναλλακτικών:** ο συγκεκριμένος όρος είναι γενικός και αναφέρεται σε οποιαδήποτε τεχνική χρησιμοποιείται για τη δημιουργία διαφορετικών προσεγγίσεων στο έργο. Οι πιο συνήθεις τεχνικές εδώ είναι η έκφραση ιδεών (brainstorming) και η παράπλευρη σκέψη (lateral thinking).
4. **Κρίση εμπειρογνομώνων.**

### 1.2.2.3 Ορισμός αντικειμένου

Στη φάση αυτή γίνεται υποδιαίρεση των κύριων παραδοτέων του έργου σε μικρότερες, πιο διαχειρίσιμες συνιστώσες ώστε να βελτιωθεί η ακρίβεια για τις εκτιμήσεις του κόστους, της διάρκειας και των πόρων, να ορισθεί η βάση αναφοράς για μέτρηση και έλεγχο της απόδοσης και τέλος να διευκολυνθεί η σαφής ανάθεση ευθυνών.

Οι τεχνικές που επικρατούν σε αυτή την φάση είναι οι:

1. **Πρότυπα δομών ανάλυσης εργασιών (ΔΑΕ):** Πρόκειται για μια ομαδοποίηση των συνιστωσών του έργου, προσανατολισμένη σε παραδοτέα που οργανώνει και ορίζει το συνολικό εύρος του έργου. Μία ΔΑΕ (WBS) από ένα προηγούμενο έργο μπορεί συχνά να χρησιμοποιηθεί ως πρότυπο για ένα νέο έργο. Αν και κάθε έργο είναι μοναδικό, οι ΔΑΕ μπορούν συχνά να ξαναχρησιμοποιηθούν καθότι τα περισσότερα έργα μοιάζουν ως ένα βαθμό.
2. **Αποσύνθεση.** Η αποσύνθεση (decomposition) αφορά στην υποδιαίρεση των κύριων παραδοτέων ή υπο-παραδοτέων του έργου σε μικρότερες, περισσότερο διαχειρίσιμες συνιστώσες μέχρις ότου τα παραδοτέα ορισθούν με επαρκή λεπτομέρεια ώστε να υποστηρίξουν την ανάπτυξη των δραστηριοτήτων του έργου (σχεδιασμός, εκτέλεση, έλεγχος και ολοκλήρωση)

#### 1.2.2.4 Επαλήθευση αντικειμένου

Η επαλήθευση αντικειμένου είναι η διαδικασία απόκτησης επίσημης αποδοχής του αντικειμένου του έργου από τους συντελεστές (χορηγό, χρήστη, πελάτη, κλπ.). Απαιτεί την ανασκόπηση των παραδοτέων και των αποτελεσμάτων εργασίας ώστε να διασφαλισθεί ότι όλα ολοκληρώθηκαν σωστά και ικανοποιητικά. Εάν το έργο τερματισθεί πρώιμα, η επαλήθευση αντικειμένου πρέπει να θεσπίσει και να καταγράψει το επίπεδο και το αντικείμενο ολοκλήρωσης. Η επαλήθευση αντικειμένου διαφέρει από τον ποιοτικό έλεγχο στο ότι ασχολείται πρωτίστως με την αποδοχή των αποτελεσμάτων εργασίας ενώ ο ποιοτικός έλεγχος ασχολείται πρωτίστως με την ορθότητα των αποτελεσμάτων εργασίας. Οι διαδικασίες αυτές εκτελούνται εν γένει παράλληλα ώστε να διασφαλίζεται τόσο η ορθότητα όσο και η αποδοχή. Η χρησιμοποιούμενη τεχνική σε αυτή τη φάση είναι:

- 1 **Επιθεώρηση:** Η επιθεώρηση περιλαμβάνει δραστηριότητες όπως μέτρηση, εξέταση και δοκιμή προκειμένου να διαπιστωθεί εάν τα αποτελέσματα συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις. Οι επιθεωρήσεις συχνά καλούνται αναθεωρήσεις, έλεγχοι και walk-throughs. Σε ορισμένες περιοχές εφαρμογών, αυτοί οι διαφορετικοί όροι έχουν πιο στενή και συγκεκριμένη έννοια.

#### 1.2.2.5 Έλεγχος αλλαγών αντικειμένου

Ο έλεγχος αλλαγών αντικειμένου ασχολείται με (α) τον επηρεασμό των παραγόντων που δημιουργούν αλλαγές στο αντικείμενο ώστε να διασφαλισθεί ότι οι αλλαγές είναι συμφωνημένες, (β) την επιβεβαίωση ότι μία αλλαγή στο αντικείμενο έχει συμβεί, και (γ) τη διαχείριση των πραγματικών αλλαγών όταν και εάν συμβούν. Ο έλεγχος αλλαγών αντικειμένου πρέπει να ενσωματώνεται ενδελεχώς με τις άλλες διαδικασίες ελέγχου (έλεγχος χρονοδιαγράμματος, έλεγχος κόστους, έλεγχος ποιότητας) . Οι τεχνικές εδώ είναι οι ακόλουθες:

1. **Έλεγχος αλλαγών αντικειμένου:** Ο έλεγχος αλλαγών αντικειμένου ορίζει τις διαδικασίες μέσω των οποίων μπορεί να μεταβληθεί το αντικείμενο του έργου.

- Περιλαμβάνει τη γραφική εργασία, τα συστήματα παρακολούθησης, και τα επίπεδα έγκρισης που είναι απαραίτητα για την έγκριση αλλαγών. Ο έλεγχος αλλαγών αντικειμένου πρέπει να ενσωματώνεται στον ολοκληρωμένο έλεγχο αλλαγών και ειδικότερα, σε κάθε εγκατεστημένο σύστημα ή συστήματα που ελέγχουν το αντικείμενο του προϊόντος.
2. **Μέτρηση απόδοσης:** Οι τεχνικές μέτρησης απόδοσης βοηθούν την αξιολόγηση οποιωνδήποτε μεταβολών συμβαίνουν. Ο προσδιορισμός του τι προκαλεί διακύμανση σε σχέση με τη βάση αναφοράς και η απόφαση εάν αυτή η διακύμανση απαιτεί διορθωτική ενέργεια αποτελούν σημαντικά τμήματα του ελέγχου αλλαγών αντικειμένου.
  3. **Πρόσθετος σχεδιασμός:** Πολύ λίγα έργα εκτελούνται σύμφωνα με το σχέδιο. Οι προσδοκώμενες αλλαγές αντικειμένου μπορεί να απαιτούν τροποποιήσεις στη ΔΑΕ ή την ανάλυση εναλλακτικών προσεγγίσεων.

### **1.2.3 Διοίκηση χρόνου έργου [1]**

Η διοίκηση χρόνου έργου περιλαμβάνει τις διαδικασίες που απαιτούνται για να διασφαλισθεί η έγκαιρη ολοκλήρωση του έργου. Οι ακολουθούμενες διαδικασίες σε αυτόν τον τομέα είναι οι ακόλουθες:

1. Ορισμός Δραστηριοτήτων
2. Ακολουθία Δραστηριοτήτων
3. Εκτίμηση Διάρκειας Δραστηριοτήτων
4. Ανάπτυξη Χρονοδιαγράμματος
5. Έλεγχος Χρονοδιαγράμματος

#### **1.2.3.1 Ορισμός Δραστηριοτήτων**

Ο ορισμός δραστηριοτήτων περιλαμβάνει, την αναγνώριση και τεκμηρίωση των συγκεκριμένων δραστηριοτήτων που πρέπει να εκτελεστούν ώστε να παραχθούν τα παραδοτέα και τα υπό-παραδοτέα που προσδιορίστηκαν στη Δομή Ανάλυσης Εργασιών (ΔΑΕ). Εμμέσως σε αυτήν τη διαδικασία προκύπτει η ανάγκη ορισμού των

δραστηριοτήτων με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνονται οι αντικειμενικοί στόχοι του έργου. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται σε αυτή την φάση είναι οι:

1. **Αποσύνθεση:** Εντός του περιβάλλοντος της διαδικασίας Ορισμού Δραστηριοτήτων, η αποσύνθεση περιλαμβάνει την υποδιαίρεση των στοιχείων του έργου σε μικρότερες, πιο διαχειρίσιμες συνιστώσες ώστε να παρέχεται καλύτερος διοικητικός έλεγχος. Η κύρια διαφορά μεταξύ της αποσύνθεσης εδώ και στον Ορισμό Αντικειμένου είναι ότι οι τελικές έξοδοι εδώ περιγράφονται ως δραστηριότητες παρά σαν παραδοτέα. Η ΔΑΕ και η λίστα δραστηριοτήτων συνήθως αναπτύσσονται σειριακά, όπου η ΔΑΕ είναι η βάση για την ανάπτυξη της τελικής λίστας δραστηριοτήτων. Σε ορισμένες περιοχές εφαρμογών, η ΔΑΕ και η λίστα δραστηριοτήτων αναπτύσσονται ταυτόχρονα.
2. **Πρότυπα:** Μία λίστα δραστηριοτήτων, ή τμήμα μιας λίστας δραστηριοτήτων από ένα προηγούμενο έργο, χρησιμοποιείται συχνά ως πρότυπο για ένα καινούργιο έργο. Οι δραστηριότητες σε πρότυπα μπορούν επίσης να περιέχουν μία λίστα των ικανοτήτων των πόρων και τις απαιτούμενες ώρες εργασίας τους, τον προσδιορισμό των κινδύνων, τα αναμενόμενα παραδοτέα και άλλες περιγραφικές πληροφορίες.

### 1.2.3.2 Ακολουθία Δραστηριοτήτων

Η ακολουθία δραστηριοτήτων περιλαμβάνει την αναγνώριση και τεκμηρίωση των λογικών σχέσεων αλληλεπίδρασης. Οι δραστηριότητες πρέπει να μπου σε σειρά με ακρίβεια έτσι ώστε να υποστηριχθεί κατόπιν η ανάπτυξη ενός ρεαλιστικού και επιτεύξιμου χρονοδιαγράμματος. Η τοποθέτηση σε σειρά μπορεί να εκτελεσθεί με τη βοήθεια ενός υπολογιστή (π.χ. χρησιμοποιώντας λογισμικό διοίκησης έργων) ή με χειρωνακτικές τεχνικές. Οι χειρωνακτικές τεχνικές είναι συχνά πιο αποτελεσματικές σε μικρότερα έργα και στις πρώτες φάσεις των μεγάλων όπου λίγες λεπτομέρειες είναι διαθέσιμες. Οι χειρωνακτικές και οι αυτόματες τεχνικές μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθούν συνδυαστικά.

1. **Μέθοδος Διαγράμματος Προτεραιοτήτων (ΜΔΠ):** Αυτή είναι μία μέθοδος για την κατασκευή ενός διαγράμματος δικτύου έργου το οποίο χρησιμοποιεί κουτιά ή



τετράγωνα (κόμβους) για να αναπαρασταθούν οι δραστηριότητες και για να συνδεθούν με τόξα που δείχνουν τις εξαρτήσεις. Αυτή η τεχνική ονομάζεται επίσης τεχνική με δραστηριότητες σε κόμβους (ΔΣΚ) και είναι η μέθοδος που χρησιμοποιείται από τα περισσότερα λογισμικά διοίκησης έργων. Η ΜΔΠ μπορεί να γίνει με το χέρι ή στον υπολογιστή. Περιλαμβάνει τέσσερις τύπους σχέσεων εξάρτησης ή προτεραιότητας:

- «Λήξη για Έναρξη» - η έναρξη της εργασίας στην επόμενη εξαρτάται από την ολοκλήρωση της εργασίας στην προηγούμενη.
- «Λήξη για Λήξη» - η λήξη της εργασίας στην επόμενη εξαρτάται από την ολοκλήρωση της εργασίας στην προηγούμενη.
- «Έναρξη για Έναρξη» - η έναρξη της εργασίας στην επόμενη εξαρτάται από την έναρξη της εργασίας στην προηγούμενη.
- «Έναρξη για Λήξη»- η ολοκλήρωση της εργασίας στην επόμενη εξαρτάται από την έναρξη της εργασίας στην προηγούμενη.

Στη ΜΔΠ, η «λήξη για έναρξη» είναι ο πιο συνήθης χρησιμοποιούμενος τύπος λογικής σχέσης. Οι σχέσεις «έναρξη για λήξη» χρησιμοποιούνται σπάνια, και ακόμη και τότε μόνον από επαγγελματίες μηχανικούς χρονοδιαγράμματος. Η χρήση των σχέσεων «έναρξη για έναρξη», «λήξη για λήξη», ή «έναρξη για λήξη» με λογισμικό διοίκησης έργων μπορεί να παράγει απρόσμενα αποτελέσματα καθώς αυτοί οι τύποι σχέσεων δεν έχουν υλοποιηθεί με συνέπεια

2. **Μέθοδος τοξωτού διαγράμματος (MTA):** Αυτή είναι μία μέθοδος κατασκευής ενός διαγράμματος δικτύου έργου χρησιμοποιώντας τόξα για να αναπαρασταθούν οι δραστηριότητες και να συνδεθούν σε κόμβους για να δειχθούν οι εξαρτήσεις. Η τεχνική αυτή ονομάζεται επίσης τεχνική με δραστηριότητες σε τόξα (ΔΣΤ) και παρόλο ότι είναι λιγότερη κυρίαρχη από ότι η ΜΔΠ, παραμένει ακόμη η τεχνική που επιλέγεται σε ορισμένες περιοχές εφαρμογής. Η ΜΤΔ χρησιμοποιεί μόνο εξαρτήσεις «λήξη για έναρξη» και μπορεί να απαιτήσει τη χρήση εικονικών δραστηριοτήτων για να ορισθούν όλες οι λογικές σχέσεις σωστά. Η ΜΤΔ μπορεί να γίνει με το χέρι ή σε υπολογιστή.
3. **Μέθοδοι διαγραμμάτων με συνθήκες:** Τεχνικές σχηματισμού διαγραμμάτων όπως η Τεχνική Γραφικής Αξιολόγησης και Αναθεώρησης (Graphical Evaluation

and Review Technique – GERT) και μοντέλα Δυναμικής Συστημάτων επιτρέπουν μη σειριακές διαδικασίες όπως βρόχοι (π.χ. ένας έλεγχος που πρέπει να επαναληφθεί περισσότερες από μία φορές) ή οι κλάδοι συνθηκών (π.χ., μία αναθεώρηση σχεδίου που είναι αναγκαία μόνον εάν ο έλεγχος ανακαλύψει σφάλματα). Ούτε η ΜΔΠ ούτε η ΜΤΔ επιτρέπουν βρόχους ή κλάδους συνθηκών.

4. **Πρότυπα δικτύων.** Τυποποιημένα δίκτυα μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να επισπεύσουν την προετοιμασία των διαγραμμάτων δικτύου έργου. Μπορεί να περιλαμβάνουν ένα ολόκληρο έργο ή μόνο ένα τμήμα του. Τμήματα ενός δικτύου συχνά αναφέρονται ως υποδίκτυα ή fragnets. Τα υποδίκτυα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα όταν ένα έργο περιλαμβάνει αρκετά όμοια ή περίπου όμοια χαρακτηριστικά όπως οι όροφοι σε ένα υψηλό κτίριο γραφείων, οι κλινικές δοκιμές σε ένα έργο φαρμακευτικής έρευνας, ή τμήματα προγραμμάτων σε ένα έργο λογισμικού, ή η φάση εκκίνησης ενός έργου ανάπτυξης.

### 1.2.3.3 Εκτίμηση Διάρκειας Δραστηριοτήτων

Η εκτίμηση διάρκειας δραστηριοτήτων είναι η διαδικασία απόκτησης πληροφοριών για το εύρος και τους πόρους του έργου και η εν συνεχεία ανάπτυξη των διαρκειών ως εισόδων στα χρονοδιαγράμματα. Οι είσοδοι για τις εκτιμήσεις διαρκειών συνήθως προέρχονται από το άτομο ή την ομάδα, στην ομάδα έργου που είναι πιο εξοικειωμένο με τη φύση της συγκεκριμένης δραστηριότητας. Η εκτίμηση συχνά αναλύεται προοδευτικά, και η διαδικασία λαμβάνει υπόψιν της την ποιότητα και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων εισόδου. Κατ' αυτόν τον τρόπο η εκτίμηση μπορεί να θεωρηθεί σταδιακά όλο και πιο ακριβής καθώς και εγνωσμένης ποιότητας. Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται εδώ είναι κυρίως τα παρακάτω:

1. **Κρίση εμπειρογνομώνων**
2. **Αναλογική εκτίμηση:** Αναλογική εκτίμηση, επίσης καλούμενη κατιούσα εκτίμηση (top-down), σημαίνει τη χρήση της πραγματικής διάρκειας μίας προηγούμενης, παρεμφερούς δραστηριότητας ως βάση για την εκτίμηση της διάρκειας μίας μελλοντικής δραστηριότητας. Συχνά χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της διάρκειας ενός έργου όταν υπάρχει περιορισμένη ποσότητα

- λεπτομερούς πληροφορίας σχετικά με το έργο (π.χ, στα αρχικά στάδια). Η αναλογική εκτίμηση είναι μια μορφή κρίσης εμπειρογνομόνων. Η αναλογική εκτίμηση είναι περισσότερο αξιόπιστη όταν: (α) οι προηγούμενες δραστηριότητες είναι πράγματι παρεμφερείς και όχι απλώς όμοιες στην εμφάνιση, και (β) τα άτομα που ετοιμάζουν τις εκτιμήσεις διαθέτουν την απαιτούμενη εμπειρία.
3. **Διάρκειες βάσει ποσοτήτων:** Οι ποσότητες που πρέπει να πραγματοποιηθούν για κάθε συγκεκριμένη κατηγορία εργασιών (π.χ., αριθμός σχεδίων, μέτρα καλωδίου, τόνοι χάλυβα, κλπ.) όπως ορίζονται από τη σχεδιαστική/μηχανολογική προσπάθεια, όταν πολλαπλασιασθούν με τη μονάδα ρυθμού παραγωγής (π.χ., ώρες ανά σχέδιο, μέτρα καλωδίου ανά ώρα, κλπ.), μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση των διαρκειών των δραστηριοτήτων.
  4. **Αποθεματικός χρόνος (έκτακτη ανάγκη):** Οι ομάδες έργου μπορεί να επιλέξουν την ενσωμάτωση ενός πρόσθετου χρονικού πλαισίου, καλούμενου απόθεμα, έκτακτη ανάγκη, ή απομονωτής (buffer) χρόνου, το οποίο μπορεί να προστεθεί στη διάρκεια της δραστηριότητας ή οπουδήποτε αλλού στο χρονοδιάγραμμα ως αναγνώριση του κινδύνου του χρονοδιαγράμματος. Αυτό το απόθεμα χρόνου μπορεί να είναι ένα αποτέλεσμα της εκτιμηθείσης διάρκειας, ή ένας σταθερός αριθμός περιόδων εργασίας. Ο αποθεματικός χρόνος μπορεί αργότερα να μειωθεί ή να απαλειφθεί, καθώς γίνεται διαθέσιμη όλο και περισσότερο ακριβής πληροφορία για το έργο. Αυτός ο αποθεματικός χρόνος πρέπει να καταγράφεται μαζί με άλλα δεδομένα και υποθέσεις.

#### 1.2.3.4 Ανάπτυξη Χρονοδιαγράμματος

Ανάπτυξη χρονοδιαγράμματος σημαίνει τον προσδιορισμό των ημερομηνιών έναρξης και λήξης για τις δραστηριότητες του έργου. Αν οι ημερομηνίες έναρξης και λήξης δεν είναι ρεαλιστικές, το έργο είναι απίθανο να ολοκληρωθεί όπως προγραμματίστηκε. Η διαδικασία ανάπτυξης χρονοδιαγράμματος πρέπει συχνά να επαναλαμβάνεται (μαζί με τις διαδικασίες που παρέχουν εισόδους, ειδικά την εκτίμηση διαρκειών και την εκτίμηση κόστους) πριν από τον προσδιορισμό του χρονοδιαγράμματος του έργου. Οι χρησιμοποιούμενες τεχνικές είναι οι εξής:

1. **Μαθηματική Ανάλυση:** Η μαθηματική ανάλυση περιλαμβάνει τον υπολογισμό των θεωρητικών ημερομηνιών ενωρίτερης και αργότερης έναρξης και λήξης για κάθε δραστηριότητα του έργου, χωρίς να λαμβάνει υπόψιν οποιουσδήποτε περιορισμούς της «δεξαμενής» των πόρων. Οι προκύπτουσες ημερομηνίες δεν αποτελούν το χρονοδιάγραμμα, αλλά υποδεικνύουν τις χρονικές περιόδους μέσα στις οποίες η δραστηριότητα θα μπορούσε να προγραμματιστεί με δεδομένους τους περιορισμούς των πόρων και άλλους γνωστούς περιορισμούς. Οι ευρύτερα γνωστές τεχνικές μαθηματικής ανάλυσης είναι:
  - *Η Μέθοδος Κρισίμου Διαδρομής (ΜΚΔ - CPM)* : υπολογίζει μια μοναδική, ντετερμινιστική ημερομηνία ενωρίτερης και αργότερης έναρξης και λήξης για κάθε δραστηριότητα βάσει μίας συγκεκριμένης, ακολουθιακής λογικής διαγράμματος και μίας μοναδικής εκτίμησης διάρκειας. Η εστίαση της ΜΚΔ είναι ο υπολογισμός των περιθωρίων ώστε να προσδιορίζεται ποιες δραστηριότητες έχουν τη μικρότερη ευελιξία. Οι υποκείμενοι αλγόριθμοι ΜΚΔ χρησιμοποιούνται συχνά σε άλλους τύπους μαθηματικής ανάλυσης.
  - *Τεχνική Γραφικής Αξιολόγησης και Αναθεώρησης (ΤΓΑΑ - GERT)* : επιτρέπει τον πιθανολογική θεώρηση τόσο της δικτυακής λογικής όσο και των εκτιμήσεων διάρκειας δραστηριοτήτων (π.χ. κάποιες δραστηριότητες μπορεί και να μην εκτελεστούν καθόλου, κάποιες να εκτελεστούν μόνον εν μέρει και κάποιες να εκτελεστούν παραπάνω από μια φορά).
  - *Τεχνική Αξιολόγησης και Αναθεώρησης Προγράμματος (ΤΑΑΠ - PERT)* : χρησιμοποιεί ένα σταθμισμένο μέσο όρο των διαρκειών των δραστηριοτήτων προκειμένου να υπολογίσει τη διάρκεια των δραστηριοτήτων. Αν και υπάρχουν φαινομενικές διαφορές, η PERT διαφέρει από τη CPM κυρίως στο ότι χρησιμοποιεί τη μέση τιμή (προσδοκώμενη τιμή) της κατανομής αντί της πιο πιθανής εκτίμησης που χρησιμοποιείται στη CPM. Η PERT αυτή καθ' εαυτή χρησιμοποιείται σπανίως σήμερα.
2. **Συμπίεση Διάρκειας:** Η συμπίεση διάρκειας είναι ειδική περίπτωση της μαθηματικής ανάλυσης η οποία αναζητεί τρόπους βράχυνσης του

χρονοδιαγράμματος του έργου, χωρίς να μεταβληθεί το αντικείμενο του έργου (π.χ. να επιτευχθούν οι επιβεβλημένες ημερομηνίες ή οι άλλοι αντικειμενικοί στόχοι του χρονοδιαγράμματος). Η συμπίεση διάρκειας περιλαμβάνει τεχνικές όπως:

- *Συμπίεση (ή σύγκρουση – crashing)* όπου οι ανταλλαγές μεταξύ κόστους και χρόνου αναλύονται προκειμένου να προσδιορισθεί το πώς θα αποκτηθεί το μεγαλύτερο ποσό συμπίεσης με το ελάχιστο αυξητικό κόστος. Η σύγκρουση δεν παράγει πάντοτε μία βιώσιμη εναλλακτική λύση και συχνά καταλήγει σε αυξημένο κόστος.
- *Ταχεία εκτέλεση (fast tracking)*: η εκτέλεση εν παραλλήλω δραστηριοτήτων οι οποίες φυσιολογικά θα εκτελούνταν ακολουθιακά (π.χ. η συγγραφή κώδικα σε ένα έργο λογισμικού προτού ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός, ή η εκκίνηση της θεμελίωσης σε ένα διυλιστήριο προτού επιτευχθεί το 25% του μηχανολογικού). Η ταχεία εκτέλεση συχνά έχει ως αποτέλεσμα την επανεργασία και συνήθως αυξάνει τον κίνδυνο

3. **Προσομοίωση.** Η προσομοίωση περιλαμβάνει τον υπολογισμό πολλαπλών διαρκειών δραστηριοτήτων με διαφορετικά σύνολα υποθέσεων για κάθε δραστηριότητα. Η πιο συνηθισμένη τεχνική είναι η Ανάλυση Monte Carlo, στην οποία ορίζεται για κάθε δραστηριότητα μία κατανομή πιθανών αποτελεσμάτων και η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό μίας κατανομής πιθανών αποτελεσμάτων για το συνολικό έργο. Επιπροσθέτως, μπορούν να γίνουν αναλύσεις what-if χρησιμοποιώντας τη λογική του δικτύου για την προσομοίωση διαφορετικών σεναρίων, όπως η καθυστέρηση στην παράδοση μίας κύριας συνιστώσας, η επέκταση συγκεκριμένων μηχανολογικών διαρκειών, ή η εισαγωγή εξωγενών παραγόντων (όπως μία απεργία, ή μία αλλαγή στη διαδικασία αδειοδότησεως). Το αποτέλεσμα αυτών των προσομοιώσεων what-if μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της εφικτότητας του χρονοδιαγράμματος υπό αντίξοες συνθήκες, καθώς και στην ετοιμασία σχεδίων εκτάκτου ανάγκης/αποκρίσεων για την υπέρβαση ή το μετριασμό των επιπτώσεων από μη αναμενόμενες καταστάσεις.

4. **Ευριστικοί αλγόριθμοι εξισορρόπησης πόρων:** Η μαθηματική ανάλυση συχνά παράγει ένα προκαταρκτικό χρονοδιάγραμμα που απαιτεί περισσότερους πόρους κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων χρονικών περιόδων από όσους διατίθενται ή απαιτεί αλλαγές στα επίπεδα των πόρων οι οποίες δεν είναι διαχειρίσιμες. Ευριστικοί αλγόριθμοι όπως «κατανομή σπάνιων πόρων πρώτα σε κρίσιμες δραστηριότητες», μπορούν να εφαρμοσθούν για την ανάπτυξη ενός χρονοδιαγράμματος που αντικατοπτρίζει τέτοιους περιορισμούς. Η εξισορρόπηση πόρων καταλήγει σε μια διάρκεια έργου η οποία είναι μεγαλύτερη από αυτή του προκαταρκτικού χρονοδιαγράμματος. Αυτή η τεχνική συνήθως καλείται ‘Μέθοδος βασισμένη σε πόρους’, ιδίως όταν υλοποιείται με υπολογιστική βελτιστοποίηση. Η επανανάθεση πόρων από μη κρίσιμες σε κρίσιμες δραστηριότητες είναι ένας συνήθης τρόπος για να επανέλθει το χρονοδιάγραμμα, ή έστω να πλησιάσει, στην αρχικά επιδιωκόμενη συνολική διάρκεια.
5. **Λογισμικό διοίκησης έργων:** Το λογισμικό διοίκησης έργων χρησιμοποιείται ευρέως για να βοηθήσει την ανάπτυξη χρονοδιαγράμματος. Άλλα λογισμικά μπορεί να έχουν την ικανότητα άμεσης ή έμμεσης διασύνδεσης με τον εαυτό τους, ή με άλλα λογισμικά, ώστε να διεκπεραιώνουν τις απαιτήσεις και από άλλες γνωστικές περιοχές. Τα προϊόντα αυτά αυτοματοποιούν τους υπολογισμούς της μαθηματικής ανάλυσης και της εξισορρόπησης πόρων και επιτρέπουν κατ’ αυτόν τον τρόπο την ταχεία εξέταση πολλών εναλλακτικών χρονοδιαγραμμάτων. Χρησιμοποιούνται επίσης ευρέως για την εκτύπωση ή απεικόνιση των εξόδων της ανάπτυξης χρονοδιαγράμματος.
6. **Δομή κωδικοποίησης:** Οι δραστηριότητες πρέπει να έχουν μία δομή κωδικοποίησης η οποία να επιτρέπει την ταξινόμηση και/ή εξαγωγές βάσει των διαφορετικών χαρακτηριστικών που έχουν ανατεθεί στις δραστηριότητες, όπως υπευθυνότητες, γεωγραφική περιοχή ή κτίριο, φάση έργου, επίπεδο χρονοδιαγράμματος, τύπο δραστηριότητας και κατηγοριοποίηση ΔΑΕ.

### 1.2.3.5 Έλεγχος Χρονοδιαγράμματος

Ο έλεγχος χρονοδιαγράμματος ασχολείται με (α) την επίδραση των παραγόντων που δημιουργούν αλλαγές στο χρονοδιάγραμμα, ώστε να διασφαλισθεί ότι οι αλλαγές αυτές είναι επωφελείς, (β) την επιβεβαίωση ότι το χρονοδιάγραμμα έχει αλλάξει, και (γ) τη διοίκηση των πραγματικών αλλαγών όποτε και όπως αυτές συμβαίνουν. Ο έλεγχος χρονοδιαγράμματος πρέπει να επακριβώς ενσωματωμένος με τις άλλες διαδικασίες ελέγχου. Οι τεχνικές που ακολουθούνται σε αυτή την φάση είναι οι ακόλουθες:

1. **Σύστημα ελέγχου αλλαγών χρονοδιαγράμματος:** Ένα σύστημα ελέγχου αλλαγών χρονοδιαγράμματος ορίζει τις διαδικασίες με τις οποίες το χρονοδιάγραμμα του έργου μπορεί να αλλάξει. Περιλαμβάνει τη γραφική εργασία, τα συστήματα παρακολούθησης και τα απαραίτητα επίπεδα εξουσιοδότησης για την έγκριση των αλλαγών
2. **Μέτρηση απόδοσης:** Οι τεχνικές μέτρησης απόδοσης βοηθούν στην αποτίμηση του μεγέθους τυχόν αποκλίσεων που συμβαίνουν. Ένα ενδιαφέρον τμήμα του ελέγχου χρονοδιαγράμματος αποτελεί το να αποφασισθεί εάν η απόκλιση από το χρονοδιάγραμμα απαιτεί διορθωτικές ενέργειες. Για παράδειγμα, μια μεγάλη καθυστέρηση σε μια μη κρίσιμη δραστηριότητα μπορεί να έχει μικρή επίδραση στο συνολικό έργο ενώ μια πολύ μικρότερη καθυστέρηση σε μια κρίσιμη ή σχεδόν κρίσιμη δραστηριότητα μπορεί να απαιτεί άμεσες ενέργειες.
3. **Επιπρόσθετος σχεδιασμός:** Ελάχιστα έργα εξελίσσονται σύμφωνα με το σχέδιο. Αναμενόμενες αλλαγές μπορεί να απαιτούν νέες ή αναθεωρημένες εκτιμήσεις διάρκειας δραστηριοτήτων, τροποποιημένες ακολουθίες δραστηριοτήτων ή ανάλυση των εναλλακτικών χρονοδιαγραμμάτων.
4. **Λογισμικό διοίκησης έργων:** Η ικανότητα του λογισμικού διοίκησης έργων να συγκρίνει προγραμματισμένες ημερομηνίες με πραγματικές ημερομηνίες και να προβλέπει τις επιδράσεις των αλλαγών στο χρονοδιάγραμμα, πραγματικές ή δυνητικές, το καθιστά ένα χρήσιμο εργαλείο για τον έλεγχο του χρονοδιαγράμματος.

5. *Ανάλυση διακυμάνσεων*: Η απόδοση της ανάλυσης διακύμανσης κατά τη διαδικασία παρακολούθησης του χρονοδιαγράμματος είναι ένα σημείο κλειδί για τον έλεγχο του χρόνου. Η σύγκριση ημερομηνιών-στόχων με τις πραγματικές/προβλεπόμενες ημερομηνίες έναρξης και λήξης παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για την ανεύρεση των αποκλίσεων και για την υλοποίηση διορθωτικών λύσεων στην περίπτωση καθυστερήσεων. Η διακύμανση των περιθωρίων είναι μία ακόμη απαιτούμενη συνιστώσα σχεδιασμού για την εκτίμηση της χρονικής απόδοσης του έργου.

#### **1.2.4 Διοίκηση κόστους έργου [1]**

Η Διοίκηση Κόστους Έργου περιλαμβάνει τις διαδικασίες που απαιτούνται ώστε να διασφαλισθεί ότι το έργο θα ολοκληρωθεί εντός των ορίων του εγκεκριμένου προϋπολογισμού. Οι διαδικασίες αυτές είναι οι ακόλουθες:

1. Σχεδιασμός Πόρων
2. Εκτίμηση Κόστους
3. Προϋπολογισμός Κόστους
4. Έλεγχος Κόστους

Η διοίκηση κόστους έργου ασχολείται πρωτίστως με το κόστος των πόρων που χρειάζονται για την ολοκλήρωση των δραστηριοτήτων του έργου. Ωστόσο, η διοίκηση κόστους έργου πρέπει επίσης να λαμβάνει υπόψη την επίδραση των αποφάσεων του έργου στο κόστος χρήσης του προϊόντος του έργου. Για παράδειγμα, ο περιορισμός του αριθμού αναθεωρήσεων των σχεδίων ενδέχεται να μειώσει το κόστος του έργου αλλά να επιφέρει αύξηση στο λειτουργικό κόστος του πελάτη. Αυτή η ευρύτερη θεώρηση της διοίκησης κόστους έργου καλείται συχνά κοστολόγηση κύκλου ζωής (life-cycle costing). Η κοστολόγηση κύκλου ζωής από κοινού με τεχνικές Μηχανικής Αξιών χρησιμοποιούνται για τη μείωση κόστους και χρόνου, για να βελτιώσουν την ποιότητα και την απόδοση, και να βελτιστοποιήσουν τη λήψη αποφάσεων.



#### 1.2.4.1 Σχεδιασμός Πόρων

Ο σχεδιασμός πόρων περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του ποιοι φυσικοί πόροι (άνθρωποι, εξοπλισμός, υλικά) και σε ποιες ποσότητες ο καθένας πρέπει να χρησιμοποιηθούν και πότε θα χρειασθούν ώστε να εκτελεσθούν οι δραστηριότητες του έργου. Πρέπει να συντονίζεται σε στενή συνεργασία με την εκτίμηση κόστους. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην παρούσα φάση είναι οι:

1. **Κρίση εμπειρογνομώνων:** Η κρίση εμπειρογνομώνων είναι συχνά απαραίτητη για την αξιολόγηση των εισόδων στη διαδικασία αυτή. Η εμπειρία αυτή μπορεί να παρέχεται από οποιαδήποτε ομάδα ή ανεξάρτητο άτομο με εξειδικευμένη γνώση ή εκπαίδευση και είναι διαθέσιμη από πολλές πηγές περιλαμβανομένων:
  - Άλλων μονάδων εντός του αναδόχου οργανισμού
  - Συμβούλων
  - Επαγγελματικών και τεχνικών ενώσεων
  - Βιομηχανικών ομάδων
2. **Προσδιορισμός εναλλακτικών**
3. **Λογισμικό διοίκησης έργων**

#### 1.2.4.2 Εκτίμηση Κόστους

Η εκτίμηση κόστους περιλαμβάνει την ανάπτυξη μίας προσέγγισης (εκτίμησης) του κόστους των πόρων που απαιτούνται για την ολοκλήρωση των δραστηριοτήτων του έργου. Στην προσέγγιση του κόστους, ο εκτιμητής λαμβάνει υπόψιν τις αιτιολογήσεις των διακυμάνσεων από την τελική εκτίμηση για λόγους καλύτερης διαχείρισης του έργου.

Η εκτίμηση κόστους περιλαμβάνει την ανάπτυξη μίας αξιολόγησης του πιθανότερου ποσοστικού αποτελέσματος – πόσο θα κοστίσει στον ανάδοχο οργανισμό να παρέχει το προϊόν ή την υπηρεσία. Περιλαμβάνει τον προσδιορισμό και την εξέταση διάφορων εναλλακτικών κοστολόγησης. Οι τεχνικές εκτίμησης κόστους είναι οι εξής:

1. **Αναλογική εκτίμηση:** Η αναλογική εκτίμηση, καλούμενη επίσης κατιούσα εκτίμηση ή εκτίμηση από πάνω προς τα κάτω (top-down estimating), σημαίνει ότι το πραγματικό κόστος ενός προηγούμενου, παρεμφερούς έργου χρησιμοποιείται ως βάση για την εκτίμηση του τρέχοντος έργου. Χρησιμοποιείται συχνά για την εκτίμηση του συνολικού κόστους του έργου όταν υπάρχει περιορισμένη ποσότητα λεπτομερούς πληροφορίας σχετικά με το έργο (π.χ. στις ενωρίτερες φάσεις). Η αναλογική εκτίμηση αποτελεί μία μορφή κρίσης εμπειρογνομώνων. Η αναλογική εκτίμηση είναι εν γένει λιγότερο κοστοβόρα από άλλες τεχνικές, αλλά είναι επίσης λιγότερο ακριβής. Είναι περισσότερο αξιόπιστη όταν (α) τα προηγούμενα έργα είναι παρεμφερή στην ουσία και όχι στους τύπους, και (β) οι ανεξάρτητοι ή οι ομάδες που ετοιμάζουν τις εκτιμήσεις διαθέτουν την αναγκαία εμπειρία.
2. **Παραμετρική μοντελοποίηση:** Η παραμετρική μοντελοποίηση εμπλέκει τη χρήση χαρακτηριστικών (παραμέτρων) του έργου σε ένα μαθηματικό μοντέλο για την πρόβλεψη των εξόδων του έργου. Τα μοντέλα μπορεί να είναι απλά (η κατασκευή κατοικιών θα κοστίσει ένα συγκεκριμένο ποσό ανά τετραγωνικό μέτρο ωφέλιμου χώρου διαβίωσης) ή σύνθετα (ένα μοντέλο για τα έξοδα ανάπτυξης λογισμικού περιέχει δεκατρείς διαφορετικούς παράγοντες προσαρμογής, κάθε ένας εκ των οποίων έχει πέντε έως επτά σημεία). Τόσο το κόστος όσο και η ακρίβεια των παραμετρικών μοντέλων ποικίλουν ευρέως. Είναι περισσότερο πιθανόν να είναι αξιόπιστα όταν (α) οι ιστορικές πληροφορίες που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη του μοντέλου είναι ακριβείς, (β) οι χρησιμοποιούμενες παράμετροι είναι με σαφήνεια ποσοτικοποιήσιμες, και (γ) το μοντέλο είναι κλιμακωτό (δηλ., δουλεύει το ίδιο καλά για ένα πολύ μεγάλο έργο όσο και για ένα πολύ μικρό).
3. **Ανιούσα εκτίμηση ή εκτίμηση από κάτω προς τα πάνω (Bottom-up estimating):** Η τεχνική αυτή αφορά την εκτίμηση κόστους των ανεξάρτητων δραστηριοτήτων ή πακέτων εργασίας και κατόπιν την άθροιση ή σύμπτυξη των ξεχωριστών εκτιμήσεων για την απόκτηση του συνολικού κόστους για το έργο. Το κόστος και η ακρίβεια της εκτίμησης από κάτω προς τα πάνω καθορίζεται από το μέγεθος και την πολυπλοκότητα των ξεχωριστών δραστηριοτήτων ή πακέτων

- εργασίας: οι μικρότερες δραστηριότητες αυξάνουν τόσο το κόστος όσο και την ακρίβεια της διαδικασίας εκτίμησης. Η ομάδα διοίκησης έργου πρέπει να σταθμίζει την πρόσθετη ακρίβεια σε σχέση με το πρόσθετο κόστος.
4. **Υπολογιστικά εργαλεία:** Τα υπολογιστικά εργαλεία, όπως τα φύλλα εργασίας λογισμικού διοίκησης έργων και εργαλεία προσομοίωσης/στατιστικής, χρησιμοποιούνται ευρέως για να βοηθήσουν την εκτίμηση κόστους. Τέτοια προϊόντα μπορούν να απλοποιήσουν τη χρήση των εργαλείων που περιγράφηκαν προηγουμένως και έτσι να διευκολύνουν την ταχεία εξέταση πολλών εναλλακτικών κόστους.
  5. **Άλλες μέθοδοι εκτίμησης κόστους,** για παράδειγμα, ανάλυση προσφορών πωλητών.

#### **1.2.4.3 Προϋπολογισμός Κόστους**

Ο προϋπολογισμός κόστους αφορά τον επιμερισμό των συνολικών εκτιμήσεων κόστους σε ξεχωριστές δραστηριότητες ή πακέτα εργασίας ώστε να δημιουργηθεί μία βάση αναφοράς κόστους για τη μέτρηση της απόδοσης του έργου. Η πραγματικότητα μπορεί να υπαγορεύει ότι οι εκτιμήσεις πραγματοποιούνται μετά την έγκριση του προϋπολογισμού, αλλά οι εκτιμήσεις πρέπει να γίνονται πριν τα αιτήματα προϋπολογισμού οποτεδήποτε είναι δυνατόν. Οι τεχνικές προϋπολογισμού κόστους είναι οι ίδιες με αυτές που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη εκτιμήσεων κόστους του έργου.

#### **1.2.4.4 Έλεγχος Κόστους**

Ο έλεγχος κόστους ασχολείται με (α) τον επηρεασμό των παραγόντων που δημιουργούν αλλαγές στη βάση αναφοράς κόστους προκειμένου να διασφαλίσει ότι οι αλλαγές είναι συμφωνημένες, (β) την επιβεβαίωση ότι η βάση αναφοράς κόστους έχει μεταβληθεί, και (γ) τη διαχείριση των πραγματικών αλλαγών όταν και όπως συμβούν. Ο έλεγχος κόστους περιλαμβάνει:

- Την παρακολούθηση της απόδοσης κόστους για την ανακάλυψη και κατανόηση των αποκλίσεων από το σχέδιο
- Τη διασφάλιση ότι όλες οι κατάλληλες μεταβολές καταγράφονται με ακρίβεια στη βάση αναφοράς κόστους
- Την πρόληψη εσφαλμένων, ακατάλληλων, ή με εγκεκριμένων μεταβολών από το να περιληφθούν στη βάση αναφοράς κόστους
- Την πληροφόρηση των κατάλληλων συντελεστών για τις εγκεκριμένες αλλαγές
- Τη λήψη δράσης ώστε το προσδοκώμενο κόστος να κινηθεί εντός αποδεκτών ορίων

Ο έλεγχος κόστους περιλαμβάνει την αναζήτηση του «γιατί» τόσο για τις θετικές όσο και για τις αρνητικές διακυμάνσεις. Για παράδειγμα, ακατάλληλες αποκρίσεις σε διακυμάνσεις κόστους μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα ποιότητας ή χρονικού προγραμματισμού, ή να παράγουν ένα απαράδεκτο επίπεδο κινδύνου στο έργο μεταγενέστερα. Οι τεχνικές και τα εργαλεία αυτής της φάσης είναι οι ακόλουθες:

1. **Σύστημα ελέγχου αλλαγών κόστους:** Ένα σύστημα ελέγχου αλλαγών κόστους ορίζει τις διαδικασίες με τις οποίες μπορεί να αλλάζει η βάση αναφοράς κόστους. Περιλαμβάνει τη γραφική εργασία και τα επίπεδα έγκρισης που είναι αναγκαία για την έγκριση των αλλαγών.
2. **Μέτρηση απόδοσης:** Οι τεχνικές μέτρησης της απόδοσης, βοηθούν την εκτίμηση του μεγέθους οποιωνδήποτε διακυμάνσεων συμβαίνουν. Η Διοίκηση Δεδουλευμένης Αξίας (Earned Value Management – EVM), είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τον έλεγχο του κόστους. Ένα σημαντικό τμήμα του ελέγχου κόστους είναι ο καθορισμός του τι προκαλεί την απόκλιση και να αποφασισθεί εάν η απόκλιση απαιτεί διορθωτική ενέργεια.
3. **Διοίκηση Δεδουλευμένης Αξίας – ΔΔΕ (Earned Value Management – EVM):** Η μέθοδος της Δεδουλευμένης αξίας αναλύεται στην παράγραφο 1.2.7.3.
4. **Πρόσθετος σχεδιασμός:** Λίγα έργα προχωρούν σύμφωνα με το σχεδιασμό. Οι μελλοντικές μεταβολές μπορεί να απαιτούν νέες ή αναθεωρημένες εκτιμήσεις κόστους ή την ανάλυση εναλλακτικών προσεγγίσεων.
5. **Υπολογιστικά εργαλεία:** Υπολογιστικά εργαλεία, όπως λογισμικό διοίκησης έργων και φύλλα επεξεργασίας, χρησιμοποιούνται συχνά για την παρακολούθηση

του σχεδιασμένου κόστους σε σχέση με το πραγματικό κόστος, καθώς και για την πρόβλεψη των επιδράσεων των μεταβολών κόστους

### 1.2.5 Διοίκηση ποιότητας έργου [1]

Η Διοίκηση Ποιότητας Έργου περιλαμβάνει εκείνες τις διαδικασίες που απαιτούνται για να εξασφαλισθεί ότι το έργο θα ικανοποιεί τις ανάγκες για τις οποίες ανελήφθη. Περιλαμβάνει «όλες τις δραστηριότητες της συνολικής διοικητικής λειτουργίας που προσδιορίζουν την πολιτική ποιότητας, τους αντικειμενικούς στόχους, και τις υπευθυνότητες και τις υλοποιεί με μέσα όπως ο σχεδιασμός ποιότητας, ο έλεγχος ποιότητας, η διασφάλιση ποιότητας, και η βελτίωση ποιότητας, μέσα στο σύστημα ποιότητας». Οι κύριες διαδικασίες διοίκησης ποιότητας έργου είναι οι:

1. Σχεδιασμός Ποιότητας
2. Διασφάλιση Ποιότητας
3. Έλεγχος Ποιότητας

Η διοίκηση ποιότητας έργου πρέπει να αφορά τόσο τη διοίκηση του έργου όσο και του προϊόντος του έργου. Αποτυχία στην επίτευξη των απαιτήσεων ποιότητας σε οποιαδήποτε από τις διαστάσεις αυτές μπορεί να έχει σοβαρές αρνητικές συνέπειες για οποιονδήποτε ή για όλους τους συντελεστές του έργου. Για παράδειγμα:

- Η ικανοποίηση των απαιτήσεων του πελάτη μέσω της υπερεργασίας της ομάδας έργου μπορεί να προκαλέσει αρνητικές συνέπειες υπό τη μορφή αυξημένων αντικαταστάσεων εργατικού δυναμικού.
- Η επίτευξη των στόχων του χρονοδιαγράμματος από την επίσπευση των επιθεωρήσεων ποιότητας μπορεί να δημιουργήσει αρνητικές συνέπειες εάν περάσουν απαρατήρητα διάφορα σφάλματα.

Ποιότητα είναι «το σύνολο των χαρακτηριστικών μίας οντότητας που σχετίζονται με την ικανότητά της να ικανοποιεί διατυπωμένες ή εννοούμενες ανάγκες». Μία κρίσιμη άποψη της διοίκησης ποιότητας στο περιβάλλον του έργου είναι η ανάγκη μετατροπής εννοούμενων αναγκών σε διατυπωμένες ανάγκες μέσα από τη διοίκηση αντικειμένου του έργου. Η ομάδα διοίκησης έργου πρέπει να προσέχει στο να μη συγχέει την ποιότητα

(quality) με το βαθμό (grade). Βαθμός είναι «μία κατηγορία ή κατάταξη που δίνεται σε οντότητες που έχουν την ίδια λειτουργική χρήση αλλά διαφορετικές απαιτήσεις ποιότητας». Η χαμηλή ποιότητα είναι πάντοτε πρόβλημα, ο χαμηλός βαθμός μπορεί να μην είναι. Για παράδειγμα, ένα προϊόν λογισμικού μπορεί να έχει υψηλή ποιότητα (μη προφανή σφάλματα, ευανάγνωστο εγχειρίδιο) και χαμηλό βαθμό (περιορισμένο αριθμό χαρακτηριστικών), ή χαμηλή ποιότητα (πολλά σφάλματα, πρόχειρα οργανωμένη τεκμηρίωση για το χρήστη) και υψηλό βαθμό (πολύαριθμα χαρακτηριστικά). Ο προσδιορισμός και η επίτευξη των απαιτούμενων επιπέδων τόσο ποιότητας όσο και βαθμού αποτελούν ευθύνες του διοικητή και της ομάδας διοίκησης έργου.

### 1.2.5.1 Σχεδιασμός Ποιότητας

Ο σχεδιασμός ποιότητας αφορά τον καθορισμό των προτύπων ποιότητας που σχετίζονται με το έργο και τον προσδιορισμό του πώς αυτά θα ικανοποιηθούν. Είναι μία από τις διευκολυντικές διαδικασίες-κλειδιά κατά το σχεδιασμό του έργου και πρέπει να εκτελείται τακτικά και παράλληλα με τις άλλες διαδικασίες σχεδιασμού. Οι τεχνικές σχεδιασμού ποιότητας που συζητώνται εδώ είναι αυτές που χρησιμοποιούνται πιο συχνά στα έργα. Υπάρχουν πολλές άλλες που μπορεί να είναι χρήσιμες για ορισμένα έργα ή σε ορισμένες περιοχές εφαρμογών. Οι τεχνικές αυτές είναι οι παρακάτω:

1. **Ανάλυση κόστους/οφέλειας.** Η διαδικασία σχεδιασμού ποιότητας πρέπει να λάβει υπόψη τις αντισταθμίσεις κόστους/οφέλειας. Το πρωταρχικό όφελος από την επίτευξη των απαιτήσεων ποιότητας είναι λιγότερη επανεργασία, το οποίο σημαίνει μεγαλύτερη παραγωγικότητα, χαμηλότερο κόστος και αυξημένη ικανοποίηση των συντελεστών. Το πρωταρχικό κόστος από την επίτευξη των απαιτήσεων ποιότητας είναι το έξοδο που σχετίζεται με τις δραστηριότητες διοίκησης ποιότητας του έργου. Αξιωματικά στο χώρο της διοίκησης ποιότητας τα οφέλη ξεπερνούν το κόστος.
2. **Συγκριτικές δοκιμές αναφοράς (benchmarking):** Οι συγκριτικές δοκιμές αναφοράς περιλαμβάνουν τη σύγκριση πραγματικών ή σχεδιασμένων πρακτικών του έργου με αυτές άλλων έργων ώστε να δημιουργηθούν ιδέες για βελτίωση ή να παρασχεθούν πρότυπα βάσει των οποίων θα μετρώνται οι επιδόσεις. Τα άλλα

έργα μπορεί να ανήκουν στον εκτελώντα οργανισμό ή να βρίσκονται έξω από αυτόν, και μπορεί να αφορούν την ίδια περιοχή εφαρμογής ή κάποια άλλη.

3. **Διαγράμματα ροής:** Ένα διάγραμμα ροής είναι οποιοδήποτε διάγραμμα απεικονίζει πώς συσχετίζονται τα διάφορα στοιχεία ενός συστήματος. Οι τεχνικές διαγραμμάτων ροής που χρησιμοποιούνται συχνότερα στη διοίκηση ποιότητας περιλαμβάνουν:

- *Διαγράμματα αιτίου-αποτελέσματος*, καλούμενα επίσης διαγράμματα Ishikawa ή διαγράμματα ψαροκόκκαλου, τα οποία δείχνουν πώς διάφορα αίτια και υποαίτια σχετίζονται στη δημιουργία πιθανών προβλημάτων ή αποτελεσμάτων.
- *Διαγράμματα συστήματος ή διαδικασίας*, τα οποία δείχνουν πώς διάφορα στοιχεία ενός συστήματος αλληλοσυσχετίζονται.

Τα διαγράμματα ροής μπορούν να βοηθήσουν την ομάδα έργου να προεξοφλήσει πού και ποια προβλήματα ποιότητας θα εμφανισθούν και έτσι να βοηθήσουν στην ανάπτυξη προσεγγίσεων για την αντιμετώπισή τους.

4. **Σχεδιασμός πειραμάτων:** Ο σχεδιασμός πειραμάτων είναι μία αναλυτική τεχνική που βοηθάει να προσδιορισθεί ποιες μεταβλητές έχουν την περισσότερη επίδραση στο συνολικό παραγόμενο. Η τεχνική εφαρμόζεται πιο συχνά στα προϊόντα των θεμάτων του έργου (π.χ., οι σχεδιαστές αυτοκινήτων μπορεί να επιθυμούν να προσδιορίσουν ποιος συνδυασμός αναρτήσεων και ελαστικών θα παράγει τα πιο επιθυμητά χαρακτηριστικά οδήγησης με ένα λογικό κόστος).

Ωστόσο, μπορεί επίσης να εφαρμοσθεί σε θέματα διοίκησης έργου όπως οι αντισταθμίσεις κόστους και χρόνου. Για παράδειγμα, οι έμπειροι μηχανικοί θα κοστίσουν περισσότερο από τους νέους μηχανικούς, αλλά ταυτόχρονα αναμένεται να ολοκληρώσουν την ανατεθειμένη εργασία σε λιγότερο χρόνο. Ένα κατάλληλα σχεδιασμένο «πείραμα» (στην προκειμένη περίπτωση, ο υπολογισμός κόστους και διάρκειών για διαφόρους συνδυασμούς εμπειρών και νέων μηχανικών) πολύ συχνά επιτρέπει τον προσδιορισμό μίας βέλτιστης λύσης μεταξύ ενός σχετικά περιορισμένου αριθμού περιπτώσεων.

### 1.2.5.2 Διασφάλιση Ποιότητας

Διασφάλιση ποιότητας είναι όλες οι σχεδιασμένες και συστηματικές δραστηριότητες που υλοποιούνται μέσα στο σύστημα ποιότητας για να παρέχεται εμπιστοσύνη ότι το έργο θα ικανοποιεί τα σχετικά πρότυπα ποιότητας. Πρέπει να εκτελείται καθόλη την έκταση του έργου. Οι αντίστοιχες τεχνικές είναι οι εξής:

1. **Εργαλεία και τεχνικές σχεδιασμού ποιότητας.** Όσα χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό ποιότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης για τη διασφάλιση ποιότητας.
2. **Επιθεωρήσεις ποιότητας.** Μία επιθεώρηση ποιότητας είναι μία δομημένη αναθεώρηση άλλων δραστηριοτήτων διοίκησης ποιότητας. Ο αντικειμενικός στόχος μίας επιθεώρησης ποιότητας είναι να προσδιορισθούν τα διδάγματα που μπορούν να βελτιώσουν τις επιδόσεις αυτού του έργου ή άλλων έργων μέσα στον εκτελώντα οργανισμό. Οι επιθεωρήσεις ποιότητας μπορεί να είναι προγραμματισμένες ή τυχαίες, και μπορεί να εκτελούνται από κατάλληλα εκπαιδευμένους εσωτερικούς επιθεωρητές ή από τρίτα μέρη όπως οργανισμοί καταχώρησης συστημάτων ποιότητας.

### 1.2.5.3 Έλεγχος Ποιότητας

Ο έλεγχος ποιότητας περιλαμβάνει την παρακολούθηση συγκεκριμένων αποτελεσμάτων του έργου ώστε να προσδιορισθεί εάν συμμορφώνονται με τα σχετικά πρότυπα ποιότητας και τον προσδιορισμό τρόπων περιορισμού των αιτιών μη ικανοποιητικών αποτελεσμάτων. Πρέπει να εκτελείται καθόλη την έκταση του έργου. Τα αποτελέσματα του έργου περιλαμβάνουν τόσο τα αποτελέσματα του προϊόντος όπως τα παραδοτέα όσο και αποτελέσματα διοίκησης όπως επιδόσεις κόστους και χρονοδιαγράμματος. Οι τεχνικές εδώ είναι οι παρακάτω:

1. **Επιθεώρηση:** Η επιθεώρηση περιλαμβάνει δραστηριότητες όπως μετρήσεις, εξετάσεις και δοκιμές που εκτελούνται για να προσδιορισθεί εάν τα αποτελέσματα συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις. Οι επιθεωρήσεις μπορεί να



εκτελούνται σε οποιοδήποτε επίπεδο (π.χ., τα αποτελέσματα μίας απλής δραστηριότητας μπορεί να επιθεωρούνται ή μπορεί να επιθεωρείται το τελικό προϊόν του έργου). Οι επιθεωρήσεις εναλλακτικά καλούνται αναθεωρήσεις, αναθεωρήσεις προϊόντος, εσωτερικοί έλεγχοι, και «διελεύσεις» (walk-through's). Σε ορισμένες περιοχές εφαρμογών, οι όροι αυτοί έχουν πιο περιορισμένο και ειδικό νόημα.

2. **Πίνακες ελέγχου:** Οι πίνακες ελέγχου είναι μία γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων μίας διαδικασίας, συναρτήσει του χρόνου. Χρησιμοποιούνται για να προσδιορισθεί εάν η διαδικασία είναι «υπό έλεγχο» (π.χ., οι διαφορές στα αποτελέσματα δημιουργούνται από τυχαίες διακυμάνσεις ή συμβαίνουν ασυνήθιστα γεγονότα οι αιτίες των οποίων πρέπει να αναγνωρισθούν και να διορθωθούν;). Οι πίνακες ελέγχου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση οποιουδήποτε τύπου μεταβλητής εξόδου. Αν και χρησιμοποιούνται συχνότερα για την παρακολούθηση επαναλαμβανόμενων δραστηριοτήτων, τα διαγράμματα ελέγχου μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση διακυμάνσεων κόστους και χρονοδιαγράμματος, όγκο και συχνότητα αλλαγών αντικειμένου, σφαλμάτων σε έγγραφα του έργου, ή σε άλλα αποτελέσματα του έργου ώστε να βοηθούν τον προσδιορισμό του εάν η «διαδικασία διοίκησης έργου» είναι υπό έλεγχο.
3. **Διαγράμματα Pareto:** Το διάγραμμα Pareto είναι ένα ιστόγραμμα, ταξινομημένο κατά συχνότητα εμφάνισης, που δείχνει πόσα αποτελέσματα παρήχθησαν κατά τύπο ή κατηγορία προσδιορισμένης αιτίας. Η ταξινόμηση κατά σειρά χρησιμοποιείται για την καθοδήγηση των διορθωτικών ενεργειών – η ομάδα έργου πρέπει να δρα ώστε να διορθώνει πρώτα τα προβλήματα που δημιουργούν το μεγαλύτερο αριθμό ελαττωμάτων. Τα διαγράμματα Pareto σχετίζονται εννοιολογικά με το Νόμο του Pareto, ο οποίος διατυπώνει ότι ένας σχετικά μικρός αριθμός αιτίων συνήθως παράγει τη μεγάλη πλειοψηφία των προβλημάτων ή ελαττωμάτων.
4. **Στατιστική δειγματοληψία:** Η στατιστική δειγματοληψία περιλαμβάνει την επιλογή μέρους του πληθυσμού που ενδιαφέρει για επιθεώρηση (π.χ., την τυχαία

επιλογή δέκα μηχανολογικών σχεδίων από μία λίστα με 75). Η κατάλληλη δειγματοληψία μπορεί συχνά να μειώσει το κόστος του ελέγχου ποιότητας.

5. **Διαγράμματα ροής:** Τα διαγράμματα ροής χρησιμοποιούνται στον έλεγχο ποιότητας για να βοηθούν την ανάλυση του πώς προκύπτουν προβλήματα.
6. **Ανάλυση τάσης:** Η ανάλυση τάσης περιλαμβάνει τη χρήση μαθηματικών τεχνικών για την πρόβλεψη μελλοντικών αποτελεσμάτων βάσει ιστορικών αποτελεσμάτων. Η ανάλυση τάσης χρησιμοποιείται συχνά για την παρακολούθηση της:
  - Τεχνικής επίδοσης – πόσα σφάλματα ή ελαττώματα έχουν προσδιορισθεί και πόσα παραμένουν αδιόρθωτα.
  - Επίδοσης κόστους και χρόνου – πόσες δραστηριότητες ανά περίοδο ολοκληρώθηκαν με σημαντικές αποκλίσεις.

## **1.2.6 Διοίκηση ανθρωπίνων πόρων έργου [1]**

Η Διοίκηση Ανθρωπίνων Πόρων Έργου περιλαμβάνει τις διαδικασίες που απαιτούνται ώστε να γίνει η πιο αποτελεσματική χρήση των ανθρώπων που εμπλέκονται στο έργο. Περιλαμβάνει όλους τους συντελεστές του έργου- χορηγούς, πελάτες, συνεταιίρους, ανεξάρτητους συνεισφορείς, και άλλους, ενώ περιλαμβάνει τις ακόλουθες κύριες διαδικασίες:

1. Οργανωσιακός Σχεδιασμός
2. Απόκτηση Προσωπικού
3. Ανάπτυξη Ομάδας

### **1.2.6.1 Οργανωσιακός Σχεδιασμός**

Ο οργανωσιακός σχεδιασμός περιλαμβάνει τον προσδιορισμό, καταγραφή και ανάθεση ρόλων, ευθυνών, και σχέσεων αναφοράς στο έργο. Οι ρόλοι, οι ευθύνες και οι σχέσεις αναφοράς μπορεί να ανατίθενται σε άτομα ή σε ομάδες. Τα άτομα και οι ομάδες μπορεί να αποτελούν μέρος του οργανισμού που εκτελεί το έργο, ή να είναι εξωτερικοί προς αυτό. Τα εργαλεία και οι τεχνικές αυτής της διαδικασίας είναι οι εξής:

1. **Πρότυπα:** Παρά το ότι κάθε έργο είναι μοναδικό, τα περισσότερα έργα ομοιάζουν με κάποιο άλλο ως ένα βαθμό. Η χρήση των ορισμών ρόλων και ευθυνών ή των σχέσεων αναφοράς σε ένα παρεμφερές έργο μπορεί να βοηθήσει στην επιτάχυνση της διαδικασίας οργανωσιακού σχεδιασμού.
2. **Πρακτικές ανθρωπίνων πόρων:** Πολλοί οργανισμοί έχουν μία ποικιλία πολιτικών, κατευθυντήριων γραμμών και διαδικασιών που μπορεί να βοηθήσουν την ομάδα διοίκησης έργου με διάφορες απόψεις του οργανωσιακού σχεδιασμού.
3. **Οργανωσιακή θεωρία:** Υφίσταται ένα σημαντικό κομμάτι βιβλιογραφίας που περιγράφει το πώς πρέπει και μπορούν να είναι δομημένοι οι οργανισμοί. Αν και μόνο ένα μικρό υποσύνολο αυτού του κομματιού της βιβλιογραφίας στοχεύει αποκλειστικά στην οργάνωση έργων, η ομάδα διοίκησης έργου πρέπει εν γένει να είναι εξοικειωμένη με το θέμα της οργανωσιακής θεωρίας ώστε να μπορεί καλύτερα να αποκρίνεται στις απαιτήσεις του έργου.
4. **Ανάλυση συντελεστών:** Ο προσδιορισμός των συντελεστών και των αναγκών των διαφόρων συντελεστών πρέπει να αναλύεται ώστε να διασφαλίζεται ότι θα ικανοποιούνται οι ανάγκες τους.

#### 1.2.6.2 Απόκτηση Προσωπικού

Η απόκτηση προσωπικού περιλαμβάνει την ανάθεση των απαιτούμενων ανθρώπινων πόρων (ατόμων ή ομάδων) και την τοποθέτησή τους σε εργασία στο έργο. Στα περισσότερα περιβάλλοντα, οι «καλύτεροι» πόροι μπορεί να μην είναι διαθέσιμοι, και η ομάδα διοίκησης του έργου πρέπει να φροντίσει να διασφαλισθεί ότι οι πόροι που είναι διαθέσιμοι θα ανταποκριθούν στις απαιτήσεις του έργου. Χρησιμοποιούνται οι παρακάτω τεχνικές:

1. **Διαπραγματεύσεις:** Οι αναθέσεις προσωπικού αποτελούν αντικείμενο διαπραγμάτευσης στα περισσότερα έργα. Για παράδειγμα, η ομάδα διοίκησης έργου μπορεί να χρειαστεί να διαπραγματευθεί με:
  - Υπεύθυνους λειτουργικούς διοικητές ώστε να διασφαλίσει ότι το έργο προσλαμβάνει κατάλληλο ικανό προσωπικό στα αναγκαία χρονικά πλαίσια.

- Άλλες ομάδες διοίκησης έργου εντός του αναδόχου οργανισμού ώστε να ανατεθούν με κατάλληλο τρόπο οι σπάνιοι ή οι εξειδικευμένοι πόροι.
2. **Προανάθεση:** Σε ορισμένες περιπτώσεις, το προσωπικό μπορεί να προανατεθεί στο έργο. Αυτό συμβαίνει συνήθως όταν (α) το έργο είναι αποτέλεσμα μίας ανταγωνιστικής πρότασης, και το συγκεκριμένο προσωπικό έχει δεσμευθεί ως μέρος της πρότασης, ή (β) το έργο είναι ένα έργο εσωτερικής υπηρεσίας, και οι αναθέσεις πόρων ορίστηκαν στον καταστατικό χάρτη του έργου.
  3. **Προμήθεια:** Η διοίκηση προμηθειών έργου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λήψη των υπηρεσιών συγκεκριμένων ατόμων ή ομάδων ανεξαρτήτων ατόμων ώστε να εκτελεστούν οι δραστηριότητες του έργου. Η προμήθεια απαιτείται όταν ο ανάδοχος οργανισμός δεν διαθέτει εκ των ενόντων το αναγκαίο προσωπικό ώστε να ολοκληρώσει το έργο (π.χ., ως αποτέλεσμα μίας συνειδητής απόφασης να μην προσλαμβάνονται τέτοια άτομα ως υπάλληλοι πλήρους απασχόλησης, ως αποτέλεσμα του να υπάρχει όλο το κατάλληλο ανταγωνιστικό προσωπικό προηγούμενα δεσμευμένο σε άλλο έργο, ή ως αποτέλεσμα άλλων συγκυριών).

### 1.2.6.3 Ανάπτυξη Ομάδας

Η ανάπτυξη ομάδας περιλαμβάνει τόσο τη βελτίωση της ικανότητας των συντελεστών να συνεισφέρουν ως άτομα, όσο και τη βελτίωση της ικανότητας της ομάδας να λειτουργήσει ως ομάδα. Η ατομική ανάπτυξη (διοικητική και τεχνική) είναι το θεμέλιο για την ανάπτυξη της ομάδας. Η ανάπτυξη ως ομάδα είναι κρίσιμη για την ικανότητα του έργου να επιτύχει τους στόχους του. Υπάρχουν οι εξής τεχνικές:

1. **Δραστηριότητες κτισίματος ομάδας:** Οι δραστηριότητες κτισίματος ομάδας περιλαμβάνουν τη διοίκηση και ανεξάρτητες ενέργειες που λαμβάνονται ειδικά και πρωταρχικά ώστε να βελτιωθεί η απόδοση της ομάδας. Πολλές ενέργειες – όπως αυτές που περιλαμβάνουν μέλη της ομάδας όχι σε επίπεδο διοίκησης, ή η θέσπιση κανόνων αναφοράς για την ανακάλυψη και διαχείριση αντιπαραθέσεων – μπορεί να βελτιώσουν την απόδοση της ομάδας ως δευτερογενές αποτέλεσμα. Οι δραστηριότητες κτισίματος ομάδας μπορεί να ποικίλουν από ένα διάρκειας πέντε λεπτών στοιχείο σε ένα θεματολόγιο κάποιας τακτικής συνάντησης

- ανασκόπησης της κατάστασης μέχρι μία εκτεταμένη, εξωτερικού χώρου, επαγγελματικά υποστηριζόμενη εμπειρία σχεδιασμένη ώστε να βελτιώσει τις διαπροσωπικές σχέσεις μεταξύ κυρίων συντελεστών.
2. **Ικανότητες γενικής διοίκησης:** Οι ικανότητες γενικής διοίκησης είναι ιδιαίτερης σημασίας για την ανάπτυξη ομάδας.
  3. **Συστήματα ανταμοιβής και αναγνώρισης:** Τα συστήματα ανταμοιβής και αναγνώρισης είναι επίσημες ενέργειες της διοίκησης που προωθούν ή ενδυναμώνουν την επιθυμητή συμπεριφορά. Προκειμένου να είναι αποτελεσματικά, τα συστήματα αυτά πρέπει να καθιστούν τη σύνδεση μεταξύ απόδοσης έργου και ανταμοιβής, σαφή, άμεση και επιτεύξιμη. Για παράδειγμα, ένας διοικητής έργου που πρόκειται να ανταμειφθεί επειδή επέτυχε το στόχο για το κόστος του έργου, θα πρέπει να έχει ένα κατάλληλο επίπεδο ελέγχου στις αποφάσεις στελέχωσης και προμηθειών.
  4. **Συστέγαση:** Η συστέγαση περιλαμβάνει την τοποθέτηση όλων, ή σχεδόν όλων των πλέον δραστήριων μελών της ομάδας έργου, στην ίδια φυσική θέση ώστε να βελτιωθεί η ικανότητά τους να εργάζονται ως ομάδα. Η συστέγαση χρησιμοποιείται ευρύτατα σε μεγαλύτερα έργα, ενώ μπορεί επίσης να είναι αποδοτική για μικρότερα έργα (π.χ. με ένα δωμάτιο πολέμου (war room), όπου η ομάδα συγκεντρώνεται και αναρτά χρονοδιαγράμματα, ενημερώσεις, κλπ.). Σε ορισμένα έργα, η συστέγαση μπορεί να μην αποτελεί επιλογή. Όπου δεν είναι βιώσιμη, ένας εναλλακτικός τρόπος είναι να προγραμματίζονται συχνές συναντήσεις πρόσωπο με πρόσωπο ώστε να ενθαρρύνεται η αλληλεπίδραση.
  5. **Εκπαίδευση:** Η εκπαίδευση περιλαμβάνει όλες τις δραστηριότητες που έχουν σχεδιασθεί για τη βελτίωση των προτερημάτων της ομάδας έργου. Ορισμένοι συγγραφείς διακρίνουν μεταξύ εκπαίδευσης (training), μόρφωσης (education), και ανάπτυξης (development), αλλά οι διακρίσεις δεν είναι ούτε συνεπείς ούτε ευρέως αποδεκτές. Η εκπαίδευση μπορεί να είναι επίσημη (π.χ., διδασκαλία σε αίθουσα, εκπαίδευση σε υπολογιστές) ή ανεπίσημη (π.χ., ανατροφοδότηση από άλλα μέλη της ομάδας). Υφίσταται ένας σημαντικό κομμάτι βιβλιογραφίας στο πώς να παρέχεται η εκπαίδευση σε ενήλικους. Εάν τα μέλη της ομάδας έργου δεν διαθέτουν τις απαραίτητες διοικητικές ή τεχνικές ικανότητες, οι ικανότητες αυτές

πρέπει να αναπτυχθούν ως τμήμα του έργου, ή πρέπει να γίνουν βήματα προς την επαναστελέχωση του έργου κατάλληλα. Το άμεσο και έμμεσο κόστος της εκπαίδευσης εν γένει πληρώνεται από τον ανάδοχο οργανισμό.

### **1.2.7 Διοίκηση επικοινωνιών έργου [1]**

Η διοίκηση επικοινωνιών έργου περιλαμβάνει τις διαδικασίες που απαιτούνται για να εξασφαλισθεί η έγκαιρη και κατάλληλη δημιουργία, συλλογή, διάχυση, αποθήκευση και οριστική διάθεση των πληροφοριών του έργου. Παρέχει τους κρίσιμους συνδέσμους μεταξύ ανθρώπων, ιδεών και πληροφοριών που είναι απαραίτητες για την επιτυχημένη ολοκλήρωση του έργου. Ο κάθε εμπλεκόμενος στο έργο πρέπει να είναι προετοιμασμένος να δέχεται και να στέλνει επικοινωνίες και πρέπει να καταλαβαίνει πώς οι επικοινωνίες στις οποίες εμπλέκεται ως μονάδα επηρεάζουν το έργο συνολικά. Η πτυχή αυτή της διοίκησης έργων περιλαμβάνει τις ακόλουθες κύριες διαδικασίες:

1. Σχεδιασμός Επικοινωνιών
2. Διανομή Πληροφοριών
3. Αναφορές Απόδοσης
4. Διαχειριστική Ολοκλήρωση

#### **1.2.7.1 Σχεδιασμός Επικοινωνιών**

Ο σχεδιασμός επικοινωνιών περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των πληροφοριών και των αναγκών επικοινωνίας των εμπλεκόμενων: ποιος χρειάζεται ποια πληροφορία, πότε θα την χρειασθεί, πώς θα του παρασχεθεί και από ποιόν. Ο προσδιορισμός των πληροφοριακών αναγκών των εμπλεκόμενων και η συγκεκριμενοποίηση του κατάλληλου μέσου αντιμετώπισης των αναγκών αυτών αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα επιτυχίας του έργου. Η ακολουθούμενη τεχνική σε αυτή τη φάση είναι:

- 1 **Ανάλυση συντελεστών:** Οι απαιτήσεις πληροφόρησης των διαφόρων συντελεστών πρέπει να αναλύονται ώστε να αναπτυχθεί μία μεθοδική και λογική άποψη των απαιτήσεών τους για πληροφόρηση προκειμένου να ικανοποιηθούν οι ανάγκες αυτές. Η ανάλυση πρέπει να λαμβάνει υπόψιν τις μεθόδους και

τεχνολογίες προσαρμοσμένες στο έργο που θα παρέχουν την αναγκαία πληροφορία. Προσοχή πρέπει να δίνεται στην αποφυγή σπατάλης πόρων σε μη αναγκαία πληροφορία ή σε ακατάλληλη τεχνολογία.

### 1.2.7.2 Διανομή Πληροφοριών

Η διανομή πληροφοριών αφορά τη διάθεση της αναγκαίας πληροφορίας στους συντελεστές του έργου εγκαίρως. Περιλαμβάνει την υλοποίηση του σχεδίου διοίκησης επικοινωνιών, καθώς και την απόκριση σε απρόοπτα αιτήματα πληροφόρησης. Συνήθως εφαρμόζονται οι εξής τεχνικές:

1. **Ικανότητες επικοινωνίας:** Οι ικανότητες επικοινωνίας χρησιμοποιούνται για την ανταλλαγή πληροφοριών. Ο αποστολέας είναι υπεύθυνος να καταστήσει την πληροφορία ευκρινή, σαφή και πλήρη, έτσι ώστε ο παραλήπτης να την παραλάβει σωστά, καθώς και να επιβεβαιώσει ότι έχει κατανοηθεί ορθά. Ο παραλήπτης είναι υπεύθυνος να επιβεβαιώσει ότι η πληροφορία παρελήφθη στο σύνολό της και ότι έχει κατανοηθεί ορθά. Η επικοινωνία έχει πολλές διαστάσεις:
  - Γραπτή και προφορική, ακρόαση και ομιλία.
  - Εσωτερική (εντός του έργου) και εξωτερική (για τον πελάτη, τα μέσα, το κοινό, κλπ.).
  - Τυπική (αναφορές, ενημερώσεις, κλπ.) και άτυπη (μνημόνια, ad hoc συζητήσεις, κλπ.).
  - Κάθετη (ανερχόμενη και κατερχόμενη εντός του οργανισμού) και οριζόντια (μεταξύ συνεργατών).
2. **Συστήματα ανάκτησης πληροφοριών:** Οι πληροφορίες μπορούν να μοιραστούν από τα μέλη της ομάδας και τους συντελεστές μέσω διαφόρων μεθόδων, περιλαμβανομένων των συστημάτων αρχειοθέτησης, ηλεκτρονικών βάσεων δεδομένων, λογισμικού διοίκησης έργου, και συστημάτων που επιτρέπουν πρόσβαση σε τεχνικά έγγραφα όπως μηχανολογικά σχέδια, σχεδιαστικές προδιαγραφές, σχέδια δοκιμών, κλπ.
3. **Μέθοδοι διανομής πληροφοριών:** Οι πληροφορίες του έργου μπορούν να διανεμηθούν με τη χρήση διαφόρων μεθόδων που περιλαμβάνουν τις συναντήσεις

έργου, τη διανομή εντύπων, την κοινή πρόσβαση σε δικτυωμένες ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων, fax, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, φωνητικό ταχυδρομείο (voice mail), τηλεσυνδιάσκεψη (video conferencing), και διαδίκτυο έργου (project intranet).

### 1.2.7.3 Αναφορές Απόδοσης

Οι αναφορές απόδοσης περιλαμβάνουν τη συλλογή και διάχυση των πληροφοριών απόδοσης ώστε να παρασχεθεί στους συντελεστές του έργου η πληροφορία για το πώς χρησιμοποιούνται οι πόροι στην προσπάθεια να επιτευχθούν οι αντικειμενικοί στόχοι του έργου. Εφαρμόζονται οι εξής τεχνικές:

1. **Ανασκοπήσεις απόδοσης:** Οι ανασκοπήσεις απόδοσης είναι συναντήσεις που λαμβάνουν χώρα προκειμένου να εκτιμηθεί η κατάσταση του έργου και/ή η πρόοδός του.
2. **Ανάλυση διακυμάνσεων (variance analysis):** Η ανάλυση διακυμάνσεων αφορά τη σύγκριση των πραγματικών αποτελεσμάτων του έργου με τα προγραμματισμένα ή αναμενόμενα αποτελέσματα. Οι διακυμάνσεις κόστους και χρονοδιαγράμματος είναι οι πλέον συχνά αναλυόμενες, αλλά και οι διακυμάνσεις του έργου στις περιοχές του εύρους, των πόρων, της ποιότητας και του κινδύνου είναι συχνά ίσης ή και μεγαλύτερης σημασίας.
3. **Ανάλυση τάσεων:** Η ανάλυση τάσεων αφορά την εξέταση των αποτελεσμάτων του έργου ως προς το χρόνο προκειμένου να προσδιορισθεί εάν η απόδοση βελτιώνεται ή φθίνει.
4. **Ανάλυση δεδουλευμένης αξίας (earned value analysis):** Η ανάλυση δεδουλευμένης αξίας στις διάφορες μορφές της είναι η πλέον συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος για τη μέτρηση της απόδοσης. Συμπεριλαμβάνει μετρήσεις εύρους, κόστους (ή πόρων), και χρονοδιαγράμματος ώστε να υποβοηθήσει την ομάδα διοίκησης του έργου στην εκτίμηση της απόδοσης του έργου. Ως μέθοδος χρησιμοποιείται στον έλεγχο του κόστους (παρ. 1.2.4.4) , στην παρακολούθηση και τον έλεγχο των κινδύνων (παρ.1.2.8.6) και στα πλαίσια της διοίκησης ολοκλήρωσης του έργου ( παρ. 1.2.1.3) . Η Δεδουλευμένη Αξία



(Earned Value – EV) περιλαμβάνει τον υπολογισμόν τριών τιμών-κλειδιών για κάθε δραστηριότητα:

- Την Προγραμματισμένη Αξία (Planned Value – PV), παλαιότερα καλούμενη προϋπολογισμένο κόστος προγραμματισμένης εργασίας (BCWS), η οποία είναι το τμήμα του εγκεκριμένου εκτιμούμενου κόστους που είχε σχεδιασθεί να δαπανηθεί στη δραστηριότητα αυτή για μία δεδομένη χρονική περίοδο.
- Το Πραγματικό Κόστος (Actual Cost – AC), παλιότερα καλούμενο πραγματικό κόστος εκτελεσθείσης εργασίας (ACWP), που είναι το σύνολο του κόστους που δημιουργήθηκε για την εκπλήρωση της εργασίας στη δραστηριότητα αυτή για μία δεδομένη χρονική περίοδο. Το Πραγματικό Κόστος πρέπει να αντιστοιχεί σε οτιδήποτε είχε προϋπολογισθεί για την Προγραμματισμένη Αξία και τη Δεδουλευμένη Αξία (π.χ., μόνον άμεσες ώρες, ή μόνον άμεσο κόστος, ή όλο το κόστος συμπεριλαμβανομένου και του έμμεσου κόστους).
- Τη Δεδουλευμένη Αξία (Earned Value – EV), παλαιότερα καλούμενη προϋπολογισμένο κόστος εκτελεσθείσης εργασίας (BCWP), που είναι η αξία της εργασίας που πράγματι ολοκληρώθηκε.

Οι τρεις αυτές τιμές χρησιμοποιούνται συνδυαστικά προκειμένου να εξαχθούν μέτρα του κατά πόσον η εργασία ολοκληρώνεται όπως είχε προγραμματισθεί. Οι πλέον συχνά χρησιμοποιούμενες μετρήσεις είναι η διακύμανση κόστους ( $\Delta K$ ) (cost variance – CV) ( $CV=EV-AC$ ), και η διακύμανση χρονοδιαγράμματος ( $\Delta X$ ) (SV) ( $SV=EV-PV$ ). Οι δύο αυτές μετρήσεις, η  $\Delta K$  και η  $\Delta X$ , μπορούν να μετατραπούν σε δείκτες αποδοτικότητας ώστε να αντανakλούν την απόδοση κόστους και χρόνου για οποιοδήποτε έργο. Ο δείκτης απόδοσης κόστους ( $\Delta AK$ ) (Cost Performance Index – CPI) ( $CPI=EV/AC$ ) είναι ο πλέον συχνά χρησιμοποιούμενος δείκτης αποδοτικότητας κόστους (δαπανών). Ο συσσωρευτικός  $\Delta AK$  (το άθροισμα όλων των ανεξάρτητων προϋπολογισμών EV διαιρεμένο από το άθροισμα όλων των ανεξάρτητων AC) χρησιμοποιείται ευρέως για την πρόβλεψη των δαπανών του έργου κατά την ολοκλήρωση. Επιπλέον, ο δείκτης απόδοσης χρονοδιαγράμματος ( $\Delta AX$ ) (schedule performance index –

SPI) ( $SPI=EV/PV$ ) χρησιμοποιείται ορισμένες φορές σε συνδυασμό με τον ΔΑΚ για την πρόβλεψη εκτιμήσεων ολοκλήρωσης του έργου.

#### **1.2.7.4 Διαχειριστική Ολοκλήρωση**

Ένα έργο ή μία φάση, εφόσον είτε επιτευχθούν οι αντικειμενικοί του στόχοι ή σταματήσει για άλλους λόγους, απαιτεί τερματισμό. Η διαχειριστική ολοκλήρωση αποτελείται από την τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων του έργου ώστε να επισημοποιηθεί η αποδοχή του προϊόντος του έργου από τον χορηγό ή τον πελάτη. Περιλαμβάνει τη συλλογή των εγγραφών του έργου, τη διασφάλιση ότι απεικονίζουν οριστικές προδιαγραφές, την ανάλυση της επιτυχίας, της αποδοτικότητας και των διδαγμάτων του έργου, και την αρχειοθέτηση της πληροφορίας αυτής για μελλοντική χρήση. Τα εργαλεία και οι τεχνικές που εφαρμόζονται στην διαχειριστική ολοκλήρωση είναι τα:

- 1 Εργαλεία και τεχνικές αναφορών απόδοσης.*
- 2 Αναφορές έργου.*
- 3 Παρουσιάσεις έργου.*

#### **1.2.8 Διοίκηση κινδύνων έργου [1]**

Διοίκηση Κινδύνων είναι η συστηματική διαδικασία προσδιορισμού, ανάλυσης και απόκρισης στους κινδύνους του έργου. Περιλαμβάνει τη μεγιστοποίηση της πιθανότητας και των συνεπειών των θετικών γεγονότων και την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας και των συνεπειών από γεγονότα αντίθετα στους στόχους του έργου. Η πτυχή αυτή της διοίκησης έργων περιλαμβάνει τις ακόλουθες κύριες διαδικασίες:

- 1 Σχεδιασμός Διοίκησης Κινδύνων
- 2 Αναγνώριση Κινδύνων
- 3 Ποιοτική Ανάλυση Κινδύνων
- 4 Ποσοτική Ανάλυση Κινδύνων
- 5 Σχεδιασμός Απόκρισης σε Κινδύνους
- 6 Παρακολούθηση και Έλεγχος Κινδύνων

### 1.2.8.1 Σχεδιασμός Διοίκησης Κινδύνων

Ο σχεδιασμός διοίκησης κινδύνων είναι η διαδικασία απόφασης του πώς θα προσεγγισθούν και θα σχεδιασθούν οι δραστηριότητες διοίκησης κινδύνων για ένα έργο. Είναι σημαντικό να γίνει σχεδιασμός των διαδικασιών που πρέπει να ακολουθηθούν για τη διοίκηση κινδύνων ώστε να διασφαλισθεί ότι το επίπεδο, ο τύπος και η διορατικότητα της διοίκησης κινδύνων αντιστοιχούν τόσο με τον κίνδυνο όσο και με τη σημαντικότητα του έργου για τον οργανισμό. Η τεχνική η οποία εφαρμόζεται σε αυτή τη φάση είναι η: **Συναντήσεις σχεδιασμού**: Οι ομάδες έργου πραγματοποιούν συναντήσεις σχεδιασμού για την ανάπτυξη του σχεδίου διοίκησης κινδύνων. Στους συμμετέχοντες περιλαμβάνεται ο διοικητής του έργου, οι ηγέτες της ομάδας έργου, οποιοσδήποτε εντός του οργανισμού με υπευθυνότητα διοίκησης στις δραστηριότητες σχεδιασμού κινδύνων και εκτέλεσης αυτών, βασικοί συντελεστές, και άλλοι, όπως απαιτείται. Χρησιμοποιούν τα πρότυπα διοίκησης κινδύνων και άλλες εισόδους όπως κρίνεται κατάλληλο.

### 1.2.8.2 Αναγνώριση Κινδύνων

Η αναγνώριση κινδύνων περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των κινδύνων που ενδεχομένως θα επηρεάσουν το έργο και την καταγραφή των χαρακτηριστικών τους. Συμμετέχοντες στην αναγνώριση κινδύνων είναι εν γένει οι ακόλουθοι, όταν είναι δυνατόν: η ομάδα έργου, η ομάδα διοίκησης κινδύνων, άνθρωποι με εμπειρία σε ειδικά θέματα από άλλα τμήματα της εταιρείας, πελάτες, τελικοί χρήστες, άλλοι διοικητές έργων, συντελεστές και εξωτερικοί εμπειρογνώμονες. Η αναγνώριση κινδύνων είναι μία επαναληπτική διαδικασία. Η πρώτη επανάληψη μπορεί να πραγματοποιηθεί από ένα μέρος της ομάδας έργου, ή από την ομάδα διοίκησης κινδύνων. Όλη η ομάδα έργου και οι κύριοι συντελεστές του μπορεί να κάνουν μία δεύτερη επανάληψη. Προκειμένου να επιτευχθεί μία αντικειμενική ανάλυση, άτομα μη εμπλεκόμενα στο έργο μπορεί να πραγματοποιήσουν την τελική επανάληψη. Εφαρμόζονται οι παρακάτω τεχνικές:

1. **Ανασκοπήσεις έγγραφου υλικού:** Η πραγματοποίηση μιας δομημένης ανασκόπησης των σχεδίων έργου και των υποθέσεων, τόσο στο επίπεδο του εύρους του συνολικού έργου όσο και στο επίπεδο του λεπτομερούς εύρους, των προηγούμενων αρχείων έργου, και άλλων πληροφοριών, είναι εν γένει το αρχικό βήμα που γίνεται από τις ομάδες έργου.
2. **Τεχνικές συλλογής πληροφοριών:** Παραδείγματα τεχνικών συλλογής πληροφοριών οι οποίες χρησιμοποιούνται στην αναγνώριση κινδύνων μπορεί να περιλαμβάνουν την έκφραση ιδεών (brainstorming), την τεχνική Delphi, τις συνεντεύξεις, καθώς και ανάλυση προτερημάτων, ελαττωμάτων, ευκαιριών και κινδύνων (strengths, weaknesses, opportunities, and threats (SWOT)).
3. **Λίστες ελέγχου:** Οι λίστες ελέγχου για την αναγνώριση κινδύνων μπορεί να αναπτυχθούν βάσει ιστορικών πληροφοριών και γνώσεων που έχουν συσσωρευθεί από προηγούμενα παρόμοια έργα καθώς και από άλλες πηγές πληροφοριών. Ένα πλεονέκτημα από τη χρήση μίας λίστας ελέγχου είναι ότι η αναγνώριση κινδύνων είναι γρήγορη και απλή. Ένα μειονέκτημα είναι ότι είναι αδύνατο να δημιουργηθεί μία εξαντλητική λίστα ελέγχου κινδύνων, με αποτέλεσμα ο χρήστης να περιορίζεται στην πράξη στις κατηγορίες της λίστας. Πρέπει να δίνεται προσοχή στην αναζήτηση στοιχείων που δεν περιλαμβάνονται σε μία τυπική λίστα ελέγχου εάν μοιάζουν σχετικά με το συγκεκριμένο έργο. Η λίστα ελέγχου πρέπει να στοιχειοθετεί όλους τους τύπους των πιθανών κινδύνων για το έργο. Είναι σημαντικό να αναθεωρείται η λίστα ελέγχου ως ένα τυπικό βήμα κάθε διαδικασίας κλεισίματος του έργου ώστε να εμπλουτίζεται η λίστα των πιθανών κινδύνων και η περιγραφή αυτών.
4. **Ανάλυση υποθέσεων:** Κάθε έργο συλλαμβάνεται και αναπτύσσεται βάσει ενός συνόλου υποθέσεων, σεναρίων, ή υποθέσεων. Η ανάλυση υποθέσεων είναι μία τεχνική που εξερευνά την ισχύ των υποθέσεων. Προσδιορίζει τους κινδύνους στο έργο από ανακρίβειες, ασυμβατότητες, ή ελλείψεις των υποθέσεων.
5. **Διαγραμματικές τεχνικές.** Οι διαγραμματικές τεχνικές περιλαμβάνουν:
  - Διαγράμματα αιτίου-αιτιατού (γνωστά επίσης ως διαγράμματα Ishikawa ή διαγράμματα ψαροκόκκαλου) – χρησιμεύουν για τον προσδιορισμό των αιτίων των κινδύνων

- Διαγράμματα ροής συστημάτων ή διαδικασιών – δείχνουν το πώς αλληλοσυσχετίζονται τα διάφορα στοιχεία ενός συστήματος καθώς και το μηχανισμός αιτίασης.
- Διαγράμματα επιρροής – μία γραφική αναπαράσταση ενός προβλήματος που δείχνει τις αιτιατές επιρροές, τη χρονική διάταξη των γεγονότων, και άλλες σχέσεις μεταξύ μεταβλητών και αποτελεσμάτων

### 1.2.8.3 Ποιοτική Ανάλυση Κινδύνων

Ποιοτική ανάλυση κινδύνων είναι η διαδικασία της αξιολόγησης της επίπτωσης και της πιθανοφάνειας των προσδιορισμένων κινδύνων. Η διαδικασία αυτή θέτει τους κινδύνους σε προτεραιότητα σύμφωνα με την πιθανή επίδρασή τους στους στόχους του έργου. Η ποιοτική ανάλυση κινδύνων είναι ένας τρόπος καθορισμού της σημασίας αντιμετώπισης συγκεκριμένων κινδύνων και καθοδήγησης των αποκρίσεων σε κινδύνους. Η χρονική κρισιμότητα ενεργειών σχετικών με κινδύνους μπορεί να μεγενθύνει τη σημαντικότητα ενός κινδύνου. Μία εκτίμηση της ποιότητας της διαθέσιμης πληροφορίας επίσης βοηθά στην τροποποίηση της αξιολόγησης των κινδύνων. Η ποιοτική ανάλυση κινδύνων απαιτεί η πιθανότητα και τα επακόλουθα των κινδύνων να αναλύονται χρησιμοποιώντας εγκαθιδρυμένες μεθόδους και εργαλεία ποιοτικής ανάλυσης. Οι τάσεις των αποτελεσμάτων όταν επαναλαμβάνεται η ποιοτική ανάλυση μπορεί να υποδείξουν την ανάγκη για περισσότερη ή λιγότερη δράση διοίκησης κινδύνων. Η χρήση των εργαλείων αυτών βοηθά στη διόρθωση των πολώσεων που είναι συχνά παρούσες σε ένα σχέδιο έργου. Η ποιοτική ανάλυση κινδύνων πρέπει να επανεξετάζεται κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός έργου ώστε να παραμένει ενήμερη των αλλαγών στους κινδύνους του έργου. Η διαδικασία αυτή μπορεί να οδηγήσει σε περαιτέρω ανάλυση στην ποσοτική ανάλυση κινδύνων ή απευθείας στο σχεδιασμό της απόκρισης σε κινδύνους. Οι τεχνικές που εφαρμόζονται είναι οι:

1. **Πιθανότητες και επιπτώσεις κινδύνων:** Η πιθανότητα ενός κινδύνου και οι επιπτώσεις του μπορεί να περιγραφούν με ποιοτικούς όρους όπως πολύ υψηλή, υψηλή, μέτρια, χαμηλή, και πολύ χαμηλή.

- Πιθανότητα κινδύνου είναι η πιθανοφάνεια (likelihood) να συμβεί ένας κίνδυνος.
- Επιπτώσεις κινδύνου είναι η επίδραση στους στόχους του έργου εάν συμβεί το γεγονός κινδύνου.

Αυτές οι δύο διαστάσεις του κινδύνου εφαρμόζονται σε συγκεκριμένα γεγονότα κινδύνων, όχι στο συνολικό έργο. Η ανάλυση των κινδύνων χρησιμοποιώντας την πιθανότητα και τις επιπτώσεις βοηθάει στον προσδιορισμό των κινδύνων αυτών που πρέπει να διοικηθούν επιθετικά.

2. **Πίνακας κατάταξης πιθανότητας/επιπτώσεων κινδύνων:** Είναι δυνατόν να δημιουργηθεί ένας πίνακας ο οποίος αναθέτει κατατάξεις κινδύνων (πολύ χαμηλός, χαμηλός, μέτριος, υψηλός και πολύ υψηλός) σε κινδύνους ή σε συνθήκες βάσει του συνδυασμού κλιμάκων πιθανοτήτων και επιπτώσεων. Οι κίνδυνοι με υψηλή πιθανότητα και σημαντικές επιπτώσεις χρήζουν περαιτέρω ανάλυσης, περιλαμβανομένης της ποσοτικοποίησης, καθώς και επιθετική διοίκηση κινδύνων. Η κατάταξη των κινδύνων επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός πίνακα και κλιμάκων κινδύνου για κάθε κίνδυνο. Η κλίμακα επιπτώσεων κινδύνου (risk's impact scale) αντανακλά τη σοβαρότητα των επιδράσεων στο στόχο του έργου. Μία επίπτωση μπορεί να είναι ordinal ή cardinal, ανάλογα με τη φιλοσοφία του οργανισμού που πραγματοποιεί την ανάλυση. Οι ordinal κλίμακες είναι απλές, ταξινομημένες κατά τιμή, όπως πολύ χαμηλή, χαμηλή, μέτρια, υψηλή και πολύ υψηλή. Οι cardinal κλίμακες αναθέτουν τιμές στις επιπτώσεις αυτές.
3. **Δοκιμή υποθέσεων έργου:** Οι προσδιορισμένες υποθέσεις πρέπει να δοκιμαστούν ως προς δύο κριτήρια: ευστάθεια των υποθέσεων και των συνεπειών στο έργο εάν οι υποθέσεις είναι εσφαλμένες. Εναλλακτικές υποθέσεις οι οποίες μπορεί να είναι αληθείς πρέπει να προσδιορισθούν και να δοκιμαστούν οι επιπτώσεις τους στους στόχους του έργου στη διαδικασία ποιοτικής ανάλυσης κινδύνων.
4. **Ταξινόμηση ακρίβειας δεδομένων:** Η ποιοτική ανάλυση κινδύνων απαιτεί ακριβή και μη πολωμένα δεδομένα εάν πρόκειται να βοηθήσει τη διοίκηση έργων. Η ταξινόμηση ακρίβειας δεδομένων είναι μία τεχνική αξιολόγησης του βαθμού στον οποίο τα δεδομένα για κινδύνους είναι χρήσιμα για τη διοίκηση κινδύνων. Περιλαμβάνει την εξέταση:

- Της έκτασης της κατανόησης του κινδύνου.
- Των διαθέσιμων δεδομένων για τον κίνδυνο.
- Της ποιότητας των δεδομένων.
- Της αξιοπιστίας και της ακρίβειας των δεδομένων.

Η χρήση δεδομένων χαμηλής ακρίβειας – για παράδειγμα, εάν ένας κίνδυνος δεν είναι κατανοητός – μπορεί να οδηγήσει σε μία ποιοτικής ανάλυσης κινδύνων μικρής αξίας για το διοικητή του έργου. Εάν η ταξινόμηση της ακρίβειας των δεδομένων είναι μη αποδεκτή, ενδέχεται να είναι δυνατή η συλλογή καλύτερων δεδομένων.

#### **1.2.8.4 Ποσοτική Ανάλυση Κινδύνων**

Η διαδικασία ποσοτικής ανάλυσης κινδύνων στοχεύει στην αριθμητική ανάλυση της πιθανότητας για κάθε κίνδυνο και για τις επιπτώσεις του στο στόχο του έργου, καθώς και για την έκταση του συνολικού κινδύνου του έργου. Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιεί τεχνικές όπως η προσομοίωση Monte Carlo και η ανάλυση αποφάσεων προκειμένου να:

- Καθορισθεί η πιθανότητα επίτευξης ενός συγκεκριμένου στόχου του έργου.
- Ποσοτικοποιηθεί η έκθεση του έργου σε κινδύνους και να καθορισθεί το μέγεθος των αποθεμάτων κόστους και χρόνου που πιθανόν να χρειασθούν για έκτακτες ανάγκες.
- Προσδιορισθούν οι κίνδυνοι που απαιτούν την μεγαλύτερη προσοχή με ποσοτικοποίηση της σχετικής συνεισφοράς τους στον κίνδυνο του έργου.
- Προσδιορισθούν ρεαλιστικοί και επιτεύξιμοι στόχοι για το κόστος, το χρονοδιάγραμμα και το εύρος.

Η ποσοτική ανάλυση κινδύνων εν γένει έπεται της ποιοτικής ανάλυσης κινδύνων, καθώς απαιτεί την αναγνώριση των κινδύνων. Οι διαδικασίες ποιοτικής και ποσοτικής ανάλυσης κινδύνων μπορεί να χρησιμοποιηθούν ξεχωριστά ή από κοινού. Οι προβληματισμοί για τη διαθεσιμότητα χρόνου και κονδυλίων καθώς και η ανάγκη για ποιοτικές και ποσοτικές δηλώσεις σχετικά με τους κινδύνους και τις επιπτώσεις τους, θα καθορίσουν ποια μέθοδος θα χρησιμοποιηθεί. Οι τάσεις των αποτελεσμάτων όταν επαναλαμβάνεται η ποσοτική ανάλυση μπορούν να υποδείξουν την ανάγκη για

περισσότερες ή λιγότερες ενέργειες διοίκησης κινδύνων. Οι τεχνικές αυτής της φάσης είναι:

1. **Συνεντεύξεις (Interviewing).** Τεχνικές συνεντεύξεων χρησιμοποιούνται για την ποσοτικοποίηση της πιθανότητας και των επιπτώσεων των κινδύνων στους στόχους του έργου. Μία συνέντευξη επί των κινδύνων με τους συντελεστές του έργου και τους ειδικούς επί του αντικειμένου μπορεί να αποτελέσει το πρώτο βήμα για την ποσοτικοποίηση των κινδύνων. Η απαιτούμενη πληροφορία εξαρτάται από τον τύπο των κατανομών πιθανοτήτων που θα χρησιμοποιηθούν. Για παράδειγμα, πρέπει να συλλεγεί πληροφορία για το αισιόδοξο (χαμηλό), απαισιόδοξο (υψηλό) και πιο πιθανό σενάριο εάν χρησιμοποιηθούν τριγωνικές κατανομές, ή για το μέσο όρο και την τυπική απόκλιση για κανονική και για λογαριθμική κανονική (log normal) κατανομή. Οι κατανομές συνεχών πιθανοτήτων είναι αυτές που χρησιμοποιούνται συνηθέστερα στην ποσοτική ανάλυση κινδύνων. Οι κατανομές αναπαριστούν τόσο την πιθανότητα όσο και τις επιπτώσεις των συνιστωσών του έργου. Συνήθεις τύποι κατανομών περιλαμβάνουν την ομοιόμορφη, την κανονική, την τριγωνική, την κατανομή βήτα και τη λογαριθμική κανονική. Η καταγραφή της αιτιολόγησης των περιοχών των κινδύνων είναι μία σημαντική συνιστώσα των συνεντεύξεων για κινδύνους, καθώς μπορεί να οδηγήσει σε αποτελεσματικές στρατηγικές για την απόκριση σε κινδύνους κατά τη διαδικασία σχεδιασμού απόκρισης σε κινδύνους,
2. **Ανάλυση ευαισθησίας:** Η ανάλυση ευαισθησίας βοηθάει στον καθορισμό του ποιοί κίνδυνοι έχουν τις μέγιστες πιθανές επιπτώσεις στο έργο. Εξετάζει την έκταση στην οποία η αβεβαιότητα για κάθε στοιχείο του έργου επηρεάζει τον εξεταζόμενο στόχο, όταν όλα τα άλλα στοιχεία αβεβαιότητας διατηρούνται στις τιμές αναφοράς τους.
3. **Ανάλυση δένδρου αποφάσεων:** Μία ανάλυση δένδρου αποφάσεων έχει συνήθως τη δομή ενός δένδρου απόφασης. Το δένδρο απόφασης είναι ένα διάγραμμα που περιγράφει μία απόφαση λαμβάνοντας υπόψιν και τις επιπτώσεις από την επιλογή της μίας ή της άλλης από τις διαθέσιμες εναλλακτικές λύσεις. Ενσωματώνει τις πιθανότητες των κινδύνων και το κόστος ή τις ανταμοιβές για κάθε λογικό μονοπάτι γεγονότων και μελλοντικών αποφάσεων. Η επίλυση του δένδρου



αποφάσεων υποδεικνύει ποιά απόφαση αποδίδει τη μέγιστη προσδοκώμενη αξία σε αυτόν που λαμβάνει την απόφαση όταν ποσοτικοποιηθούν όλες οι αβέβαιες επιπτώσεις, εκταμιεύσεις, ανταμοιβές, και ακόλουθες αποφάσεις.

4. **Προσομοίωση:** Μία προσομοίωση του έργου χρησιμοποιεί ένα μοντέλο το οποίο μεταφράζει τις προσδιορισμένες αβεβαιότητες σε λεπτομερειακό επίπεδο σε πιθανές επιπτώσεις στους στόχους οι οποίες εκφράζονται στο επίπεδο του συνολικού έργου. Οι προσομοιώσεις έργων πραγματοποιούνται συνήθως με χρήση της τεχνικής Monte Carlo.

#### 1.2.8.5 Σχεδιασμός Απόκρισης σε Κινδύνους

Ο σχεδιασμός απόκρισης σε κινδύνους είναι η διαδικασία ανάπτυξης επιλογών και προσδιορισμού ενεργειών ώστε να βελτιωθούν οι ευκαιρίες και να μειωθούν οι κίνδυνοι για τους στόχους του έργου. Περιλαμβάνει τον προσδιορισμό και την ανάθεση των ατόμων ή ομάδων που θα αναλάβουν την ευθύνη για κάθε συμφωνημένη απόκριση σε κίνδυνο. Η διαδικασία αυτή διασφαλίζει ότι οι αναγνωρισμένοι κίνδυνοι αντιμετωπίζονται με τον κατάλληλο τρόπο. Η αποτελεσματικότητα του σχεδιασμού απόκρισης θα καθορίσει άμεσα εάν ο κίνδυνος για το έργο αυξάνεται ή μειώνεται.

Ο σχεδιασμός απόκρισης σε κίνδυνο πρέπει να είναι κατάλληλος προς τη σοβαρότητα του κινδύνου, να είναι αποτελεσματικός ως προς το κόστος αντιμετώπισης της πρόκλησης, έγκαιρος ώστε να είναι επιτυχημένος, ρεαλιστικός ως προς το περιβάλλον του έργου, συμφωνημένος από όλα τα εμπλεκόμενα μέρη, και να ανήκει σε ένα υπεύθυνο άτομο. Συχνά απαιτείται η διαλογή της καλύτερης απόκρισης σε κίνδυνο ανάμεσα σε αρκετές επιλογές.

Αρκετές στρατηγικές απόκρισης σε κινδύνους μπορεί να είναι διαθέσιμες. Για κάθε κίνδυνο πρέπει να επιλέγεται η στρατηγική που δείχνει πιο αποτελεσματική για αυτόν. Κατόπιν, πρέπει να αναπτύσσονται συγκεκριμένες ενέργειες υλοποίησης της στρατηγικής αυτής. Ενδέχεται να αναπτυχθούν κύριες και υποστηρικτικές στρατηγικές.

1. **Αποφυγή** (avoidance): Η αποφυγή κινδύνου είναι η αλλαγή του σχεδίου του έργου ώστε να απαλειφθεί ο κίνδυνος ή η συνθήκη ή να προστατευθούν οι στόχοι του έργου από τις επιπτώσεις του. Αν και η ομάδα έργου δεν μπορεί ποτέ να

απαλείψει όλα τα γεγονότα κινδύνων, εντούτοις μπορεί να αποφευχθούν συγκεκριμένοι κίνδυνοι.

Ορισμένα γεγονότα κινδύνων που ανακύπτουν νωρίς στο έργο μπορεί να αντιμετωπισθούν με αποσαφήνιση των απαιτήσεων, λήψη πληροφοριών, βελτίωση της επικοινωνίας, ή απόκτηση εμπειρίας. Ο περιορισμός του εύρους ώστε να αποφευχθούν δραστηριότητες υψηλού κινδύνου, η προσθήκη πόρων ή χρόνου, η υιοθέτηση μίας γνώριμης προσέγγισης αντί μίας νεωτεριστικής, ή η αποφυγή ενός αγνώστου υπεργολάβου αποτελούν παραδείγματα αποφυγής.

2. **Μεταβίβαση** (transference): Η μεταβίβαση κινδύνων επιδιώκει τη μετάθεση των επακόλουθων ενός κινδύνου σε ένα τρίτο μέρος ταυτόχρονα με την ιδιοκτησία του κινδύνου. Η μεταβίβαση του κινδύνου απλά δίνει την ευθύνη για τη διοίκησή του σε ένα τρίτο μέρος, όμως δεν απαλείφει τον κίνδυνο.

Η μεταβίβαση των ευθυνών ενός κινδύνου είναι πιο αποτελεσματική κατά την αντιμετώπιση της έκθεσης σε οικονομικό κίνδυνο. Η μεταβίβαση του κινδύνου σχεδόν πάντα περιλαμβάνει πληρωμή ενός επιμισθίου (premium) για τον κίνδυνο προς το μέρος που τον αναλαμβάνει. Αυτό περιέχει τη χρήση των ασφαλιστρών, ρήτρες απόδοσης, εγγυήσεις και εξουσιοδοτήσεις. Ενδέχεται να χρησιμοποιηθούν συμβόλαια για τη μεταβίβαση των ευθυνών συγκεκριμένων κινδύνων σε ένα τρίτο μέρος. Η χρήση μίας σύμβασης κατ' αποκοπήν μπορεί να μεταβιβάσει τον κίνδυνο στον πωλητή εάν ο σχεδιασμός του έργου είναι ευσταθής. Αν και μία σύμβαση ανταποδοτικού κόστους αφήνει το μεγαλύτερο μέρος του κινδύνου στον πελάτη ή το χορηγό, βοηθάει στη μείωση του κόστους εάν υπάρξουν αλλαγές στη μέση του έργου.

3. **Μετριασμός** (mitigation): Ο μετριασμός επιδιώκει τη μείωση της πιθανότητας και/ή των επακόλουθων ενός αντίξοου γεγονότος κινδύνου σε ένα αποδεκτό κατώφλι. Η λήψη πρώιμων ενεργειών για τη μείωση της πιθανότητας εμφάνισης ενός κινδύνου ή των επιπτώσεών του στο έργο, είναι πιο αποτελεσματική από την προσπάθεια θεραπείας των επακόλουθων αφού έχει συμβεί (ο κίνδυνος). Το κόστος μετριασμού πρέπει να είναι το κατάλληλο, με δεδομένη την ενδεχόμενη πιθανότητα του κινδύνου και των επακόλουθων του.

Ο μετριασμός του κινδύνου μπορεί να λάβει τη μορφή υλοποίησης μίας νέας κατεύθυνσης ενεργειών που θα μειώσουν το πρόβλημα – π.χ., υιοθέτηση λιγότερο πολύπλοκων διαδικασιών, εκπόνηση περισσότερων σεισμικών ή μηχανικών δοκιμών, ή επιλογή ενός περισσότερου σταθερού πωλητή. Μπορεί να περιλαμβάνει τη μεταβολή των συνθηκών έτσι ώστε να μειώνεται η πιθανότητα εμφάνισης του κινδύνου – π.χ., προσθήκη πόρων ή χρόνου στο χρονοδιάγραμμα. Μπορεί να απαιτεί ανάπτυξη πρωτοτύπου για τη μείωση του κινδύνου από την κλιμάκωση προς τα άνω ενός πειραματικού μοντέλου αναφοράς.

Όποτε δεν είναι δυνατόν να μειωθεί η πιθανότητα, η απόκριση με μετριασμό μπορεί να αντιμετωπίσει τις επιπτώσεις του κινδύνου στοχεύοντας στις διασυνδέσεις που καθορίζουν τη σοβαρότητα του κινδύνου. Για παράδειγμα, ο σχεδιασμός εφεδρείας σε ένα υποσύστημα μπορεί να μειώσει τις επιπτώσεις που απορρέουν από την αστοχία της κανονικής συνιστώσας.

4. **Αποδοχή:** Η τεχνική αυτή υποδεικνύει ότι η ομάδα έργου έχει αποφασίσει να μην μεταβάλλει το σχέδιο του έργου ώστε να αντιμετωπίσει έναν κίνδυνο ή ότι δεν έχει την ικανότητα να προσδιορίσει κάποια άλλη κατάλληλη στρατηγική απόκρισης. Η ενεργητική αποδοχή μπορεί να περιλαμβάνει την ανάπτυξη ενός σχεδίου εκτάκτου ανάγκης προς εκτέλεση, εφόσον συμβεί ο κίνδυνος. Η παθητική αποδοχή δεν απαιτεί καμία ενέργεια, αφήνοντας την ομάδα έργου να αντιμετωπίσει τους κινδύνους καθώς συμβαίνουν.

#### **1.2.8.6 Παρακολούθηση και Έλεγχος Κινδύνων**

Η παρακολούθηση και ο έλεγχος κινδύνων είναι η διαδικασία της καταγραφής των αναγνωρισμένων κινδύνων, της παρακολούθησης των υπολειπόμενων κινδύνων και του προσδιορισμού νέων, της διασφάλισης της εκτέλεσης των σχεδίων κινδύνου, και της αξιολόγησης της αποτελεσματικότητάς τους στη μείωση των κινδύνων. Η παρακολούθηση και ο έλεγχος κινδύνων καταγράφει τις μετρικές των κινδύνων που σχετίζονται με την υλοποίηση των σχεδίων εκτάκτου ανάγκης. Η παρακολούθηση και ο έλεγχος κινδύνων είναι μία συνεχιζόμενη διαδικασία καθόλη τη διάρκεια ζωής του

έργου. Οι κίνδυνοι αλλάζουν καθώς το έργο ωριμάζει, νέοι κίνδυνοι αναπτύσσονται, ή αναμενόμενοι κίνδυνοι εξαφανίζονται. Οι τεχνικές που εφαρμόζονται είναι οι:

1. **Έλεγχοι αποκρίσεων σε κινδύνους έργου:** Οι ελεγκτές των κινδύνων (risk auditors) εξετάζουν και καταγράφουν την αποτελεσματικότητα της απόκρισης σε κινδύνους όσον αφορά σε αποφυγή, μεταβίβαση ή μετριασμό της εμφάνισης του κινδύνου καθώς και την αποτελεσματικότητα του ιδιοκτήτη του κινδύνου. Οι έλεγχοι κινδύνων πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του έργου για τον έλεγχο των κινδύνων.
2. **Περιοδικές ανασκοπήσεις κινδύνων έργου:** Οι ανασκοπήσεις κινδύνων έργου πρέπει να προγραμματίζονται σε τακτή βάση. Ο κίνδυνος για το έργο πρέπει να αποτελεί ένα στοιχείο της θεματολογίας για όλες τις συναντήσεις της ομάδας. Η βαθμολόγηση των κινδύνων και η προτεραιότητα μπορεί να μεταβάλλεται κατά τη ζωή του έργου. Οποιοσδήποτε αλλαγές μπορεί να απαιτούν πρόσθετη ποιοτική ή ποσοτική ανάλυση.
3. **Ανάλυση δεδουλευμένης αξίας:** Η δεδουλευμένη αξία έχει αναλυθεί στη παράγραφο 1.2.7.3 και όπως έχει προαναφερθεί χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της συνολικής απόδοσης του έργου σε σχέση με ένα σχέδιο αναφοράς. Όταν ένα έργο αποκλίνει σημαντικά από τη βάση αναφοράς του, πρέπει να πραγματοποιείται ενημερωμένη αναγνώριση και ανάλυση κινδύνων.
4. **Μέτρηση τεχνικής απόδοσης:** Η μέτρηση της τεχνικής απόδοσης συγκρίνει τα τεχνικά επιτεύγματα κατά την εκτέλεση του έργου ως προς το χρονοδιάγραμμα τεχνικών επιτευγμάτων του σχεδίου του έργου. Αποκλίσεις, όπως η μη επίδειξη λειτουργικότητας όπως είχε σχεδιασθεί σε ένα ορόσημο, μπορεί να σημαίνει κίνδυνο για την επίτευξη του εύρους του έργου.
5. **Πρόσθετος σχεδιασμός απόκρισης σε κινδύνους:** Εάν εμφανισθεί ένας κίνδυνος ο οποίος δεν προεξοφλείτο στο σχέδιο απόκρισης σε κινδύνους, ή εάν οι επιπτώσεις του στους στόχους είναι μεγαλύτερες από τις αναμενόμενες, η σχεδιασμένη απόκριση ενδέχεται να μην είναι η κατάλληλη. Θα πρέπει να πραγματοποιηθεί πρόσθετος σχεδιασμός απόκρισης ώστε να ελεγχθεί ο κίνδυνος.

## 1.2.9 Διοίκηση προμηθειών έργου [1]

Η Διοίκηση Προμηθειών Έργου περιλαμβάνει τις διαδικασίες που απαιτούνται για την απόκτηση αγαθών και υπηρεσιών, για την επίτευξη του εύρους του έργου, από το εξωτερικό περιβάλλον του αναδόχου οργανισμού. Για απλότητα, τα αγαθά και οι υπηρεσίες, είτε είναι ένα είτε πολλά, θα αναφέρονται εν γένει ως προϊόν (product).

Περιλαμβάνει τις εξής διαδικασίες:

- 1 Σχεδιασμός Προμηθειών
- 2 Σχεδιασμός Προσκλήσεων Ενδιαφέροντος
- 3 Προσκλήσεις Ενδιαφέροντος
- 4 Επιλογή Πηγών
- 5 Διαχείριση Συμβάσεων
- 6 Κλείσιμο Συμβάσεων

### 1.2.9.1 Σχεδιασμός Προμηθειών

Ο σχεδιασμός προμηθειών είναι η διαδικασία προσδιορισμού των αναγκών του έργου που μπορούν να ικανοποιηθούν καλύτερα μέσω προμήθειας προϊόντων ή υπηρεσιών εκτός του οργανισμού του έργου και πρέπει να ολοκληρώνεται κατά τη διάρκεια της προσπάθειας προσδιορισμού του εύρους του έργου. Περιλαμβάνει τη μελέτη για το εάν θα γίνει προμήθεια, πώς θα γίνει προμήθεια, τι θα προμηθευθεί, τι ποσότητα θα προμηθευθεί, και πότε θα γίνει η προμήθεια. Οι τεχνικές που εφαρμόζονται εδώ είναι οι:

- 1 **Ανάλυση κατασκευής ή αγοράς** (make-or-buy analysis): Αυτή είναι μία τεχνική γενικής διοίκησης και μέρος της διαδικασίας αρχικού ορισμού του εύρους που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθορισθεί εάν ένα συγκεκριμένο προϊόν μπορεί να παραχθεί οικονομικά από τον ανάδοχο οργανισμό. Η ανάλυση πρέπει να περιλαμβάνει τόσο το άμεσο όσο και το έμμεσο κόστος. Για παράδειγμα, η πλευρά «αγοράς» στην ανάλυση πρέπει να περιλαμβάνει τόσο το πραγματικό κόστος που εκταμιεύεται για την αγορά του προϊόντος όσο και το έμμεσο κόστος

διαχείρισης της διαδικασίας αγοράς. Μία ανάλυση κατασκευής ή αγοράς πρέπει επίσης να αντικατοπτρίζει τις απόψεις του αναδόχου οργανισμού, καθώς επίσης και τις άμεσες ανάγκες του έργου.

2 **Κρίση εμπειρογνομώνων:**

3 **Επιλογή τύπου σύμβασης:** Διάφοροι τύποι συμβάσεων είναι λιγότερο ή περισσότερο κατάλληλοι για διαφορετικούς τύπους αγορών. Οι συμβάσεις εμπίπτουν εν γένει σε μία εκ των ακόλουθων τριών ευρύτερων κατηγοριών:

- Συμβάσεις σταθερής αξίας ή κατ' αποκοπήν συμβάσεις (lump-sum contracts)
- Συμβάσεις ανταποδοτικού κόστους (Cost-reimbursable contracts)
- Χρονικές και υλικές συμβάσεις (Time and Material (T&M) Contracts)

### 1.2.9.2 Σχεδιασμός Προσκλήσεων Ενδιαφέροντος

Ο σχεδιασμός προσκλήσεων ενδιαφέροντος (solicitation planning) περιλαμβάνει την προετοιμασία των εγγράφων που απαιτούνται για την υποστήριξη των προσκλήσεων ενδιαφέροντος και περιλαμβάνει τις ακόλουθες τεχνικές:

1 **Πρότυπες φόρμες:** Οι πρότυπες φόρμες μπορεί να περιέχουν πρότυπες συμβάσεις, πρότυπες περιγραφές όρων προμήθειας, ή προτυποποιημένες εκδοχές του συνόλου ή μέρους των απαραίτητων εγγράφων πλειοδοσίας. Οι οργανισμοί που επιτελούν σημαντικές ποσότητες προμηθειών πρέπει να έχουν προτυποποιημένα πολλά από αυτά τα έγγραφα.

2 **Κρίση εμπειρογνομώνων.**

### 1.2.9.3 Προσκλήσεις Ενδιαφέροντος

Οι προσκλήσεις ενδιαφέροντος περιλαμβάνουν την απόκτηση των απαντήσεων (πλειοδοσιών και προτάσεων) από υποψήφιους πωλητές για το πώς θα επιτευχθούν οι στόχοι του έργου. Το μεγαλύτερο κομμάτι της πραγματικής προσπάθειας στη διαδικασία αυτή δαπανάται από τους υποψήφιους πωλητές, φυσιολογικά χωρίς κόστος για το έργο. Εφαρμόζονται οι παρακάτω επιλογές:

- 1 **Συσκέψεις πλειοδοτών** (bidder conferences): Οι συσκέψεις πλειοδοτών (επίσης καλούμενες συσκέψεις εργολάβων (contractor conferences), συσκέψεις πωλητών (vendor conferences), και συσκέψεις πριν την πλειοδοσία) είναι συναντήσεις με υποψηφίους πωλητές πριν την προετοιμασία μίας πρότασης. Χρησιμοποιούνται για να διασφαλισθεί ότι όλοι οι υποψήφιοι πωλητές έχουν μία σαφή, κοινή αντίληψη για την προμήθεια (τεχνικές απαιτήσεις, συμβατικές απαιτήσεις, κλπ.). Οι απαντήσεις στα ερωτήματα μπορεί να ενσωματωθούν στα κείμενα προμηθειών ως τροποποιήσεις. Όλοι οι δυνατοί πωλητές πρέπει να έχουν την ίδια αντιμετώπιση κατά τη διαδικασία αυτή.
- 2 **Διαφήμιση**: Υπάρχοντες κατάλογοι δυνατών πωλητών μπορούν συχνά να επεκταθούν με την τοποθέτηση διαφημίσεων σε εκδόσεις γενικής κυκλοφορίας όπως εφημερίδες, ή σε εξειδικευμένες εκδόσεις όπως επαγγελματικά περιοδικά.

#### 1.2.9.4 Επιλογή Πηγών

Η επιλογή πηγών περιλαμβάνει την παραλαβή των πλειοδοσιών ή των προτάσεων και την εφαρμογή των κριτηρίων αξιολόγησης προκειμένου να επιλεγεί ένας παροχέας. Πολλοί παράγοντες πέραν του κόστους ή της τιμής μπορεί να χρειασθεί να αξιολογηθούν στη διαδικασία απόφασης για την επιλογή της πηγής.

- Η τιμή (price) μπορεί να είναι η πρώτη ορίζουσα για ένα στοιχείο «από το ράφι» (off-the-shelf item), αλλά η χαμηλότερη προτεινόμενη τιμή μπορεί να μην έχει το χαμηλότερο κόστος εάν ο πωλητής αποδειχθεί ανίκανος να παραδώσει το προϊόν εγκαίρως.
  - Οι προτάσεις συχνά διακρίνονται σε τεχνικό (προσέγγιση) και εμπορικό (τιμή) τμήμα με το καθένα να αξιολογείται ξεχωριστά.
  - Πολλές πηγές μπορεί να είναι απαραίτητες για κρίσιμα προϊόντα.
  - Τα εργαλεία και οι τεχνικές που περιγράφονται εδώ μπορεί να χρησιμοποιηθούν από μόνα τους ή συνδυαστικά.
- 1 **Διαπραγμάτευση σύμβασης**: Η διαπραγμάτευση των συμβάσεων περιλαμβάνει την αποσαφήνιση και την αμοιβαία συμφωνία στη δομή και τις απαιτήσεις της σύμβασης πριν από την υπογραφή της σύμβασης. Στο μέτρο του δυνατού, η

τελική φρασεολογία της σύμβασης πρέπει να αντανακλά όλες τις επιτευθείσες συμφωνίες.

- 2 **Σύστημα απόδοσης βαρών** (weighting system): Ένα σύστημα απόδοσης βαρών είναι μία μέθοδος ποσοτικοποίησης ποιοτικών δεδομένων ώστε να ελαχιστοποιηθεί η επίδραση προσωπικών προκαταλήψεων στην επιλογή της πηγής. Τα περισσότερα τέτοια συστήματα περιλαμβάνουν 1) την ανάθεση ενός αριθμητικού βάρους σε κάθε κριτήριο αξιολόγησης, 2) την κατάταξη των υποψηφίων πωλητών σε κάθε κριτήριο, 3) τον πολλαπλασιασμό του βάρους με την κατάταξη, και 4) την άθροιση των προκύπτοντων γινομένων για τον υπολογισμό της συνολικής βαθμολογίας.
- 3 **Σύστημα προεπιλογής** (screening system): Ένα σύστημα προεπιλογής περιλαμβάνει τη θέσπιση ελαχίστων απαιτήσεων απόδοσης σε ένα ή περισσότερα κριτήρια αξιολόγησης.
- 4 **Ανεξάρτητες εκτιμήσεις**: Για πολλά προμηθευόμενα στοιχεία, ο προμηθευόμενος οργανισμός μπορεί να ετοιμάσει τις δικές του ανεξάρτητες εκτιμήσεις για τον έλεγχο των προτεινομένων τιμών. Σημαντικές διαφορές από τις εκτιμήσεις αυτές μπορεί να αποτελούν ένδειξη ότι η ΔΕ δεν ήταν η κατάλληλη, ή ότι ο υποψήφιος πωλητής είτε παρανόησε ή απέτυχε να ανταποκριθεί πλήρως στη ΔΕ. Οι ανεξάρτητες εκτιμήσεις αναφέρονται συχνά ως λογικές (ή ενδεικτικές) εκτιμήσεις κόστους (should cost estimates).

#### 1.2.9.5 Διαχείριση Συμβάσεων

Η διαχείριση συμβάσεων είναι η διαδικασία διασφάλισης ότι η απόδοση του πωλητή ανταποκρίνεται στις συμβατικές απαιτήσεις. Σε μεγαλύτερα έργα με παροχές πολλαπλών προϊόντων και υπηρεσιών, μία βασική άποψη της διαχείρισης συμβάσεων είναι η διοίκηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των διαφόρων παροχέων. Η νομική φύση της συμβατικής σχέσης καθιστά επιτακτική την ανάγκη να γνωρίζει επακριβώς η ομάδα έργου τις νομικές επιπτώσεις των ενεργειών που λαμβάνονται κατά τη διαχείριση της σύμβασης. Η διαχείριση της σύμβασης περιλαμβάνει την εφαρμογή των κατάλληλων διαδικασιών διοίκησης έργων στη συμβατική σχέση και στην ενσωμάτωση των εξόδων



αυτών των διαδικασιών στη συνολική διοίκηση του έργου. Αυτή η ολοκλήρωση και ο συντονισμός συχνά συμβαίνουν σε πολλαπλά επίπεδα όταν υπάρχουν πολλοί εμπλεκόμενοι πωλητές και πολλά εμπλεκόμενα προϊόντα. Οι τεχνικές διαχείρισης συμβάσεων είναι οι εξής:

- 1 **Σύστημα ελέγχου αλλαγών σύμβασης:** Ένα σύστημα ελέγχου αλλαγών σύμβασης ορίζει τη διαδικασία με την οποία μπορεί να τροποποιηθεί μία σύμβαση. Περιλαμβάνει τη γραφειοκρατική εργασία, τα συστήματα παρακολούθησης, τις διαδικασίες επίλυσης αμφισβητήσεων, και τα αναγκαία επίπεδα έγκρισης των αλλαγών.
- 2 **Αναφορές απόδοσης:** Οι αναφορές απόδοσης παρέχουν στη διοίκηση πληροφορίες σχετικά με το πόσο αποδοτικά ο πωλητής επιτυγχάνει τους συμβατικούς στόχους.
- 3 **Σύστημα πληρωμών:** Οι πληρωμές στον πωλητή διαχειρίζονται συνήθως από το σύστημα των πληρωτέων λογαριασμών του ανάδοχου οργανισμού. Σε μεγαλύτερα έργα με πολλές ή πολύπλοκες απαιτήσεις προμηθειών, το έργο μπορεί να αναπτύξει το δικό του σύστημα. Σε κάθε περίπτωση, το σύστημα πληρωμών πρέπει να περιλαμβάνει τις κατάλληλες ανασκοπήσεις και εγκρίσεις από την ομάδα διοίκησης έργου.

### 1.2.9.6 Κλείσιμο Συμβάσεων

Το κλείσιμο των συμβάσεων (contract closeout) μοιάζει με τη διοικητική ολοκλήρωση στο ότι περιλαμβάνει τόσο την επαλήθευση του προϊόντος (έχει ολοκληρωθεί σωστά και ικανοποιητικά η εργασία;) όσο και τη διοικητική περάτωση (ενημέρωση των αρχείων που αντανakλούν τα τελικά αποτελέσματα και την αρχειοθέτηση των πληροφοριών αυτών για μελλοντική χρήση). Οι όροι και οι προϋποθέσεις των συμβάσεων μπορεί να συστήνουν συγκεκριμένες διαδικασίες για το κλείσιμο των συμβάσεων. Ο πρώτος τερματισμός μία σύμβασης είναι μία ειδική περίπτωση κλεισίματος σύμβασης. Η τεχνική που συναντάται εδώ είναι οι **Έλεγχοι προμηθειών** (procurement audits). Ένας έλεγχος προμηθειών είναι μία δομημένη ανασκόπηση της διαδικασίας προμηθειών από το σχεδιασμό των προμηθειών μέχρι τη

διαχείριση των συμβάσεων. Ο σκοπός ενός ελέγχου προμηθειών είναι να προσδιορίσει επιτυχίες και αποτυχίες που αιτιολογούν μετάβαση σε άλλα στοιχεία προμηθειών στο έργο αυτό ή σε άλλα έργα εντός του αναδόχου οργανισμού.

## 2. Συμπίεση χρονοδιαγράμματος-Κρισιμότητα εργασιών

### 2.1 Εισαγωγή

Αν και για την επιτυχημένη έκβαση ενός έργου απαιτείται συντονισμός και σωστή διοίκηση όλων των λειτουργιών που απαρτίζουν το έργο, στην πράξη η μέγιστη βαρύτητα δίνεται στον έλεγχο του κόστους και του χρόνου. Οι δυο αυτές παράμετροι είναι που καθορίζουν την πορεία του έργου. Αυτό που παρατηρείται συνήθως είναι η ολοκλήρωση έργων τα οποία είναι εκτός των χρονικών και οικονομικών ορίων ή η ολοκλήρωση έργων εντός του χρονοδιαγράμματος με παράλληλη αύξηση του κόστους λόγω εντατικοποίησης των εργασιών που τα αποτελούν.

Η ανάγκη αλλαγής της αρχικής εκτίμησης της διάρκειας ενός έργου προκύπτει κυρίως λόγω ανάκυψης προβλημάτων με αποτέλεσμα την καθυστέρηση στην εκτέλεση των εργασιών, λόγω μη επάρκειας του ανθρώπινου δυναμικού καθόλο το μήκος του έργου και τέλος λόγω ανάγκης βελτιστοποίησης του έμμεσου κυρίως κόστους.

Το πρόβλημα της συμπίεσης χρονοδιαγράμματος αντιμετωπίζεται συνήθως με την εντατικοποίηση των κρίσιμων δραστηριοτήτων, όπως αυτές ορίζονται από την *Μέθοδο της Κρισίμου Διαδρομής* (CPM), ξεκινώντας από εκείνες για τις οποίες το κόστος συμπίεσης ανά μονάδα χρόνου είναι το μικρότερο σε σχέση με τις υπόλοιπες δραστηριότητες. Η μέθοδος CPM, όπως έχει αναφερθεί και στο πρώτο κεφάλαιο, είναι μια τεχνική ανάλυσης ενός δικτύου δραστηριοτήτων που χρησιμοποιείται για να προβλεφθεί η διάρκεια του έργου αναλύοντας ποια ακολουθία δραστηριοτήτων, ποια διαδρομή δηλαδή, έχει τη μικρότερη ποσότητα προγραμματισμένης ευελιξίας (το ελάχιστο ποσό περιθωρίου). Ως κρίσιμες λοιπόν, ορίζονται οι δραστηριότητες αυτής της

διαδρομής, δηλαδή οι δραστηριότητες με μηδενικό περιθώριο. Η μέθοδος CPM είναι πολύ διαδεδομένη στον προγραμματισμό των έργων λόγω της ευκολίας που παρουσιάζει από τη παραδοχή ντετερμινιστικών τιμών στις ημερομηνίες έναρξης / λήξης και διάρκειας των δραστηριοτήτων. Ωστόσο, η έννοια της κρισιμότητας σύμφωνα με τη θεώρηση αυτή, περιορίζεται σε μία δίτιμη λογική της μορφής «κρίσιμη/ μη κρίσιμη» με μόνο κριτήριο το χρονικό 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, μπορεί να έχουν πολύ μικρό περιθώριο ή να προκύπτουν άλλου είδους προβλήματα από τη συμπίεσή τους και κατά συνέπεια να βρίσκονται πολύ κοντά στην έννοια της κρισιμότητας με την ευρύτερη έννοια.

Μια εναλλακτική θεώρηση του προβλήματος είναι η ανάπτυξη κάποιου συστήματος, το οποίο βασίζεται σε πολυκριτηριακή ανάλυση, θεωρώντας ως «συμπιέσιμες», όσες δραστηριότητες ικανοποιούν ένα σύνολο κριτηρίων κρισιμότητας. Η πολυκριτηριακή ανάλυση γενικά, περιλαμβάνει μια σειρά από μοντέλα τα οποία, μέσω αξιολόγησης περισσοτέρων του ενός κριτηρίων, βοηθούν στη διατύπωση του προβλήματος, την ιεράρχηση των επιλογών και τη λήψη αποφάσεων. Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια ανάπτυξης ενός τέτοιου συστήματος θεωρώντας ως κριτήρια κρισιμότητας μεγέθη πέραν του κόστους συμπίεσης των δραστηριοτήτων.

## **2.2 Κριτήρια κρισιμότητας**

Τα κριτήρια κρισιμότητας τα οποία λαμβάνονται υπόψη σε τέτοιου είδους πολυκριτηριακές αναλύσεις κατατάσσονται συνήθως σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: το κόστος, τη διάρκεια και τον κίνδυνο που μπορεί να προκύψει από τη συμπίεση μιας εργασίας. Στην παρούσα εργασία θα εξεταστεί ως κριτήριο κρισιμότητας και η διαχείριση σπάνιων πόρων σε περίπτωση συμπίεσης του χρονοδιαγράμματος.

### **2.2.1 Κόστος**

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, ενώ οι

διάφορες τεχνικές που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη φάση έχουν αναφερθεί στο πρώτο κεφάλαιο. 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 κ.τ.λ)
- Το κόστος χρήσης του μηχανολογικού εξοπλισμού (κόστος ενοκίασης/αγοράς και λειτουργίας των μηχανημάτων)

Από τις τρεις αυτές συνιστώσες του άμεσου κόστους, αυτή που προβληματίζει περισσότερο τους managers του έργου είναι το κόστος του ανθρώπινου δυναμικού. Το κόστος των υλικών υπολογίζεται με σχετική ακρίβεια στην αρχή του έργου και δεν υπόκειται σε μεγάλες μεταβολές από τη μεταβολή της διάρκειας του έργου (η απαιτούμενη ποσότητα υλικών δεν μεταβάλλεται). Η ποσότητα των υλικών επίσης υπάρχει συνήθως σε αφθονία ή είναι μια παραδοχή που γίνεται από τους διαχειριστές, οπότε δεν τίθεται θέμα υπερανάθεσης των πόρων. Το κόστος χρήσης του μηχανολογικού εξοπλισμού είναι μια παράμετρος που μπορεί να μεταβάλλεται με τη μεταβολή της διάρκειας του έργου, κυρίως λόγω τυχόν επισκευών των μηχανημάτων από φθορές που προκύπτουν από την υπερλειτουργία σε μικρό χρονικό διάστημα, αλλά γενικά κινείται σε σταθερά πλαίσια. Από την άλλη πλευρά, η απόδοση του εργατικού δυναμικού ή αλλιώς η παραγωγικότητα, είναι ένα μέγεθος που μεταβάλλεται από την εντατικοποίηση των εργασιών και επηρεάζει την πορεία του έργου. Το κόστος που αφορά το εργατικό δυναμικό αυξάνεται στην περίπτωση συμπίεσης διότι:

- προστίθεται κόστος υπερωριών
- μπορεί να αυξηθεί το κόστος μισθών από ειδικές συμφωνίες με το προσωπικό για καταβολή bonus λόγω εντατικοποίησης της δουλειάς
- αυξάνεται το μισθολογικό κόστος από την πρόσληψη επιπλέον προσωπικού
- υπάρχει μειωμένη απόδοση λόγω κόπωσης και έλλειψης συνεννόησης μεταξύ των εργαζομένων λόγω «υπερσυγκέντρωσης» προσωπικού, όχι πάντα ειδικευμένου για την εργασία που συμπίεζεται, με ακριβώς τα αντίθετα

αποτελέσματα όσον αφορά την ποιότητα και τον μειωμένο χρόνο εκτέλεσης της εργασίας.

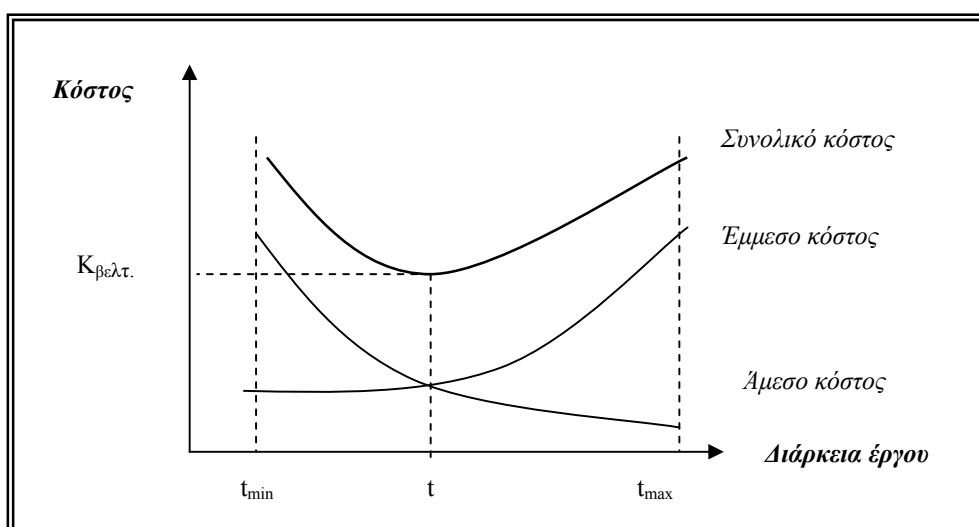
Ως αποτέλεσμα, έχουμε ότι το άμεσο κόστος μειώνεται με την αύξηση της διάρκειας του έργου μέχρι κάποιου ορίου, ενώ όπως είναι εύλογο, αυξάνεται από τη συμπίεση των εργασιών.

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.

Από τα παραπάνω προκύπτει η γραφική παράσταση του άμεσου, του έμμεσου και του συνολικού κόστους του έργου.



Σχήμα 2.1: Καμπύλες κόστους

Όπως έχει προαναφερθεί, ως κριτήριο συμπίεσης μιας εργασίας λαμβάνεται το άμεσο κόστος συμπίεσης ανά μονάδα χρόνου. Στο υπό ανάπτυξη σύστημα εκτός αυτού του κριτηρίου θα ληφθούν υπόψη το κόστος υπερανάθεσης πόρων και το πάγιο κόστος.

### 2.2.1.1 Κόστος συμπίεσης

Για ορίσουμε το άμεσο κόστος συμπίεσης, πρέπει πρώτα να ορίσουμε τα παρακάτω μεγέθη:

- την κανονική διάρκεια  $t_k$ , της δραστηριότητας, η οποία εκφράζει τον προβλεπόμενο χρόνο για την, κάτω από κανονικές συνθήκες, εκτέλεσή της
- την εντατικοποιημένη διάρκεια  $t_e$  η οποία αντιστοιχεί στον ελάχιστο δυνατό χρόνο υλοποίησής της.
- τη διαφορά  $t_k - t_e$  η οποία εκφράζει το περιθώριο συμπίεσης
- το συνολικό άμεσο κόστος  $K_k$  το οποίο αναφέρεται στην κανονική διάρκεια της δραστηριότητας
- το συνολικό άμεσο κόστος  $K_e$  το οποίο αναφέρεται στην εντατικοποιημένη διάρκεια της δραστηριότητας

Το άμεσο κόστος συμπίεσης (ή εντατικοποίησης) ανά μονάδα χρόνου  $K_\sigma$ , το οποίο εκφράζει το πόσο κοστίζει η μείωση της διάρκειας της δραστηριότητας κατά μια μονάδα

$$\text{χρόνου και υπολογίζεται από τον τύπο } K_\sigma = \frac{K_e - K_k}{t_k - t_e}. \quad (2.1)$$

Τόσο οι διάρκειες όσο και τα κόστη που ορίστηκαν εκτιμώνται με κάποια από τις μεθόδους εκτίμησης διάρκειας και κόστους που αναφέρονται στο πρώτο κεφάλαιο.

Γίνεται φανερό πως η δραστηριότητα με το μικρότερο κόστος συμπίεσης είναι αυτή που θα προηγηθεί στη διαδικασία της συμπίεσης.

### 2.2.1.2 Κόστος υπερανάθεσης

Η συμπίεση μιας εργασίας πολύ συχνά απαιτεί απορόφηση περισσότερων πόρων αν υπάρχει διαθεσιμότητα ή υπερανάθεση πόρων σε αντίθετη περίπτωση. Η δεύτερη περίπτωση που είναι και η συνηθέστερη, μπορεί να αυξήσει το κόστος δυσανάλογα, ενώ το ποσοστό χρησιμοποίησης και το κόστος «χρήσης» των υπερανατεθιμένων πόρων

επηρεάζει την κρισιμότητα της δραστηριότητας. Για να υπάρχει ένα κοινό μέτρο σύγκρισης ορίζεται ο λόγος  $\frac{K_{Y\pi i}}{\sum K_{Y\pi i}}$  όπου  $K_{Y\pi i}$  είναι το συνολικό κόστος υπερανάθεσης

των πόρων μιας δραστηριότητας  $i$  και  $\sum K_{Y\pi i}$  το συνολικό κόστος υπερανάθεσης του έργου. Το κόστος υπερανάθεσης μιας δραστηριότητας προκύπτει από την σχέση:

$$K_{Y\pi i} = \sum_j (t_{\text{υπερ},j} \times K_{\text{υπερ},j}) \quad (2.2)$$

όπου  $t_{\text{υπερ},j}$  είναι οι ώρες υπερανάθεσης για τον πόρο  $j$  που χρησιμοποιείται στην δραστηριότητα  $i$  και  $K_{\text{υπερ},j}$  είναι η υπερωριακή αμοιβή ανά ώρα του πόρου  $j$ .

Ο μικρότερος λόγος δηλώνει μεγαλύτερη προτεραιότητα της δραστηριότητας, η οποία θα προτιμηθεί για συμπίεση.

### 2.2.1.3 Πάγιο κόστος

Εκτός από το κόστος συμπίεσης και υπερανάθεσης πόρων, που έχουν να κάνουν κατά κύριο λόγο με το ανθρώπινο δυναμικό, μπορούμε να θεωρήσουμε ως κριτήριο κρισιμότητας το κόστος ενοικίασης μηχανολογικού εξοπλισμού και εγκαταστάσεων που απαιτούνται για την εκτέλεση μιας δραστηριότητας. Το κόστος αυτό είναι στην ουσία ένα έμμεσο κόστος το οποίο είναι σταθερό κατά τη διάρκεια εκτέλεσης μιας δραστηριότητας π.χ 5000€/ημέρα και κατά συνέπεια με τη συμπίεσή της μειώνεται.

Μπορεί να εκφραστεί μέσω του λόγου  $\frac{K_{\text{mash},i}}{\sum K_{\text{mesh},i}}$  όπου  $K_{\text{mash},i}$  το πάγιο κόστος για την

δραστηριότητα  $i$  και  $\sum K_{\text{mash},i}$  το συνολικό πάγιο κόστος του έργου.

### 2.2.2 Διάρκεια

Η εκτίμηση της διάρκειας των δραστηριοτήτων που απαρτίζουν ένα έργο είναι η δεύτερη μεγάλη παράμετρος για την εκτίμηση και τον έλεγχο του έργου. Στη φάση αυτή ορίζονται οι δραστηριότητες του έργου και οι σχέσεις αλληλεπίδρασής τους, ενώ πολύ κρίσιμη είναι η εκτίμηση της διάρκειάς τους και η ανάπτυξη χρονοδιαγράμματος. Οι διάφορες τεχνικές που χρησιμοποιούνται σε κάθε φάση αναφέρονται στο πρώτο κεφάλαιο, ενώ αξίζει να σταθούμε στις τεχνικές ανάπτυξης χρονοδιαγράμματος. Η πιο



διαδεδομένη μέθοδος ανάπτυξης χρονοδιαγράμματος όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι η μέθοδος CPM όπου χρησιμοποιούνται ντετερμινιστικές ημερομηνίες έναρξης και λήξης βασιζόμενες στην πιο πιθανή εκτίμηση διάρκειας των δραστηριοτήτων. Η θεώρηση αυτή αγνοεί τον παράγοντα της αβεβαιότητας στην εκτίμηση της διάρκειας με αποτέλεσμα να προκύπτουν δύο προβλήματα. Πρώτον, η χρήση των πιθανότερων εκτιμήσεων της διάρκειας των δραστηριοτήτων οδηγεί σε έναν αρκετά αισιόδοξο προγραμματισμό. Δεύτερον, η χρήση μιας τιμής οδηγεί σε ένα «άκαμπτο» πρόγραμμα χωρίς περιθώρια εναλλακτικών καθώς είναι γνωστό ότι η διάρκεια μιας δραστηριότητας μπορεί να επηρεαστεί από έναν αριθμό παραγόντων όπως οι εξωτερικές συνθήκες ή η αδυναμία διοίκησης, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει ρεαλιστική εικόνα της κατάστασης. Τα προβλήματα αυτά αντιμετωπίζονται συνήθως με συνεχή παρακολούθηση και αναπροσαρμογή των δεδομένων κατά την εξέλιξη του έργου, ενώ από την άλλη πλευρά δεν πρέπει να παραλείψουμε την ευκολία χειρισμού και την ταχύτητα εκτέλεσης ενός προγράμματος που βασίζεται στην μέθοδο CPM.

Ο παράγοντας της αβεβαιότητας αντιμετωπίζεται με τη μέθοδο PERT ή κάποια τεχνική προσομοίωσης όπως η μέθοδος Monte Carlo. Η μέθοδος PERT υπολογίζει την διάρκεια μιας δραστηριότητας ως σταθμισμένο άθροισμα της πιο πιθανής, της πιο αισιόδοξης και της πιο απαισιόδοξης εκτίμησης της διάρκειας της δραστηριότητας, οι οποίες θεωρούνται ως ανεξάρτητες τυχαίες μεταβλητές που ακολουθούν συγκεκριμένες κατανομές. Συνήθως η CPM και η PERT χρησιμοποιούνται συνδυαστικά. Τα μειονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι τρία. Το πρώτο είναι η απαίτηση για τρεις τιμές έναντι μιας στην CPM, με αποτέλεσμα την αύξηση του χρόνου και της εργασίας που απαιτούνται για αυτή την διαδικασία. Το δεύτερο προκύπτει από το ότι η PERT εφαρμόζεται στις δραστηριότητες που έχουν κριθεί κρίσιμες με βάση την CPM, ενώ μπορεί δραστηριότητες που δεν ήταν αρχικά κρίσιμες να γίνουν, και η διάρκειά τους να επηρεάσει το έργο. Ως αποτέλεσμα έχουμε ότι η μέθοδος PERT γενικά υποεκτιμά την πραγματική διάρκεια του έργου και πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή. Το τρίτο μειονέκτημα της μεθόδου είναι η θεώρηση των διαρκειών των δραστηριοτήτων ως ανεξάρτητες μεταβλητές, ενώ στην πράξη οι δραστηριότητες και κατά συνέπεια και οι διάρκειές τους αλληλοσχετίζονται. Το αποτέλεσμα και εδώ είναι συνήθως η υπεραισιόδοξη εκτίμηση της διάρκειας του έργου.

Τέλος, η Monte Carlo υπολογίζει μέσω μαθηματικών σχέσεων σει τεχνητών (αλλά ρεαλιστικών) τιμών των διαρκειών των εργασιών ενός έργου και στη συνέχεια μέσω επαναληπτικών διεργασιών προσομοίωσης του έργου καταλήγει στο βέλτιστο. Με τη διαδικασία αυτή είναι δυνατόν να εκτιμηθούν η αναμενόμενη διάρκεια του έργου και ένα εύρος διακύμανσης αυτής της τιμής, η πιθανότητα μια δραστηριότητα να ανήκει στην κρίσιμη διαδρομή και τέλος μια εκτίμηση της κατανομής των χρόνων ολοκλήρωσης των δραστηριοτήτων. Ειδικά η εκτίμηση της κρισιμότητας ή όχι μιας δραστηριότητας είναι σημαντική καθώς είναι δυνατή η μεταβολή της κρίσιμης διαδρομής με την αλλαγή των διαρκειών των δραστηριοτήτων κατά την προσομοίωση. Τα μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι η ανάγκη εκτίμησης αρκετών παραμέτρων και η μεγάλη σχετικά διάρκεια των υπολογισμών μέχρι το τελικό αποτέλεσμα.

Εκτός όμως από την εκτίμηση των διαρκειών των δραστηριοτήτων, σημαντικό ρόλο παίζουν και τα χρονικά περιθώρια που μπορεί να υπάρχουν για την ολοκλήρωσή τους. Η έννοια των περιθωρίων είναι αρκετά σημαντική καθώς αντιπροσωπεύουν θα λέγαμε, τη διαθέσιμη ελαστικότητα στον προγραμματισμό για την ολοκλήρωση συγκεκριμένων δραστηριοτήτων. Η ύπαρξη χρονικών περιθωρίων επιτρέπει τον επαναπρογραμματισμό του έργου έτσι ώστε να αλλάξει ο χρόνος έναρξης για ορισμένες εργασίες με σκοπό την εξισορρόπηση του φόρτου εργασίας και την ανακατανομή των πόρων, εργατικών, υλικών, οικονομικών και άλλων. Όπως είναι κατανοητό, οι εργασίες της κρίσιμης διαδρομής έχουν μηδενικό περιθώριο και κατά συνέπεια μηδενική ευελιξία ως προς τους χρόνους έναρξης και λήξης.

Ορίζονται γενικά οι παρακάτω τύποι χρονικών περιθωρίων [2,6]:

1. **Συνολικό Περιθώριο:** ορίζεται ως ο μέγιστος χρόνος καθυστέρησης στην ολοκλήρωση μιας δραστηριότητας ώστε να μην υπάρξει καθυστέρηση στην ημερομηνία λήξης του έργου. Υπολογίζεται από τη σχέση  $\Sigma \Pi_{ij} = T_j^L - (T_i^E + \delta_{ij})$
2. **Ελεύθερο Περιθώριο:** ορίζεται ως ο μέγιστος χρόνος καθυστέρησης της ολοκλήρωσης μιας δραστηριότητας το οποίο δεν επηρεάζει τον νωρίτερο χρόνο έναρξης καμίας από τις δραστηριότητες των οποίων η έναρξη εξαρτάται από τη ολοκλήρωση της υπό εξέταση δραστηριότητας, από τις διάδοχες δηλαδή δραστηριότητες (successors). Υπολογίζεται από τη σχέση  $E\Pi_{ij} = T_j^E - (T_i^E + \delta_{ij})$

3. **Ανεξάρτητο Περιθώριο:** ορίζεται ως ο μέγιστος χρόνος καθυστέρησης της ολοκλήρωσης μιας δραστηριότητας χωρίς να καθυστερήσει ο χρόνος έναρξης καμίας διαδοχικής δραστηριότητας ή να περιορίσει τον προγραμματισμό προηγούμενων δραστηριοτήτων. Υπολογίζεται από τη σχέση  $AP_{ij} = T_j^E - (T_i^L + \delta_{ij})$
4. **Παρεμβατικό Περιθώριο:** ορίζεται ως ο χρόνος καθυστέρησης ολοκλήρωσης μιας δραστηριότητας που επηρεάζει τον ενωρίτερο χρόνο έναρξης μιας τουλάχιστον κατοπινής μη κρίσιμης δραστηριότητας, αλλά δεν επηρεάζει τον νωρίτερο χρόνο λήξης του έργου. Υπολογίζεται από τη σχέση  $PP_{ij} = \Sigma P_{ij} - EP_{ij} = T_j^L - (T_i^E + \delta_{ij}) - T_j^E + (T_i^E + \delta_{ij}) = T_j^L - T_j^E$

Στις παραπάνω σχέσεις πρέπει να ορισθούν τα εξής [6]:

- Ο **Ενωρίτερος Χρόνος Πραγματοποίησης**  $T_i^E$  ενός γεγονότος  $i$  είναι ο μικρότερος δυνατός χρόνος μέσα στον οποίο μπορούν να συμπληρωθούν όλες οι δραστηριότητες που ανήκουν στις διαδρομές από τον κόμβο 1 μέχρι τον κόμβο  $i$  (δηλαδή το μήκος της μακρύτερης διαδρομής από τον κόμβο 1 μέχρι τον κόμβο  $i$ ). Υπολογίζεται αν θέσουμε  $T_1^E = 0$  και για κάθε  $i$  υπολογίσουμε την παράσταση  $T_i^E = \max_{ij} \{T_j^E + \delta_{ij}\}$  όπου  $\delta_{ij}$  είναι η διάρκεια της δραστηριότητας  $(i,j)$  και  $\max_{ij}$  σημαίνει το μέγιστο από όλα τα αθροίσματα που αντιστοιχούν σε κλάδους του δικτύου που φθάνει στον κόμβο  $i$ , καθώς μετακινούμαστε κατά αύξουσα σειρά στους κόμβους. Η μακρύτερη διαδρομή του δικτύου έχει μήκος  $T_N^E$  και είναι ο νωρίτερος δυνατός χρόνος εκτέλεσης του έργου.
- Ο **Αργότερος Χρόνος Πραγματοποίησης**  $T_i^L$  ενός γεγονότος εκφράζει το πόσο μπορεί να καθυστερήσει η πραγματοποίηση του γεγονότος  $i$  χωρίς να καθυστερήσει το όλο έργο πέρα από το χρόνο  $T_N^E$ . Υπολογίζεται για κάθε γεγονός αν θέσουμε  $T_N^E = T_N^L$  για το γεγονός τέλους του έργου και για κάθε  $i$  υπολογίσουμε  $T_i^L = \min_{ij} \{T_i^L - \delta_{ij}\}$ , καθώς μετακινούμαστε κατά φθίνουσα σειρά στους κόμβους του δικτύου. Για έλεγχο θα πρέπει στο τέλος να ισχύει  $T_1^L = 0$ .

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι πρώτα υπολογίζουμε τους ενωρίτερους χρόνους σαρώνοντας το δίκτυο από τα αριστερά προς τα δεξιά (από την αρχή προς το τέλος) και έπειτα τους αργότερους από τα δεξιά προς τα αριστερά.

Οι οριακοί χρόνοι  $T_i^E$  και  $T_i^L$  για το γεγονός  $i$  καθορίζουν το διάστημα της επιτρεπόμενης διακύμανσης του χρόνου πραγματοποίησης του γεγονότος  $i$ .

Για μια δραστηριότητα  $(i,j)$  ισχύουν τα εξής:

- Ο **Ενωρίτερος Δυνατός Χρόνος Έναρξης** της συμβολίζεται με  $EXE_{ij}$  και ισούται με  $T_i^E$ .
- Ο **Ενωρίτερος Δυνατός Χρόνος Τέλους** της συμβολίζεται με  $EXT_{ij}$  και ισούται με  $EXE_{ij} + \delta_{ij} = T_i^E + \delta_{ij}$ .
- Ο **Αργότερος Δυνατός Χρόνος Έναρξης** της χωρίς να καθυστερήσει το έργο πέρα από  $T_N^E$  συμβολίζεται με  $AXE_{ij}$  και ισούται με  $T_j^L - \delta_{ij}$ .
- Ο **Αργότερος Δυνατός Χρόνος Τέλους** της χωρίς να καθυστερήσει το έργο συμβολίζεται με  $AXT_{ij}$  και ισούται με  $T_j^L$ .
- Ο **Μέγιστος Διαθέσιμος Χρόνος**  $M\Delta X_{ij}$  που ορίζεται από τη διαφορά  $T_j^L - T_i^E$ .

Όπως γίνεται κατανοητό, τα περιθώρια της ολοκλήρωσης των δραστηριοτήτων παίζουν σημαντικό ρόλο γι' αυτό και αποτελούν υποψήφια κριτήρια κρισιμότητας.

### 2.2.2.1 Συνολικό περιθώριο δραστηριότητας

Το συνολικό περιθώριο, όπως προαναφέρθηκε, είναι το μεγαλύτερο δυνατό χρονικό διάστημα κατά το οποίο μπορεί να επιβραδυνθεί η εκτέλεση μιας δραστηριότητας χωρίς να μεγαλώσει η συνολική διάρκεια του έργου, υποθέτοντας ότι καμία άλλη δραστηριότητα σε αυτό το μονοπάτι δεν έχει επιβραδυνθεί. Το συνολικό περιθώριο έχει πρωταρχική σημασία για την κρισιμότητα μιας δραστηριότητας -στην κλασσική θεώρηση αποτελούσε το μόνο κριτήριο για να χαρακτηριστεί μια δραστηριότητα ως κρίσιμη καθώς οποιαδήποτε αλλαγή στην διάρκεια μιας κρίσιμης δραστηριότητας επέφερε αλλαγή και στη διάρκεια όλου του έργου.

Για να υπάρχει σταθερό μέτρο σύγκρισης για το ποιού μεγέθους συνολικό περιθώριο θεωρείται μεγάλο ή όχι, θα λαμβάνεται υπόψη ως τιμή αυτού του παράγοντα ο λόγος του Συνολικού Περιθωρίου της υπό εξέταση δραστηριότητας προς τη Συνολική Διάρκεια του έργου  $\frac{\Sigma \Pi_i}{\Sigma \Delta}$ . Όσο μειώνεται η τιμή αυτή, σημαίνει ότι μικραίνει το ΣΠ ή

μεγαλώνει η διάρκεια του έργου, άρα τόσο πιο κοντά στη κρισιμότητα θα είναι η δραστηριότητα.

#### **2.2.2.2 Διάρκεια δραστηριότητας**

Το κριτήριο αυτό αφορά στην παράμετρο της χρονικής διάρκειας μίας εργασίας. Οι εργασίες με τη μεγαλύτερη διάρκεια, ενδέχεται να επηρεάσουν σε μεγαλύτερο βαθμό την πορεία του έργου και γι' αυτό κρίνεται σκόπιμο να εντατικοποιηθούν πρώτες, σε σχέση με τις εργασίες μικρότερης διάρκειας. Αν π.χ. η κρίσιμη διαδρομή ενός έργου αποτελείται από τρεις εργασίες με διάρκειες 5, 2, 120 ημέρες, κρίνεται σκόπιμο να συμπεσθεί η εργασία διάρκειας 120 ημερών, αφού η συμπίεση των άλλων δύο είναι φανερό ότι δεν θα επιφέρει καμία ιδιαίτερη βελτίωση από πλευράς χρόνου στο έργο. Το κριτήριο αυτό μπορεί να εκφραστεί με το πηλίκο της Διάρκειας Δραστηριότητας προς την συνολική Διάρκεια του Έργου  $\frac{\Delta_i}{\Sigma\Delta}$ . Όσο πιο μεγάλος είναι αυτός ο λόγος τόσο μεγαλύτερο βαθμό κρισιμότητας λαμβάνει η συγκεκριμένη δραστηριότητα.

#### **2.2.2.3 Ελεύθερο Περιθώριο δραστηριότητας**

Το Ελεύθερο Περιθώριο  $ΕΠ_i$ , όπως προαναφέρθηκε, είναι το περιθώριο καθυστέρησης της ολοκλήρωσης μιας δραστηριότητας το οποίο δεν επηρεάζει τον νωρίτερο χρόνο έναρξης καμίας από τις δραστηριότητες των οποίων η έναρξη εξαρτάται από τη ολοκλήρωση της υπό εξέταση δραστηριότητας, από τις διαδοχικές δηλαδή δραστηριότητες (successors). Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν διαδοχικές δραστηριότητες το Ελεύθερο Περιθώριο ταυτίζεται με το Συνολικό Περιθώριο. Όπως και στην περίπτωση του Συνολικού Περιθωρίου, για να υπάρχει μια κοινή βάση σύγκρισης θα ληφθεί υπόψη ο λόγος του Ελεύθερου Περιθωρίου προς την συνολική διάρκεια του έργου  $\frac{ΕΠ_i}{\Sigma\Delta}$ . Όσο μικρότερος είναι αυτός ο λόγος τόσο αυξάνει ο βαθμός κρισιμότητας της δραστηριότητας ως προς την επιλογή για συμπίεση, καθώς η υπό εξέταση δραστηριότητα δεν έχει περιθώρια ευελιξίας και η εξέλιξή της επηρεάζει και άλλες δραστηριότητες.

### 2.2.3 Κίνδυνος

Ο κίνδυνος σε ένα έργο είναι ένα αβέβαιο γεγονός ή συνθήκη η οποία, εάν συμβεί, έχει μία θετική ή αρνητική επίδραση σε κάποιο στόχο του έργου. Ένας κίνδυνος έχει μία αιτία και, εάν συμβεί, μία συνέπεια. Για παράδειγμα, μία αιτία μπορεί να αφορά μία άδεια ή την ύπαρξη περιορισμένου προσωπικού ανατεθειμένου στο έργο. Το γεγονός κινδύνου είναι ότι η άδεια μπορεί να απαιτήσει περισσότερο χρόνο απότι σχεδιάστηκε, ή ότι το προσωπικό δεν είναι κατάλληλο για τη δράση. Εάν συμβεί οποιοδήποτε από αυτά τα αβέβαια γεγονότα, θα υπάρξουν συνέπειες για το κόστος του έργου, το χρονοδιάγραμμα, ή την ποιότητα. Ο κίνδυνος σε ένα έργο περιλαμβάνει τόσο τις απειλές στους στόχους του έργου όσο και τις ευκαιρίες βελτίωσης αυτών των στόχων. Έχει τις ρίζες του στην αβεβαιότητα που είναι παρούσα σε όλα τα έργα. Γνωστοί κίνδυνοι θεωρούνται αυτοί που έχουν προσδιορισθεί και αναλυθεί, και ενδεχομένως είναι δυνατό να γίνει σχεδιασμός για αυτούς. Οι άγνωστοι κίνδυνοι δεν μπορούν να διοικηθούν, αν και οι διοικητές έργου μπορεί να τους αντιμετωπίσουν εφαρμόζοντας ένα γενικό σχέδιο εκτάκτου ανάγκης βάσει προηγούμενης εμπειρίας με παρεμφερή έργα. Οι οργανισμοί αντιλαμβάνονται τον κίνδυνο καθότι σχετίζεται με απειλές για την επιτυχία του έργου. Οι κίνδυνοι που αποτελούν απειλές για το έργο μπορεί να γίνουν αποδεκτοί εάν ισοσταθμίζουν το όφελος που μπορεί να προκύψει παίρνοντας το ρίσκο. Για παράδειγμα, η υιοθέτηση ενός σχεδίου ταχείας εκτέλεσης που μπορεί να μην επιτευχθεί είναι ένας κίνδυνος που λαμβάνεται προκειμένου να επιτευχθεί μία ενωρίτερη ημερομηνία ολοκλήρωσης. Οι κίνδυνοι που αποτελούν ευκαιρίες μπορεί να ληφθούν για να ωφεληθούν οι στόχοι του έργου.

Καθώς στο κομμάτι εκτίμησης των κινδύνων πρωταρχικό ρόλο έχει ο ανθρώπινος παράγοντας, είναι σημαντικό να καταλάβουμε ότι ο καταμερισμός των ευθυνών για την ανάληψη του ελέγχου και αντιμετώπισης των κινδύνων πρέπει να γίνει με προσοχή από τη διοίκηση του έργου στους διάφορους εμπλεκόμενους και να παρέχονται τα ανάλογα εφόδια για την αντιμετώπισή τους.

Το πρώτο και από τα πιο σημαντικά βήματα για την επίλυση των προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν, είναι η αναγνώριση των κινδύνων και η ταξινόμησή τους. Τα

εργαλεία και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την επίτευξη αυτού του στόχου αναφέρονται στο πρώτο κεφάλαιο, ενώ από αυτή τη διαδικασία προκύπτουν οι κίνδυνοι που ίσως επηρεάσουν το συγκεκριμένο έργο και τα εναύσματα ή αλλιώς τα προειδοποιητικά σήματα για το ότι ένας κίνδυνος θα ή έχει ήδη συμβεί.

Οι κατηγορίες κινδύνων πρέπει να είναι καλά ορισμένες και να αντανακλούν συνήθεις πηγές κινδύνων στην περιοχή εφαρμογής τους. Οι κίνδυνοι που συναντώνται ανήκουν συνήθως σε μια από τις παρακάτω κατηγορίες [11]:

- **Προγραμματισμός έργου:** στα πλαίσια του προγραμματισμού του έργου μπορεί να προκύψουν κίνδυνοι από τη λανθασμένη εκτίμηση της διάρκειας των δραστηριοτήτων, από τη λανθασμένη μελέτη εύρους, από την πίεση του χρόνου, και γενικά από την υποεκτίμηση των πραγματικών καταστάσεων ή την υπερεκτίμηση των δυνατοτήτων της ομάδας έργου.
- **Σχεδιασμός / εφαρμογή τεχνολογιών:** η χρήση νέων τεχνολογιών, που δεν έχουν δοκιμαστεί για την ανάκυψη προβλημάτων, ο ελλιπής σχεδιασμός και η αποτυχία να καλυφθούν βασικές ανάγκες του έργου είναι κάποιοι από τους κινδύνους αυτής της κατηγορίας.
- **Περιβάλλον εργασιών:** οι κίνδυνοι που προκύπτουν εδώ έχουν να κάνουν με την καθυστέρηση ετοιμασίας του εργοταξίου, τον ελλιπή εξοπλισμό των εγκαταστάσεων και την έλλειψη των κατάλληλων μηχανημάτων, και γενικά την έλλειψη οργάνωσης του εργοταξίου.
- **Εξωτερικοί παράγοντες:** οι κίνδυνοι που προέρχονται από εξωτερικούς παράγοντες είναι συνήθως οι πιο δύσκολα προβλέψιμοι και αντιμετωπίσιμοι. Τέτοιοι κίνδυνοι αφορούν τις καιρικές συνθήκες, την κοινωνικοοικονομική και νομική κατάσταση της χώρας όπου κατασκευάζεται το έργο.
- **Χαρακτηριστικά προϊόντος:** οι συνθήκες χρήσης, το μέγεθος, η πολυπλοκότητα του σχεδιασμού και το επίπεδο ποιότητας του τελικού προϊόντος είναι παράγοντες που μπορεί να προκαλέσουν κινδύνους λόγω πολλαπλών δοκιμών, ελαττωμάτων κ.τ.λ, που απαιτούν αυξημένο κόστος και χρόνο.
- **Εμπλοκή των τελικών χρηστών:** γενικά η εμπλοκή των τελικών χρηστών επιφέρει προβλήματα λόγω έλλειψης γνώσεων, έλλειψης επικοινωνίας με τους

συντελεστές του έργου, απαιτήσεων που προκύπτουν μετά το σχεδιασμό του έργου.

- **Τήρηση διαδικασιών:** οι κίνδυνοι αυτής της κατηγορίας προέρχονται από την ελλιπή τήρηση των διαδικασιών παρακολούθησης του έργου και καταγραφής των αλλαγών, την υπερβολική τυπικότητα ή την υπερβολική χαλαρότητα.
- **Απόδοση/ποιότητα:** οι κίνδυνοι σε αυτή την περίπτωση αφορούν την καθυστέρηση των παραδοτέων, τη χαμηλή ποιότητα με αποτέλεσμα την επανεπεξεργασία των παραδοτέων για τη βελτίωσή της και γενικότερα, την απόδοση και την παραγωγικότητα.
- **Οργανωσιακοί/διοικητικοί παράγοντες:** η συγκεκριμένη κατηγορία περιλαμβάνει κινδύνους που προέρχονται από την ελλιπή οργάνωση, την ελλιπή επικοινωνία μεταξύ των τμημάτων και τη μείωση του προϋπολογισμού. Μπορούμε να διακρίνουμε μια υποκατηγορία που αφορά τις απαιτήσεις σε πόρους του έργου και μια υποκατηγορία που αφορά την καταλληλότητα του προσωπικού.

Για τον καθορισμό της στρατηγικής της αντιμετώπισης των κινδύνων, εκτός από την αναγνωρισή τους, πρέπει να οριστούν η πιθανότητα εμφάνισής τους και το μέγεθος της επίπτωσής τους στους στόχους του έργου. Η ίδια τακτική θα ακολουθηθεί και για τον καθορισμό των κριτηρίων κρισιμότητας που αφορούν το κομμάτι του κινδύνου. Όπως είναι κατανοητό, λόγω της ποικιλομορφίας των κατηγοριών κινδύνων, ο ορισμός των κριτηρίων κρισιμότητας θα είναι πολυπλοκότερος.

Για την εκτίμηση της πιθανότητας εμφάνισης και της σοβαρότητας επίπτωσης στους στόχους του έργου, όπως είδαμε και στο πρώτο κεφάλαιο, εφαρμόζονται αρκετές τεχνικές, οι οποίες χρησιμοποιούνται είτε στην φάση της ποιοτικής είτε της ποσοτικής ανάλυσης του κινδύνου. Στην παρούσα εργασία θα εφαρμόσουμε τεχνικές που ανήκουν στην ποιοτική ανάλυση και συγκεκριμένα κρίνεται καλύτερη η χρήση πινάκων κατάταξης, μέθοδος που εφαρμόζεται σε αρκετές περιπτώσεις λόγω ευκολίας. Αυτό που πρέπει να τονιστεί είναι ότι η αξιολόγηση των πληροφοριών και η βαθμολόγηση των κινδύνων στις περισσότερες μεθόδους απαιτεί την προσωπική κρίση των μελών της αντίστοιχης ομάδας. Τα βήματα που θα ακολουθήσουμε είναι τα εξής:



1. Σύνταξη λίστας κινδύνων
2. Κατασκευή πίνακα βαθμολόγησης επίπτωσης κινδύνων, ο οποίος θα εφαρμόζεται για κάθε εργασία
3. Κατασκευή πίνακα εκτίμησης πιθανοφάνειας κινδύνων, ο οποίος θα εφαρμόζεται για κάθε εργασία
4. Υπολογισμός γινομένου *πιθανοφάνεια x σοβαρότητα επίπτωσης* ( $Prob_i \times Imp_i$ ) για κάθε τύπο κινδύνου και άθροιση των γινομένων αυτών για να προκύψει το συνολικό γινόμενο  $\sum_i Prob_i \times Imp_i$  που αφορά την κάθε εργασία.

Το τελικό αυτό άθροισμα γινομένων θα αποτελεί το μέτρο σύγκρισης για την κρισιμότητα ή όχι της αντίστοιχης εργασίας. Είναι επόμενο ότι όσο αυξάνεται αυτό το μέγεθος τόσο μειώνεται η κρισιμότητα της εργασίας.

#### Σύνταξη λίστας κινδύνων

Όπως προαναφέρθηκε η αναγνώριση των κινδύνων λαμβάνει υπόψη τον τύπο του έργου, αν δηλαδή είναι επαναλαμβανόμενο ή πραγματοποιείται για πρώτη φορά. Από την άλλη πλευρά, εκτός των αναγνωρισμένων κινδύνων που πιθανόν να εμφανιστούν σε κάθε έργο, υπάρχουν και κίνδυνοι που αφορούν την ιδιαιτερότητα κάθε έργου και τις ειδικές απαιτήσεις του, οι οποίοι απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή.

Στην παρούσα εργασία, με τη βοήθεια του DOF Project Oversight Framework [11], θα γίνει μια προσπάθεια σύνταξης λίστας κινδύνων, οι οποίοι αφορούν γενικά χαρακτηριστικά έργων και μπορεί να εμφανιστούν σε κάθε περίπτωση.

<b>ΛΙΣΤΑ ΚΙΝΔΥΝΩΝ</b>	
<b>Προγραμματισμός έργου</b>	καθυστέρηση διαδοχικών εργασιών λόγω καθυστέρησης εργασίας
	λανθασμένη εκτίμηση διάρκειας
	επανασχεδιασμός σε περίπτωση ολίσθησης προγράμματος
<b>Σχεδιασμός/εφαρμογή τεχνολογιών</b>	αδυναμία κάλυψης βασικών χαρακτηριστικών
	χρήση πρωτοποριακής τεχνολογίας
	αδυναμία εφαρμογής επιλεγμένων μεθόδων/εξοπλισμού
<b>Περιβάλλον εργασιών</b>	χρήση ακατάλληλου εξοπλισμού
	έλλειψη εξοπλισμού την κατάλληλη χρονική στιγμή
	ελλιπείς εγκαταστάσεις(κτίρια, τηλέφωνο, Η/Υ, γραφεία)
<b>Εξωτερικοί παράγοντες</b>	ελλιπείς υποδομές για χρήση εξοπλισμού
	καιρικές συνθήκες
	εργασιακά προβλήματα (απεργίες, στάσεις)
<b>Χαρακτηριστικά προϊόντος</b>	αλλαγές οικονομίας, νομικού πλαισίου
	επανασχεδιασμός/επανάληψη δοκιμών σε ελαττωματικά παραδοτέα
	επανασχεδιασμός/επανάληψη δοκιμών λόγω χαμηλής ποιότητας
<b>Εμπλοκή των τελικών χρηστών</b>	εξάρτηση χρήσης προϊόντος από νέες τεχνολογίες
	απαίτηση πολλαπλής λειτουργίας
	ικανότητα ικανοποίησης νέων απαιτήσεων;
<b>Τήρηση διαδικασιών</b>	ικανότητα εμπλοκής χρηστών στις διαδικασίες προγραμματισμού;
	τήρηση διαδικασιών ελέγχου;
	Επίπεδο γραφειοκρατίας;
<b>Απόδοση/ποιότητα</b>	Χρήση λογισμικών για παρακολούθηση έργου;
	Κατάλληλο σύστημα ελέγχου(λίστες ελέγχου, προσωπικό);
	παράδοση προϊόντων στην ώρα τους;
<b>Οργανωσιακοί/διοικητικοί παράγοντες</b>	Παράδοση προϊόντων ακατάλληλης ποιότητας
	απασχόληση μικρού αριθμού ειδικευμένου προσωπικού
	ασαφής οργανωσιακή δομή(οδηγεί σε μείωση παραγωγικότητας)
	περικοπές στον προϋπολογισμό
	αλλαγές στο προσωπικό(απολύσεις, αλλαγές πόστων)
	συνεχείς αλλαγές σε απαιτήσεις πόρων
	πρόσθετες απαιτήσεις σε πόρους
	απασχόληση εκπαιδευμένου προσωπικού;
	Ανάθεση συγκεκριμένων καθηκόντων σε ακατάλληλα άτομα
ενδομηματικές συγκρούσεις	
αδυναμία πλήρους απασχόλησης ειδικευμένου προσωπικού	

*Πίνακας 2.1: λίστα κινδύνων*

## Κατασκευή πίνακα επίπτωσης

Η κατασκευή του πίνακα επίπτωσης θα βασιστεί στην λογική του χαρακτηρισμού της επίπτωσης του κινδύνου ως *χαμηλή – μέτρια – υψηλή*. Ένα παράδειγμα τέτοιου πίνακα ακολουθεί παρακάτω:

Εκτίμηση Επιπτώσεων ενός Κινδύνου στους Κύριους Στόχους του Έργου (τακτική ή αριθμητική, μη γραμμική κλίμακα)					
Στόχος Έργου	Πολύ Χαμηλή .05	Χαμηλή .1	Μέτρια .2	Υψηλή .4	Πολύ Υψηλή .8
Κόστος	Ασήμαντη Αύξηση Κόστους	<5% Αύξηση Κόστους	5-10% Αύξηση Κόστους	10 -20% Αύξηση Κόστους	>20% Αύξηση Κόστους
Χρονοδιάγραμμα	Ασήμαντη Απόκλιση στο Χρονοδ /μμα	Απόκλιση Χρονοδ /τος <5%	Συνολική Απόκλιση Χρονοδ /τος 5-10%	Συνολική Απόκλιση Χρονοδ /τος 10 -20%	Συνολική Απόκλιση Χρονοδ /τος >20%
Εύρος	Μείωση Εύρους μόλις Αντιληπτή	Ελάχισονες Περιοχές του Εύρους Επηρεάζονται	Κύριες Περιοχές του Εύρους Επηρεάζονται	Μείωση Εύρους μη Αποδεκτή από τον Πελάτη	Στοιχείο Τέλους Έργου είναι Πρακτικά Άχρηστο
Ποιότητα	Μείωση Ποιότητας μόλις Αντιληπτή	Μόνο Πολύ Απαιτητικές Εφαρμογές Επηρεάζονται	Μείωση της Ποιότητας Απαιτεί Έγκριση Πελάτη	Μείωση Ποιότητας μη Αποδεκτή από τον Πελάτη	Στοιχείο Τέλους Έργου είναι Πρακτικά Άχρησιμοποίητο

Βασιζόμενοι σε αυτό το παράδειγμα και την λίστα κινδύνων από το προηγούμενο βήμα θα κατασκευάσουμε τον πίνακα βαθμολόγησης των κινδύνων ο οποίος έχει την μορφή που φαίνεται παρακάτω. Ανάλογα με το ποια κριτήρια πληρούνται, η ομάδα των στελεχών δίνει την αντίστοιχη βαθμολογία για την επίπτωση που έχει ο συγκεκριμένος κίνδυνος στην υπό εξέταση δραστηριότητα. Στον πίνακα αυτό δεν εξετάζεται η επίπτωση του κινδύνου σε κάθε στόχο του έργου (κόστος, διάρκεια, εύρος, ποιότητα) όπως ισχύει στον πίνακα του παραδείγματος, αλλά γίνεται μια προσπάθεια οριοθέτησης των επιπτώσεων του κινδύνου, με σκοπό την ευκολότερη χρήση του από τους υπεύθυνους, αφού οι κατηγορίες που υπάρχουν (υψηλή-μέτρια-χαμηλή-καθόλου) υποδηλώνουν αντίστοιχη επίπτωση στους στόχους του έργου. Αν π.χ εμφανιστεί ο κίνδυνος «*αδυναμία χρήσης επιλεγμένων μεθόδων*» η επιλογή της κατηγορίας *μέτρια* με ελάχιστες εναλλακτικές υποδηλώνει αντίστοιχη αύξηση του κόστους, και της διάρκειας αφού απαιτείται επανασχεδιασμός της δραστηριότητας μέχρι κάποιου βαθμού.

ΛΙΣΤΑ ΚΙΝΔΥΝΩΝ	ΥΨΗΛΗ	ΑΝ ΝΑΙ ΒΑΘΜ. 5	ΜΕΤΡΙΑ	ΑΝ ΝΑΙ ΒΑΘΜ. 3	ΧΑΜΗΛΗ	ΑΝ ΝΑΙ ΒΑΘΜ. 1	ΚΑΘΟΛΟΥ	ΑΝ ΝΑΙ ΒΑΘΜ. 0
<b>Προγραμματισμός έργου</b>								
καυστέρηση διαδοχικών εργασιών λόγω καθυστέρηση εργασίας	επηρεάζονται όλες οι διαδοχικές εργασίες		επηρεάζονται οι μισές διαδοχικές εργασίες		επηρεάζεται μια διαδοχική εργασία		δεν επηρεάζεται καμία διαδοχική εργασία	
λανθασμένη εκτίμηση διάρκειας	απόκλιση από χρονοδιάγραμμα >20%		απόκλιση από χρονοδιάγραμμα 5-10%		απόκλιση από χρονοδιάγραμμα <5%		ασήμαντη απόκλιση από χρονοδιάγραμμα	
επανασχεδιασμός σε περίπτωση ολίσθησης προγράμματος	επανασχεδιασμός >30%		επασχεδιασμός 15-30%		επασχεδιασμός 5-15%		ασήμαντος επασχεδιασμός	
<b>Σχεδιασμός/εφαρμογή τεχνολογιών</b>								
αδυναμία κάλυψης βασικών χαρακτηριστικών	αδυναμία κάλυψης >25% των χαρακτηριστικών		αδυναμία κάλυψης 10-20% των χαρακτηριστικών		αδυναμία κάλυψης <10% των χαρακτηριστικών		κάλυψη όλων των βασικών χαρακτηριστικών	
χρήση πρωτοποριακής τεχνολογίας	τεχνολογία σε εξέλιξη		πολύ νέα τεχνολογία		τεχνολογία κάποιων ετών		τεχνολογία επαναχρησιμοποιημένη	
αδυναμία εφαρμογής επιλεγμένων μεθόδων/εξοπλισμού	καμία εναλλακτική λύση		ελάχιστες εναλλακτικές λύσεις		αρκετές εναλλακτικές λύσεις		δυνατότητα εφαρμογής των επιλεγμένων μεθόδων	
<b>Περιβάλλον εργασιών</b>								
χρήση ακατάλληλου εξοπλισμού	μειωμένη παραγωγικότητα >20% από την αναμενόμενη		μειωμένη παραγωγικότητα 5-10% από την αναμενόμενη		μειωμένη παραγωγικότητα <5% από την αναμενόμενη		ασήμαντη απόκλιση από την αναμενόμενη παραγωγικότητα	
έλλειψη εξοπλισμού την κατάλληλη χρονική στιγμή	λείπει το >30% του εξοπλισμού		λείπει το 10-20% του εξοπλισμού		λείπει το 5-10% του εξοπλισμού		λείπει το <5% του εξοπλισμού	

ελλειπείς εγκαταστάσεις(κτίρια, τηλέφωνο, Η/Υ, γραφεία)	λείπει το 50% του βασικού εξοπλισμού	λείπει το 20% του βασικού εξοπλισμού	λείπει το 10% του βασικού εξοπλισμού	πλήρεις εγκαταστάσεις
ελλειπείς υποδομές για χρήση εξοπλισμού(π.χ γραμμές ρεύματος)	χρονική καθυστέρηση >30% διάρκειας δραστηριότητας	χρονική καθυστέρηση 7-25% διάρκειας δραστηριότητας	χρονική καθυστέρηση <5% διάρκειας δραστηριότητας	ασήμαντο ποσοστό καθυστέρησης διάρκειας δραστηριότητας
<b>Εξωτερικοί παράγοντες</b>				
καιρικές συνθήκες	επανεκτέλεση >40%της εργασίας	επανεκτέλεση 10-40% της εργασίας	επανεκτέλεση <10% της εργασίας	καθόλου επανεκτέλεση της εργασίας
εργασιακά προβλήματα (απεργίες, στάσεις)	απόκλιση από χρονοδιάγραμμα >20%	απόκλιση από χρονοδιάγραμμα 5-10%	απόκλιση από χρονοδιάγραμμα <5%	ασήμαντη απόκλιση από χρονοδιάγραμμα
αλλαγές οικονομίας, νομικού πλαισίου	αύξηση >20% κόστους	αύξηση 10-20% κόστους	αύξηση <10% κόστους	ασήμαντη αύξηση κόστους
<b>Χαρακτηριστικά προϊόντος</b>				
επανασχεδιασμός/επανάληψη δοκιμών σε ελαττωματικά παραδοτέα	απόκλιση από χρονοδιάγραμμα >20%	απόκλιση από χρονοδιάγραμμα 5-10%	απόκλιση από χρονοδιάγραμμα <5%	ασήμαντη απόκλιση από χρονοδιάγραμμα
επανασχεδιασμός/επανάληψη δοκιμών λόγω χαμηλής ποιότητας	απόκλιση από χρονοδιάγραμμα >20%	απόκλιση από χρονοδιάγραμμα 5-10%	απόκλιση από χρονοδιάγραμμα <5%	ασήμαντη απόκλιση από χρονοδιάγραμμα
εξάρτηση χρήσης προϊόντος από νέες τεχνολογίες	απαραίτητη χρήση νέων τεχνολογιών	προαιρετική χρήση νέων τεχνολογιών	χρήση τεχνολογιών κάποιων ετών	χρήση δοκιμασμένων τεχνολογιών
απαίτηση πολλαπλής λειτουργίας	πολλαπλές χρήσεις	δύο-τρεις χρήσεις	μια ή δύο χρήσεις	μια χρήση
<b>Εμπλοκή των τελικών χρηστών</b>				
ικανότητα ικανοποίησης νέων απαιτήσεων;	επανασχεδιασμός >30%	επασχεδιασμός 15-30%	επασχεδιασμός 5-15%	ασήμαντος επασχεδισμός
<b>Τήρηση διαδικασιών</b>				

τήρηση διαδικασιών ελέγχου;	ελάχιστη τήρηση διαδικασιών		τήρηση του 10-20% των διαδικασιών		τήρηση του >20% των διαδικασιών		πλήρης τήρηση διαδικασιών	
επίπεδο γραφειοκρατίας;	δαιδαλώδες σύστημα γραφειοκρατίας		πολύπλοκο σύστημα γραφειοκρατίας		ελαφρώς πολύπλοκο σύστημα γραφειοκρατίας		ελάχιστο απαραίτητο επίπεδο γραφειοκρατίας	
χρήση λογισμικών για παρακολούθηση έργου;	καμία χρήση λογισμικού		μερική χρήση λογισμικού		αρκετή χρήση λογισμικού		χρήση λογισμικού για όλες τις συνιστώσες	
κατάλληλο σύστημα ελέγχου(λίστες ελέγχου, προσωπικό);	απασχόληση <40% απαιτούμενου προσωπικού-πληροφόρηση <40%		απασχόληση 40-50% απαιτούμενου προσωπικού-πληροφόρηση 40-60%		απασχόληση 50-70% απαιτούμενου προσωπικού-πληροφόρηση 60-70%		απασχόληση >70% απαιτούμενου προσωπικού-πλήρης πληροφόρηση	
<b>Απόδοση/ποιότητα</b>								
παράδοση προϊόντων στην ώρα τους;	αδυναμία παράδοσης >30% του προϊόντος		αδυναμία παράδοσης 15-30% του προϊόντος		αδυναμία παράδοσης 5-15% του προϊόντος		αδυναμία παράδοσης <5% του προϊόντος	
παράδοση προϊόντων ακατάλληλης ποιότητας	απόκλιση ποιότητας >35%		απόκλιση ποιότητας 20-35%		απόκλιση ποιότητας 5-20%		καμία απόκλιση ποιότητας	
απασχόληση μικρού αριθμού ειδικευμένου προσωπικού	απόκλιση από απαιτούμενο αριθμό >40%		απόκλιση από απαιτούμενο αριθμό 20-40%		απόκλιση από απαιτούμενο αριθμό 5-20%		απόκλιση από απαιτούμενο αριθμό <5%	
<b>Οργανωσιακοί/διοικητικοί παράγοντες</b>								
ασαφής οργανωσιακή δομή(οδηγεί σε μείωση παραγωγικότητας)	μερική οργανωσιακή δομή κατά τμήματα		οργάνωση κατά τμήματα-έλλειψη διατμηματικής επικοινωνίας		διατμηματική οργάνωση		πλήρης οργανωσιακή δομή	
περικοπές στον προϋπολογισμό	περικοπές >40%		περικοπές 20-40%		περικοπές 10-20%		ασήμαντες περικοπές	
αλλαγές στο προσωπικό(απολύσεις, αλλαγές πόστων)	πολύ συχνές αλλαγές		συχνές αλλαγές		μέτριες αλλαγές		σπάνιες αλλαγές	

συνεχείς αλλαγές σε απαιτήσεις πόρων	επανασχεδιασμός >30%		επασχεδιασμός 15-30%		επασχεδιασμός 5-15%		ασήμαντος επασχεδιασμός
πρόσθετες απαιτήσεις σε πόρους	αύξηση >20% κόστους		αύξηση 10-20% κόστους		αύξηση <10% κόστους		ασήμαντη αύξηση κόστους
απασχόληση εκπαιδευμένου προσωπικού;	στοιχειώδης εκπαίδευση (απλή χρήση εξοπλισμού)		μερική εκπαίδευση προσωπείου		πλήρης εκπαίδευση		διαρκής εκπαίδευση
ανάθεση συγκεκριμένων καθηκόντων σε ακατάλληλα άτομα	απόκλιση από χρονοδιάγραμμα >20%		απόκλιση από χρονοδιάγραμμα 5-10%		απόκλιση από χρονοδιάγραμμα <5%		ασήμαντη απόκλιση από χρονοδιάγραμμα
ενδομηματικές συγκρούσεις	πλήρης έλλειψη επικοινωνίας		μικρή επικοινωνία		αρκετή επικοινωνία		πλήρης επικοινωνία
αδυναμία πλήρους απασχόλησης ειδικευμένου προσωπικού	απασχόληση <30% του απαιτούμενου χρόνου		απασχόληση 30-50% του απαιτούμενου χρόνου		απασχόληση 50-70% του απαιτούμενου χρόνου		απασχόληση >70% του απαιτούμενου χρόνου

**Πίνακας 2.2.: βαθμολόγηση επίπτωσης κινδύνων**

Αντί του πίνακα, η διαδικασία αυτή θα μπορούσε να γίνει μέσω ενός συστήματος fuzzy logic όπου ως μεταβλητές εισόδου θα είχαμε τους κινδύνους και ως μεταβλητή εξόδου τον βαθμό επίπτωσης.

#### Κατασκευή πίνακα πιθανότητας εμφάνισης

Η κατασκευή του πίνακα πιθανότητας εμφάνισης ενός κινδύνου θα βασιστεί στην λογική *χαμηλή – μέτρια – υψηλή* όπου ορίζονται οι παρακάτω κατηγορίες:

- *Υψηλή*: η εμφάνιση του κινδύνου είναι πολύ πιθανή ή σχεδόν σίγουρη με βαθμολογία  $Prob=0,7-0,9$
- *Μέτρια*: η εμφάνιση του κινδύνου έχει πιθανότητες 50/50 με βαθμολογία  $Prob=0,3-0,7$
- *Χαμηλή*: η εμφάνιση του κινδύνου έχει μικρές πιθανότητες με βαθμολογία  $Prob=0,1-0,3$
- *Πολύ χαμηλή*: η εμφάνιση του κινδύνου είναι μάλλον απίθανη με βαθμολογία  $Prob=0,05-0,1$

Με βάση τη λίστα κινδύνων, κατασκευάζεται ο παρακάτω πίνακας όπου οι υπεύθυνοι καλούνται να βαθμολογήσουν την πιθανότητα εμφάνισης των κινδύνων της λίστας για κάθε εργασία. Στον ίδιο πίνακα μπορούμε να προσθέσουμε μια ακόμη στήλη όπου θα αναγράφονται οι βαθμολογίες επίπτωσης από το δεύτερο βήμα (κατασκευή πίνακα επίπτωσης).

Πρέπει λοιπόν για κάθε εργασία οι υπεύθυνοι να συμπληρώνουν δυο πίνακες: τον πίνακα σοβαρότητας επίπτωσης κινδύνων και τον τελικό πίνακα βαθμολόγησης πιθανότητας, απ' όπου προκύπτει και το τελικό γινόμενο ( $Prob_{i,x} Imp_i$ ). Στο τέλος του πίνακα αυτού θα γίνεται το άθροισμα των γινομένων και θα προκύπτει ο τελικός βαθμός επικινδυνότητας κάθε εργασίας. Ο λόγος αυτής της βαθμολογίας προς τη μέγιστη βαθμολογία που θα μπορούσε να πάρει  $\frac{\sum (Pr ob_{i,x} Im p_i)}{\max \sum (Pr ob_{i,x} Im p_i)}$  αποτελεί το κριτήριο κρισιμότητας της υπό εξέταση εργασίας.



<b>ΛΙΣΤΑ ΚΙΝΔΥΝΩΝ</b>	<b>ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ (Prob.)</b>	<b>ΕΠΙΠΤΩΣΗ (Imp.)</b>	<b>Prob x Imp</b>
<b>Προγραμματισμός έργου</b>			
καθυστέρηση διαδοχικών εργασιών λόγω καθυστέρηση εργασίας			
λανθασμένη εκτίμηση διάρκειας			
επανασχεδιασμός σε περίπτωση ολίσθησης προγράμματος			
<b>Σχεδιασμός/εφαρμογή τεχνολογιών</b>			
αδυναμία κάλυψης βασικών χαρακτηριστικών			
χρήση πρωτοποριακής τεχνολογίας			
αδυναμία εφαρμογής επιλεγμένων μεθόδων/εξοπλισμού			
<b>Περιβάλλον εργασιών</b>			
χρήση ακατάλληλου εξοπλισμού			
έλλειψη εξοπλισμού την κατάλληλη χρονική στιγμή			
ελλιπείς εγκαταστάσεις(κτίρια, τηλέφωνο, Η/Υ, γραφεία)			
ελλιπείς υποδομές για χρήση εξοπλισμού(π.χ.γραμμές ρεύματος)			
<b>Εξωτερικοί παράγοντες</b>			
καιρικές συνθήκες			
εργασιακά προβλήματα (απεργίες, στάσεις)			
αλλαγές οικονομίας, νομικού πλαισίου			
<b>Χαρακτηριστικά προϊόντος</b>			
επανασχεδιασμός/επανάληψη δοκιμών σε ελαττωματικά παραδοτέα			
επανασχεδιασμός/επανάληψη δοκιμών λόγω χαμηλής ποιότητας			
εξάρτηση χρήσης προϊόντος από νέες τεχνολογίες			
απαίτηση πολλαπλής λειτουργίας			
<b>Εμπλοκή των τελικών χρηστών</b>			
ικανότητα ικανοποίησης νέων απαιτήσεων;			
<b>Τήρηση διαδικασιών</b>			
τήρηση διαδικασιών ελέγχου;			
επίπεδο γραφειοκρατίας;			
χρήση λογισμικών για παρακολούθηση έργου;			
κατάλληλο σύστημα ελέγχου(λίστες ελέγχου, προσωπικό);			
<b>Απόδοση/ποιότητα</b>			
παράδοση προϊόντων στην ώρα τους;			

παράδοση προϊόντων ακατάλληλης ποιότητας			
απασχόληση μικρού αριθμού ειδικευμένου προσωπικού			
<b>Οργανωσιακοί/διοικητικοί παράγοντες</b>			
ασαφής οργανωσιακή δομή(οδηγεί σε μείωση παραγωγικότητας)			
περικοπές στον προϋπολογισμό			
αλλαγές στο προσωπικό(απολύσεις, αλλαγές πόστων)			
συνεχείς αλλαγές σε απαιτήσεις πόρων			
πρόσθετες απαιτήσεις σε πόρους			
απασχόληση εκπαιδευμένου προσωπικού;			
ανάθεση συγκεκριμένων καθηκόντων σε ακατάλληλα άτομα			
ενδομηματικές συγκρούσεις			
αδυναμία πλήρους απασχόλησης ειδικευμένου προσωπικού			
			<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>

*Πίνακας 2.3: τελικός πίνακας κατάταξης κινδύνων*

Μια διαφορετική θεώρηση του προβλήματος καθορισμού της επικινδυνότητας μιας εργασίας θα μπορούσε να είναι ο καθορισμός συγκεκριμένων χαρακτηριστικών της με σκοπό την βαθμολόγησή της ως ριψοκίνδυνη από την πλευρά των επιπτώσεων ανεξάρτητα από την εμφάνιση ή όχι των κινδύνων που θα προκαλέσουν αυτές τις επιπτώσεις. Αν για παράδειγμα μια εργασία έχει μεγάλο κόστος ή απαιτεί μεγάλο αριθμό ειδικευμένου προσωπικού, τότε η εμφάνιση οποιουδήποτε κινδύνου θα έχει ίσως μεγαλύτερες επιπτώσεις στους στόχους του έργου (κόστος, διάρκεια, ποιότητα) από ότι σε μια εργασία με χαμηλό κόστος ή απαίτηση απασχόλησης μικρού αριθμού ειδικευμένου προσωπικού. Με άλλα λόγια γίνεται καθορισμός των χαρακτηριστικών εκείνων που κάνουν την εργασία να χρήζει ιδιαίτερης προσοχής σε σχέση με τις υπόλοιπες, καθώς μια απόκλιση από τον προγραμματισμό μπορεί να επιφέρει μεγαλύτερα προβλήματα. Με βάση αυτή την θεώρηση κατασκευάζεται ο παρακάτω πίνακας ο οποίος περιλαμβάνει τέτοιου τύπου χαρακτηριστικά. Ο λόγος της συνολικής βαθμολογίας που συγκεντρώνει κάθε εργασία προς τη μέγιστη βαθμολογία  $\frac{totalscore}{max.score}$  αποτελεί το κριτήριο κρισιμότητάς της. Σε αυτό το σημείο πρέπει να λάβουμε υπόψη πως η πράξη έχει δείξει ότι η διαδικασία της συμπίεσης πολλές φορές επιφέρει αρνητικά αποτελέσματα στους στόχους του έργου. Κάτι τέτοιο συμβαίνει διότι η επίσπευση των εργασιών, η εμπλοκή περισσότερων ατόμων και γενικά το άγχος και η βιασύνη οδηγούν σε αποτελέσματα πολύ αυξημένου κόστους και μειωμένης ποιότητας σε σχέση με το προκαθορισμένο επίπεδο. Θα μπορούσε να πει κάποιος με βάση τα παραπάνω λοιπόν, ότι η διαδικασία της συμπίεσης είναι ένας παράγοντας εμφάνισης κινδύνων, οπότε η συμπίεση δραστηριοτήτων οι οποίες έχουν χαρακτηριστεί ως ριψοκίνδυνες μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις στην πορεία και στους στόχους του έργου. Είναι λοιπόν κατανοητό πως όσο μεγαλώνει ο λόγος  $\frac{totalscore}{max.score}$ , τόσο μειώνεται η κρισιμότητα της υπό εξέταση εργασίας.

Στο συγκεκριμένο πίνακα εμφανίζεται η έννοια των σπάνιων πόρων. Ένας πόρος μπορεί να χαρακτηριστεί ως σπάνιος όταν το κόστος του είναι μεγάλο και η διαθεσιμότητά του μικρή. Σπάνιους πόρους μπορεί να αποτελούν πολύ εξειδικευμένοι επιστήμονες ή χειριστές μηχανημάτων, πρώτες ύλες με πολύ μεγάλο κόστος αγοράς και

μικρή απαιτούμενη ποσότητα, μηχανήματα που θα χρησιμοποιηθούν για μια και μόνη εργασία με πολύ μεγάλο κόστος αγοράς ή ενοικίασης και άλλα. Στην παρούσα εργασία θα ορίσουμε ως σπάνιους πόρους ανθρώπινο δυναμικό ή υλικούς πόρους των οποίων το κόστος είναι μεγαλύτερο από 40% από τον μέσο όρο του κόστους των αμοιβών ή της αγοράς/ενοικίασης , ενώ παράλληλα ο διαθέσιμος αριθμός τους είναι μικρότερος από 15% από τον μέσο όρο του ανθρώπινου δυναμικού ή των ποσοτήτων των υλικών πόρων.

ΛΙΣΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ	ΥΨΗΛΗ	ΑΝ ΝΑΙ ΒΑΘΜ. 5	ΜΕΤΡΙΑ	ΑΝ ΝΑΙ ΒΑΘΜ. 3	ΧΑΜΗΛΗ	ΑΝ ΝΑΙ ΒΑΘΜ. 1	ΚΑΘΟΛΟΥ	ΑΝ ΝΑΙ ΒΑΘΜ. 0
εκτιμώμενο κόστος εργασίας	αποτελεί >20% συνολικού κόστους έργου		αποτελεί 10-20% συνολικού κόστους έργου		αποτελεί 5-10% συνολικού κόστους έργου		αποτελεί <5% συνολικού κόστους έργου	
ακρίβεια εκτίμησης κόστους	ακρίβεια εκτίμησης <50%		ακρίβεια εκτίμησης 50-85%		ακρίβεια εκτίμησης 85-95%		ακρίβεια εκτίμησης >95%	
χρήση νέας τεχνολογίας	τεχνολογία σε εξέλιξη		πολύ νέα τεχνολογία		τεχνολογία κάποιων ετών		τεχνολογία επαναχρησιμοποιημένη	
απαίτηση σε ειδικευμένο προσωπικό	απαίτηση >20% των πόρων της εργασίας		απαίτηση 10-20% των πόρων της εργασίας		απαίτηση 5-10% των πόρων της εργασίας		απαίτηση <5% των πόρων της εργασίας	
επηρεασμός διαδοχικών εργασιών	>4 διαδοχικές εργασίες		2-4 διαδοχικές εργασίες		1-2 διαδοχικές εργασίες		καμία διαδοχική εργασία	
επηρεασμός από πολιτικές, δικαστικές, οικονομικές μεταβολές	αύξηση >20% κόστους		αύξηση 10-20% κόστους		αύξηση <10% κόστους		ασήμαντη αύξηση κόστους	
ποσοστό χρήσης σπάνιων πόρων	>30% των συνολικών πόρων της εργασίας		15-30% των συνολικών πόρων της εργασίας		5-15% των συνολικών πόρων της εργασίας		<5% των συνολικών πόρων της εργασίας	
επίπεδο ποιότητας	πολύ υψηλές απαιτήσεις		μέτριες απαιτήσεις		χαμηλές απαιτήσεις		πολύ χαμηλές απαιτήσεις	
διάρκεια εργασίας	αποτελεί >20% συνολικής διάρκειας έργου		αποτελεί 10-20% συνολικής διάρκειας έργου		αποτελεί 5-10% συνολικής διάρκειας έργου		αποτελεί <5% συνολικής διάρκειας έργου	
ακρίβεια εκτίμησης διάρκειας	ακρίβεια εκτίμησης <50%		ακρίβεια εκτίμησης 50-85%		ακρίβεια εκτίμησης 85-95%		ακρίβεια εκτίμησης >95%	

*Πίνακας 2.4: πίνακας χαρακτηριστικών δραστηριότητας*

Η πρώτη μέθοδος χρησιμοποιείται σε αρκετές περιπτώσεις, απαιτεί όμως την σωστή κατάρτιση και ειδίκευση των εμπειρογνομόνων, αφού η αποτελεσματική χρήση των λιστών κατάταξης και βαθμολόγησης κινδύνων προϋπόθετε την σωστή προσωπική εκτίμηση τόσο στο στάδιο της αναγνώρισης, όσο και στο στάδιο της βαθμολόγησης των κινδύνων. Η δεύτερη μέθοδος από την άλλη πλευρά, βασίζεται σε απόλυτα μεγέθη που αφορούν την κάθε εργασία και δεν περιλαμβάνει το στάδιο αναγνώρισης και βαθμολόγησης της επίπτωσης των κινδύνων.

## 3. Ασαφής λογική (fuzzy logic)

### 3.1 Εισαγωγή στην ασαφή λογική

Τα τελευταία τριάντα χρόνια γίνεται μια μεγάλη προσπάθεια να βρεθούν νέες τεχνικές ελέγχου, μη-συμβατικές, για να ενισχυθούν οι συμβατικές τεχνικές. Στα πλαίσια αυτής της προσπάθειας έχει γίνει εκτεταμένη έρευνα για την κατανόηση και την αναπαραγωγή της ανθρώπινης ευφυΐας καθώς και την ανάπτυξη μηχανισμών συμπερασμού και λήψης αποφάσεων σε πολύπλοκα συστήματα ελέγχου.

Τα ευφυή συστήματα, όπως αυτά ονομάζονται, ενσωματώνουν ιδέες και τεχνικές από διάφορες επιστήμες όπως η ψυχολογία, η νευρολογία, η επιχειρησιακή έρευνα, οι επικοινωνίες, η πληροφορική και η θεωρία συμβατικού ελέγχου, ώστε να αναπτυχθούν μέθοδοι καλύτερης επεξεργασίας της ασάφειας, του επαγωγικού συλλογισμού (*inductive reasoning*) και του συνδεσμισμού (*connectionism*) ή της παράλληλα κατανεμημένης επεξεργασίας (*parallel distributed processing*).

Ο ευφυής έλεγχος και κατά συνέπεια, τα ευφυή συστήματα, βασίζονται στη γνώση και την εμπειρία του ανθρώπου-χειριστή και δεν απαιτούν την εξειδικευμένη γνώση της ελεγχόμενης διαδικασίας, όπως συμβαίνει στα συμβατικά συστήματα ελέγχου. Τα ευφυή συστήματα χρησιμοποιούν διάφορες μεθόδους για την αναπαράσταση της γνώσης και της εξαγωγής συμπερασμάτων και έχουν την ικανότητα να διαχειρίζονται γνώση από πολλές πηγές της ανθρώπινης δραστηριότητας. Ανάλογα με τον τρόπο απόκτησης της γνώσης του ανθρώπου-χειριστή και το μηχανισμό που αναπτύσσεται για την αναπαραγωγή της γνώσης αυτής, έχουν επικρατήσει οι εξής τεχνικές ευφυούς ελέγχου: α) τα έμπειρα συστήματα, β) η ασαφής λογική, γ) τα τεχνητά

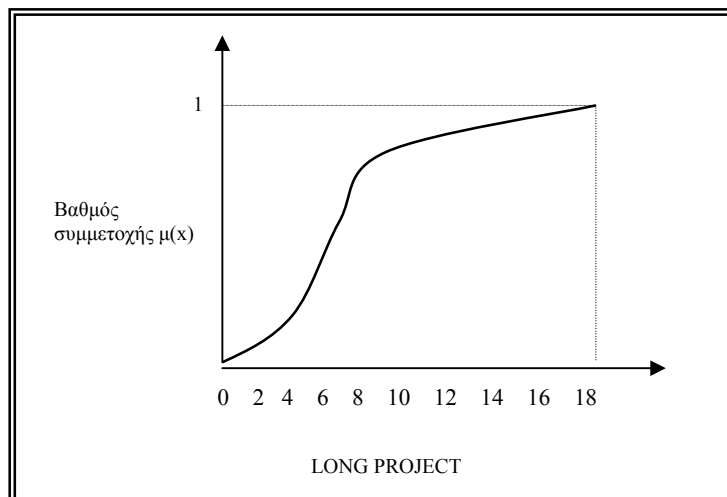
νευρωνικά δίκτυα και δ) τα νεύρο-ασαφή συστήματα. Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με την ασαφή λογική.

Εμπνευστής της ασαφούς λογικής ήταν ο Lotfi Zadeh, μηχανικός και ειδικός συστημάτων, ο οποίος προβληματίστηκε από το γεγονός ότι όσο αύξανε η πολυπλοκότητα κάποιων συστημάτων, τόσο μειώνονταν, και μάλιστα ραγδαία, η ικανότητα των παραδοσιακών μαθηματικών μοντέλων να παρέχουν πληροφορίες και υψηλά ποσοστά ακρίβειας. Παρατήρησε ωστόσο, ότι τελικά δεν ήταν και τόσο απαραίτητα τα υψηλά ποσοστά ακρίβειας για τον ικανοποιητικό έλεγχο των υπό εξέταση συστημάτων, καθώς μεγάλο ποσοστό της πολυπλοκότητας των συστημάτων προέρχονταν από τον τρόπο παρουσίασης και χειρισμού των μεταβλητών τους. Οι μεταβλητές αυτές στην ουσία αναπαριστούσαν τον βαθμό ύπαρξης ή όχι κάποιου φαινομένου, οπότε οι μαθηματικές σχέσεις που απαιτούνταν για την εκτίμηση των μεταβλητών στα όρια των διαφόρων επιπέδων γίνονταν πολύπλοκες. Από κάποιο σημείο και μετά η πολυπλοκότητα αυτή υπερκάλυπτε τις πληροφορίες που παρέχονταν από το μαθηματικό μοντέλο αυτό καθαυτό, καθώς παρείχε περισσότερο εξισώσεις και πολύ λίγη γνώση για τη διαδικασία την οποία μοντελοποιούσε.

Από τα συμπεράσματα που προέκυψαν, ο Zadeh στα μέσα της δεκαετίας του 1960, κατέθεσε μια μελέτη με τίτλο «*A new approach to the analysis of complex systems and decisions processes*» στην οποία γίνεται λόγος για πρώτη φορά για τα ασαφή σύνολα και τις λεκτικές μεταβλητές. Σε αυτή τη μελέτη οι μεταβλητές αναπαριστώνται λεκτικά και όχι μέσω μαθηματικών τύπων. Ορίζονται έτσι, μέσω των ασαφών όρων που χρησιμοποιεί, γενικές κατηγορίες και όχι συμπαγή, προκαθορισμένα σύνολα. Η μετάβαση από το ένα στάδιο στο άλλο γίνεται βαθμιαία, με κάποιες βαθμίδες να έχουν μεγαλύτερη επιρροή από κάποιες άλλες στις ορισμένες κατηγορίες. Βασιζόμενος λοιπόν στις μελέτες των Max Black (εισήγαγε το 1937 την έννοια της αβεβαιότητας) και Jan Lukasiewicz (το 1920 ανέπτυξε την έννοια της πλειότιμης λογικής όπου το "σωστό" και το "λάθος", η "αλήθεια" και το "ψεύδος" ενός συλλογισμού θεωρούνταν οι ακραίες τιμές ενός πεδίου τιμών όπου μπορούσε να οριστεί μια ή και περισσότερες ενδιάμεσες τιμές) και στην ιδέα των ελαστικών συνόλων, ο Zadeh παρουσίασε την έννοια των ασαφών συνόλων.



Η θεωρία της ασαφούς λογικής, λοιπόν, βασίζεται στην προϋπόθεση ότι το υπό εξέταση σύστημα απαρτίζεται από στοιχεία που ανήκουν σε διάφορα σύνολα με διαφορετικούς βαθμούς συμμετοχής. Δημιουργείται έτσι μια πλειότιμη έννοια, παραδείγματα της οποίας είναι η *αλήθεια*, το *ψεύδος* και οι ενδιάμεσες τιμές. Στην ουσία τα ασαφή σύνολα δεν είναι τίποτε άλλο παρά συναρτήσεις οι οποίες καθορίζουν το κατά πόσο (και σε ποιο βαθμό) ένα στοιχείο ανήκει σε κάποιο σύνολο, παίρνοντας τιμές από μηδέν έως ένα. Οι λεκτικές μεταβλητές, που αναφέρθηκαν και παραπάνω, είναι οι ονομασίες των ασαφών συνόλων και χαρακτηρίζουν τις ασαφείς μεταβλητές. Ως παράδειγμα μπορούμε να θεωρήσουμε ως ασαφή μεταβλητή την έννοια της *ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ* των έργων. Τα στοιχεία που απαρτίζουν το υπερσύνολο της διάρκειας είναι οι χρονικές περίοδοι των έργων σε εβδομάδες. Το ασαφές σύνολο με ονομασία «LONG PROJECT» προσδιορίζει το κατά πόσο ένα έργο συγκεκριμένης χρονικής διάρκειας ανήκει στο διάστημα των έργων μεγάλης διάρκειας. Έχουμε λοιπόν ότι αυξανόμενων των εβδομάδων η πεποίθηση ότι το έργο είναι μακροχρόνιο αυξάνεται. Ένα έργο π.χ. διάρκειας δύο εβδομάδων δεν θα μπορούσε να χαρακτηριστεί μακροχρόνιο αφού ο βαθμός συμμετοχής του στο διάστημα 2 έως 18 εβδομάδες είναι πολύ μικρός. Αντίστοιχα ένα έργο διάρκειας 10 εβδομάδων μπορεί να χαρακτηριστεί μεσαίας διάρκειας, ενώ τέλος ένα έργο 17 εβδομάδων είναι ένα μακροχρόνιο έργο, σύμφωνα πάντα με τα όρια που έχουν προκαθοριστεί. Το παράδειγμα που προαναφέρθηκε παρουσιάζεται γραφικά στο σχήμα (3.1):



*Σχήμα 3.1*

## 3.2 Βασικοί Όροι και Ορισμοί

Στην κλασσική θεωρία συνόλων ένα σύνολο αποτελείται από έναν πεπερασμένο ή άπειρο αριθμό στοιχείων. Τα στοιχεία όλων των συνόλων ανήκουν σε ένα σταθερό *υπερσύνολο αναφοράς* (universe of discourse). Τα στοιχεία ενός υπερσυνόλου αναφοράς που περιέχει το σύνολο υπό μελέτη  $A$  ανήκουν ή όχι στο σύνολο αυτό.

Αυτό μπορεί να εκφρασθεί με τη χαρακτηριστική ή δείκτρια συνάρτηση του Boole (crisp ή Boolean characteristic function)  $f_A(x)$  του σαφούς συνόλου  $A$ :

$$f_A(x) \begin{cases} = 1, & \text{εάν } x \in A \\ = 0, & \text{εάν } x \notin A \end{cases}$$

Η ασάφεια μπορεί να εισαχθεί στη θεωρία των συνόλων εάν γενικευθεί η χαρακτηριστική συνάρτηση έτσι ώστε να λαμβάνει άπειρο αριθμό τιμών στο διάστημα  $[0,1]$ .

Εάν  $X$  είναι το *υπερσύνολο αναφοράς* με επί μέρους στοιχεία  $x$ , τότε  $X = \{x\}$ . Ένα *ασαφές σύνολο*  $A$  του υπερσυνόλου αναφοράς  $X$  μπορεί να εκφρασθεί συμβολικά ως ένα σύνολο διατεταγμένων ζευγών (ordered pairs):

$$A = \int \{\mu_A(x)/x\} \quad \text{ή} \quad \sum \{\mu_A(x)/x\} \quad \text{για κάθε } x \in X$$

για τη συνεχή και τη διακριτή περίπτωση αντιστοίχως. Εδώ  $\mu_A(x)$  είναι η *συνάρτηση συμμετοχής* (membership function) του  $x$  στο σύνολο  $A$  και είναι μια απεικόνιση από το υπερσύνολο αναφοράς  $X$  στο κλειστό διάστημα  $[0,1]$ . Η συνάρτηση συμμετοχής υποδεικνύει το βαθμό κατά τον οποίο το σύνολο  $x$  ανήκει στο σύνολο  $A$ , δηλαδή:

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]$$

Τα σύμβολα  $\int$  και  $\sum$  εκφράζουν το "σύνολο" και δεν έχουν καμία σχέση με το κλασσικό ολοκλήρωμα ή άθροισμα.

Το *σύνολο στήριξης* (support set) ενός ασαφούς συνόλου  $A$  είναι το σύνολο των στοιχείων του υπερσυνόλου αναφοράς  $X$  για το οποίο  $\mu_A(x) > 0$ . Ένα ασαφές σύνολο μπορεί να θεωρηθεί ως μια απεικόνιση του συνόλου στήριξης στο κλειστό διάστημα  $[0,1]$ . Με βάση αυτό είναι δυνατή η παρουσίαση ενός ασαφούς συνόλου  $A$  του  $X$  με τη συνάρτηση συμμετοχής  $\mu_A(x)$ .

### 3.2.1 Πράξεις σε Ασαφή Σύνολα

1. Ένα ασαφές σύνολο  $A$  του  $X$  θεωρείται *κενό* (null) εάν η συνάρτηση συμμετοχής του είναι μηδενική παντού, δηλαδή:

$$A = \emptyset \text{ εάν } \mu_A(x) = 0, \forall x \in X$$

2. Το *συμπλήρωμα* (complement)  $\bar{A}$  ενός ασαφούς συνόλου ορίζεται ως :

$$\mu_{\bar{A}} = 1 - \mu_A(x), \forall x \in X$$

3. Δύο ασαφή σύνολα θεωρούνται *ισότιμα* (equivalent) όταν οι συναρτήσεις συμμετοχής τους είναι ίσες παντού, δηλαδή

$$A = B \text{ εάν } \mu_A(x) = \mu_B(x), \forall x \in X$$

4. Ένα ασαφές σύνολο  $B$  είναι *υποσύνολο* (subset) ενός συνόλου  $A$  εάν η συνάρτηση συμμετοχής του  $B$  είναι μικρότερη ή ίση με αυτή του  $A$  παντού στο  $X$ , δηλαδή

$$B \subset A \text{ εάν } \mu_B(x) \leq \mu_A(x), \forall x \in X$$

5. Η *ένωση* (union) δυο ασαφών συνόλων  $A$  και  $B$  στο  $X$  ορίζεται ως

$$\mu_{A \cup B} = \mu_A(x) \vee \mu_B(x), \forall x \in X$$

6. Η *τομή* (intersection) δυο ασαφών συνόλων A και B στο X ορίζεται ως

$$\mu_{A \cap B} = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x), \forall x \in X$$

7. Το *γινόμενο* (product) δυο ασαφών συνόλων A και B στο X ορίζεται ως:

$$\mu_{A \bullet B} = \mu_A(x) \bullet \mu_B(x), \forall x \in X$$

### 3.2.2 Αλγεβρικές Ιδιότητες

Χρησιμοποιώντας τους ορισμούς της ένωσης, της τομής και του συμπληρώματος οι αλγεβρικές ιδιότητες της κλασσικής λογικής ισχύουν και για τα ασαφή σύνολα. Οι ιδιότητες που δίνονται παρακάτω μπορούν να γραφούν μέσω συναρτήσεων συμμετοχής.

Ισχύουν οι εξής σχέσεις

- |                             |  |
|-----------------------------|--|
| 1. Νόμος διπλής άρνησης     | $\overline{\overline{A}} = A$  |
| 2. Αδύναμη πράξη            | $A \cup A = A$ και $A \cap A = A$  |
| 3. Μεταθετική ιδιότητα      | $A \cup B = B \cup A$ και $A \cap B = B \cap A$  |
| 4. Προσεταιριστική ιδιότητα | $(A \cup B) \cup \Gamma = A \cup (B \cup \Gamma)$<br>και $(A \cap B) \cap \Gamma = A \cap (B \cap \Gamma)$                   |
| 5. Επιμεριστική ιδιότητα    | $A \cap (B \cup \Gamma) = (A \cap B) \cup (A \cap \Gamma)$<br>και $A \cup (B \cap \Gamma) = (A \cup B) \cap (A \cup \Gamma)$ |
| 6. Νόμος Απορρόφησης        | $A \cup (A \cap B) = A$ και $A \cap (A \cup B) = A$  |
| 7. Θεώρημα De Morgan        | $\overline{A \cup B} = \overline{A} \cap \overline{B}$ και $\overline{A \cap B} = \overline{A} \cup \overline{B}$            |

Οι παρακάτω σχέσεις ισχύουν μόνο για τα ασαφή σύνολα, όπου το E ορίζεται ως  $\mu_E = 1$   $\forall x \in X$  και  $\emptyset$  είναι το κενό σύνολο:

$$X \cap \overline{X} = \emptyset$$

$$X \cup \overline{X} = E$$

$$A \cap \emptyset = \emptyset \text{ ή } \mu_A \wedge 0 = 0$$

$$A \cup \emptyset = A \text{ ή } \mu_A \vee 0 = \mu_A$$

$$A \cap E = A \text{ ή } \mu_A \wedge 1 = \mu_A$$

$$A \cup E = E \text{ ή } \mu_A \vee 1 = 1$$

Η προσεταιριστική σχέση για την περίπτωση ασαφών συνόλων εκφράζεται ως

$$(\mu_A \wedge \mu_B) \wedge \mu_\Gamma = \mu_A \wedge (\mu_B \wedge \mu_\Gamma)$$

και το θεώρημα του DeMorgan:

$$\overline{(\mu_A \vee \mu_B)} = \mu_{\bar{A}} \wedge \mu_{\bar{B}}$$

### 3.2.3 Λεκτικές Μεταβλητές

Οι τιμές μιας ασαφούς μεταβλητής (fuzzy variable) μπορούν να θεωρηθούν ετικέτες (labels) ασαφών συνόλων. Για παράδειγμα, η "ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ" μπορεί να θεωρηθεί ως μια ασαφής μεταβλητή που μπορεί να πάρει λεκτικές τιμές όπως *Κανονική*, *Χαμηλή*, *Μέση*, *Υψηλή* και οι οποίες στη συνέχεια μπορούν να περιγράψουν εύκολα από ασαφή σύνολα. Μια ασαφής μεταβλητή δηλαδή, παίρνει τιμές που είναι προτάσεις μιας φυσικής ή τεχνητής γλώσσας για να περιγράψει τα ασαφή σύνολα. Σε αυτήν την περίπτωση καλείται *λεκτική μεταβλητή* (linguistic variable). Συνήθως είναι ένας σύνθετος όρος αποτελούμενος από ατομικούς όρους. Οι όροι αυτοί διαιρούνται στις ακόλουθες υποκατηγορίες:

- *πρωτεύοντες όροι* (primary terms): είναι ετικέτες ασαφών συνόλων του υπερσυνόλου αναφοράς (π.χ. Ψηλό, Χαμηλό, Μέσο, Μικρό, Μηδέν)
- την *άρνηση* (negation) ΟΧΙ και τα *συνδετικά* (connectives) ΚΑΙ και Ή
- *λεκτικά περιγράμματα* (linguistic descriptors ή hedges) όπως *πολύ*, *ελαφρά*, *σχετικά*

Οι πρωτεύοντες όροι μπορούν να έχουν συνεχείς ή διακριτές συναρτήσεις συμμετοχής, στις οποίες θα αναφερθούμε αναλυτικά παρακάτω. Όσον αφορά τα συνδετικά ΚΑΙ και Ή και την άρνηση ΟΧΙ, αυτά μπορούν να ορισθούν μέσω των πράξεων του, της τομής, της

ένωσης και του συμπληρώματος αντίστοιχα. Το συνδετικό ΚΑΙ χρησιμοποιείται συνήθως με μεταβλητές που έχουν διαφορετικά υπερσύνολα αναφοράς:

$$\begin{aligned}
 \text{EAN} & \quad A = \{\mu_A(x)/x\} \text{ για } x \in X \text{ ΚΑΙ } B = \{\mu_B(y)/y\} \text{ για } y \in Y \\
 \text{TOTE} & \quad A \text{ ΚΑΙ } B = \mu_A(x) \wedge \mu_B(y) / (x,y) \quad \forall x \in X, y \in Y \\
 & \quad = \mu_{A \cap B}(x,y) / (x,y)
 \end{aligned}$$

Για παράδειγμα η πρόταση "ο Γ είναι ψηλός ΚΑΙ κοντός". Εάν οι τιμές του Α και του Β ανήκουν στο ίδιο υπερσύνολο αναφοράς τότε η πρόταση "ο Γ είναι ψηλός ΚΑΙ κοντός" είναι αντιφατική και δεν έχει καμία έννοια. Η μόνη περίπτωση όπου μεταβλητές του ίδιου υπερσυνόλου αναφοράς μπορούν να συνδεθούν με το συνδετικό ΚΑΙ είναι όταν παίρνουμε το συμπλήρωμά τους, δηλαδή την άρνηση "ο Κ ΔΕΝ είναι ψηλός και ΔΕΝ είναι κοντός" ή "ο Κ είναι ΟΧΙ ψηλός και ΟΧΙ κοντός".

Το συνδετικό Ή συνδέει λεκτικές τιμές της ίδιας μεταβλητής. Είναι προφανές ότι και οι δύο μεταβλητές πρέπει να ανήκουν στο ίδιο υπερσύνολο αναφοράς.

$$\begin{aligned}
 \text{EAN} & \quad A = \{\mu_A(x)/x\} \text{ για } x \in X \text{ και } B = \{\mu_B(x)/x\} \text{ για } x \in X \\
 \text{TOTE} & \quad A \text{ Ή } B = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) / (x) \quad \forall x \in X, \\
 & \quad = \mu_{A \cup B}(x) / (x)
 \end{aligned}$$

Το συνδετικό Ή μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί με μεταβλητές σε διαφορετικά υπερσύνολα αναφοράς εάν οι μεταβλητές βρίσκονται στο μέρος της συνθήκης σε μια σχέση της μορφής "EAN...TOTE...". Για παράδειγμα "EAN το συνολικό περιθώριο είναι μικρό Ή το κόστος συμπίεσης είναι πολύ μικρό TOTE η κρισιμότητα της διαδικασίας είναι μεγάλη".

Η πράξη ΟΧΙ είναι συνώνυμη της άρνησης στη φυσική γλώσσα. Έτσι εάν

$$\begin{aligned}
 & A = \{\mu_A(x)/x\} \text{ για } x \in X \text{ και} \\
 \text{ΟΧΙ } A & = \bar{A} = (1-A) = \{1-\mu_A(x)/x\}
 \end{aligned}$$

Η πρόταση "το κόστος υπερανάθεσης είναι ΟΧΙ μεγάλο" είναι επομένως συνώνυμη με την πρόταση "το κόστος υπερανάθεσης ΔΕΝ είναι μεγάλο" .

Τα λεκτικά περιγράμματα χρησιμεύουν στη δημιουργία ενός ευρύτερου συνόλου λεκτικών τιμών μιας γλωσσικής μεταβλητής από μια μικρότερη συλλογή πρωτεύοντων όρων. Στην ουσία τα λεκτικά περιγράμματα λειτουργούν όπως τα επίθετα στην γλώσσα, αλλάζοντας τη συνάρτηση συμμετοχής ενός ασαφούς συνόλου και μετατρέποντάς το σε ένα νέο ασαφές σύνολο. Υπάρχουν έτσι λεκτικά περιγράμματα που οριοθετούν την περιοχή ασάφειας όπως τα «πάνω από», «κάτω από», περιγράμματα που αυξάνουν την επιφάνεια του ασαφούς συνόλου όπως τα «πολύ», «υπερβολικά» ή μειώνουν αντίστοιχα τα όρια όπως τα «κοντά σε», «γειτονικά με». Τέλος υπάρχουν περιγράμματα που ρυθμίζουν την κλίμακα ή αμβλύνουν την περιοχή ασάφειας όπως τα «σχεδόν», «γύρω από», «κοντά σε», «συνήθως», «γενικά» και άλλα.

### 3.2.4 Τελεστές Ασαφούς Λογικής

Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 3.2.1, μεταξύ δυο ασαφών συνόλων ισχύουν οι πράξεις της ένωσης, της τομής και του συμπληρώματος. Στην ασαφή λογική οι πράξεις αυτές εφαρμόζονται μέσω ασαφών τελεστών (operators) όπως τα συνδετικά ΚΑΙ (AND) , Ή (OR) , ΟΧΙ (NOT), οι οποίοι εκφράζουν τις αντίστοιχες λογικές πράξεις. Σύμφωνα με τον Zadeh, οι τελεστές αυτοί μπορούν να υπολογιστούν με βάση τα παρακάτω:

$$\text{Τομή (τελεστής AND): } A \cap B = \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) \quad (3.1)$$

$$\text{Ένωση (τελεστής OR): } A \cup B = \max(\mu_A(x), \mu_B(y)) \quad (3.2)$$

$$\text{Συμπλήρωμα (τελεστής NOT): } \neg A = 1 - \mu_A(x) \quad (3.3)$$

Εκτός από τον ορισμό που έδωσε ο Zadeh, ειδικά στις λειτουργίες της ένωσης και της τομής (max/min) υπάρχουν και άλλοι ορισμοί, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ανάλογα με την περίπτωση, είναι όμως γενικά λιγότερο διαδεδομένοι από αυτόν του Zadeh. Στον πίνακα 3.1 παρουσιάζονται μερικοί από αυτούς τους ορισμούς.

	<i>Τομή (AND)</i>	<i>Ένωση (OR)</i>
<i>Zadeh</i>	$\min(\mu_A(x), \mu_B(y))$	$\max(\mu_A(x), \mu_B(y))$
<i>Mean</i>	$(\mu_A(x) + \mu_B(y)) / 2$	$(2 * \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) + 4 * \max(\mu_A(x), \mu_B(y))) / 6$
<i>Mean<sup>2</sup></i>	$\text{mean}^2$	$\text{mean}^2$
$\sqrt{\text{Mean}}$	$\text{mean}^{1/2}$	$\text{mean}^{1/2}$
<i>Product</i>	$(\mu_A(x) * \mu_B(y))$	$(\mu_A(x) + \mu_B(y)) - (\mu_A(x) * \mu_B(y))$
<i>Bounded Sum</i>	$\max(0, \mu_A(x) + \mu_B(y) - 1)$	$\min(1, \mu_A(x) + \mu_B(y))$

**Πίνακας 3.1: Ορισμός τελεστών [3]**

### 3.2.5 Συναρτήσεις Συμμετοχής

Οι συναρτήσεις συμμετοχής  $\mu_A(x)$  αποτελούν όπως είδαμε την απεικόνιση του ασαφούς συνόλου στο διάστημα  $[0,1]$ . Πρόκειται για καμπύλες διαφόρων τύπων οι οποίες ορίζουν την επιφάνεια του ασαφούς συνόλου και στην ουσία καθορίζουν τον βαθμό συμμετοχής μιας μεταβλητής στο ασαφές σύνολο. Ανάλογα με την περίπτωση επιλέγεται η μορφή καμπύλης που μας εξυπηρετεί καλύτερα. Χρησιμοποιούνται οι παρακάτω καμπύλες:

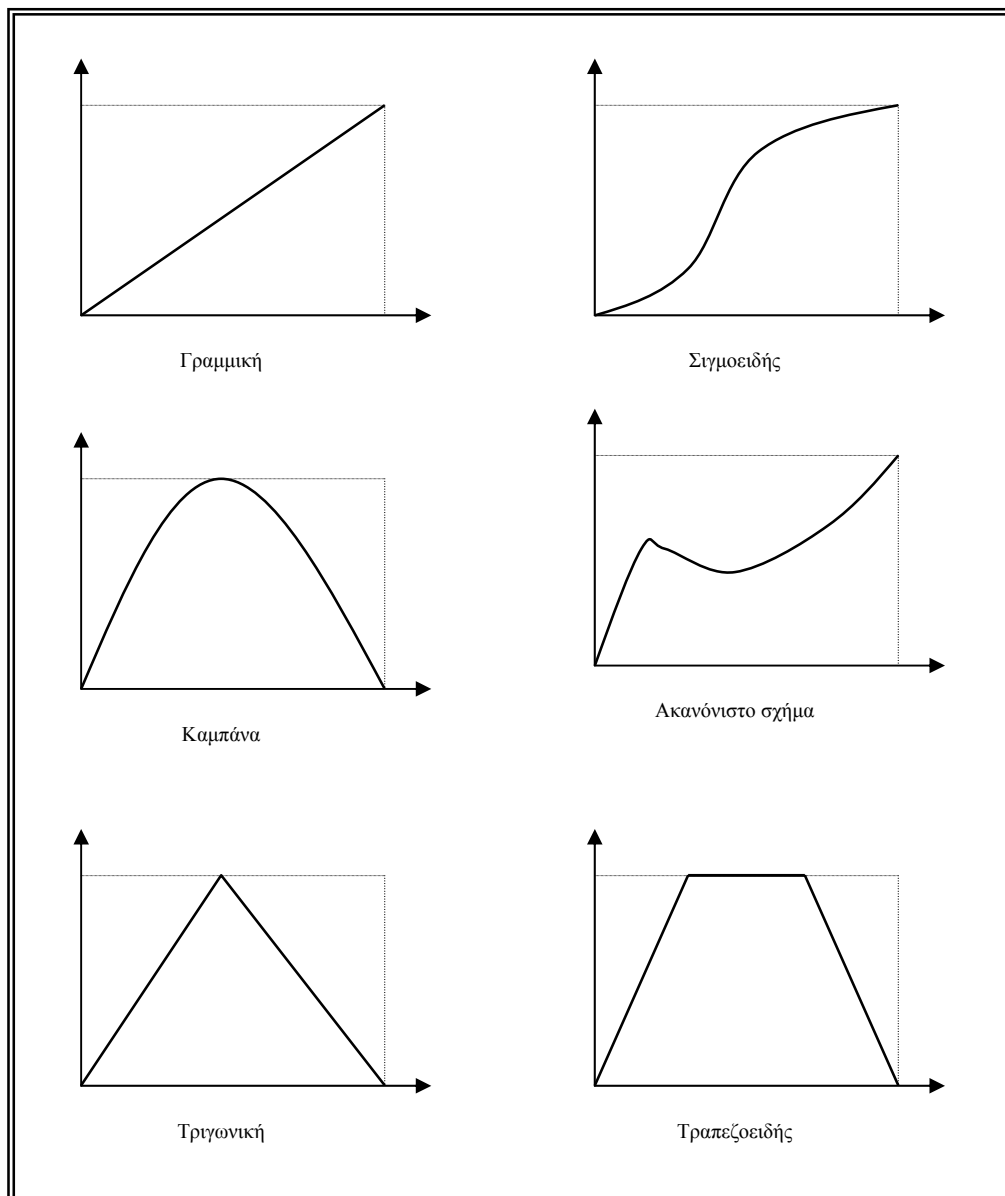
1. *Γραμμικές συναρτήσεις*: η καμπύλη που προκύπτει είναι μια ευθεία γραμμή αύξουσα ή φθίνουσα ανάλογα με τους συντελεστές της συνάρτησης. Είναι η απλούστερη μορφή καμπύλης και αποτελεί καλή επιλογή όταν πρόκειται να μοντελοποιήσουμε μια έννοια άγνωστη ή με ελλιπή στοιχεία.
2. *Σιγμοειδείς συναρτήσεις*: μια σιγμοειδής καμπύλη ορίζεται από τρία σημεία, το σημείο που η συνάρτηση συμμετοχής έχει μηδενική τιμή, το σημείο που έχει την μέγιστη τιμή δηλαδή 1 και το σημείο όπου έχει τιμή 0,5. τέτοιου είδους καμπύλες προτιμούνται όταν οι τιμές της υπό εξέταση μεταβλητής τείνουν να ακολουθούν συνεχή τυχαία κατανομή. Τέτοιες περιπτώσεις είναι η επιτάχυνση ενός



- αντικειμένου που πέφτει, η ταχύτητα ενός πολεμικού αεροσκάφους, το MTBF ενός σκληρού δίσκου, το βάρος και το ύψος μιας ομάδας ατόμων και άλλα.
3. *Συναρτήσεις 'καμπάνα'*: πρόκειται για μια πολύ σημαντική κατηγορία συναρτήσεων το γράφημα των οποίων μοιάζει με καμπάνα. Χωρίζονται σε τρεις υποκατηγορίες τις καμπύλες PI, τις Γκαουσιανές και τις καμπύλες beta. Οι διαφορές των τριών τύπων έχουν να κάνουν με την κλίση της καμπύλης και την τιμή του μεγίστου. Προτιμούνται σε περιπτώσεις που η διασπορά των τιμών μιας μεταβλητής είναι γύρω από ένα κεντρικό σημείο. Χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τα λεκτικά περιγράμματα *γύρω από, σχεδόν* κ.τ.λ
  4. *Καμπύλες ακανόνιστου σχήματος*: στις περιπτώσεις που μια τυπική συνάρτηση συμμετοχής με γραμμική, σιγμοειδή, ή απεικόνιση 'καμπάνα' αποτυγχάνει να μοντελοποιήσει επαρκώς μια μεταβλητή πρέπει να δημιουργηθεί ή να χρησιμοποιηθεί μια καμπύλη τυχαίου σχήματος, η οποία είναι συνήθως παραλλαγή της σιγμοειδούς καμπύλης. Τέτοιες καταστάσεις είναι αυτές όπου μετά από κάποιο σημείο ανεξάρτητα από το αν οι τιμές της μεταβλητής μεταβάλλονται το αποτέλεσμα παραμένει το ίδιο, όπως π.χ το ύψος ενός κτιρίου. Από τον πρώτο μέχρι τον εικοστό όροφο υπάρχει μια διακύμανση στον χαρακτηρισμό του ως ψηλό κτίριο. Αν όμως έχουμε πάνω από πενήντα ορόφους, το ύψος του κτιρίου μας φαίνεται το ίδιο ανεξάρτητα από τον αριθμό των ορόφων.
  5. *Τριγωνικές και τραπεζοειδείς συναρτήσεις*: αποτελούν ειδική περίπτωση των συναρτήσεων 'καμπάνα' και χρησιμοποιούνται κατά την μοντελοποίηση δυναμικών συστημάτων στις μεταφορές, στο marketing, στα οικονομικά και στον έλεγχο διαδικασιών, καθώς συνήθως παρουσιάζεται το φαινόμενο της αλληλοκάλυψης επιφανειών από πολλές τριγωνικές ή τραπεζοειδείς καμπύλες.

Ο αριθμός των συναρτήσεων συμμετοχής και κατά συνέπεια των ασαφών συνόλων που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν μια μεταβλητή επηρεάζει άμεσα την ακρίβεια με την οποία μπορούμε να ελέγξουμε την υπό έλεγχο διαδικασία. Είναι ευνόητο ότι μεγάλη ακρίβεια απαιτεί μεγάλο αριθμό συναρτήσεων συμμετοχής. Η σωστή κάλυψη της ελεγχόμενης διαδικασίας εξαρτάται επίσης από το ποσοστό επικάλυψης των επιφανειών

που ορίζονται από τις συναρτήσεις συμμετοχής. Παραδείγματα των αναφερόμενων τύπων συναρτήσεων συμμετοχής φαίνονται στο σχήμα 3.2



**Σχήμα 3.2: Παραδείγματα συναρτήσεων συμμετοχής**

### 3.2.6 Ασαφείς Δηλώσεις - Αλγόριθμοι

Η εξάρτηση μιας λεκτικής μεταβλητής από μια άλλη (ανεξάρτητη) περιγράφεται από μια *ασαφή εξαρτημένη δήλωση* (fuzzy conditional statement) που έχει τη μορφή:

$$R: AN \Delta_1 \text{ TOTE } \Delta_2$$

όπου  $\Delta_1$  και  $\Delta_2$  είναι ασαφείς δηλώσεις της μορφής  $A: X \text{ είναι } A$  και  $A$  είναι ένα ασαφές υποσύνολο του υπερσυνόλου  $X$ . Δύο ή περισσότερες ασαφείς εξαρτημένες δηλώσεις μπορούν να συνδυαστούν ώστε να σχηματίσουν μια ένθετη ασαφή εξαρτημένη δήλωση της μορφής:

$$R: AN \Delta_1 \text{ TOTE } (AN \Delta_2 \text{ TOTE } \Delta_3)$$

Εκφράζοντας τα παραπάνω ως δύο συνδεδεμένες εξαρτημένες δηλώσεις έχουμε:

$$R^1: AN \Delta_1 \text{ TOTE } R^2 \text{ και} \\ R^2: AN \Delta_2 \text{ TOTE } \Delta_3$$

Δύο ή περισσότερες ασαφείς εξαρτημένες δηλώσεις μπορούν να συνδυαστούν με το συνδετικό ΕΙΤΕ ώστε να σχηματίσουν έναν ασαφή αλγόριθμο (*fuzzy algorithm*)  $R^N$  της μορφής:

$$R^N: R^1 \text{ ΕΙΤΕ } R^2 \text{ ΕΙΤΕ } R^3 \text{ ΕΙΤΕ } \dots \text{ ΕΙΤΕ } R^n$$

Πιο αναλυτικά, αν  $A^1, A^2, \dots, A^N$  είναι ασαφή υποσύνολα του  $X$  και  $B^1, B^2, \dots, B^N$  του  $Y$  (που αντιστοιχούν στα αίτια και στα αποτελέσματα ενός ασαφούς συστήματος), τότε ο ασαφής αλγόριθμος είναι το σύνολο των γλωσσικών κανόνων:

$$R^N: R^1 : AN A^1 \text{ TOTE } B^1 \\ \text{ΕΙΤΕ}$$

$$R^2 : AN A^2 TOTE B^2$$

$$EITE$$

$$EAN A^N TOTE B^N$$

### 3.2.7 Ασαφείς Συνεπαγωγές

Όπως έχει αναφερθεί και στην εισαγωγή του παρόντος κεφαλαίου, η γνώση για τον έλεγχο μιας διαδικασίας καθορίζεται από ένα σύνολο λεκτικών κανόνων της μορφής ‘AN...TOTE’ οι οποίοι στην ουσία περιγράφουν τις πράξεις του χειριστή του συστήματος. Οι λεκτικοί κανόνες, όπως θα δούμε και παρακάτω, βρίσκονται σε μια βάση γνώσης και μέσω του υπολογισμού του βαθμού συμμετοχής ή της εκπλήρωσης κάθε κανόνα από τον μηχανισμό συμπερασμού, μας παρέχεται η ικανότητα συλλογισμού και λήψης αποφάσεων.

Οι μηχανισμοί συμπερασμού βασίζονται σε διάφορους κανόνες συνεπαγωγών, οι οποίες είναι ασαφείς δηλώσεις που καθορίζουν τον τρόπο σύνδεσης των συναρτήσεων συμμετοχής των εισόδων του συστήματος. Στην ασαφή λογική υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες κανόνων συνεπαγωγής: η κατηγορία *GMP (Generalised Modus Ponens)* και η κατηγορία *GMT (Generalised Modus Tollens)*. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τους κανόνες που σχετίζονται με τους *μηχανισμούς πρόσθιας συνεπαγωγής με δεδομένα*, όπου η ανεύρεση του συμπεράσματος γίνεται με δεδομένα τα αίτια. Στην δεύτερη κατηγορία με δεδομένο το αποτέλεσμα γίνεται προσπάθεια ανεύρεσης των αιτιών, οπότε μιλάμε για κανόνες που σχετίζονται με *μηχανισμούς οπισθόδρομου συμπερασμού με στόχο*.

Γενικά έχουν οριστεί οι παρακάτω τύποι συνεπαγωγών:

#### 1. Συνεπαγωγή Boole

Η κλασσική συνεπαγωγή του δυαδικού κανόνα Boole χρησιμοποιεί τους τελεστές ένωσης και άρνησης και ορίζεται ως:

$$R_{Boole} = (\bar{A} \times Y) \cup (X \times B)$$

με συνάρτηση συμμετοχής της συνεπαγωγής:  $\mu_R(x,y) = (1 - \mu_A(x)) \vee \mu_B(y)$

όπου  $A$  και  $B$  είναι ασαφή υποσύνολα των υπερσυνόλων  $X$  και  $Y$  αντίστοιχα.

Ο συνδυασμός  $N$  εξαρτημένων σχέσεων γίνεται με το συνδετικό ΚΑΙ δηλαδή

$$R^N = \bigwedge_k R^k \text{ όπου } k=1,2,\dots,N$$

και η αντίστοιχη συνάρτηση συμμετοχής είναι:  $\mu_{R^N}(x,y) = \bigwedge_k (1 - \mu_A^k(x)) \vee \mu_B^k(y)$

### 2. Συνεπαγωγή Lukasiewicz

Η συνεπαγωγή Lukasiewicz είναι βασισμένη στην πλειότιμη λογική και ορίζεται ως:

$$\mu_R(x,y) = 1 \wedge (1 - \mu_A(x) + \mu_B(y))$$

όπου το σύμβολο '+' παριστά την κοινή αριθμητική πρόσθεση. Ο συνδυασμός  $N$  εξαρτημένων σχέσεων γίνεται με το συνδετικό ΚΑΙ, δηλαδή:

$$R^N = \bigwedge_k R^k \text{ όπου } k=1,2,\dots,N$$

και η αντίστοιχη συνάρτηση συμμετοχής είναι:  $\mu_{R^N}(x,y) = \bigwedge_k (1 \wedge (1 - \mu_A(x) + \mu_B(y)))$

### 3. Συνεπαγωγή Zadeh

Η συνεπαγωγή Zadeh με τελεστές  $max$  και  $min$  ορίζεται ως:

$$R_{Zadeh} = (A \times B) \cup \left( \overline{A} \times X \right)$$

Με συνάρτηση συμμετοχής:  $\mu_R(x,y) = (\mu_A(x) \wedge \mu_B(y)) \vee (1 - \mu_A(x))$

Η συνεπαγωγή αυτή είναι δύσχρηστη και δεν αποδέχεται απλή υπολογιστική λύση.

### 4. Συνεπαγωγή Mamdani

Η συνεπαγωγή Mamdani είναι απλούστερη της συνεπαγωγής του Zadeh, χρησιμοποιεί μόνο τον τελεστή  $min$  και ορίζεται ως:

$$R_{Mamdani} = A \times B$$

Με αντίστοιχη συνάρτηση συμμετοχής:  $\mu_R(x,y) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(y) = \min(\mu_A(x), \mu_B(y))$

Ο συνδυασμός N εξαρτημένων σχέσεων γίνεται με το συνδετικό Η, δηλαδή:

$$R^N = \bigcap_k R^k \text{ όπου } k=1,2,\dots,N$$

και η αντίστοιχη συνάρτηση συμμετοχής είναι:  $\mu^N_R(x,y) = \bigcap_k (\mu^k_A(x) \wedge \mu^k_B(y))$

Η συνεπαγωγή Mamdani ήταν αυτή που άνοιξε το δρόμο για την ευρύτερη διάδοση της Ασαφούς Λογικής για τον έλεγχο των διαδικασιών, κυρίως λόγω της απλότητάς της.

### 5. Συνεπαγωγή Larsen

Η συνεπαγωγή Larsen χρησιμοποιεί το αριθμητικό γινόμενο κατά τον υπολογισμό του καρτεσιανού γινομένου και ορίζεται ως:

$$R_{\text{Larsen}} = A \times B$$

Με αντίστοιχη συνάρτηση συμμετοχής:  $\mu_R(x,y) = \mu_A(x) * \mu_B(y)$

Ο συνδυασμός N εξαρτημένων σχέσεων γίνεται και σε αυτή την περίπτωση με το συνδετικό Η, δηλαδή:

$$R^N = \bigcap_k R^k \text{ όπου } k=1,2,\dots,N$$

και η αντίστοιχη συνάρτηση συμμετοχής είναι:  $\mu^N_R(x,y) = \bigcap_k (\mu^k_A(x) \cdot \mu^k_B(y))$

Όπως και η συνεπαγωγή Mamdani έτσι και η συνεπαγωγή Larsen έχει βρει εφαρμογή στην πράξη λόγω της αριθμητικής της απλότητας. Σχεδόν όλοι οι ασαφείς ελεγκτές που έχουν υλοποιηθεί μέχρι σήμερα βασίζονται σε μηχανισμούς συμπερασμού που χρησιμοποιούν μια από τις δύο τελευταίες συνεπαγωγές. Με βάση τους δυο αυτούς τύπους συνεπαγωγών αναπτύχθηκαν δύο αντίστοιχοι συμπερασματικοί κανόνες ή αλλιώς δύο τρόποι σύνθεσης κανόνων: ο κανόνας *μεγίστου-ελαχίστου* (max-min) που βασίζεται στην συνεπαγωγή Mamdani και ο κανόνας *μέγιστου γινομένου* (max-product) που βασίζεται στην συνεπαγωγή Larsen. Έχουμε λοιπόν τις εξής σχέσεις:

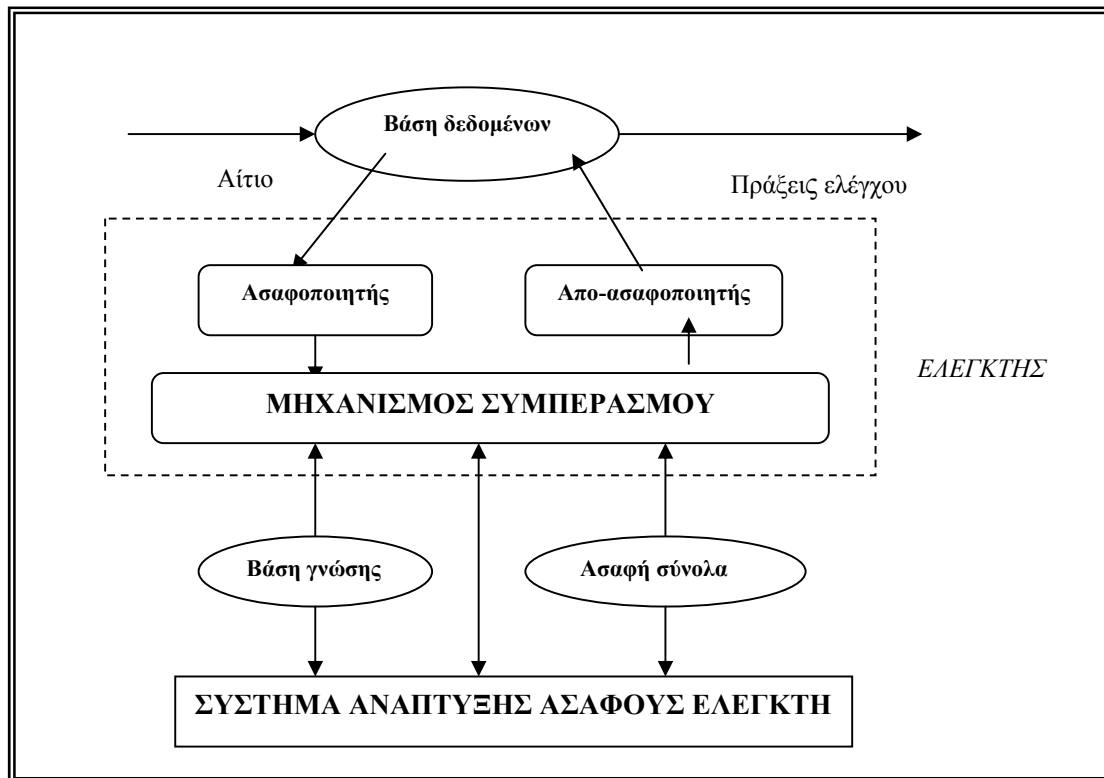
$$\text{max-min: } \mu_R^{12}(x,z) = \bigvee_y (\mu_R^1(x,y) \wedge \mu_R^2(y,z)) \quad (3.4)$$

$$\text{max-product: } \mu_R^{12}(x, z) = \vee_y (\mu_R^1(x, y) \bullet \mu_P^2(y, z)) \quad (3.5)$$

### 3.3 Δομή Συστήματος Ασαφούς Λογικής

Τα απαραίτητα δομικά στοιχεία ενός ασαφούς ελεγκτή είναι τα εξής:

1. η *βάση δεδομένων πραγματικού χρόνου*, όπου μετά από εξομάλυνση καταχωρούνται οι τιμές των μεταβλητών που συλλέγονται από τη φυσική διαδικασία καθώς και οι έξοδοι του ελεγκτή. Η βάση δεδομένων αποτελεί τον κρίκο μεταξύ της φυσικής διαδικασίας και του ελεγκτή.
2. η *βάση γνώσης* στην οποία είναι καταχωρημένοι οι κανόνες ελέγχου της διαδικασίας.
3. τα *ασαφή σύνολα* που είναι καταχωρημένα είτε σε διακριτή ή σε αναλυτική μορφή σε ειδικό αρχείο.
4. το *σύστημα ανάπτυξης* με το οποίο ο μηχανικός γνώσης επικοινωνεί με το περιβάλλον του ελεγκτή.
5. ο *ασαφοποιητής*, όπου οι φυσικές μεταβλητές της διαδικασίας μετατρέπονται στη γλώσσα των ασαφών συνόλων.
6. ο *μηχανισμός συμπερασμού*, όπου συνάγονται τα ασαφή σύνολα των συμπερασμάτων.
7. ο *από-ασαφοποιητής*, όπου τα ασαφή σύνολα των συμπερασμάτων μετατρέπονται σε σαφείς δράσεις ελέγχου προς μετάδοση στους ενεργοποιητές της διαδικασίας.



**Σχήμα 3.3 Η Γενική Δομή ενός Συστήματος Ασαφούς Λογικής [4]**

Ο αλγόριθμος ενός ασαφούς ελεγκτή αποτελείται από τέσσερα κύρια στάδια: την ασαφοποίηση των εισόδων, την εφαρμογή της μεθόδου συνεπαγωγής, την ομαδοποίηση των εξόδων των κανόνων και τέλος την απο-ασαφοποίηση του αποτελέσματος.

### 3.3.1 Ασαφοποίηση εισόδων

Η διαδικασία της ασαφοποίησης αποτελείται από δυο στάδια. Το πρώτο είναι ο υπολογισμός ενός βαθμού συμμετοχής για δεδομένη αριθμητική τιμή της κάθε μεταβλητής εισόδου, μέσω των συναρτήσεων συμμετοχής που έχουν οριστεί για κάθε μεταβλητή του συστήματος. Το δεύτερο στάδιο είναι η εφαρμογή των ασαφών τελεστών στην περίπτωση που το αίτιο των κανόνων δεν είναι μονοσήμαντο αλλά αποτελείται από περισσότερες της μιας εισόδους. Στην περίπτωση αυτή, η είσοδος του ασαφούς τελεστή είναι οι βαθμοί συμμετοχής των ασαφοποιημένων εισόδων και η έξοδος του είναι μια



τιμή αληθείας. Η διαδικασία αυτή γίνεται σαρωτικά για όλους τους κανόνες της βάσης γνώσης.

### 3.3.2 Εφαρμογή μεθόδου συνεπαγωγής

Στο στάδιο αυτό έχουμε ως είσοδο την τιμή που προκύπτει από την ασαφοποίηση των δεδομένων για κάθε κανόνα και το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα είναι ο σχηματισμός του αντίστοιχου ασαφούς συνόλου της μεταβλητής εξόδου. Έχουμε λοιπόν για κάθε κανόνα ενεργοποιημένη την αντίστοιχη συνάρτηση συμμετοχής της εξόδου και με την εφαρμογή της μεθόδου συνεπαγωγής αναδιαμορφώνουμε το συγκεκριμένο ασαφές σύνολο. Η διαδικασία αυτή εκτελείται μέσω της χρήσης των μεθόδων *min* ή *-product* που αντιστοιχούν στις συνεπαγωγές Mamdani και Larsen αντίστοιχα. Η εφαρμογή της μεθόδου *min* έχει ως αποτέλεσμα το «κόψιμο» της συνάρτησης συμμετοχής της εξόδου στο ύψος της προκύπτουσας τιμής των εισόδων μετά την εφαρμογή των τελεστών. Η εφαρμογή της μεθόδου *product* έχει ως αποτέλεσμα το «χαμήλωμα» της συνάρτησης συμμετοχής της εξόδου στο ύψος της προκύπτουσας τιμής των εισόδων, διατηρώντας το σχήμα της.

### 3.3.3 Ομαδοποίηση εξόδων

Στη συνέχεια ακολουθεί η διαδικασία της ομαδοποίησης όλων των ασαφών συνόλων που αντιπροσωπεύουν την έξοδο κάθε κανόνα σε ένα και μόνο ασαφές σύνολο ώστε να γίνει στη συνέχεια η αποασαφοποίηση. Η διαδικασία αυτή γίνεται μόνο μια φορά και δεν έχει σημασία η σειρά των κανόνων αφού είναι αθροιστική. Στην ουσία πρόκειται για την εύρεση της συνάρτησης συμμετοχής της εξόδου του ελεγκτή, η οποία εξαρτάται από την μέθοδο ομαδοποίησης που θα επιλεγεί. Στο στάδιο αυτό ολοκληρώνεται ουσιαστικά η εφαρμογή του συμπερασματικού κανόνα *max-min* ή *max-product* η οποία έχει ξεκινήσει από το προηγούμενο στάδιο.

### 3.3.4 Απο-ασαφοποίηση

Το τελευταίο μέρος ενός συστήματος ασαφούς λογικής είναι η αποασαφοποίηση της ασαφούς εξόδου σε σαφή τιμή. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές αποασαφοποίησης, αλλά πρέπει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει θεωρητική βάση για καμία από αυτές. Για τον έλεγχο διαδικασιών το βασικό κριτήριο επιλογής μιας κατάλληλης τεχνικής είναι η υπολογιστική απλότητα. Με βάση το κριτήριο της υπολογιστικής απλότητας έχουν προταθεί οι ακόλουθες τεχνικές:

1. *Απο-ασαφοποίηση μεγίστου* (maximum defuzzifier): επιλέγεται η τιμή που αντιστοιχεί στο σημείο του συνόλου εξόδου με την μεγαλύτερη τιμή. Η μέθοδος δεν δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα, ειδικά όταν υπάρχουν πολλαπλά μέγιστα.
2. *Απο-ασαφοποίηση με μέσο όρο των μεγίστων* (mean of maximum-MOM defuzzifier): επιλέγεται ως τιμή ο μέσος όρος των τιμών των σημείων που παρουσιάζουν μέγιστο στο σύνολο εξόδου. Ορίζεται ως εξής :

$$y_{\text{MOM}} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \max \mu_Y(y_j) \quad , \quad \text{όπου } \mu_Y(y_j) \text{ η τιμή στην οποία η συνάρτηση}$$

συμμετοχής έχει τη μέγιστη τιμή και m το πλήθος τιμών της γλωσσικής μεταβλητής. Στην περίπτωση που υπάρχει μόνο ένα μέγιστο τότε η τεχνική αυτή είναι όμοια με την προηγούμενη. Αν όμως υπάρχει πλήθος τιμών με μέγιστη τιμή, τότε υπολογίζεται ο μέσος όρος κανονικά.

3. *Απο-ασαφοποίηση κέντρον βάρους* (center of gravity-COG defuzzifier): πρόκειται για μια πολύπλοκη υπολογιστικά μέθοδο που επιλέγει σαν τιμή την τιμή του σημείου που χωρίζει το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη σε δύο ίσα μέρη. Μπορεί

$$\text{να ορισθεί ως } :y_{\text{COG}} = \frac{\sum_{i=1}^I \sigma_i \mu^i_Y(y_i)}{\sum_{i=1}^I \mu^i_Y(y_i)} \quad . \quad \text{Η τεχνική αυτή δίνει θεωρητικά καλύτερα}$$

αποτελέσματα από τις άλλες.

4. *Απο-ασαφοποίηση κεντρώου* (Centre of area defuzzifier – COA): στην τεχνική αυτή υπολογίζεται το κέντρο του εμβαδού της σύνθετης συνάρτησης συμμετοχής της εξόδου  $\mu_Y(y)$  η οποία θεωρείται και το τελικό αποτέλεσμα, δηλαδή η σαφής

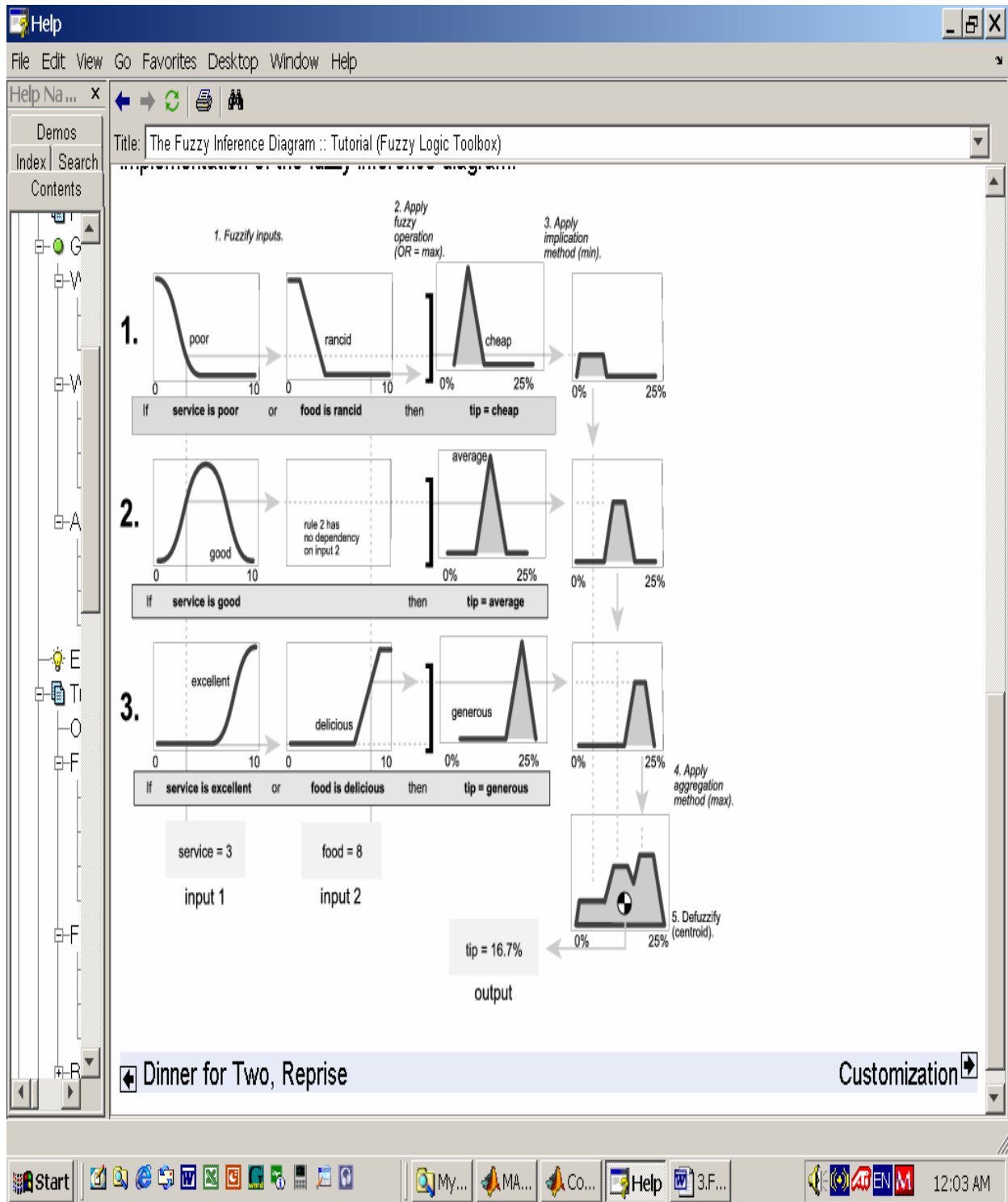
τιμή της εξόδου. Για διακριτά σύνολα στήριξης ισχύει η σχέση:

$$\hat{y}_{COA} = \frac{\sum_{j=1}^f y_j \mu_Y(y_j)}{\sum_{j=1}^f \mu_Y(y_j)}$$

Συγκρίνοντας τις τέσσερις τεχνικές απο-ασαφοποίησης σημειώνεται ότι η τεχνική MOM καταλήγει σε καλύτερη μεταβατική συμπεριφορά ενώ η τεχνική COA παρουσιάζει μικρότερο μόνιμο σφάλμα.

Τα στάδια λειτουργίας ενός ασαφούς ελεγκτή, τα οποία αναλύθηκαν παραπάνω, είναι κοινά σε όλα τα ασαφή συστήματα, ανεξάρτητα από τον τρόπο δόμησης του συστήματος. Ο τρόπος δόμησης ενός ασαφούς συστήματος έχει να κάνει κυρίως με τον ορισμό της μορφής των αποτελεσμάτων. Βιβλιογραφικά αναφέρονται δυο τύποι ασαφών συστημάτων: τα συστήματα τύπου Mamdani και τα συστήματα τύπου Sugeno. Τα συστήματα Mamdani είναι τα πιο διαδεδομένα και η έξοδος ενός τέτοιου συστήματος είναι ένα ασαφές σεντ το οποίο στη συνέχεια απο-ασαφοποιείται με μια από τις μεθόδους που αναφέρονται στην παράγραφο 3.3.4. Από την άλλη πλευρά, στα συστήματα Sugeno, η έξοδος προκύπτει από γραμμικές ή συνεχείς συναρτήσεις, ενώ οι κανόνες του συστήματος έχουν την μορφή «Αν είσοδος 1=x ΚΑΙ είσοδος 2=y ΤΟΤΕ έξοδος  $z=ax+by+c$ ». Το στάδιο της ασαφοποίησης και της εφαρμογής τελεστών είναι ακριβώς ίδιο με τα συστήματα Mamdani. Τα συστήματα Sugeno συνεργάζονται πολύ καλά με γραμμικές τεχνικές (π.χ PID ελεγκτές), εξασφαλίζουν μια συνέχεια στις τιμές εξόδου, είναι συμβατά με διάφορες μαθηματικές αναλύσεις και γενικά είναι υπολογιστικά αποδοτικά. Τα συστήματα Mamdani, από την άλλη ανταποκρίνονται καλύτερα στην ανθρώπινη λογική και είναι ευρέως διαδεδομένα.

Η όλη λειτουργία ενός ασαφούς αλγόριθμου παρουσιάζεται στο σχήμα 3.4, το οποίο αφορά παράδειγμα με δυο μεταβλητές εισόδου, τρεις κανόνες και μια μεταβλητή έξοδος και παρουσιάζεται στο Fuzzy Toolbox της MATLAB 7.



Σχήμα 3.4: Παράδειγμα λειτουργίας ασαφούς αλγόριθμου

### 3.4 Βιβλιογραφική ανασκόπηση [9]

Η θεωρία των ασαφών συνόλων (fuzzy set theory) χρησιμοποιείται στην μοντελοποίηση συστημάτων τα οποία παρουσιάζουν δυσκολίες στο να ορίσουν ακριβώς τις παραμέτρους τους. Σαν μεθοδολογία η ασαφής λογική ενσωματώνει την υποκειμενικότητα και την ανακρίβεια των πληροφοριών στην μοντελοποίηση συστημάτων για τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Πρόκειται για ένα χρήσιμο εργαλείο στην έρευνα του production management, όταν η δυναμική του περιβάλλοντος του υπό εξέταση συστήματος περιορίζει τον ακριβή καθορισμό των παραμέτρων του συστήματος και εμποδίζει την θέσπιση περιορισμών και σαφών στόχων του μοντέλου.

Όπως προαναφέρθηκε, η θεωρία της ασαφούς λογικής θεσπίστηκε από τον Zadeh το 1965, ο οποίος θέλησε να «αναπαραστήσει» τον τρόπο σκέψης του ανθρώπου, με την αβεβαιότητα και την υποκειμενικότητα που αυτός διαθέτει, στην μοντελοποίηση συστημάτων για την λήψη αποφάσεων. Έκτοτε η συγκεκριμένη θεωρία έχει μελετηθεί εκτενώς και σήμερα εφαρμόζεται στην επίλυση προβλημάτων στην μηχανική, την ιατρική και άλλες σχετικές επιστήμες υγείας, στις φυσικές επιστήμες, στο management και στη διοίκηση επιχειρήσεων. Ειδικότερα, σύμφωνα με τους Karwowski και Evans (1986) η ασαφής λογική μπορεί να εφαρμοστεί στους παρακάτω τομείς του production management: ανάπτυξη νέων προϊόντων, προγραμματισμός και έλεγχος παραγωγής, διαχείριση αποθεμάτων, ανάλυση κόστους και ποιότητας και άλλα. Τούτο συμβαίνει για τρεις κυρίως λόγους: πρώτον, η ανακρίβεια και η ασάφεια είναι έμφυτα χαρακτηριστικά του μοντέλου λήψης αποφάσεων για το πρόβλημα υπό λύση, έτσι η εμπειρία και η κρίση του προσώπου που καλείται τελικά να λάβει την απόφαση μπορούν να χρησιμοποιηθούν καλύτερα σε συνδυασμό με την θεωρία ώστε να υπάρξει καλύτερη κατανόηση του προβλήματος. Δεύτερον, στο περιβάλλον του production management, οι απαιτούμενες πληροφορίες για την διαμόρφωση του μοντέλου, οι περιορισμοί και οι παράμετροι που επηρεάζουν το σύστημα μπορεί να μην είναι εύκολα μετρήσιμες και ακριβείς. Τρίτον, η ανακρίβεια και η ασάφεια ως αποτέλεσμα της υποκειμενικής κρίσης του καθενός μπορούν να οδηγήσουν σε περαιτέρω δυσκολία της συγκέντρωσης πληροφοριών, τόσο

σε ποιοτικό επίπεδο όσο και σε ποσοτικό. Η εφαρμογή λοιπόν της ασαφούς λογικής μπορεί να γεφυρώσει τα τυχόν κενά στη μοντελοποίηση των συστημάτων λήψης αποφάσεων.

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό πως στην διαχείριση έργων όπου είναι συχνό φαινόμενο η έλλειψη σαφών δεδομένων, η παρουσίαση αναπάντεχων προβλημάτων, η λήψη αποφάσεων με βάση την προσωπική κρίση του manager και οι εκτιμήσεις χρόνου και κόστους που συχνά δεν επαληθεύονται, η εφαρμογή ενός μοντέλου λήψης αποφάσεων με βάση την ασαφή λογική θα μπορούσε να αποτελέσει ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο.

Παρακάτω παρατίθενται ορισμένα βιβλιογραφικά παραδείγματα εφαρμογής της θεωρίας της ασαφούς λογικής.

### **3.4.1 Διαχείριση ποιότητας**

Η έρευνα εφαρμογής του fuzzy logic στην διαχείριση ποιότητας εκτείνεται σε τρεις περιοχές : την αποδοχή δείγματος, τον στατιστικό έλεγχο διαδικασιών και σε γενικά θέματα διαχείρισης ποιότητας.

#### Αποδοχή δείγματος

Το 1988 οι Ohta και Ichihashi παρουσίασαν μια μεθοδολογία βασισμένη σε fuzzy logic που αφορούσε την δειγματοληψία δύο σημείων σε μια φάση. Ανέπτυξαν έναν αλγόριθμο όπου ο κίνδυνος του καταναλωτή και του παραγωγού απεικονίζονται μέσω τριγωνικών συναρτήσεων και έτσι δημιουργούνται παραδείγματα τρόπων δειγματοληψίας. Οι συγγραφείς παρόλα αυτά δεν εξηγούν πως εξάγονται οι συναρτήσεις συσχέτισης για τον κίνδυνο του καταναλωτή και του παραγωγού.

Ο Chakraborty (1988, 1994) εξέτασε το πρόβλημα του καθορισμού του μεγέθους του δείγματος και των τιμών σύγκρισης σε δειγματοληπτικό έλεγχο μιας λήψης όταν δεν καθορίζονται σαφώς τα ρίσκα του καταναλωτή και του παραγωγού. Στην εργασία του 1988 περιγράφονται το μοντέλο και η διαδικασία εύρεσης λύσης, βασισμένα σε fuzzy logic. Κάθε φορά, χρησιμοποιώντας αρκετά αριθμητικά παραδείγματα, εκτιμάται η

ευαισθησία της δύναμης του μεγέθους του δείγματος που προέκυπτε. Στην εργασία του 1994 εξηγεί πως η θεωρία των πιθανοτήτων και τα fuzzy numbers τριγωνικής μορφής χρησιμοποιούνται σε προβλήματα σχεδιασμού απλών sample plan.

#### Στατιστικός έλεγχος διαδικασιών

Οι Wang και Raz το 1990, παρουσίασαν δύο προσεγγίσεις για την κατασκευή διαγραμμάτων ελέγχου των μεταβλητών ποιότητας, βασισμένες σε γλωσσικά δεδομένα. Όταν η ποιότητα των προϊόντων μπορεί να χαρακτηριστεί ως “άψογη” , “καλή”, “μέτρια” κτλ, οι συναρτήσεις συσχέτισης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ποσοτικοποιήσουν τις περιγραφές αυτές. Τα όρια των τιμών των συναρτήσεων συσχέτισης μπορούν να οριστούν με μια από τις τέσσερις διαδεδομένες μεθόδους : α) με χρήση του fuzzy mode, β) alpha-level midrange, γ) fuzzy median, δ) fuzzy average. Οι τιμές που προκύπτουν με οποιαδήποτε από τις παραπάνω μεθόδους, χρησιμοποιούνται στη συνέχεια ως όρια των διαγραμμάτων. Οι συγγραφείς διαμορφώνουν τα διαγράμματα σε μορφή x-bar χρησιμοποιώντας τα ‘πιθανοκρατικά’ όρια ελέγχου, τα οποία προκύπτουν από την σχέση «μέση τιμή $\pm$ 3σ» (σε format fuzzy) από τη μια πλευρά και τα όρια ελέγχου από τις συναρτήσεις συσχέτισης από την άλλη. Σε συνέχεια αυτής της εργασίας, κατασκεύασαν διαγράμματα ελέγχου χρησιμοποιώντας εικονικά δεδομένα και τα αποτελέσματα που προέκυψαν, έδειξαν ότι ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων γλωσσικών μεταβλητών επηρέαζε την ακρίβεια – ευαισθησία του διαγράμματος ελέγχου.

#### Γενικά θέματα διαχείρισης ποιότητας

Οι Glushkovsky και Florescu το 1996 περιέγραψαν πώς η θεωρία της ασαφούς λογικής μπορεί να εφαρμοστεί σε μεθόδους βελτίωσης της ποιότητας όταν υπάρχουν γλωσσικά δεδομένα. Οι συγγραφείς κατέγραψαν τρία γενικά βήματα για την τυποποίηση των γλωσσικών χαρακτηριστικών ποιότητας: α) επιλογή χαρακτηριστικών παγκοσμίως χρησιμοποιούμενων, β) καθορισμός και επαρκής τυποποίηση των όρων, γ) κατάλληλη γλωσσική περιγραφή των παρατηρήσεων. Στη συνέχεια παρέθεσαν παραδείγματα εφαρμογής της θεωρίας της ασαφούς λογικής χρησιμοποιώντας γλωσσικούς

χαρακτηρισμούς στην ανάλυση Pareto, σε διαγράμματα αιτίου – αποτελέσματος, στον σχεδιασμό εκτέλεσης πειραμάτων και σε στατιστικά διαγράμματα.

Οι Gutierrez και Carmona το 1995 έκαναν τη διαπίστωση ότι αποφάσεις που αφορούν την ποιότητα παρουσιάζουν από τη φύση τους μια ασάφεια, οπότε πρέπει να λαμβάνονται ύστερα από προλυκριτηριακή ανάλυση. Οι συγγραφείς παρουσίασαν ένα πλαίσιο πολλαπλών fuzzy κριτηρίων και το εφάρμοσαν σε παράδειγμα κατασκευής αυτοκινήτου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση υπήρχαν πέντε εναλλακτικές αποφάσεων (αγορά νέων μηχανημάτων, επιθεώρηση, εκπαίδευση προσωπικού, βελτίωση ποιότητας προμηθευτών και προληπτική συντήρηση) και τέσσερα κριτήρια αξιολόγησης (μείωση του συνολικού κόστους, κόστος ποιότητας, χρόνοι παράδοσης και ελαστικότητα).

### **3.4.2 Προγραμματισμός έργων**

Ο καθορισμός της διάρκειας των δραστηριοτήτων που απαρτίζουν ένα έργο, είναι κρίσιμης σημασίας τόσο στην ανάλυση CPM όσο και στην ανάλυση PERT.

Στην μέθοδο CPM, ιστορικά στοιχεία για την διάρκεια των δραστηριοτήτων από παλαιότερα έργα ίδιας ή παρόμοιας φύσης, χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της διάρκειας των δραστηριοτήτων μελλοντικών έργων. Σε έργα όπου δεν υπάρχουν ιστορικά στοιχεία (λόγω ιδιαιτερότητας του έργου ή ελλείψει τηρούμενων αρχείων) χρησιμοποιείται συχνά η μέθοδος PERT. Η συγκεκριμένη μέθοδος απαιτεί τον καθορισμό της κατανομής των πιθανοτήτων (συνήθως της β-κατανομής) για τις υπό εξέταση διάρκειες δραστηριοτήτων. Οι εκτιμήσεις των δύο πρώτων αποκλίσεων από την β-κατανομή προσδιορίζουν την μέση τιμή και την διακύμανση για κάθε μια από τις ζητούμενες διάρκειες.

Η θεωρία της ασαφούς λογικής επιτρέπει την ενσωμάτωση της κρίσης των διαχειριστών του έργου, η οποία απαιτείται για την εκτίμηση της διάρκειας των δραστηριοτήτων, στην μοντελοποίηση του συστήματος. Η προσαρμοστικότητα της «ασαφοθεωρητικής» προσέγγισης γίνεται ακόμα χρησιμότερη στις περιπτώσεις συμπίεσης του χρονοδιαγράμματος, όπου οι παράμετροι του κόστους και της διάθεσης των πόρων προκαλεί πρόσθετη αβεβαιότητα.



Οι μελέτες πάνω στον συγκεκριμένο τομέα έδειξαν πώς η θεωρία της ασαφούς λογικής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βοηθήσει τους ερευνητές στο να μοντελοποιήσουν ρεαλιστικά τα προβλήματα που παρουσιάζονται στην διαχείριση έργων και αφορούν διάρκειες δραστηριοτήτων, διαθεσιμότητα πόρων και κόστη, όταν αυτά δεν μπορούν να εκτιμηθούν επακριβώς.

Ενδεικτικά αναφέρονται παρακάτω κάποια παραδείγματα εφαρμογών από την βιβλιογραφία:

Οι Chanas και Kamburowski (1981) τοποθετήθηκαν υπέρ μιας βελτιωμένης έκδοσης της μεθόδου PERT λόγω τριών περιστάσεων: α) της υποκειμενικότητας στην εκτίμηση της διάρκειας των διαφόρων δραστηριοτήτων ενός έργου, β) της έλλειψης επαναληψιμότητας των ίδιων διαρκειών των δραστηριοτήτων από έργο σε έργο και γ) της δυσκολίας υπολογισμού των χρόνων αυτών με πιθανοκρατικές μεθόδους. Παρουσίασαν λοιπόν μια fuzzy εκδοχή της μεθόδου PERT (FPERT) , όπου οι διάρκειες των δραστηριοτήτων αναπαρίσταντο από τριγωνικά fuzzy numbers.

Το 1990 οι DePorter και Ellis παρουσίασαν ένα μοντέλο συμπίεσης έργων χρησιμοποιώντας ασαφή γραμμικό προγραμματισμό. Το να ελαχιστοποιηθεί η διάρκεια και το κόστος ενός έργου είναι η βέλτιστη λύση, αλλά οι δυο αυτές παράμετροι είναι αλληλοσυγκρουόμενες. Οι συγγραφείς εξέτασαν ως εναλλακτικές τον γραμμικό προγραμματισμό, τον ασαφή γραμμικό προγραμματισμό και τον goal προγραμματισμό. Ο γραμμικός προγραμματισμός επιτρέπει την βελτιστοποίηση της λύσης όσον αφορά την συμπίεση της μιας από τις δυο παραμέτρους (κόστος ή διάρκεια) . Ο **Goal** προγραμματισμός επιτρέπει να ληφθούν υπόψη τόσο το κόστος όσο και η διάρκεια ενός έργου, όταν όμως οι παράγοντες που επηρεάζουν το σύστημα παρουσιάζουν μια ασάφεια, προτείνεται η εφαρμογή του ασαφούς γραμμικού προγραμματισμού. Οι τρεις μέθοδοι προγραμματισμού εφαρμόστηκαν σε παράδειγμα έργου που αποτελούνταν από δέκα δραστηριότητες, προσδιορίζοντας κάθε φορά το κόστος από την συμπίεση του χρονοδιαγράμματος και τις διάρκειες των δραστηριοτήτων.

Ο Harke παρουσίασε το 1994 ένα σύστημα προγραμματισμού έργων με την χρήση ασαφούς λογικής για την υποστήριξη λήψης αποφάσεων (fuzzy project scheduling FPS support system) . Το σύστημα αυτό χρησιμοποιήθηκε για να κάνει ανακατανομή των πόρων μεταξύ εξαρτώμενων δραστηριοτήτων, λειτουργώντας σε λογισμικό

περιβάλλον προγραμματισμού έργων. Γι' αυτό το σκοπό χρησιμοποιήθηκαν L-R τύπου fuzzy numbers για να μοντελοποιηθούν οι διάρκειες των δραστηριοτήτων, οι οποίες δεν μπορούν να προσδιοριστούν ακριβώς. Καθορίζονται ο αναμενόμενος χρόνος ολοκλήρωσης ενός έργου και η μέγιστη χρονική καθυστέρηση καθώς μετράται η απόδοση του έργου και γίνεται επίδειξη του προγράμματος χρησιμοποιώντας ως παράδειγμα ένα έργο software engineering το οποίο περιελάμβανε 53 δραστηριότητες. Το σύστημα FPS επιτρέπει την εκτίμηση του χρόνου ολοκλήρωσης του έργου και έχει τη δυνατότητα να κάνει ανάλυση των κινδύνων που εγκυμονούν από την υπέρβαση του απαιτούμενου χρόνου ολοκλήρωσης του έργου.

### **3.4.3 Επιλογή τοποθεσίας και διάταξη εγκαταστάσεων**

Οι περισσότεροι από τους παράγοντες που επηρεάζουν τα έργα τοποθεσίας (location) και διάταξης (layout) εγκαταστάσεων είναι δύσκολο να μετρηθούν και γι' αυτό απαιτείται η προσωπική εκτίμηση των εμπλεκόμενων στο έργο. Οι μετρήσεις κοντινότητας είναι δεδομένα εισόδου σχεδόν σε όλα τα μοντέλα καθορισμού της διάταξης των εγκαταστάσεων του δικτύου, ενώ στα προβλήματα τοποθεσίας των εγκαταστάσεων χρειάζεται συνήθως να προσδιοριστούν και συντελεστές βαρύτητας οι οποίοι θα καθορίζουν την σημαντικότητα των διαφόρων παραγόντων που επηρεάζουν την απόφαση σχετικά με την τοποθέτηση των εγκαταστάσεων. Οι μετρήσεις αυτές παρουσιάζονται συνήθως υπό μορφή εκτιμήσεων οι οποίες περιγράφονται από γλωσσικές μεταβλητές όπως «απολύτως απαραίτητο» , «πολύ σημαντικό» και «ανεπιθύμητο». Η θεωρία της ασαφούς λογικής μοντελοποιεί τα γλωσσικά δεδομένα και τα υποκειμενικά δεδομένα όταν πρέπει να καθοριστούν και οι αντίστοιχοι συντελεστές βαρύτητας.

Παρακάτω παρατίθενται αναφορές από την βιβλιογραφία τόσο στον τομέα της εγκατάστασης, όσο και στον τομέα της διάταξης εγκαταστάσεων.

#### Τοποθεσία εγκαταστάσεων (facility location)

Το 1987 ο Danzetas διατύπωσε το πρόβλημα της τοποθεσίας εγκαταστάσεων μέσω ενός μοντέλου fuzzy set partitioning, κάνοντας χρήση ακέραιου προγραμματισμού. Το μοντέλο αυτό έβρισκε εφαρμογή όταν τα πιθανά σημεία τοποθέτησης της εγκατάστασης δεν είναι ξεκάθαρα και μπορούν να περιγραφούν καλύτερα από ασαφή σετ. Γραμμικές συναρτήσεις συσχέτισης χρησιμοποιούνται στην αντικειμενική συνάρτηση και στους περιορισμούς του μοντέλου. Παρουσιάστηκε και ένα παράδειγμα το οποίο περιελάμβανε τρία σημεία εγκατάστασης και τέσσερα αναπληρωματικά σημεία.

Ο Mital το 1987 και σε συνεργασία με τον Karwowski, το 1989 χρησιμοποίησαν την ασαφή λογική για να ποσοτικοποιήσουν οκτώ υποκειμενικούς παράγοντες σε μια μελέτη που αφορούσε την εύρεση τοποθεσίας ενός εργοστασίου. Γλωσσικές μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν για να περιγράψουν ποιοτικούς παράγοντες που θα επηρέαζαν την απόφαση, όπως η αντιμετώπιση της γειτονικής κοινότητας, το επίπεδο των σχολείων, το κλίμα, η συμπεριφορά του σωματείου, η απόσταση από το λιμάνι και η ασφάλεια έναντι πυρκαγιάς.

#### Διάταξη εγκαταστάσεων (facility layout)

Ο Grobelny το 1987 ενσωμάτωσε στην λύση του προβλήματος της διάταξης των εγκαταστάσεων την χρήση των «γλωσσικών προτύπων». Τα γλωσσικά πρότυπα (ή συμπεράσματα) είναι δηλώσεις που βασίζονται σε ασαφείς αθροιστικές απόψεις ειδικών και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συστάσεις κατά την λύση του προβλήματος ή ως κριτήρια αξιολόγησης του υπάρχοντος αλγορίθμου. Αν, για παράδειγμα, η ροή των υλικών μεταξύ δυο διαμερισμάτων της εγκατάστασης είναι μεγάλη, τότε τα διαμερίσματα πρέπει να διαταχθούν το ένα κοντά στο άλλο. Η σύνδεση μεταξύ των διαμερισμάτων και η απόσταση μεταξύ τους αποτελούν γλωσσικές ασαφείς μεταβλητές. Οι χαρακτηρισμοί «μεγάλη» και «κοντά» αποτελούν τιμές των γλωσσικών μεταβλητών. Η αξιολόγηση μιας διάταξης εκφράζεται ως ο βαθμός ικανοποίησης όπως αυτός προκύπτει από την μέση truth value για κάθε ένα γλωσσικό πρότυπο από την τελική διάταξη των διαμερισμάτων της εγκατάστασης.

Οι Raoot και Rakshit το 1991 παρουσίασαν έναν ασαφή αλγόριθμο για την λύση του προβλήματος της διάταξης των τμημάτων μιας εγκατάστασης. Χρησιμοποιήθηκαν γλωσσικές μεταβλητές για να περιγράψουν ποιοτικούς και ποσοτικούς παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την τελική απόφαση. Οι γλωσσικές μεταβλητές περιείχαν πληροφορίες που δόθηκαν από διάφορους ειδικούς και αφορούσαν τους εξής παράγοντες: σχέσεις ροής, σχέσεις ελέγχου, σχέσεις διαδικασιών και εξυπηρέτησης, οργανωτικές εξαρτήσεις και τέλος περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ως γλωσσική μεταβλητή χρίστηκε και η απόσταση μεταξύ των τμημάτων, η οποία λειτουργούσε και ως βάση για την λύση του προβλήματος. Έγινε σύγκριση μεταξύ του αλγόριθμου fuzzy, του προγράμματος ALDEP και του προγράμματος CORELAP. Οι συγγραφείς παρατήρησαν ότι διαφορές που προέκυψαν στις τρεις λύσεις σχετίζονταν με την ρεαλιστικότητα των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν.

#### **3.4.4 Προγραμματισμός παραγωγής και διαχείριση αποθεμάτων**

Η γοητεία του να εφαρμοστεί η θεωρία της ασαφούς λογικής σε θέματα παραγωγής έγκειται στην ανάγκη του πολύπλευρου προγραμματισμού. Η διαχείριση αποθεμάτων απαιτεί προβλέψεις ζήτησης και καθορισμό παραμέτρων όπως το κόστος μεταφοράς, αποθήκευσης, αναπλήρωσης και αναπαραγγελίας. Οι ακριβείς εκτιμήσεις αυτών των μεγεθών είναι συχνά δύσκολο να γίνουν. Αντίστοιχα στον προγραμματισμό παραγωγής υπάρχει δυσκολία στο να καθοριστούν οι παράμετροι ζήτησης, απαιτούμενου αποθέματος, κόστους επεξεργασίας, χρόνου ολοκλήρωσης των προϊόντων και βέλτιστης σειράς των φάσεων παραγωγής. Πρόσθετη ασάφεια υπάρχει όταν η λύση του προβλήματος πρέπει να ικανοποιεί πολλούς στόχους. Οι μελέτες που έχουν γίνει στον συγκεκριμένο τομέα έχουν δείξει την χρησιμότητα της εφαρμογής ασαφών συστημάτων τόσο στον προγραμματισμό παραγωγής όσο και στην διαχείριση αποθεμάτων όταν τα δεδομένα και οι στόχοι του θέτονται περιέχουν κάποιο βαθμό ανακρίβειας.

#### Προγραμματισμός παραγωγής

Οι Kasprzyk και Staniewski έθεσαν το 1982 το πρόβλημα του ελέγχου των αποθεμάτων σε συνδυασμό με τον πολύ μεγάλο ορίζοντα σχεδιασμού της παραγωγής. Το σύστημα παρακολούθησης αποθεμάτων παρουσιάστηκε ως ένα ασαφές σύστημα με τα επίπεδα αποθεμάτων να είναι η έξοδος του συστήματος και η αναπλήρωση αυτών να είναι η είσοδος. Η ζήτηση και άλλες παράμετροι του συστήματος εκφράστηκαν επίσης με ασαφείς μεταβλητές. Δημιουργήθηκε έτσι ένας αλγόριθμος μέσω του οποίου υπολογίζονταν η βέλτιστη στρατηγική (σταθερή με το χρόνο) καθορισμού του επιπέδου αναπλήρωσης του αποθέματος, η οποία μεγιστοποιούσε την συνάρτηση συσχέτισης για την απόφαση. Ο αλγόριθμος παρουσιάστηκε με ένα αριθμητικό παράδειγμα.

Το 1987 ο/η Lehtimaki μελέτησε το δίλημμα της επιλογής ενός συστήματος για τον προγραμματισμό παραγωγής (MPS) ως πρόβλημα λήψης αποφάσεων που πρέπει να εκπληρώσει πολλούς στόχους. Η απόφαση που θα ληφθεί μέσω ενός τέτοιου προγράμματος πρέπει να εξυπηρετεί τις απαιτήσεις των πελατών με τις αλλαγές των παραγγελιών. Για να δοθεί λύση στο πρόβλημα αυτό, ο/η συγγραφέας πρότεινε μια διαφορετική λύση λαμβάνοντας υπόψη το επίπεδο εξυπηρέτησης των πελατών. Αυτό μετράται από την ικανοποίηση των πελατών. Η ικανοποίηση των πελατών οι οποίοι επιθυμούν κάποια αλλαγή, εξαρτάται από το αν θα γίνει αποδεκτή η αλλαγή, την ημερομηνία παράδοσης και την τιμολόγηση αυτής της αλλαγής. Η ικανοποίηση των πελατών που δεν επιθυμούν αλλαγή της παραγγελίας τους εξαρτάται από την συνέπεια στις ημερομηνίες παράδοσης, το επίπεδο εξυπηρέτησης των ανταγωνιστών, τις τυχόν εποχιακές διακυμάνσεις. Όλα αυτά επηρεάζουν την φήμη της εταιρείας και αυτό είναι κάτι το οποίο πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τον προγραμματισμό της παραγωγής.

Ο στόχος της μεγιστοποίησης του επιπέδου εξυπηρέτησης γενικά, μπορεί να γίνει αρκετά αόριστος και γι' αυτό κρίνεται χρήσιμη η εφαρμογή ενός ασαφούς συστήματος. Μια σειρά από προγράμματα MPS αναπτύχθηκαν για να μπορούν να ανταπεξέλθουν σε αυξημένες απαιτήσεις πελατών για αλλαγές των παραγγελιών. Οι περιορισμοί που επιδρούν στην κατασκευή τέτοιων προγραμμάτων αναπαραστήθηκαν από συναρτήσεις συσχέτισης. Η επιλογή του καλύτερου προγράμματος MPS βασίζεται σε μια μεγιστοποιημένη λύση, η οποία προκύπτει όταν η συνάρτηση συσχέτισης λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της. Ακολούθησε αριθμητικό παράδειγμα με τέσσερις παραγγελίες για να

γίνει παρουσίαση του μοντέλου. Τέλος έγινε αναφορά στην αναγκαιότητα τόσο της θεωρητικής όσο και της εμπειρικής έρευνας για να καθοριστεί το πως θα οριστούν οι συναρτήσεις συσχέτισης, οι στόχοι που πρέπει να εκπληρωθούν και οι περιορισμοί που πρέπει να ληφθούν υπόψη.

#### Διαχείριση αποθεμάτων

Ο Sommer το 1981 χρησιμοποίησε ασαφή δυναμικό προγραμματισμό για να λύσει ένα υπαρκτό πρόβλημα προγραμματισμού παραγωγής και διαχείρισης αποθεμάτων. Δηλώσεις όπως «το απόθεμα πρέπει να βρίσκεται σε μηδενικό επίπεδο στο τέλος του ορίζοντα προγραμματισμού» και «να ελαχιστοποιείται η δυναμικότητα της παραγωγής συνεχώς όσο το δυνατό», περιγράφουν τις ασαφείς φιλοδοξίες της διοίκησης για την δυναμικότητα της παραγωγής και το ύψος των αποθεμάτων. Ο ασαφής δυναμικός προγραμματισμός χρησιμοποιήθηκε για να ορίσει τα βέλτιστα επίπεδα αποθεμάτων και δυναμικότητας της παραγωγής.

Το 1987 ο Park εξέτασε το μοντέλο EOQ για την οικονομικότερη ποσότητα αναπαραγωγής από την πλευρά της εφαρμογής της ασαφούς θεωρίας. Χρησιμοποιήθηκαν τραπεζοειδείς συναρτήσεις συμμετοχής για να αναπαρασταθούν τα κόστη αναπαραγωγής και διατήρησης αποθέματος. Οι κανόνες του MODE και MEDIAN χρησιμοποιήθηκαν για να μετατρέψουν τα δεδομένα για τα προαναφερθέντα κόστη σε κατάλληλες εισόδους για το μοντέλο EOQ. Παρουσιάστηκε ένα αριθμητικό παράδειγμα χρησιμοποιώντας τον κανόνα MEDIAN για να γίνει παρουσίαση του μοντέλου και της λύσης για το βέλτιστο ύψος αποθέματος.

## 4. Μοντελοποίηση συστήματος

### 4.1 Εισαγωγή

Αντικειμενικός σκοπός της παρούσης εργασίας είναι, όπως προαναφέρθηκε, ο υπολογισμός μιας τιμής κρισιμότητας για κάθε δραστηριότητα, η οποία θα αποτελεί μέτρο σύγκρισης για την επιλογή της καταλληλότερης δραστηριότητας προς συμπίεση, σε περιπτώσεις αναγκαιότητας εντατικοποίησης του χρονοδιαγράμματος ενός έργου.

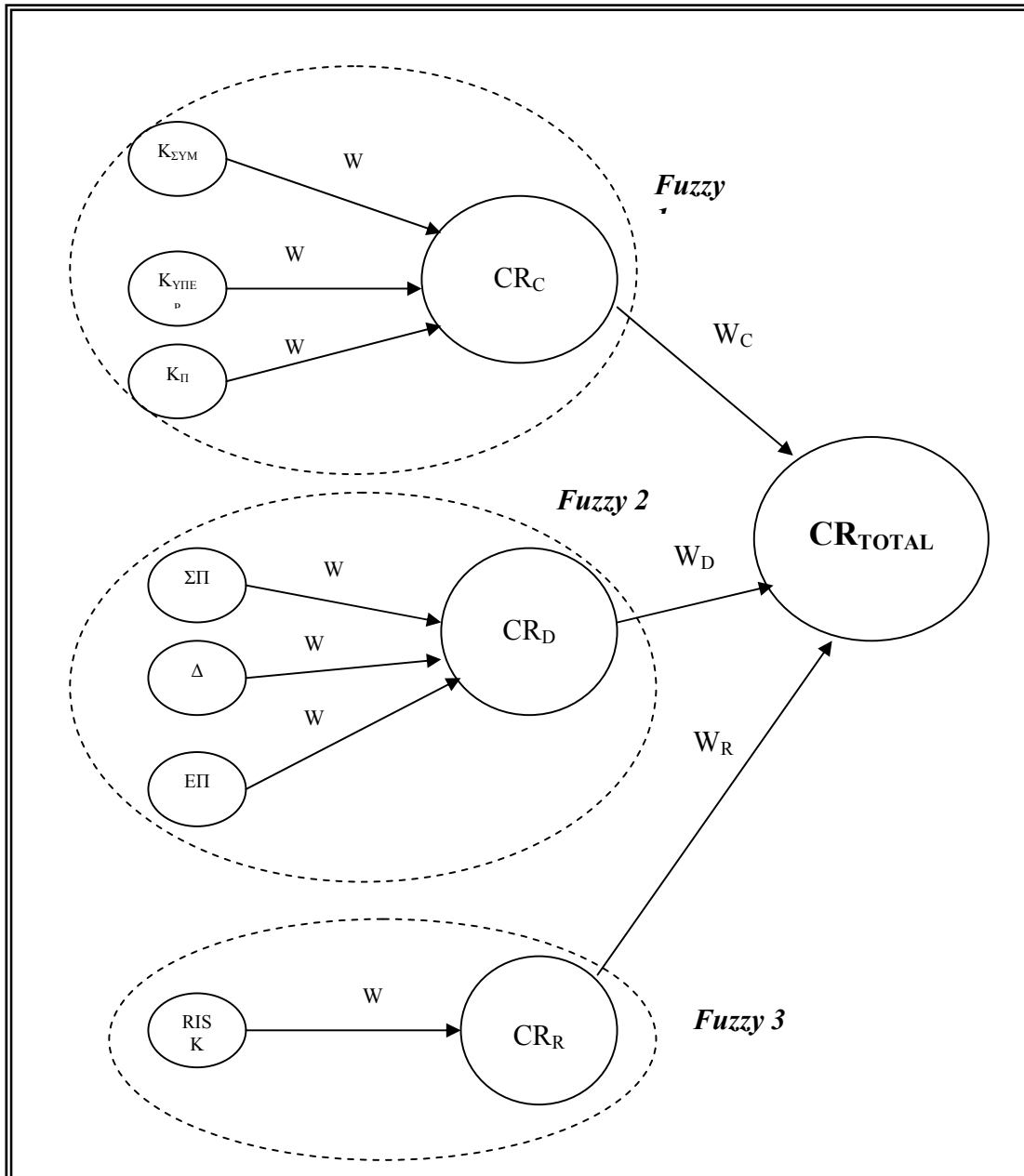
Στο δεύτερο κεφάλαιο αναπτύχθηκαν διάφοροι παράγοντες οι οποίοι μπορούν να αποτελέσουν κριτήρια κρισιμότητας, πέραν του άμεσου κόστους συμπίεσης, το οποίο αποτελεί το μοναδικό κριτήριο συμπίεσης μιας κρίσιμης δραστηριότητας σύμφωνα με την μέθοδο CPM. Οι παράγοντες αυτοί ανήκουν σε τρεις κύριες κατηγορίες: το κόστος του έργου, την διάρκειά του και τέλος στους κινδύνους που μπορεί να εμφανιστούν και να προκαλέσουν προβλήματα στην επίτευξη των στόχων του έργου.

Το υπό ανάπτυξη σύστημα έχει ως τελικό σκοπό την εύρεση της τιμής της κρισιμότητας κάθε δραστηριότητας από την σχέση  $CR_{TOTAL} = \sum W_i CR_i$  (4.1). Από την

σχέση αυτή φαίνεται ότι η τελική τιμή της κρισιμότητας μιας δραστηριότητας προκύπτει από το άθροισμα των γινομένων των επιμέρους κρισιμοτήτων ανά κατηγορία  $CR_i$  (κόστος-διάκριση-κίνδυνος) επί έναν συντελεστή βαρύτητας  $W_i$  ο οποίος εξαρτάται από την φύση του έργου (κατασκευαστικό, παροχή υπηρεσιών κ.τ.λ).

Οι επιμέρους τιμές κρισιμότητας  $CR_i$  θα υπολογιστούν με την σειρά τους μέσω συστημάτων βασισμένων σε fuzzy logic τα οποία θα λαμβάνουν ως εισόδους τις τιμές που προκύπτουν από τον υπολογισμό των κριτηρίων κρισιμότητας που αναπτύχθηκαν στο δεύτερο κεφάλαιο. Θα αναπτυχθούν τρία τέτοια συστήματα, ένα για κάθε κατηγορία κριτηρίων κρισιμότητας.

Για την ανάπτυξη αυτών των συστημάτων θα χρησιμοποιηθεί το FUZZY TOOLBOX του προγράμματος MATLAB 7, ενώ η διαδικασία μοντελοποίησης του προβλήματος παρουσιάζεται στο σχήμα 4.1:



**Σχήμα 4.1: Σύστημα υπολογισμού κρισιμότητας δραστηριότητας**



## 4.2 Παρουσίαση Fuzzy Toolbox Matlab7

Το Fuzzy Toolbox της Matlab αποτελεί μια από τις πολλές εφαρμογές του προγράμματος Matlab, ενός πολύ χρήσιμου εργαλείου για την αντιμετώπιση τεχνικών και μαθηματικών κυρίως προβλημάτων. Το Fuzzy Toolbox βασίζεται στις αρχές της ασαφούς λογικής, οι οποίες αναπτύχθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, και χρησιμοποιεί συγκεκριμένα εργαλεία προκειμένου να οριστούν οι μεταβλητές, οι συναρτήσεις συμμετοχής κ.τ.λ. Τα βήματα ανάπτυξης ενός ασαφούς συστήματος και τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται από το συγκεκριμένο πρόγραμμα παρουσιάζονται παρακάτω.

Αν και υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής συστημάτων fuzzy χρησιμοποιώντας συγκεκριμένες εντολές από την command line του προγράμματος, είναι ευκολότερο η ανάπτυξη του συστήματος να γίνεται γραφικά. Υπάρχουν πέντε βασικά εργαλεία *Γραφικής Διεπαφής με τον Χρήστη* (Graphical User Interface – GUI) για τον σκοπό αυτό:

1. *Fuzzy Inference System Editor (FIS)* : με το εργαλείο αυτό γίνεται ο ορισμός του αριθμού των μεταβλητών εισόδου και εξόδου, η ονομασία των μεταβλητών και γενικά ορίζονται βασικά χαρακτηριστικά του υπό ανάπτυξη συστήματος.
2. *Membership Function Editor*: με την χρήση του συγκεκριμένου εργαλείου ορίζεται ο τύπος και ο αριθμός των συναρτήσεων συμμετοχής για κάθε μεταβλητή του συστήματος.
3. *Rule Editor*: σε αυτή τη φάση γίνεται η σύνταξη της λίστας λεκτικών κανόνων της μορφής “ *AN...TOTE*” οι οποίοι καθορίζουν την συμπεριφορά του συστήματος.
4. *Rule Viewer*: τόσο ο rule viewer όσο και ο surface viewer είναι εργαλεία απεικόνισης του συστήματος και δεν επιδέχονται αλλαγές, είναι ας πούμε read-only εργαλεία. Με τον rule viewer δίνεται η δυνατότητα να δει ο χρήστης του προγράμματος ποιοί κανόνες είναι ενεργοί, πως το επιλεγμένο σχήμα των συναρτήσεων συμμετοχής επηρεάζει τα αποτελέσματα και άλλου τέτοιου είδους απεικονίσεις.

5. *Surface Viewer*: αντίστοιχα με τον rule viewer ο surface viewer, μέσω της απεικόνισης επιφανειών, αποδίδει την εξάρτηση των μεταβλητών εξόδου από μια ή τον συνδυασμό δυο μεταβλητών εισόδου.

Τα παραπάνω εργαλεία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους, ώστε μια αλλαγή σε ένα από αυτά να επιφέρει αυτόματα τις αντίστοιχες αλλαγές και στα υπόλοιπα.

Όπως γίνεται κατανοητό, η ανάπτυξη του ασαφούς συστήματος με την χρήση του συγκεκριμένου προγράμματος ακολουθεί τα βήματα χρήσης των πέντε εργαλείων GUI.

Εκτός από τα παραπάνω εργαλεία το πρόγραμμα δίνει την δυνατότητα επιλογής της μεθόδου από-ασαφοποίησης των δεδομένων εξόδου, επιλογής των τελεστών, της μεθόδου συνεπαγωγής κ.τ.λ. Συγκεκριμένα, όσον αφορά τους τελεστές AND και OR, το πρόγραμμα έχει ως επιλογές τους ορισμούς Zadeh και Product, όπως έχουν οριστεί στον πίνακα 3.1 . Αναφέρονται ως  $\min / \text{prod}$  για τον τελεστή AND και  $\max / \text{probor}$  για τον τελεστή OR. Οι επιλογές για την μέθοδο συνεπαγωγής είναι οι κλασσικοί κανόνες  $\max\text{-min}$  και  $\max\text{-product}$ . Οι επιλογές για την μέθοδο ομαδοποίησης των εξόδων των κανόνων είναι οι κανόνες  $\max / \text{probor}$  (όπως και στον τελεστή OR) και η απλή άθροιση  $\text{sum}$ . Για την απο-ασαφοποίηση του αποτελέσματος υπάρχουν οι επιλογές  $\text{centroid}$ ,  $\text{bisector}$ ,  $\text{mom}$  και  $\text{lom}$ . Τέλος, δίνεται η δυνατότητα επιλογής μεταξύ Mamdani και Sugeno, όσον αφορά τον τύπο του συστήματος.

### 4.3 Μοντελοποίηση συστήματος

Η μοντελοποίηση του συστήματος της παρούσης εργασίας θα ξεκινήσει από την ανάπτυξη των τριών συστημάτων ασαφούς λογικής, οι έξοδοι των οποίων θα αποτελέσουν τους όρους της εξίσωσης (4.1). Για κάθε σύστημα θα οριστούν οι μεταβλητές, οι αντίστοιχες συναρτήσεις συμμετοχής και οι λεκτικοί κανόνες.

#### 4.3.1 Ορισμός γλωσσικών μεταβλητών

Όπως έχει προαναφερθεί, ως είσοδοι των ασαφών συστημάτων θα χρησιμοποιηθούν τα κριτήρια κρισιμότητας που αναπτύχθηκαν στο δεύτερο κεφάλαιο. Ο υπολογισμός των τιμών των κριτηρίων κρισιμότητας προκύπτει απευθείας από το

πρόγραμμα Ms Project ή υπολογίζονται με τη βοήθεια του προγράμματος Excel. Η έξοδος κάθε συστήματος θα είναι ο βαθμός κρισιμότητας της δραστηριότητας όσον αφορά την εξεταζόμενη κατηγορία κρισιμότητας (κόστος-διάρκεια-κίνδυνος). Έχουμε λοιπόν τα εξής:

### **Σύστημα 1 (Κόστος)**

Στην κατηγορία αυτή έχουμε ως εισόδους το κόστος συμπίεσης, το κόστος υπερανάθεσης πόρων και το κόστων παγίων.

- *Κόστος συμπίεσης*: θα χρησιμοποιηθεί ο λόγος του κόστους συμπίεσης της δραστηριότητας, όπως αυτό ορίστηκε στο δεύτερο κεφάλαιο, προς το πηλίκο του συνολικού κόστους του έργου δια τη συνολική διάρκειά του, για να προκύπτουν

$$\text{κανονικοποιημένες τιμές. Έχουμε άρα την είσοδο } Cc = \frac{K_s}{\frac{\sum K}{\sum \Delta}} \quad (4.2)$$

- *Κόστος υπερανάθεσης*: ορίζεται η είσοδος  $C_{ov} = \frac{K_{\gamma\pi i}}{\sum K_{\gamma\pi i}} \quad (4.3)$

- *Κόστος παγίων*: ορίζεται η είσοδος  $C_{mash} = \frac{K_{mash.i}}{\sum K_{mesh.i}} \quad (4.4)$

Η έξοδος του συστήματος 1 θα είναι η κρισιμότητα της δραστηριότητας ως προς τον παράγοντα του κόστους και θα συμβολιστεί ως CRc

### **Σύστημα 2 (Διάρκεια)**

Στην κατηγορία αυτή προέκυψαν ως κριτήρια κρισιμότητας το συνολικό περιθώριο μιας δραστηριότητας, το ελεύθερο περιθώριό της και η διάρκειά της. Προκύπτουν λοιπόν για το δεύτερο σύστημα τα παρακάτω:

- *Συνολικό περιθώριο*: ορίζεται η είσοδος  $St = \frac{\sum \Pi_i}{\sum \Delta} \quad (4.5)$  όπως έχει προκύψει από το δεύτερο κεφάλαιο.

- *Ελεύθερο περιθώριο*: ορίζεται η είσοδος  $Sf = \frac{E\Pi_i}{\sum \Delta} \quad (4.6)$

- *Διάρκεια*: ορίζεται η είσοδος  $DU = \frac{\Delta_i}{\sum \Delta} \quad (4.7)$

Η έξοδος του συστήματος 2 θα είναι η κρισιμότητα της δραστηριότητας ως προς τον παράγοντα της διάρκειας και θα συμβολιστεί ως CRd

### Σύστημα 3 (Κίνδυνος)

Στην κατηγορία αυτή είχαν αναπτυχθεί δυο συστήματα καθορισμού του βαθμού κρισιμότητας μιας δραστηριότητας. Στην παρούσα εργασία θα επιλεγθεί για λόγους ευκολίας το δεύτερο σύστημα, το οποίο βασίζεται στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά μιας δραστηριότητας, ο επηρεασμός των οποίων από την εμφάνιση κάποιου κινδύνου θα είναι σοβαρότερος.

Ορίζεται λοιπόν ως είσοδος του συστήματος αυτού ο λόγος  $RR = \frac{totalscore}{max.score}$  (4.8)

ο οποίος προκύπτει από τη συμπλήρωση του πίνακα 2.4

Η έξοδος του συστήματος 3 θα είναι η κρισιμότητα της δραστηριότητας ως προς τον παράγοντα του κινδύνου και θα συμβολιστεί ως CRr.

Ανακεφαλαιώνοντας λοιπόν οι είσοδοι και οι έξοδοι των τριων ασαφών συστημάτων παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1

	<b>ΕΙΣΟΔΟΙ</b>	<b>ΕΞΟΔΟΙ</b>
ΣΥΣΤΗΜΑ 1 - Κόστος	$Cc = \frac{K_s}{\frac{\Sigma K}{\Sigma \Delta}}$	CRc
	$Cov = \frac{K_{\gamma\pi i}}{\sum K_{\gamma\pi i}}$	
	$C_{mash} = \frac{K_{mash.i}}{\sum K_{mesh.i}}$	
ΣΥΣΤΗΜΑ 2 - Διάρκεια	$St = \frac{\Sigma \Pi_i}{\Sigma \Delta}$	CRd
	$Sf = \frac{E\Pi_i}{\Sigma \Delta}$	
	$DU = \frac{\Delta_i}{\Sigma \Delta}$	
ΣΥΣΤΗΜΑ 3 - Κίνδυνος	$RR = \frac{totalscore}{max.score}$	CRr

*Πίνακας 4.1*

### 4.3.2. Ορισμός συναρτήσεων συμμετοχής

Ο ορισμός των συναρτήσεων συμμετοχής είναι ίσως το πιο σημαντικό κομμάτι στην ανάπτυξη ενός ασαφούς συστήματος, αφού καθορίζει τη σχέση των δεδομένων και του αποτελέσματος. Η επιλογή ακατάλληλης συνάρτησης συμμετοχής διαμορφώνει ένα λανθασμένο ασαφές σύνολο και κατά συνέπεια προκύπτει λανθασμένος βαθμός συμμετοχής αλήθειας των δεδομένων στην υπό εξέταση έννοια. Παρ'όλα αυτά η εμπειρία έχει δείξει ότι υπάρχει μεγάλη ανοχή στην προσέγγιση της συνάρτησης συμμετοχής στα περισσότερα μοντέλα ασαφών συστημάτων, καθώς μια από τις ιδιότητες των ασαφών συνόλων είναι η καλή απόκριση ακόμα και στην περίπτωση λανθασμένης επιλογής της συνάρτησης συμμετοχής.

Κατά την ανάπτυξη συστημάτων που αφορούν μηχανικές διαδικασίες (π.χ. ένας ασαφής ελεγκτής διαδικασιών ατμοστροβίλου), η συνήθης επιλογή συνάρτησης συμμετοχής είναι ο συνδυασμός τριγωνικών – τραπεζοειδών συναρτήσεων. Αντί τριγωνικών συναρτήσεων συχνά χρησιμοποιούνται και συναρτήσεις τύπου «καμπάνα». Από την άλλη πλευρά, στις περιπτώσεις ανάπτυξης συστημάτων που εφαρμόζονται σε κοινωνικές και οικονομικές επιστήμες χρησιμοποιούνται κυρίως σιγμοειδείς καμπύλες, γραμμικές συναρτήσεις, καμπύλες PI και γενικά συνδυασμοί συναρτήσεων για την οριοθέτηση της επιφάνειας του ασαφούς σετ.

Στην παρούσα εργασία θα προτιμηθούν συναρτήσεις συμμετοχής των οποίων οι επιφάνειες είναι αλληλοκαλυπτόμενες όπως οι τραπεζοειδείς και οι γκαουσιανές συναρτήσεις, ενώ η διαφοροποίηση των εισόδων θα έγκειται στα όρια των συναρτήσεων. Έχουμε λοιπόν για κάθε ασαφές σύστημα:

#### **Σύστημα 1 (Κόστος)**

Οι συναρτήσεις συμμετοχής των τριών εισόδων και της μιας εξόδου θα είναι πέντε, όσα και τα διαστήματα εύρους τιμών του κάθε μεγέθους. Οι συναρτήσεις αυτές θα είναι τραπεζοειδείς και γκαουσιανές εναλλάξ με τα παρακάτω όρια τιμών:

**Είσοδος Cc:** vlow τραπεζοειδής [-0.10 0 0.05 0.10]

Low Γκαουσιανή [0 0.25 0.4]

Medium τραπεζοειδής [0.30 0.4 0.6 0.70]

High Γκαουσιανή [0.5 0.8 0.95]

Vhigh τραπεζοειδής [0.90 0.95 1.025 1.15]

Οι εισοδοι  $C_{ov}$ ,  $C_{mash}$  και η έξοδος  $CR_c$  ακολουθούν τις ίδιες συναρτήσεις και τα ίδια εύρη τιμών με την εισοδο  $C_c$ . Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε ότι τόσο οι εισοδοι όσο και η έξοδος λαμβάνουν τιμές στο διάστημα  $[0,1]$  παρόλο που τα εύρη των συναρτήσεων συμμετοχής υπερβαίνουν το 1.

## **Σύστημα 2 (Διάρκεια)**

Σε αυτό το σύστημα οι εισοδοι και η έξοδος θα αποτελούνται από τραπεζοειδείς συναρτήσεις στα άκρα εναλλάξ με τριγωνικές αντί των γκαουσιανών που υπήρχαν στο σύστημα 1.

**Είσοδος St:** ablow τραπεζοειδής [0 0 0.02 0.07]  
vlow τραπεζοειδής [0.05 0.08 0.12 0.15]  
Low τριγωνική [0 0.25 0.4]  
Medium τραπεζοειδής [0.3 0.4 0.6 0.7]  
High τριγωνική [0.6 0.8 0.95]  
Vhigh τραπεζοειδής [0.85 0.9 1 1.15]

**Είσοδος Sf:** vlow τραπεζοειδής [0 0 0.05 0.15]  
Low τριγωνική [0 0.25 0.4]  
Medium τραπεζοειδής [0.3 0.4 0.6 0.7]  
High τριγωνική [0.6 0.8 0.95]  
Vhigh τραπεζοειδής [0.85 0.9 1 1.15]

**Είσοδος DU:** vlow τριγωνική [-0.05 0 0.1]  
Low τριγωνική [0.05 0.2 0.3]  
Medium τριγωνική [0.25 0.5 0.65]  
High τριγωνική [0.5 0.8 0.95]  
Vhigh τριγωνική [0.85 1 1.15]

**Έξοδος CRd:** vlow τραπεζοειδής [0 0 0.05 0.15]  
Low τριγωνική [0 0.25 0.4]  
Medium τραπεζοειδής [0.3 0.4 0.6 0.7]  
High τριγωνική [0.6 0.8 0.95]

Vhigh τραπεζοειδής [0.85 0.87 0.92 1

abhigh τραπεζοειδής [0.95 0.96 1 1.11]

### Σύστημα 3 (Κίνδυνος)

Το σύστημα αυτό είναι το απλούστερο από τα τρία καθώς αποτελείται από μια είσοδο και μια έξοδο. Τόσο η είσοδος RR όσο και η έξοδος CRr θα αποτελούνται από τις ίδιες συναρτήσεις συμμετοχής με τα ίδια εύρη τιμών. Αναλυτικά έχουμε:

**Είσοδος RR:** vlow τραπεζοειδής [-0.05 0 0.05 0.15]

Low Γκαουσιανή [0 0.25 0.5]

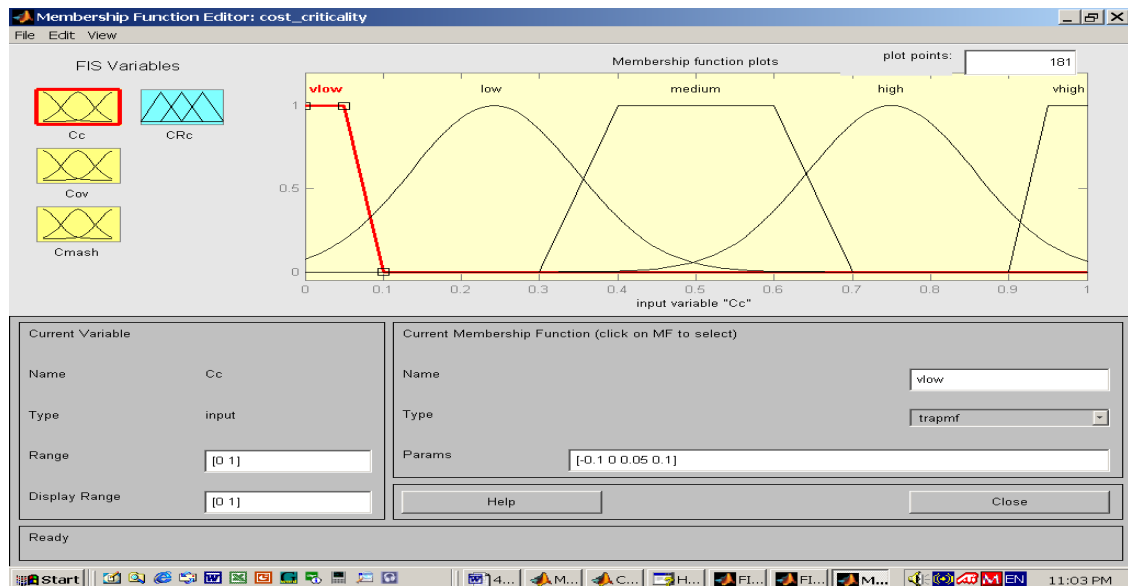
Medium τραπεζοειδής [0.25 0.4 0.6 0.75]

High Γκαουσιανή [0.5 0.8 0.95]

Vhigh τραπεζοειδής [0.85 0.9 1 1.15]

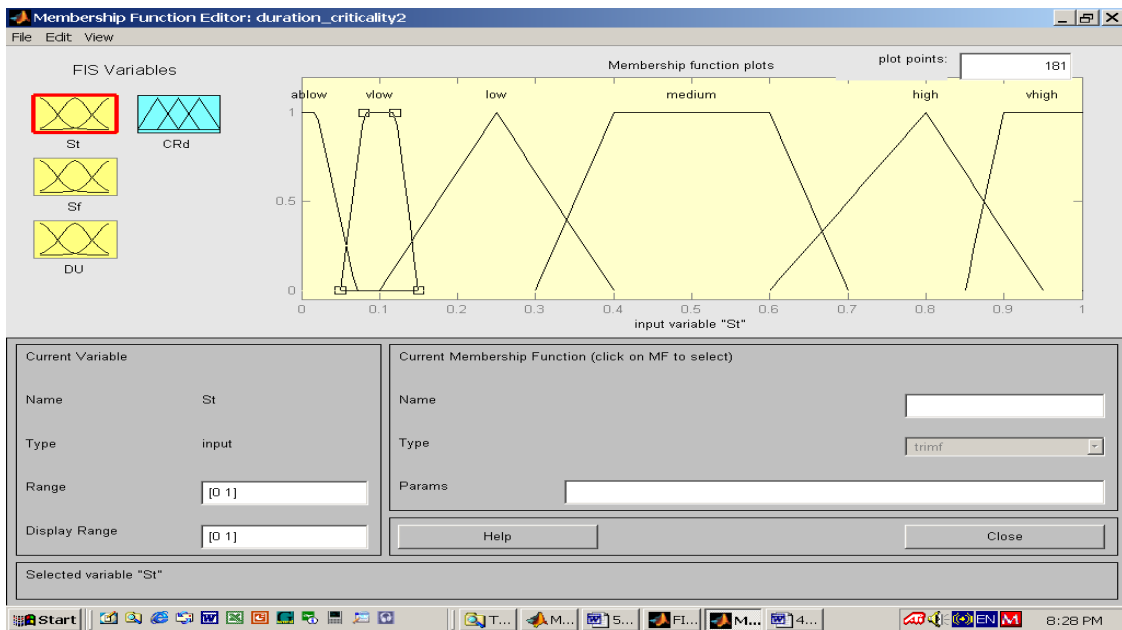
Από την εφαρμογή των παραπάνω, στο Fuzzy Toolbox προκύπτουν γραφικά οι συναρτήσεις συμμετοχής για κάθε σύστημα.

### Σύστημα 1 (Κόστος)

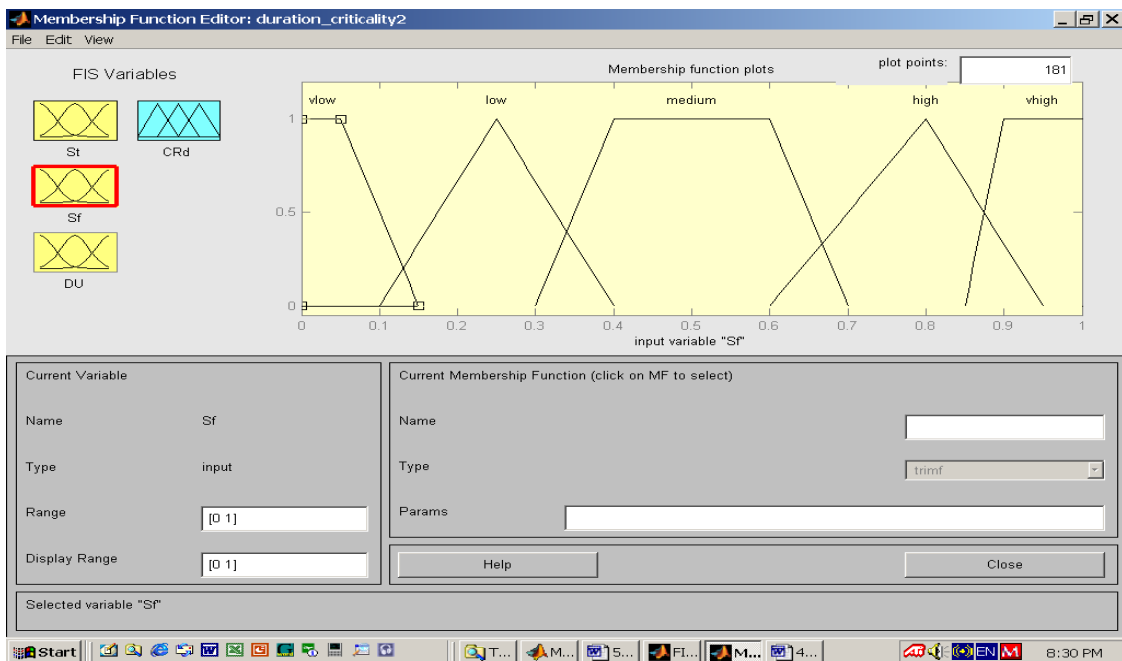


*Σχήμα 4.2: Συναρτήσεις συμμετοχής εισόδων-εξόδου συστήματος 1*

## Σύστημα 2 (Διάρκεια)

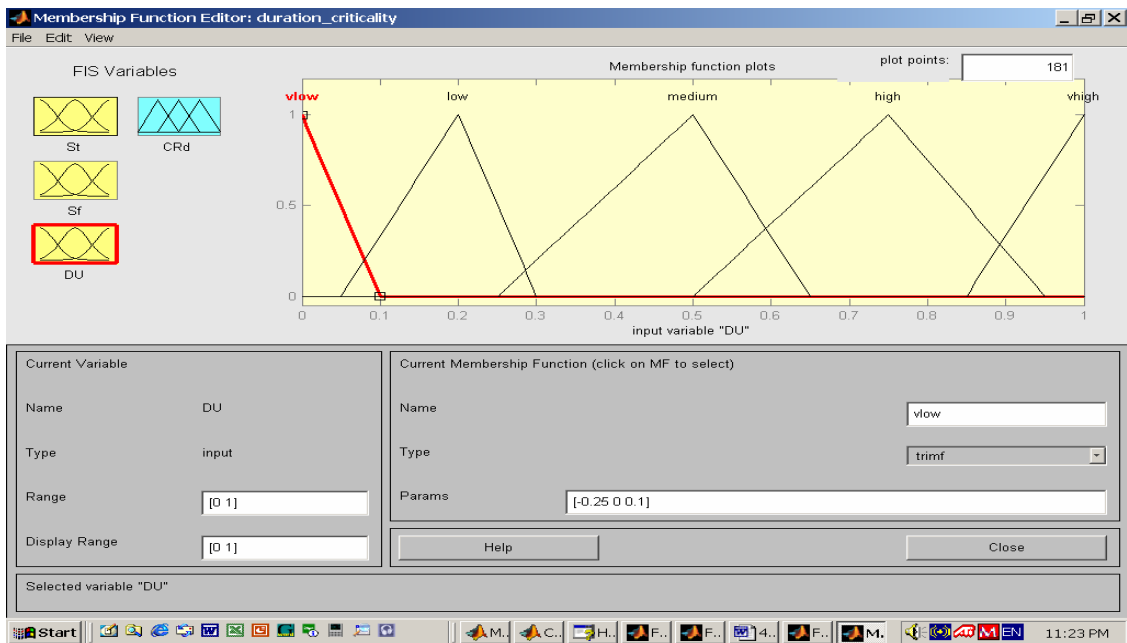


Σχήμα 4.3: Συναρτήσεις συμμετοχής εισόδου  $St$

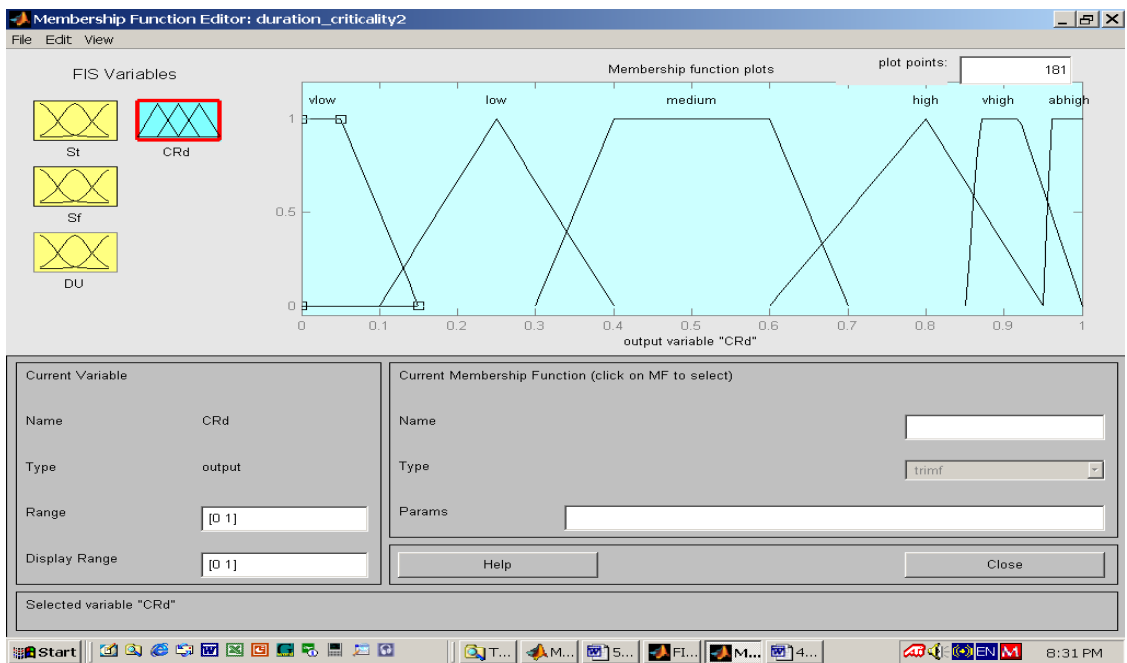


Σχήμα 4.4: Συναρτήσεις συμμετοχής εισόδου  $Sf$



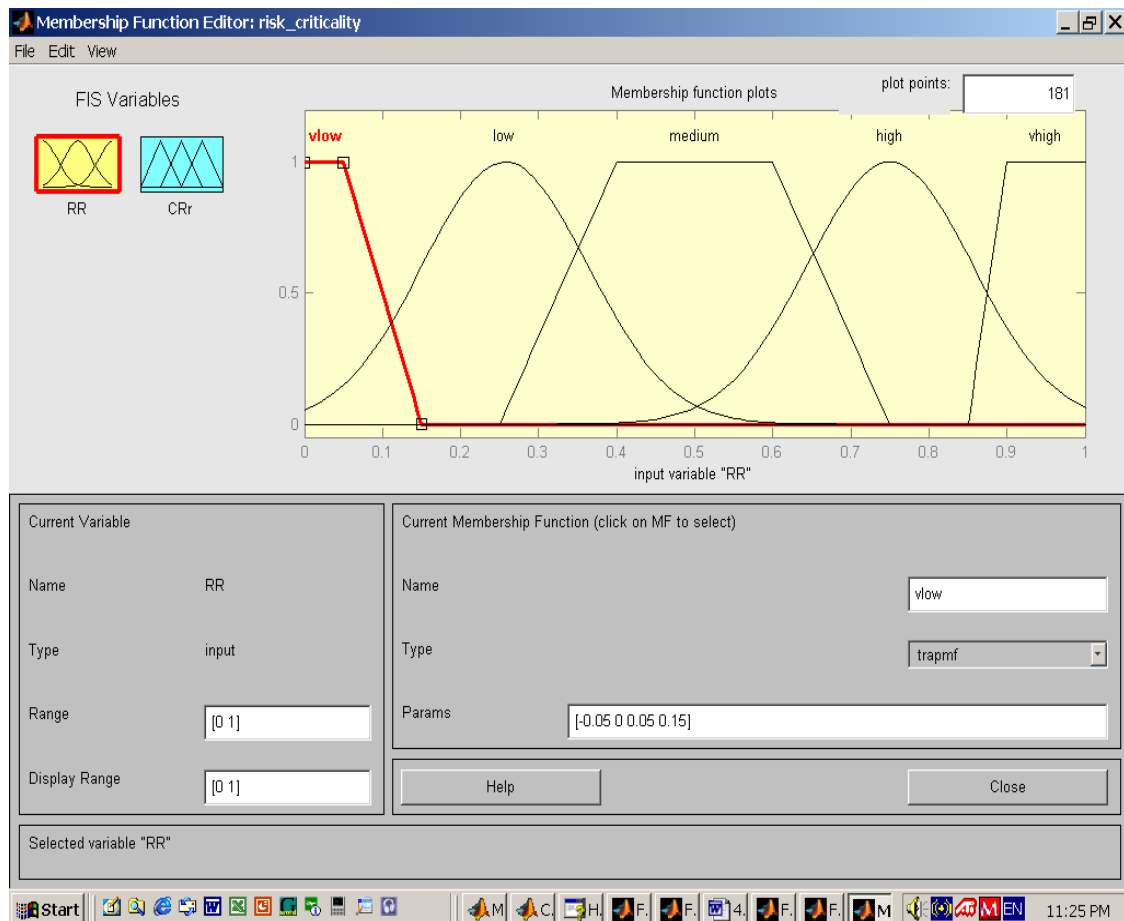


Σχήμα 4.5: Συναρτήσεις συμμετοχής εισόδου DU



Σχήμα 4.6: Συναρτήσεις συμμετοχής εξόδου CRd

### Σύστημα 3 (Κίνδυνος)



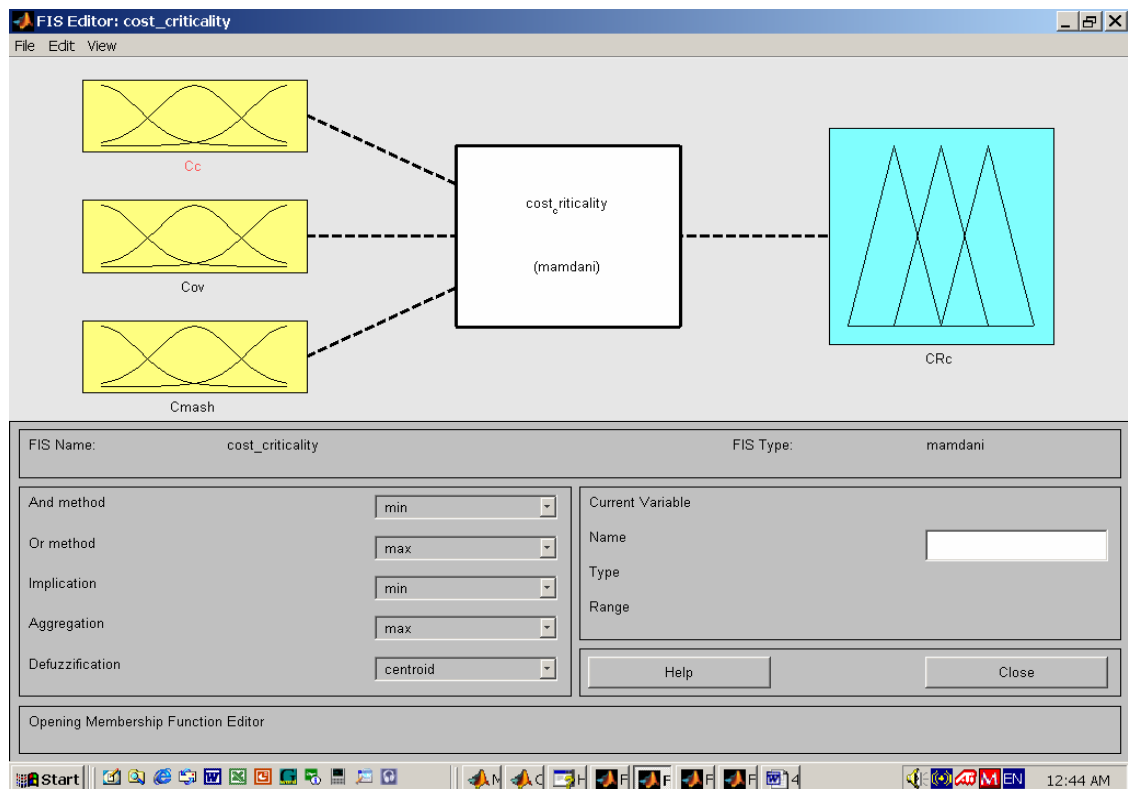
Σχήμα 4.7: Συναρτήσεις συμμετοχής RR, CRr

### 4.3.3 Ορισμός τελεστών, συνεπαγωγής, απο-ασαφοποίησης

Για να ολοκληρωθεί η ανάπτυξη των τριών ασαφών συστημάτων πρέπει να οριστούν οι κανόνες τύπου 'AN...TOTE' για κάθε σύστημα όπως επίσης οι τελεστές AND, OR, η μέθοδος συνεπαγωγής, η μέθοδος πρόσθεσης των εξόδων κάθε κανόνα και η μέθοδος απο-ασαφοποίησης. Οι τελεστές, η μέθοδος συνεπαγωγής και η μέθοδος απο-ασαφοποίησης ορίζονται στην αρχή στον FIS Editor. Για όλα τα συστήματα θα ισχύσουν τα ίδια δεδομένα, δηλαδή για τον τελεστή AND θα επιλεγεί το min, για τον τελεστή OR

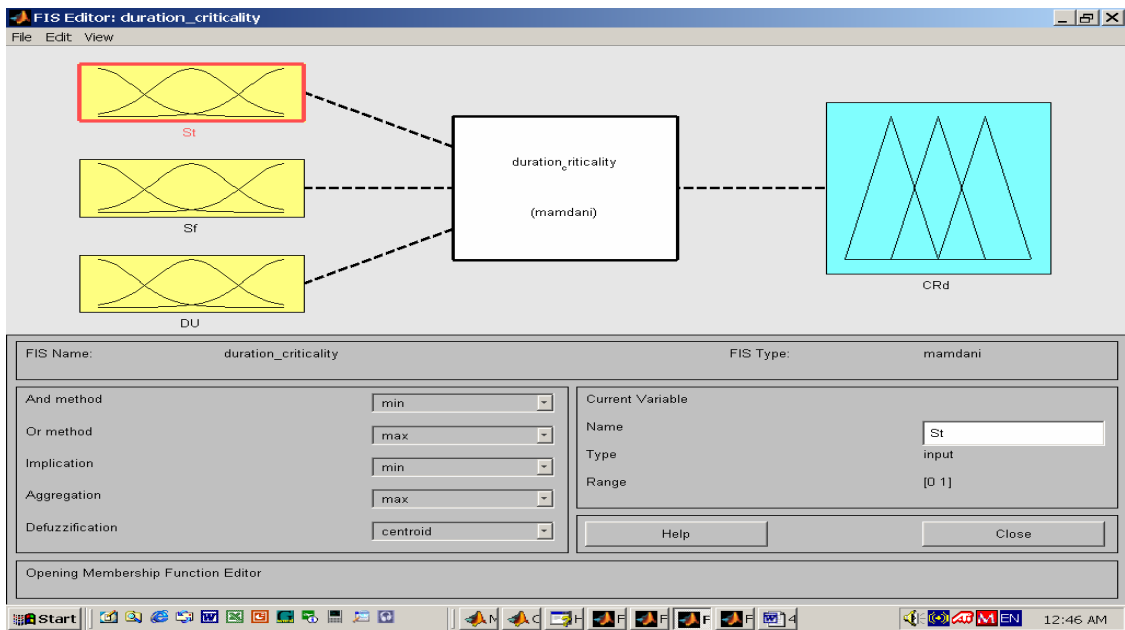
το max, η μέθοδος συνεπαγωγής θα είναι η Mamdani ή min, η μέθοδος ομαδοποίησης των εξόδων κάθε κανόνα θα γίνει με τον κανόνα max και τέλος η απο-ασαφοποίηση της εξόδου θα γίνει με την μέθοδο του κεντρώου (COA ή Centroid) η οποία αναπτύχθηκε στο τρίτο κεφάλαιο. Τα παραπάνω φαίνονται για κάθε σύστημα στην απεικόνιση του FIS Editor παρακάτω.

## Σύστημα 1



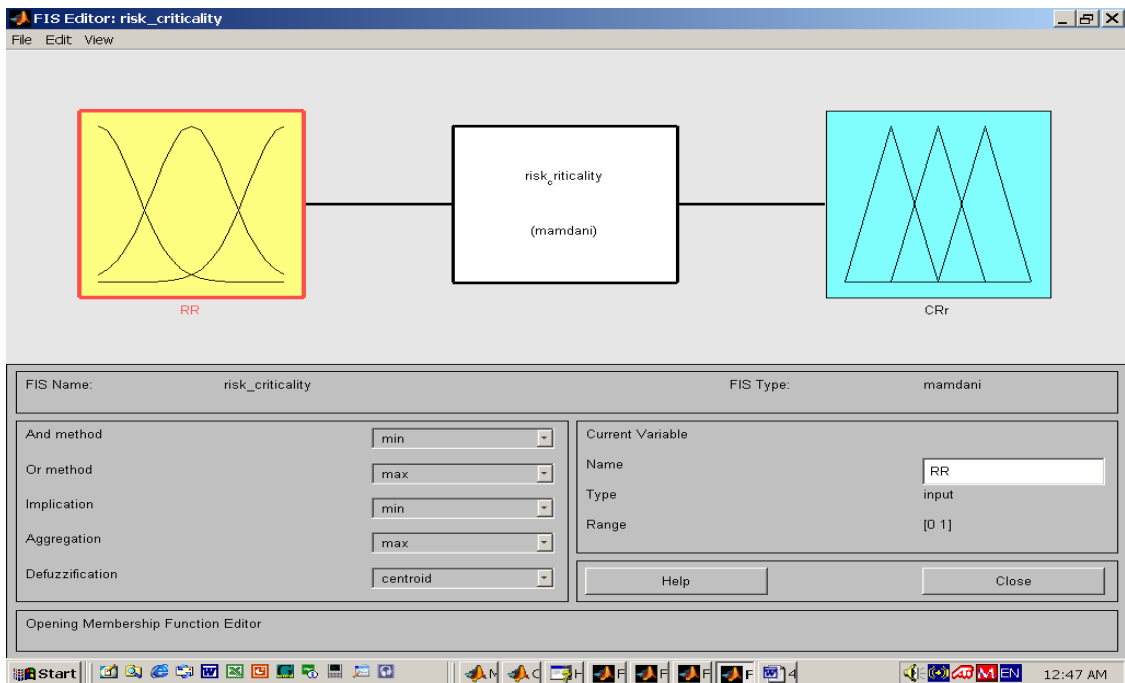
*Σχήμα 4.8: Απεικόνιση συστήματος κόστους*

## Σύστημα 2



Σχήμα 4.9: Απεικόνιση συστήματος διάρκειας

## Σύστημα 3



Σχήμα 4.10: Απεικόνιση συστήματος κινδύνου

#### 4.3.4 Βάσεις κανόνων

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, η ολοκλήρωση ενός ασαφούς συστήματος επέρχεται με τον καθορισμό των λεκτικών κανόνων στον Rule Editor. Οι κανόνες των δυο πρώτων συστημάτων είναι  $5^3 = 125$  αφού έχουν από τρεις εισόδους με πέντε συναρτήσεις συμμετοχής η κάθε μια, αν και κάποιοι από αυτούς ίσως δεν έχουν φυσική σημασία, ενώ το τρίτο σύστημα έχει μόνο πέντε κανόνες αφού έχει μια είσοδο. Έχουμε λοιπόν για κάθε σύστημα αναλυτικά:

##### Σύστημα 1

1. Αν Cc= very low και Cov= very low και Cmash= very high τότε CRc= very high
2. Αν Cc= low και Cov= low και Cmash= high τότε CRc= high
3. Αν Cc= medium και Cov= medium και Cmash= medium τότε CRc= medium
4. Αν Cc= high και Cov= high και Cmash= low τότε CRc= low
5. Αν Cc= very high και Cov= very high και Cmash= very low τότε CRc= very low
6. Αν Cc= very low και Cov= very low και Cmash= high τότε CRc= very high
7. Αν Cc= very low και Cov= very low και Cmash= medium τότε CRc= high
8. Αν Cc= very low και Cov= very low και Cmash= low τότε CRc= high
9. Αν Cc= very low και Cov= very low και Cmash= very low τότε CRc= high
10. Αν Cc= very low και Cov= low και Cmash= very high τότε CRc= very high
11. Αν Cc= very low και Cov= medium και Cmash= very high τότε CRc= high
12. Αν Cc= very low και Cov= high και Cmash= very high τότε CRc= high
13. Αν Cc= very low και Cov= very high και Cmash= very high τότε CRc= high
14. Αν Cc= low και Cov= very low και Cmash= very high τότε CRc= very high
15. Αν Cc= medium και Cov= very low και Cmash= very high τότε CRc= high
16. Αν Cc= high και Cov= very low και Cmash= very high τότε CRc= high
17. Αν Cc= very high και Cov= very low και Cmash= very high τότε CRc= high
18. Αν Cc= very low και Cov= low και Cmash= very low τότε CRc= medium
19. Αν Cc= very low και Cov= low και Cmash= low τότε CRc= high
20. Αν Cc= very low και Cov=low και Cmash= medium τότε CRc= high

21. Av Cc= very low και Cov= low και Cmash= high τότε CRc= high
22. Av Cc= very low και Cov= medium και Cmash= very low τότε CRc= medium
23. Av Cc= very low και Cov= medium και Cmash= low τότε CRc= medium
24. Av Cc= very low και Cov= medium και Cmash= medium τότε CRc= high
25. Av Cc= very low και Cov= medium και Cmash= high τότε CRc= high
26. Av Cc= very low και Cov= high και Cmash= very low τότε CRc= medium
27. Av Cc= very low και Cov= high και Cmash= low τότε CRc= medium
28. Av Cc= very low και Cov= high και Cmash= medium τότε CRc= medium
29. Av Cc= very low και Cov= high και Cmash= high τότε CRc= medium
30. Av Cc= very low και Cov= very high και Cmash= very low τότε CRc= low
31. Av Cc= very low και Cov= very high και Cmash= low τότε CRc= medium
32. Av Cc= very low και Cov= very high και Cmash= medium τότε CRc= medium
33. Av Cc= very low και Cov= very high και Cmash= high τότε CRc= medium
34. Av Cc= low και Cov= very low και Cmash= very low τότε CRc= medium
35. Av Cc= low και Cov= very low και Cmash= low τότε CRc= high
36. Av Cc= low και Cov= very low και Cmash= medium τότε CRc= high
37. Av Cc= low και Cov= very low και Cmash= high τότε CRc= high
38. Av Cc= low και Cov= low και Cmash= very low τότε CRc= medium
39. Av Cc= low και Cov= low και Cmash= low τότε CRc= medium
40. Av Cc= low και Cov= low και Cmash= medium τότε CRc= high
41. Av Cc= low και Cov= low και Cmash= very high τότε CRc= high
42. Av Cc= low και Cov= medium και Cmash= very low τότε CRc= medium
43. Av Cc= low και Cov= medium και Cmash= low τότε CRc= medium
44. Av Cc= low και Cov= medium και Cmash= medium τότε CRc= medium
45. Av Cc= low και Cov= medium και Cmash= high τότε CRc= high
46. Av Cc= low και Cov= medium και Cmash= very high τότε CRc= high
47. Av Cc= low και Cov= high και Cmash= very low τότε CRc= low
48. Av Cc= low και Cov= high και Cmash= low τότε CRc= medium
49. Av Cc= low και Cov= high και Cmash= medium τότε CRc= medium
50. Av Cc= low και Cov= high και Cmash= high τότε CRc= medium
51. Av Cc= low και Cov= high και Cmash= very high τότε CRc= high

52. Av Cc= low και Cov= very high και Cmash= very low τότε CRc= low
53. Av Cc= low και Cov= very high και Cmash= low τότε CRc= low
54. Av Cc= low και Cov= very high και Cmash= medium τότε CRc= medium
55. Av Cc= low και Cov= very high και Cmash= high τότε CRc= medium
56. Av Cc= low και Cov= very high και Cmash= very high τότε CRc= medium
57. Av Cc= medium και Cov= very low και Cmash= very low τότε CRc= medium
58. Av Cc= medium και Cov= very low και Cmash= low τότε CRc= medium
59. Av Cc= medium και Cov= very low και Cmash= medium τότε CRc= high
60. Av Cc= medium και Cov= very low και Cmash= high τότε CRc= high
61. Av Cc= medium και Cov= low και Cmash= very low τότε CRc= medium
62. Av Cc= medium και Cov= low και Cmash= low τότε CRc= medium
63. Av Cc= medium και Cov= low και Cmash= medium τότε CRc= medium
64. Av Cc= medium και Cov= low και Cmash= high τότε CRc= high
65. Av Cc= medium και Cov= low και Cmash= very high τότε CRc= high
66. Av Cc= medium και Cov= medium και Cmash= very low τότε CRc= low
67. Av Cc= medium και Cov= medium και Cmash= low τότε CRc= medium
68. Av Cc= medium και Cov= medium και Cmash= high τότε CRc= medium
69. Av Cc= medium και Cov= medium και Cmash= very high τότε CRc= high
70. Av Cc= medium και Cov= high και Cmash= very low τότε CRc= low
71. Av Cc= medium και Cov= high και Cmash= low τότε CRc= low
72. Av Cc= medium και Cov= high και Cmash= medium τότε CRc= medium
73. Av Cc= medium και Cov= high και Cmash= high τότε CRc= medium
74. Av Cc= medium και Cov= high και Cmash= very high τότε CRc= medium
75. Av Cc= medium και Cov= very high και Cmash= very low τότε CRc= low
76. Av Cc= medium και Cov= very high και Cmash= low τότε CRc= low
77. Av Cc= medium και Cov= very high και Cmash= medium τότε CRc= low
78. Av Cc= medium και Cov= very high και Cmash= high τότε CRc= medium
79. Av Cc= medium και Cov= very high και Cmash= very high τότε CRc= medium
80. Av Cc= high και Cov= very low και Cmash= very low τότε CRc= medium
81. Av Cc= high και Cov= very low και Cmash= low τότε CRc= medium
82. Av Cc= high και Cov= very low και Cmash= medium τότε CRc= medium

83. Av Cc= high και Cov= very low και Cmash= high τότε CRc= high
84. Av Cc= high και Cov= low και Cmash= very low τότε CRc= low
85. Av Cc= high και Cov= low και Cmash= low τότε CRc= medium
86. Av Cc= high και Cov= low και Cmash= medium τότε CRc= medium
87. Av Cc= high και Cov= low και Cmash= high τότε CRc= medium
88. Av Cc= high και Cov= low και Cmash= very high τότε CRc= high
89. Av Cc= high και Cov= medium και Cmash= very low τότε CRc= low
90. Av Cc= high και Cov= medium και Cmash= low τότε CRc= low
91. Av Cc= high και Cov= medium και Cmash= medium τότε CRc= medium
92. Av Cc= high και Cov= medium και Cmash= high τότε CRc= medium
93. Av Cc= high και Cov= medium και Cmash= very high τότε CRc= medium
94. Av Cc= high και Cov= high και Cmash= very low τότε CRc= low
95. Av Cc= high και Cov= high και Cmash= medium τότε CRc= low
96. Av Cc= high και Cov= high και Cmash= high τότε CRc= medium
97. Av Cc= high και Cov= high και Cmash= very high τότε CRc= medium
98. Av Cc= high και Cov= very high και Cmash= very low τότε CRc= very low
99. Av Cc= high και Cov= very high και Cmash= low τότε CRc= low
100. Av Cc= high και Cov= very high και Cmash= medium τότε CRc= low
101. Av Cc= high και Cov= very high και Cmash= high τότε CRc= high
102. Av Cc= high και Cov= very high και Cmash= very high τότε CRc= medium
103. Av Cc= very high και Cov= very low και Cmash= very low τότε CRc= low
104. Av Cc= very high και Cov= very low και Cmash= low τότε CRc= medium
105. Av Cc= very high και Cov= very low και Cmash= medium τότε CRc= medium
106. Av Cc= very high και Cov= very low και Cmash= high τότε CRc= medium
107. Av Cc= very high και Cov= low και Cmash= very low τότε CRc= low
108. Av Cc= very high και Cov= low και Cmash= low τότε CRc= low
109. Av Cc= very high και Cov= low και Cmash= medium τότε CRc= medium
110. Av Cc= very high και Cov= low και Cmash= high τότε CRc= medium
111. Av Cc= very high και Cov= low και Cmash= very high τότε CRc= medium
112. Av Cc= very high και Cov= medium και Cmash= very low τότε CRc= low
113. Av Cc= very high και Cov= medium και Cmash= low τότε CRc= low



114. Av Cc= very high και Cov= medium και Cmash= medium τότε CRc= low
115. Av Cc= very high και Cov= medium και Cmash= high τότε CRc= medium
116. Av Cc= very high και Cov= medium και Cmash= very high τότε CRc= medium
117. Av Cc= very high και Cov= high και Cmash= very low τότε CRc= very low
118. Av Cc= very high και Cov= high και Cmash= low τότε CRc= low
119. Av Cc= very high και Cov= high και Cmash= medium τότε CRc= low
120. Av Cc= very high και Cov= high και Cmash= high τότε CRc= low
121. Av Cc= very high και Cov= high και Cmash= very high τότε CRc= medium
122. Av Cc= very high και Cov=very high και Cmash= low τότε CRc= very low
123. Av Cc= very high και Cov=very high και Cmash= medium τότε CRc= low
124. Av Cc= very high και Cov=very high και Cmash= high τότε CRc= low
125. Av Cc= very high και Cov=very high και Cmash= very high τότε CRc= low

## **Σύστημα 2**

1. Av St= very low και Sf= very low και DU= very high τότε CRd= very high
2. Av St= low και Sf= low και DU= high τότε CRd= high
3. Av St= medium και Sf= medium και DU= medium τότε CRd= medium
4. Av St= high και Sf= high και DU= low τότε CRd= low
5. Av St= very high και Sf= very high και DU= very low τότε CRd= very low
6. Av St= very low και Sf= very low και DU= high τότε CRd= very high
7. Av St= very low και Sf= very low και DU= medium τότε CRd= high
8. Av St= very low και Sf= very low και DU= low τότε CRd= high
9. Av St= very low και Sf= very low και DU= very low τότε CRd= high
10. Av St= low και Sf= very low και DU= very high τότε CRd= very high
11. Av St= medium και Sf= very low και DU= very high τότε CRd= high
12. Av St= high και Sf= very low και DU= very high τότε CRd= high
13. Av St= very high και Sf= very low και DU= very high τότε CRd= high
14. Av St= low και Sf= very low και DU= very low τότε CRd= medium
15. Av St= low και Sf= very low και DU= low τότε CRd= high
16. Av St= low και Sf= very low και DU= medium τότε CRd= high
17. Av St= low και Sf= very low και DU= high τότε CRd= high

18. Av St= low και Sf= low και DU= very low τότε CRd= medium
19. Av St= low και Sf= low και DU= low τότε CRd= medium
20. Av St= low και Sf= low και DU= medium τότε CRd= high
21. Av St= low και Sf= low και DU= very high τότε CRd= high
22. Av St= medium και Sf= very low και DU= very low τότε CRd= medium
23. Av St= medium και Sf= very low και DU= low τότε CRd= medium
24. Av St= medium και Sf= very low και DU= medium τότε CRd= high
25. Av St= medium και Sf= very low και DU= high τότε CRd= high
26. Av St= medium και Sf= low και DU= very low τότε CRd= medium
27. Av St= medium και Sf= low και DU= low τότε CRd= medium
28. Av St= medium και Sf= low και DU= medium τότε CRd= medium
29. Av St= medium και Sf= low και DU= high τότε CRd= high
30. Av St= medium και Sf= low και DU= very high τότε CRd= high
31. Av St= medium και Sf= medium και DU= very low τότε CRd= low
32. Av St= medium και Sf= medium και DU= low τότε CRd= medium
33. Av St= medium και Sf= medium και DU= high τότε CRd= medium
34. Av St= medium και Sf= medium και DU= very high τότε CRd= high
35. Av St= high και Sf= very low και DU= very low τότε CRd= medium
36. Av St= high και Sf= very low και DU= low τότε CRd= medium
37. Av St= high και Sf= very low και DU= medium τότε CRd= medium
38. Av St= high και Sf= very low και DU= high τότε CRd= high
39. Av St= high και Sf= low και DU= very low τότε CRd= low
40. Av St= high και Sf= low και DU= low τότε CRd= medium
41. Av St= high και Sf= low και DU= medium τότε CRd= medium
42. Av St= high και Sf= low και DU= high τότε CRd= medium
43. Av St= high και Sf= low και DU= very high τότε CRd= high
44. Av St= high και Sf= medium και DU= very low τότε CRd= low
45. Av St= high και Sf= medium και DU= low τότε CRd= low
46. Av St= high και Sf= medium και DU= medium τότε CRd= medium
47. Av St= high και Sf= medium και DU= high τότε CRd= medium
48. Av St= high και Sf= medium και DU= very high τότε CRd= medium

49. Av St= high και Sf= high και DU= very low τότε CRd= low
50. Av St= high και Sf= high και DU= medium τότε CRd= low
51. Av St= high και Sf= high και DU= high τότε CRd= medium
52. Av St= high και Sf= high και DU= very high τότε CRd= medium
53. Av St= very high και Sf= very low και DU= very low τότε CRd= low
54. Av St= very high και Sf= very low και DU= low τότε CRd= medium
55. Av St= very high και Sf= very low και DU= medium τότε CRd= medium
56. Av St= very high και Sf= very low και DU= high τότε CRd= medium
57. Av St= very high και Sf= low και DU= very low τότε CRd= low
58. Av St= very high και Sf= low και DU= low τότε CRd= low
59. Av St= very high και Sf= low και DU= medium τότε CRd= medium
60. Av St= very high και Sf= low και DU= high τότε CRd= medium
61. Av St= very high και Sf= low και DU= very high τότε CRd= medium
62. Av St= very high και Sf= medium και DU= very low τότε CRd= low
63. Av St= very low και Sf= medium και DU= low τότε CRd= low
64. Av St= very high και Sf= medium και DU= medium τότε CRd= low
65. Av St= very high και Sf= medium και DU= high τότε CRd= medium
66. Av St= very high και Sf= medium και DU= very high τότε CRd= medium
67. Av St= very high και Sf= high και DU= very low τότε CRd= very low
68. Av St= very high και Sf= high και DU= low τότε CRd= low
69. Av St= very high και Sf= high και DU= medium τότε CRd= low
70. Av St= very high και Sf= high και DU= high τότε CRd= low
71. Av St= very high και Sf= high και DU= very high τότε CRd= medium
72. Av St= very high και Sf=very high και DU= low τότε CRd= very low
73. Av St= very high και Sf=very high και DU= medium τότε CRd= low
74. Av St= very high και Sf=very high και DU= high τότε CRd= low
75. Av St= very high και Sf=very high και DU= very high τότε CRd= low
76. Av St=ablow τότε CRd=abhigh

Σε αυτή την κατηγορία οι κανόνες όπου το ολικό περιθώριο λαμβάνει τιμές μικρότερες από το ελεύθερο περιθώριο δεν έχουν φυσική σημασία και δεν θα περιληφθούν στην

βάση γνώσης, αφού εξ ορισμού το συνολικό περιθώριο (St) μιας δραστηριότητας είναι μεγαλύτερο του ελεύθερου περιθωρίου (Sf) . Για το δεύτερο σύστημα λοιπόν προκύπτουν 76 κανόνες.

### **Σύστημα 3**

1. Αν RR= very low τότε CRr= very high
2. Αν RR= low τότε CRr= high
3. Αν RR= medium τότε CRr= medium
4. Αν RR= high τότε CRr= low
5. Αν RR= very high τότε CRr=very low

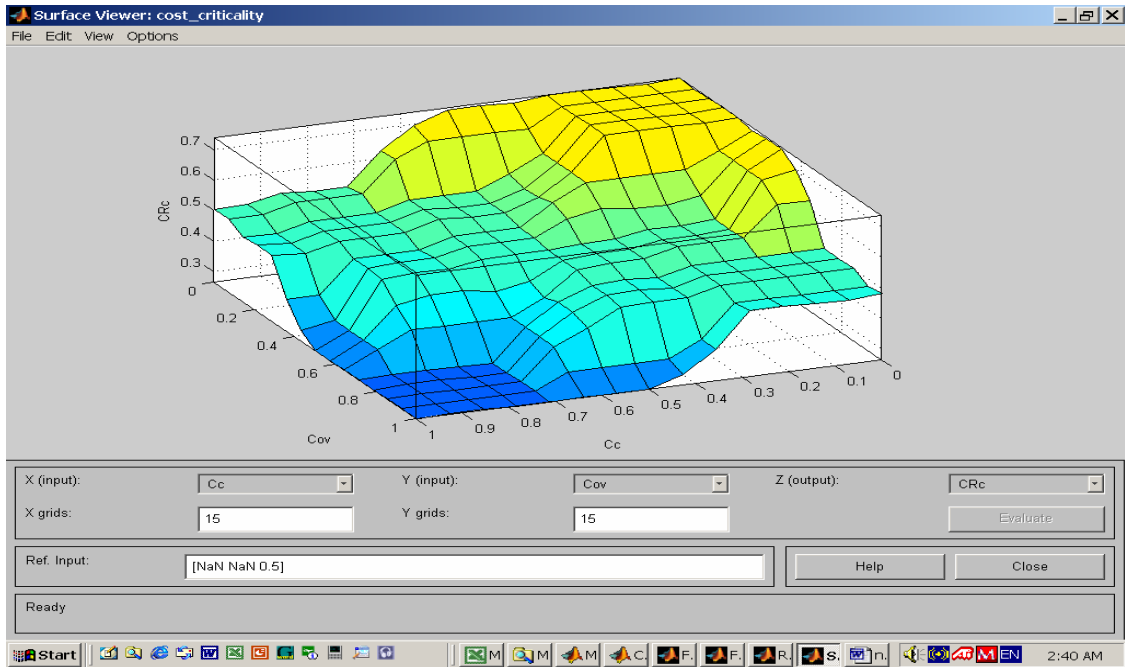
Σε αυτό το σημείο πρέπει να πούμε ότι το Fuzzy Toolbox παρέχει την δυνατότητα ορισμού συντελεστών βαρύτητας για κάθε κανόνα, ώστε να μην συμμετέχουν όλοι στον ίδιο βαθμό. Για τα τρία συστήματα της παρούσης εργασίας όλοι οι κανόνες θα έχουν συντελεστή βαρύτητας ίσο με 1.

### **4.3.5 Συντελεστές βαρύτητας**

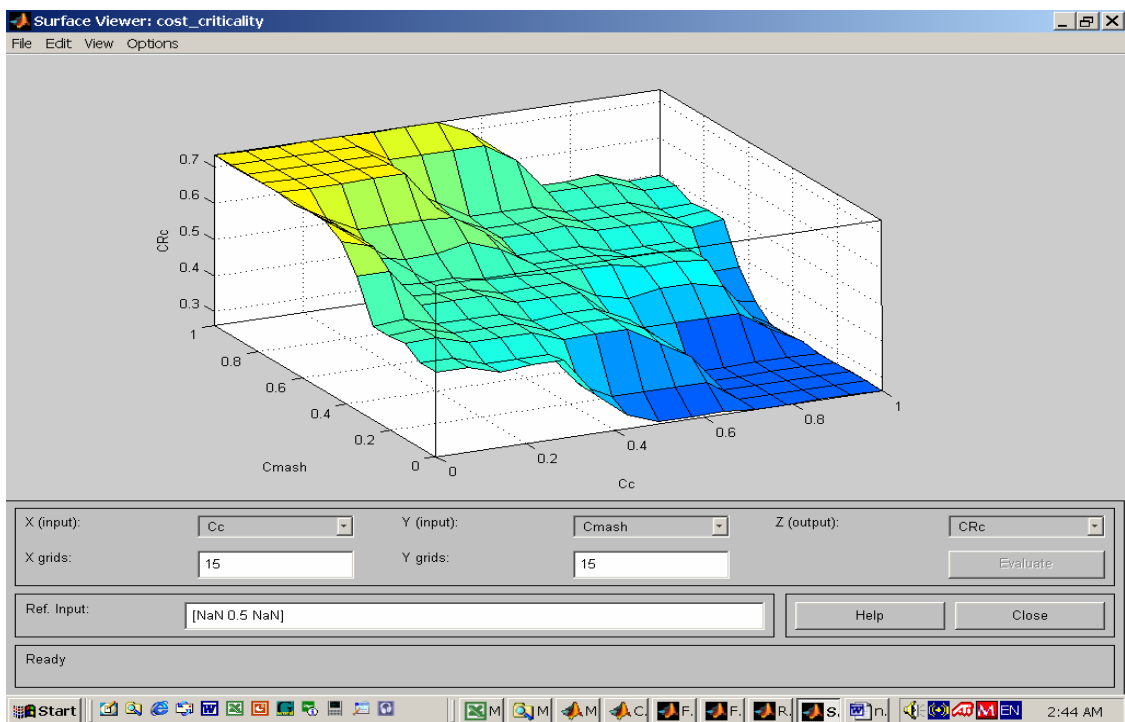
Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή του κεφαλαίου, η τελική τιμή της κρισιμότητας μιας δραστηριότητας προκύπτει από τη σχέση  $CR_{TOTAL} = \sum W_i CR_i$  όπου  $CR_i$  οι τιμές της κρισιμότητας που προκύπτουν από τα τρία ασαφή συστήματα που αναπτύχθηκαν παραπάνω και  $W_i$  οι συντελεστές βαρύτητας κάθε τιμής οι οποίοι εξαρτώνται από την φύση του έργου (κατασκευαστικό, πληροφορικής κ.λ.π.). Στην παρούσα εργασία δεν θα επεκταθούμε στον καθορισμό αυτών των συντελεστών ανάλογα με τον τύπο κάθε έργου καθώς δεν υπάρχουν οι ανάλογες αναφορές από αρκετά έργα ώστε να προκύπτει ένα σαφές συμπέρασμα για τα όρια τιμών των συντελεστών αυτών. Θα θεωρήσουμε λοιπόν τους τρεις συντελεστές ισότιμους δηλαδή  $W_c=W_d=W_f=0.33$ .

Τέλος οι συντελεστές που αφορούν τις εισόδους κάθε συστήματος καθορίζονται από το Fuzzy Toolbox. Από τον surface viewer του προγράμματος προκύπτουν οι παρακάτω επιφάνειες απόφασης για κάθε έξοδο, ανά δύο εισόδους:

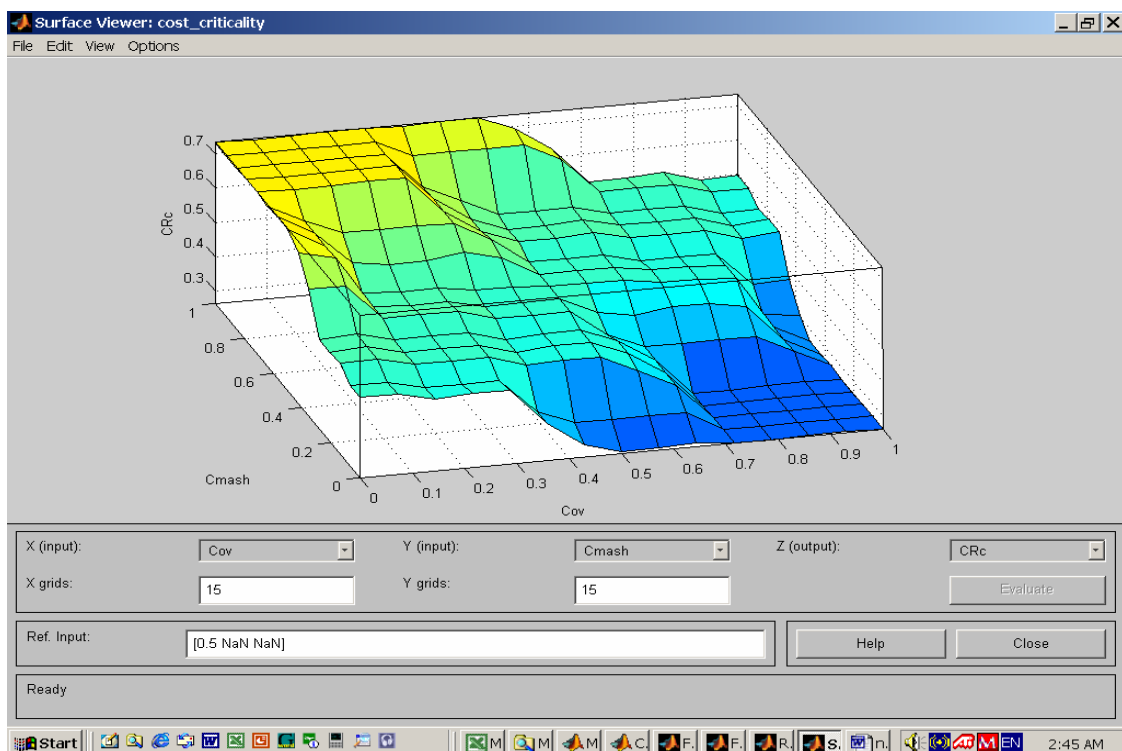
## Σύστημα 1



*Σχήμα 4.11: Επιφάνεια απόφασης CRc τις για εισόδους Cc/Cov*

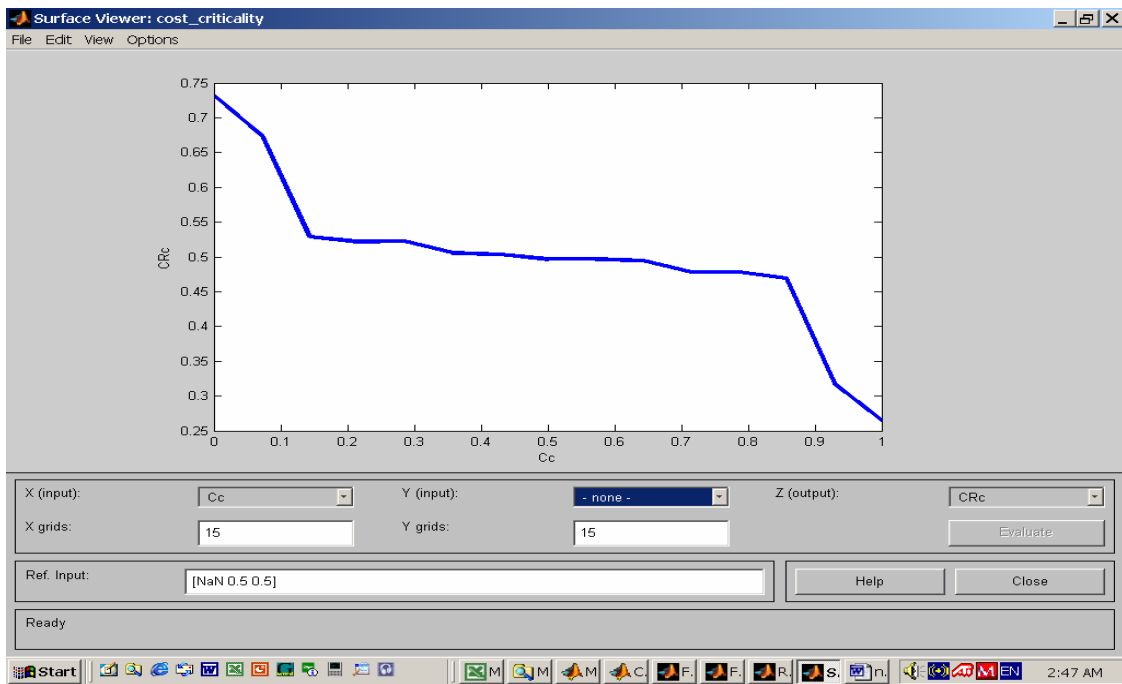


*Σχήμα 4.12: Επιφάνεια απόφασης CRc τις για εισόδους Cc/Cmash*

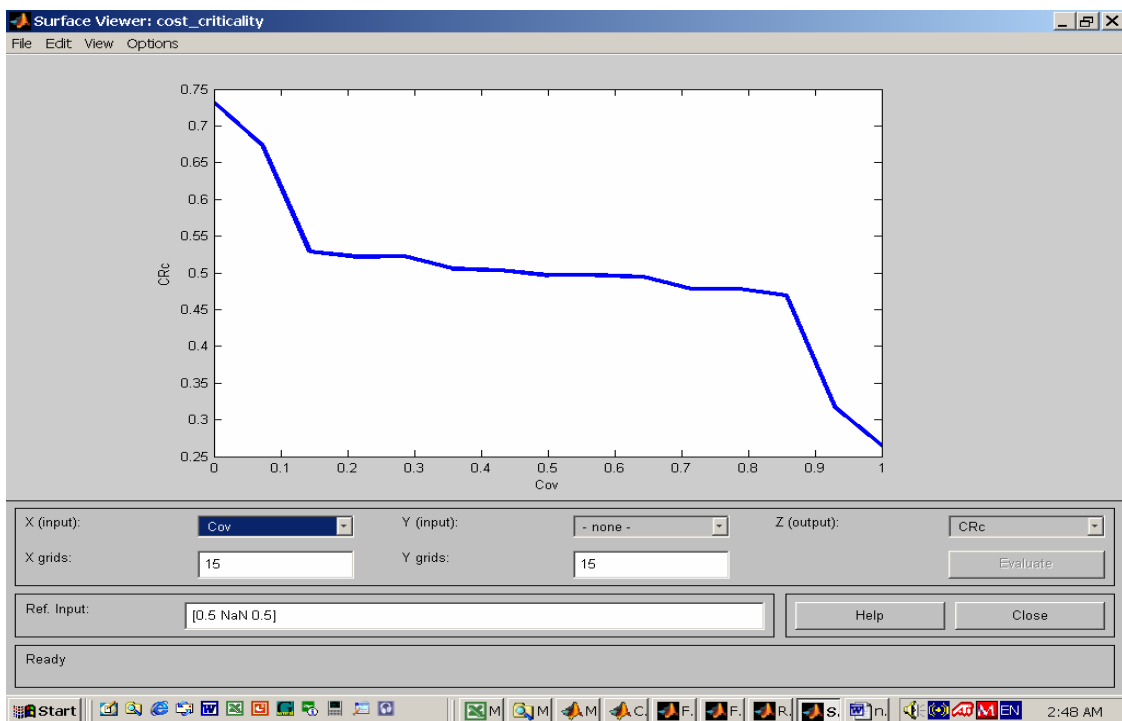


**Σχήμα 4.13: Επιφάνεια απόφασης  $CRc$  τις για εισόδους  $Cov/Cmesh$**

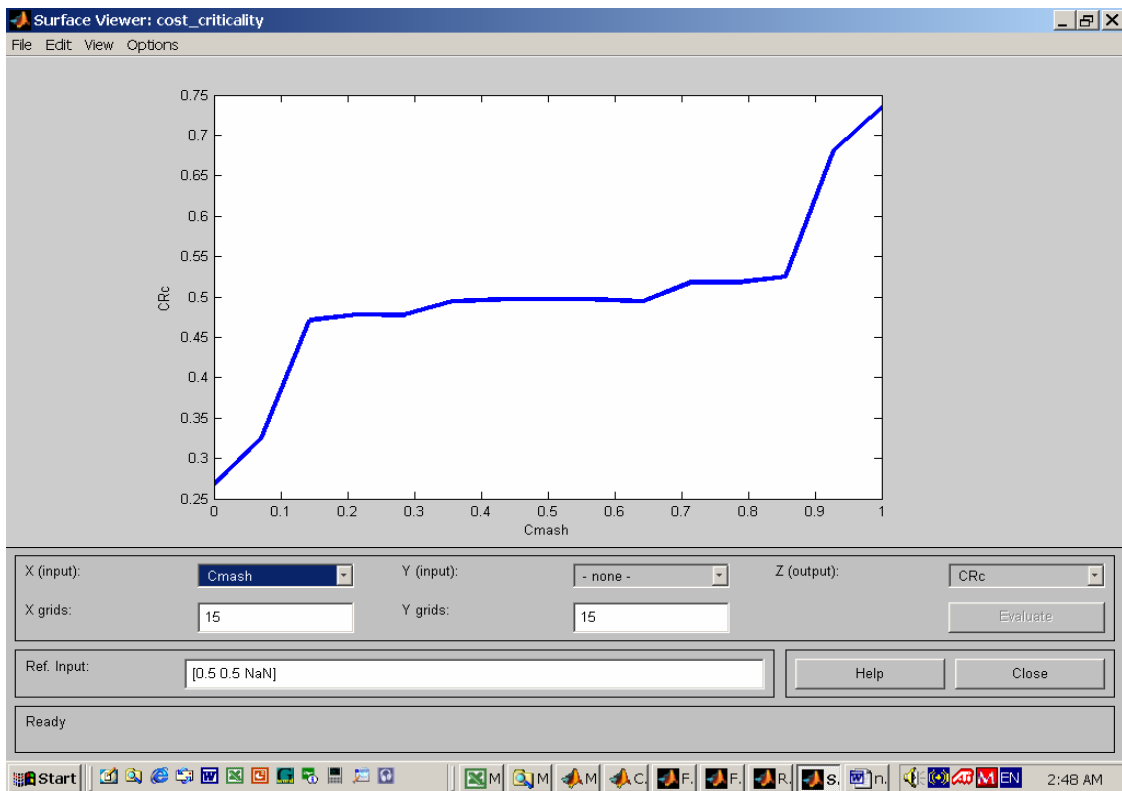
Οι επιφάνειες απόφασης για τους τρεις συνδυασμούς εισόδων είναι της ίδιας μορφής, με τα ίδια ανώτερα όρια τιμών της εξόδου  $CRc$ . Αυτό που μπορεί κανείς να παρατηρήσει είναι ότι η κρισιμότητα  $CRc$  λαμβάνει υψηλές τιμές σε μεγαλύτερη έκταση για τον συνδυασμό εισόδων κόστος συμπίεσης/ κόστος υπερανάθεσης ( $Cc/Cov$ ). Οι συνδυασμοί του κόστους παγίων ( $C_{mash}$ ) με το κόστος συμπίεσης ( $Cc$ ) και υπερανάθεσης ( $Cov$ ) είναι ίδιοι, ενώ οι τιμές της κρισιμότητας σε αυτές τις περιπτώσεις κυμαίνονται γενικά σε χαμηλότερα επίπεδα. Έχουμε άρα ότι ο **συνδυασμός χαμηλών τιμών κόστους συμπίεσης και κόστους υπερανάθεσης προκαλεί υψηλότερες τιμές κρισιμότητας** (επιρεάζουν περισσότερο την κρισιμότητα του συστήματος) ενώ η παρεμβολή του κόστους παγίων προκαλεί μείωση των τιμών αυτών. Η μεταβολή της κρισιμότητας σε σχέση με κάθε μια είσοδο φαίνεται στα παρακάτω διαγράμματα. Αυτό που παρατηρείται είναι ότι η κρισιμότητα μεταβάλλεται με τον ίδιο τρόπο και για τις τρεις εισόδους, ενώ λαμβάνει την ίδια μέγιστη και ελάχιστη τιμή, περίπου 0,74 και 0,27 αντίστοιχα.



Σχήμα 4.14: Διάγραμμα απόφασης CRc τις για την είσοδο Cc



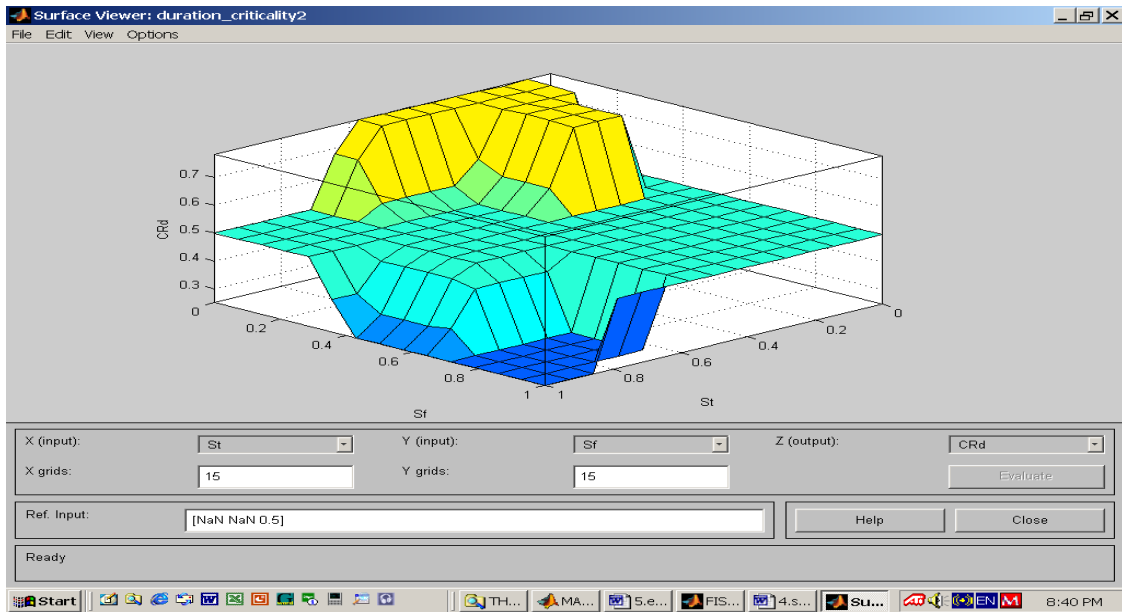
Σχήμα 4.15: Επιφάνεια απόφασης CRc τις για την είσοδο Cov



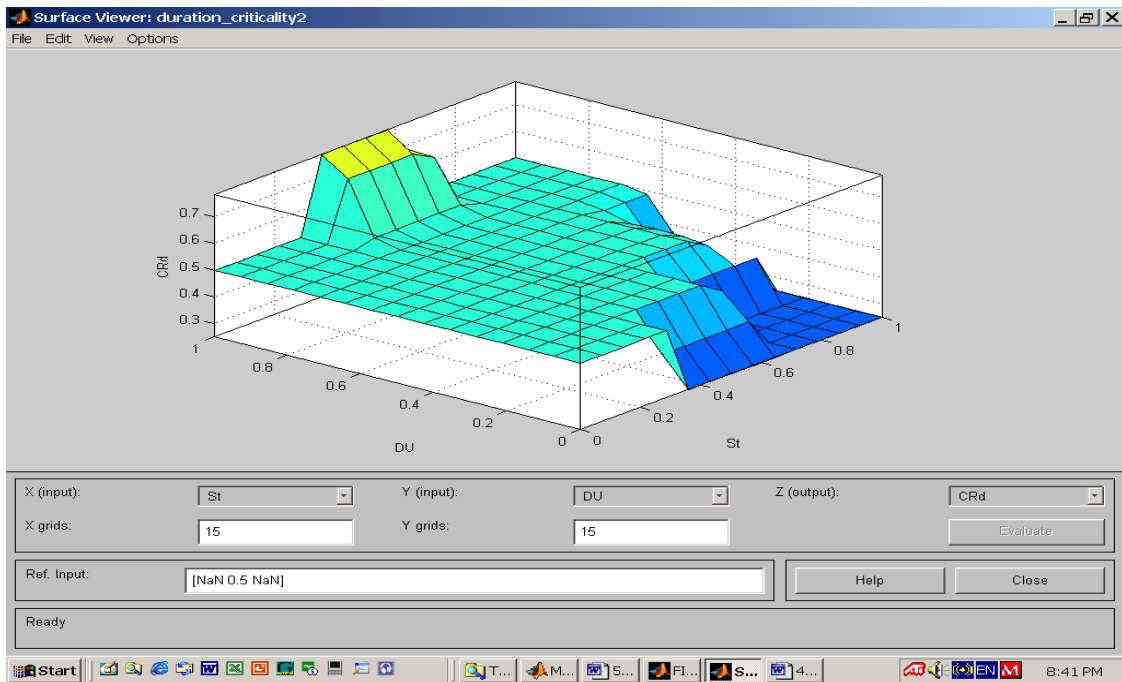
*Σχήμα 4.16: Επιφάνεια απόφασης CRc τις για την είσοδο C Mash*



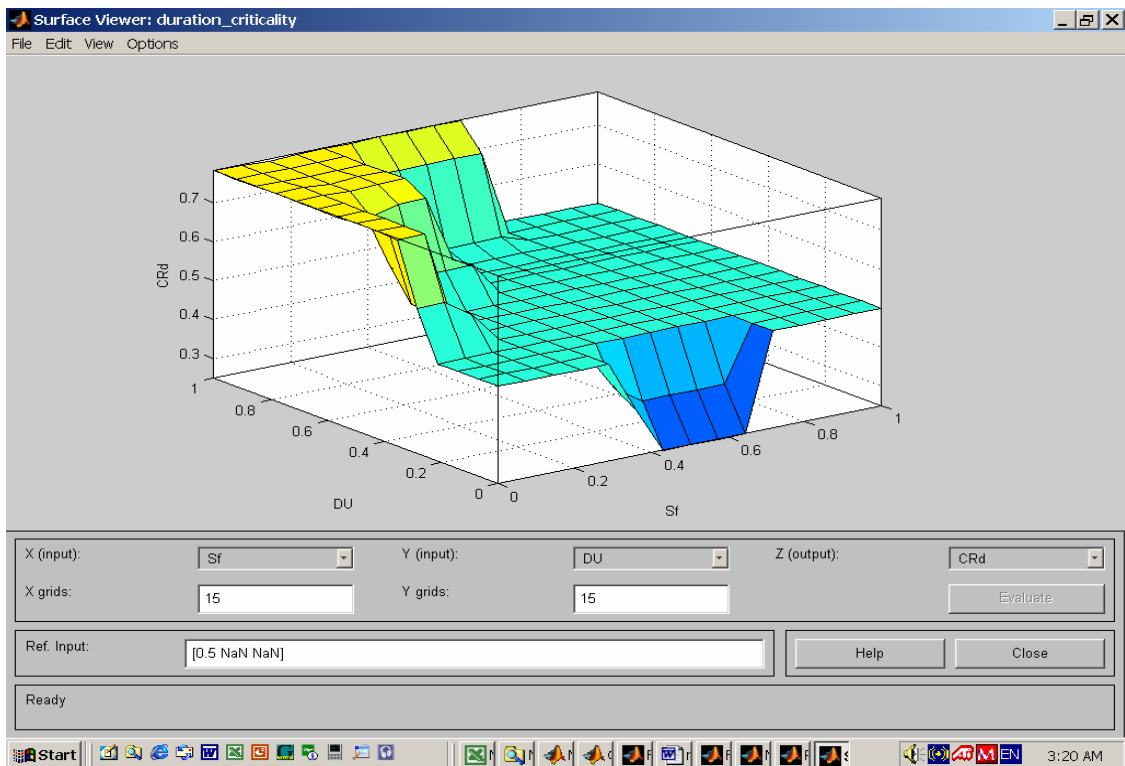
## Σύστημα 2



Σχήμα 4.17: Επιφάνεια απόφασης CRd τις για εισόδους St/Sf

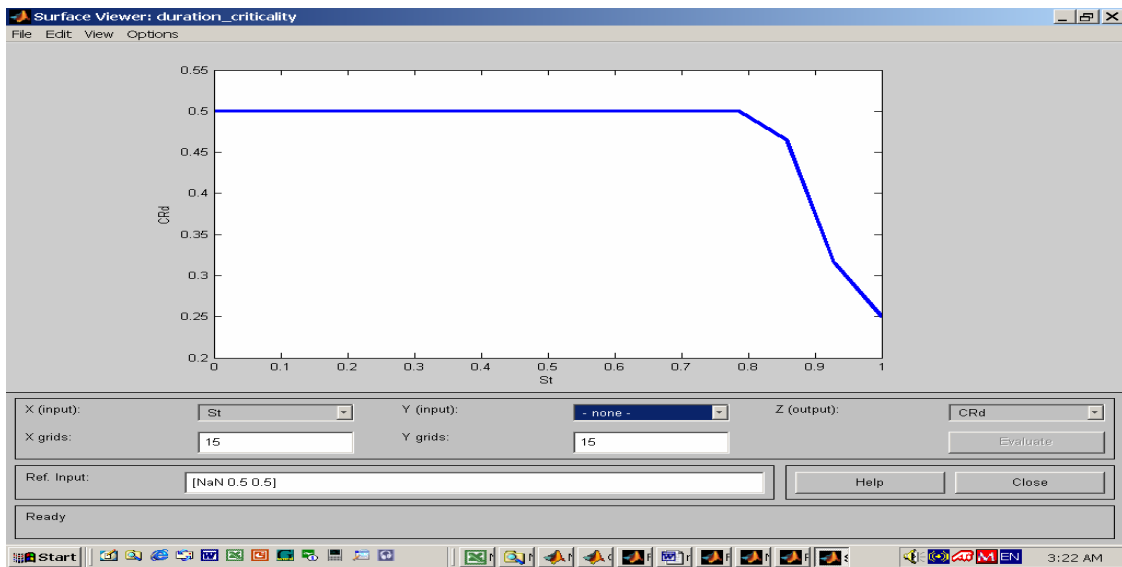


Σχήμα 4.18: Επιφάνεια απόφασης CRd τις για εισόδους St/DU

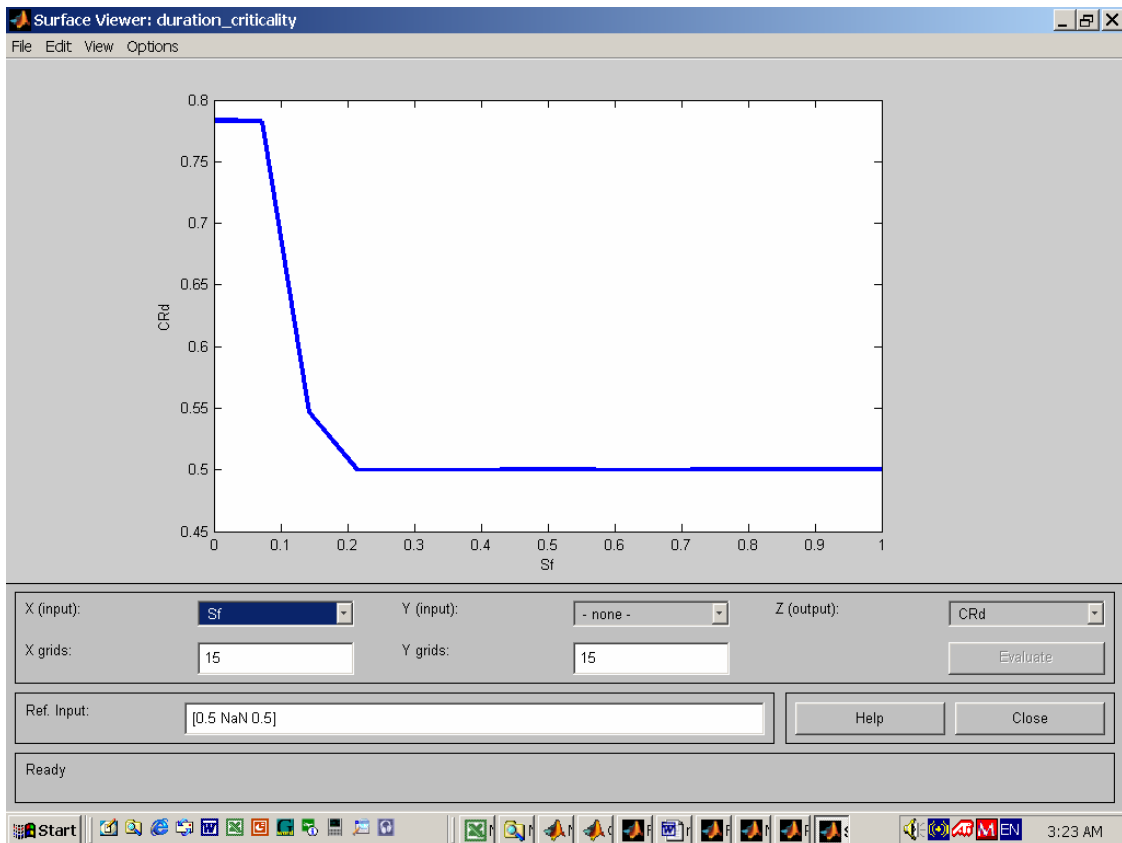


Σχήμα 4.19: Επιφάνεια απόφασης  $CRd$  τις για εισόδους  $Sf/DU$

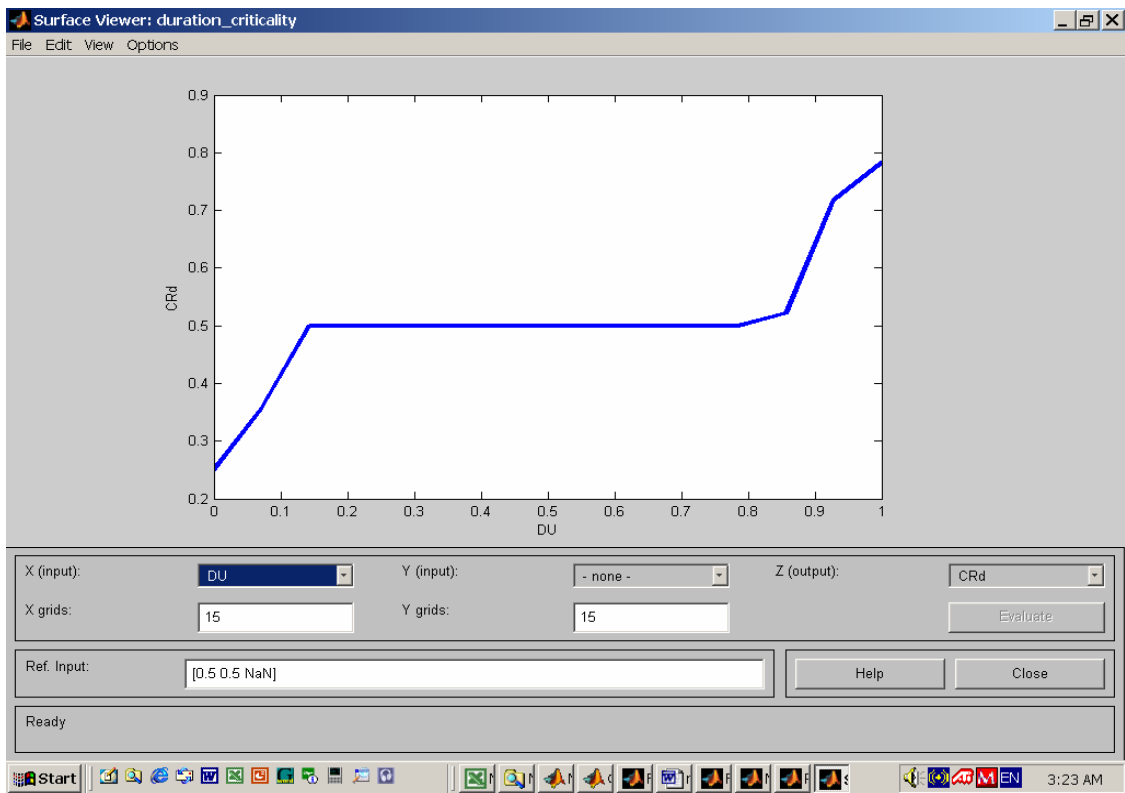
Σε αυτό το σύστημα οι επιφάνειες απόφασης είναι πιο ομαλές και με σταθερές τιμές σε σχέση με τις επιφάνειες απόφασης του πρώτου συστήματος. Αυτό οφείλεται ίσως στον περιορισμένο αριθμό κανόνων σε σχέση με το πρώτο σύστημα. **Οι υψηλές τιμές της κρισιμότητας σε μεγαλύτερο εύρος σε αυτό το σύστημα προέρχονται από τον συνδυασμό των εισόδων διάρκειας/ελεύθερου περιθωρίου ( $DU/Sf$ ).** Όπως προαναφέρθηκε, και στις τρεις επιφάνειες παρατηρείται μεγάλο εύρος σταθερών τιμών κρισιμότητας, ίσων με 0,5, ενώ η παράμετρος της διάρκειας φαίνεται να επηρεάζει μέσω μεγάλων μεταβολών στην τιμή της κρισιμότητας τόσο το συνολικό περιθώριο, όσο και το ελεύθερο περιθώριο. Όσο όμως αυξάνουν οι τιμές των εισόδων  $St$ ,  $Sf$  (ανασταλτικό γεγονός για την κρισιμότητα της δραστηριότητας) η διάρκεια δεν παίζει ρόλο στον καθορισμό της τιμής της κρισιμότητας. Η μεταβολή της εξόδου του συστήματος σε σχέση με κάθε είσοδο παρουσιάζεται στα παρακάτω διαγράμματα.



Σχήμα 4.20: Διάγραμμα απόφασης CRd τις για την είσοδο St



Σχήμα 4.21: Διάγραμμα απόφασης CRd τις για την είσοδο Sf

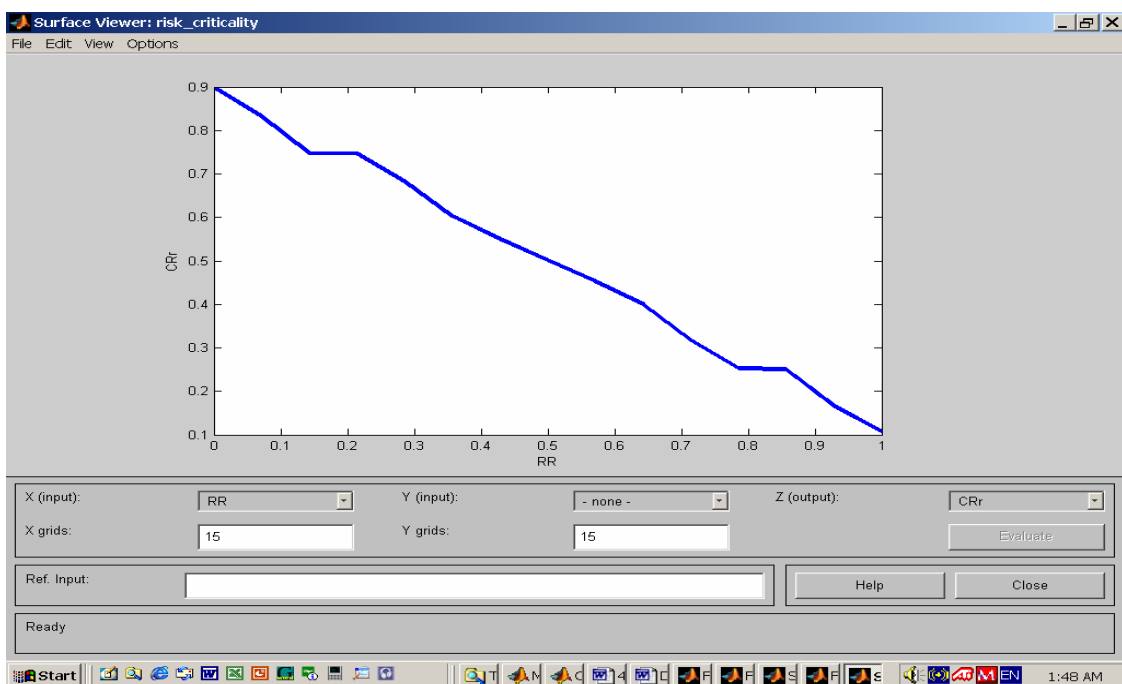


**Σχήμα 4.22: Διάγραμμα απόφασης CRd τις για την είσοδο DU**

Από τα τρία αυτά διαγράμματα συμπεραίνουμε ότι το συνολικό περιθώριο μιας δραστηριότητας επηρεάζει την τιμή της κρισιμότητάς της αρνητικά όταν λαμβάνει πολύ μεγάλες τιμές (πάνω από 0.8) ενώ για εύρος τιμών του συνολικού περιθωρίου από 0 ως 0.8 (σχετικά μεγάλο εύρος τιμών) η κρισιμότητα παραμένει σταθερή και ίση με 0.5, τιμή η οποία χαρακτηρίζεται ως μέτρια. Αντίθετα το ελεύθερο περιθώριο μιας δραστηριότητας επηρεάζει θετικά (προς τα πάνω) την κρισιμότητα μιας δραστηριότητας για μικρό εύρος τιμών από 0 ως 0.2, με μέγιστη τιμή κρισιμότητας το 0.79 περίπου, όπως αναμένονταν από τον ορισμό της εισόδου στο δεύτερο κεφάλαιο. Για τιμές πάνω από 0.2 η τιμή της κρισιμότητας πέφτει στο 0.5 και παραμένει σταθερή. Από τις τιμές της κρισιμότητας στα διαγράμματα 4.18 και 4.19 παρατηρούμε ότι το ελεύθερο περιθώριο επηρεάζει περισσότερο την κρισιμότητα μιας δραστηριότητας από το συνολικό περιθώριο. Τέλος η κρισιμότητα σε σχέση με την διάρκεια μιας δραστηριότητας επηρεάζεται θετικά για τιμές διάρκειας από 0.9 ως 1 (πολύ μεγάλες διάρκειες) με μέγιστη

τιμή κρισιμότητας το 0.79 περίπου, ενώ παραμένει σταθερή και ίση με 0.5 για εύρος τιμών από 0.15 ως 0.9. Από τα παραπάνω θα μπορούσε να πει κανείς ότι δραστηριότητες με πολύ μεγάλες διάρκειες και πολύ μικρό ελεύθερο περιθώριο είναι κρίσιμες προς συμπίεση, ενώ το συνολικό περιθώριο μιας δραστηριότητας δεν επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την κρισιμότητά της.

### Σύστημα 3



*Σχήμα 4.21: Διάγραμμα απόφασης CRr τις για την είσοδο RR*

Από το διάγραμμα του τελευταίου συστήματος προκύπτει ότι η κρισιμότητα μεταβάλλεται σχεδόν γραμμικά σε σχέση με την τιμή του βαθμού επικινδυνότητας μιας δραστηριότητας.

## 5. Παράδειγμα εφαρμογής

### 5.1 Δεδομένα παραδείγματος

Το έργο αφορά την κατασκευή ενός αντλιοστασίου. Πρόκειται για ένα κατασκευαστικό έργο μικρών διαστάσεων, αφού αποτελείται μόλις από 15 δραστηριότητες.

Το διαθέσιμο προσωπικό και οι αντίστοιχες κανονικές και υπερωριακές αμοιβές φαίνονται στον πίνακα 5.1 ενώ οι δραστηριότητες του έργου φαίνονται στον πίνακα 5.2

Αρχικά Πόρου	Περιγραφή Πόρου	Ποσότητα	Κανονική Ημερήσια Αμοιβή (€)	Υπερωριακή Αμοιβή/ώρα (€)
Δ	Διοίκηση	1	59	15
ΕΡ	Εργάτης	7	32	9
Ε	Εργοδηγός	2	44	12
Η	Ηλεκτρολόγος	2	53	13

*Πίνακας 5.1: Διαθέσιμο προσωπικό*

α/α	Δραστηριότητα	Προ/τήσεις	Κανονική διάρκεια (ημέρες)	Εντ/νη διάρκεια (ημέρες)	Εργατικό Δυναμικό
1	Μετακίνηση στο εργοτάξιο	-	5	3	Δ, EP(400%)
2	Παραγγελία υλικών και εξοπλισμού, παραλαβή μερικών υλικών	-	4	2	Δ, EP(300%), H(150%)
3	Προμήθεια δομικών υλικών	2(FS)	10	6	Δ, EP(400%), E
4	Προμήθεια ηλεκτρολογικού εξοπλισμού	2(FS)	5	3	Δ, EP(300%), H (200%)
5	Χάραξη θεμελίων και εκσκαφή για κτίριο και δεξαμενή καυσίμων	1(FS)	3	-	EP(600%), E(200%)
6	Κατασκευή χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων	1(FS)	6	4	EP(300%), E
7	Οπλισμός και τοποθέτηση σκυροδέματος θεμελίων και κατασκευή καλύμματος για τη δεξαμενή	2, 5(FS)	10	9	EP(800%), E(200%)
8	Εγκατάσταση υπόγειας δεξαμενής καυσίμων	3, 5(FS)	4	2	EP(300%), E
9	Κατασκευή ανωδομής	7(FS)	10	5	EP(400%), E(200%)
10	Εγκατάσταση γεννήτριας και αντλιών	4, 9(FS)	2	-	EP(300%), H
11	Εγκατάσταση συστήματος ηλεκτρικών παροχών και πίνακα ελέγχου παροχών	4, 9(FS)	8	5	EP(300%), H(200%)
12	Έλεγχος γεννήτριας και αντλιών	8, 10, 11(FS)	2	1	EP, H
13	Εγκατάσταση ηλεκτρικών παρελκόμενων	9, 11(FS)	1	-	EP(200%), H
14	Χρωματισμός	10, 11, 13(FS)	2	-	EP(200%), E
15	Καθαρισμός και αποχώρηση	6, 12, 14(FS)	2	-	Δ, EP(300%)

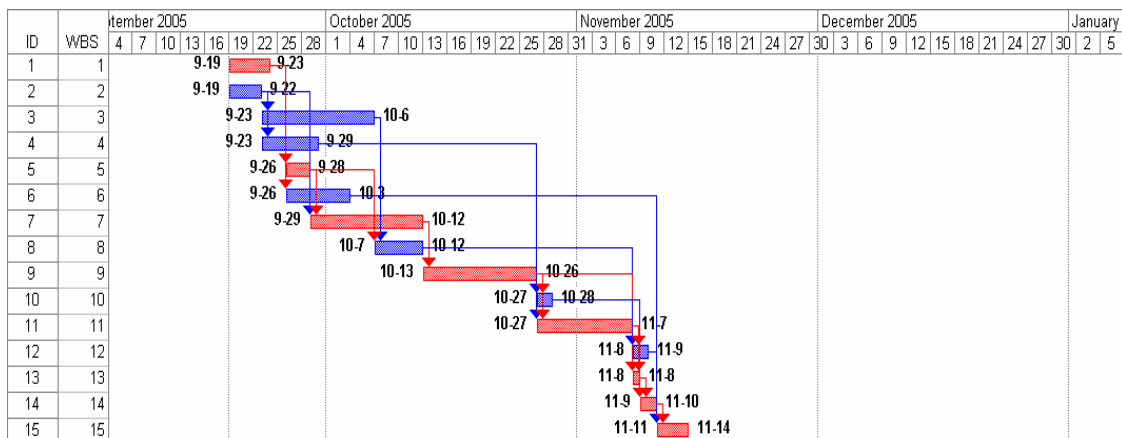
**Πίνακας 5.2: Δραστηριότητες έργου**

Από τον πίνακα 5.2 μπορούμε επίσης να δούμε ότι δεν επιδέχονται όλες οι δραστηριότητες συμπίεση, κυρίως λόγω της φύσης της εργασίας.

## 5.2 Συμπίεση εργασιών μέσω CPM

Το πρόβλημα της συμπίεσης του χρονοδιαγράμματος του έργου θα αντιμετωπιστεί αρχικά με την κλασσική μέθοδο, συμπιέζοντας δηλαδή τις δραστηριότητες που βρίσκονται στην κρίσιμη διαδρομή, όπως αυτή προκύπτει από την μέθοδο CPM. Η συμπίεση θα ξεκινήσει από την εργασία με το μικρότερο κόστος συμπίεσης ανά χρονική διάρκεια και θα ολοκληρωθεί με την συμπίεση όλων των κρίσιμων δραστηριοτήτων.

Με βάση τα δεδομένα του πίνακα 5.2 και την χρήση του προγράμματος Ms Project προκύπτει ότι η αρχική εκτίμηση της διάρκειας του έργου είναι *41 ημέρες*, ενώ το αρχικό κόστος ανέρχεται σε *16.055€*. Το αρχικό διάγραμμα Gantt του έργου φαίνεται στο σχήμα 5.1



**Σχήμα 5.1: Αρχικό διάγραμμα Gantt**

Η αρχική κρίσιμη διαδρομή του έργου αποτελείται από τις παρακάτω δραστηριότητες:



WBS	Δραστηριότητα	Άμεσο κανονικό κόστος (€)	Κανονική διάρκεια (ημ.)
1	Μετακίνηση στο εργοτάξιο	935.00	5.00
5	χάραξη θεμελίων και εκσκαφή για κτίριο και δεξαμενή καυσίμων	840.00	3.00
7	οπλισμός και τοποθέτηση σκυροδέματος θεμελίων/κατασκευή καλύμματος για τη δεξαμενή	3440.00	10.00
9	κατασκευής ανωδομής	2160.00	10.00
11	εγκατάσταση συστήματος ηλεκτρικών παροχών και πίνακα ελέγχου παροχών	1616.00	8.00
13	εγκατάσταση ηλεκτρικών παρελκυσμένων	117.00	1.00
14	χρωματισμός	216.00	2.00
15	καθαρισμός και αποχώρηση	310.00	2.00

**Πίνακας 5.3: δραστηριότητες Κρίσιμης Διαδρομής**

Σύμφωνα με τα δεδομένα του πίνακα 5.2, οι δραστηριότητες 5, 13, 14 και 15 δεν έχουν δυνατότητα συμπίεσης.

Το κόστος εντατικοποιημένης διάρκειας υπολογίζεται ως εξής: από την επιλογή *Task Usage* του Ms Project προκύπτουν οι συνολικές ώρες απασχόλησης κάθε πόρου για μια συγκεκριμένη δραστηριότητα για την κανονική διάρκεια της δραστηριότητας αυτής. Διαιρώντας τις ώρες αυτές με την εντατικοποιημένη διάρκεια της δραστηριότητας, προκύπτουν οι κανονικές και υπερωριακές ώρες απασχόλησης κάθε πόρου ανά ημέρα για την εντατικοποιημένη διάρκεια. Πολλαπλασιάζουμε τις προκύπτουσες ώρες απασχόλησης με τις αντίστοιχες κανονικές και υπερωριακές αμοιβές, οπότε προκύπτει το κόστος εντατικοποιημένης διάρκειας ανά μέρα. Το τελικό κόστος εντατικοποιημένης διάρκειας μιας δραστηριότητας προκύπτει από το γινόμενο του ημερήσιου κόστους εντατικοποίησης επί τις ημέρες της εντατικοποιημένης διάρκειας. Το κόστος συμπίεσης, στη συνέχεια, υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση 2.1.

Οι κρίσιμες δραστηριότητες του έργου, η κανονική και η συμπιεσμένη διάρκεια, το κόστος της κανονικής και της εντατικοποιημένης διάρκειας, και τέλος το κόστος συμπίεσης των συγκεκριμένων δραστηριοτήτων παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4.

WB S	Δραστηριότητα	Κανονική διάρκεια (ημ.)	Εντατικ. διάρκεια (ημ.)	Άμεσο κανονικό κόστος (€)	Κόστος εντατικοποίησης (€)	κόστος συμπίεσης (€)
1	Μετακίνηση στο εργοτάξιο	5.00	3.00	935.00	1057.60	61.30
5	χάραξη θεμελίων και εκσκαφή για κτίριο και δεξαμενή καυσίμων	3.00		840.00		
7	οπλισμός και τοποθέτηση σκυροδέματος θεμελίων/κατασκευή καλύμματος για τη δεξαμενή	10.00	9.00	3440.00	4240.00	800.00
9	κατασκευής ανωδομής	10.00	5.00	2160.00	2880.00	144.00
11	εγκατάσταση συστήματος ηλεκτρικών παροχών και πίνακα ελέγχου παροχών	8.00	5.00	1616.00	1922.40	102.13
13	εγκατάσταση ηλεκτρικών παρελκυομένων	1.00		117.00		
14	χρωματισμός	2.00		216.00		
15	καθαρισμός και αποχώρηση	2.00		310.00		

**Πίνακας 5.4: κόστος συμπίεσης εργασιών κρίσιμης διαδρομής**

Από τα δεδομένα του πίνακα 5.4 έχουμε ότι η σειρά συμπίεσης των κρίσιμων δραστηριοτήτων με βάση το κόστος συμπίεσης είναι η ακόλουθη:

1. Μετακίνηση στο εργοτάξιο
11. Εγκατάσταση συστήματος ηλεκτρικών παροχών και πίνακα ελέγχου παροχών
9. Κατασκευή ανωδομής
7. Οπλισμός και τοποθέτηση σκυροδέματος θεμελίων/κατασκευή καλύμματος δεξαμενής

**Βήμα 1<sup>ο</sup>: συμπίεση δραστηριότητας 1**

Συμπίεση : 2 μέρες

Διάρκεια έργου: 39 μέρες

Κόστος έργου: 16.177,60€ (αρχικό κόστος + μέρες συμπίεσης\*κόστος συμπίεσης)

Το διάγραμμα Gantt μετά το πρώτο βήμα συμπίεσης φαίνεται στο σχήμα 5.2



Η κρίσιμη διαδρομή παραμένει ίδια οπότε συνεχίζουμε με τη συμπίεση της δραστηριότητας 9.

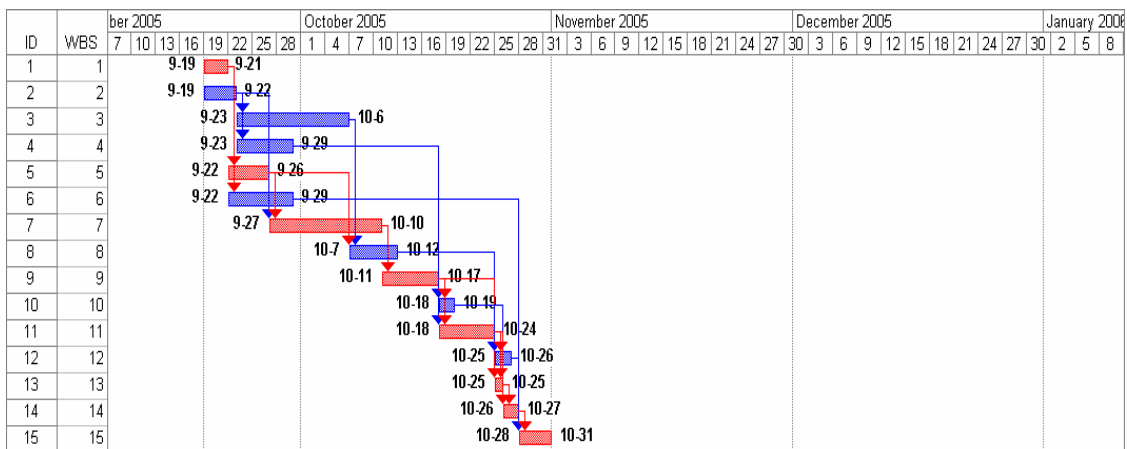
**Βήμα 3<sup>ο</sup>: συμπίεση δραστηριότητας 9**

Συμπίεση : 5 μέρες

Διάρκεια έργου: 31 μέρες

Κόστος έργου: 17.204€

Το διάγραμμα Gantt μετά το τρίτο βήμα συμπίεσης φαίνεται στο σχήμα 5.4



**Σχήμα 5.4: Διάγραμμα Gantt μετά το τρίτο βήμα συμπίεσης**

Η κρίσιμη διαδρομή του έργου εξακολουθεί να παραμένει η ίδια, οπότε προχωρούμε στο τέταρτο βήμα της συμπίεσης.

**Βήμα 4<sup>ο</sup>: συμπίεση δραστηριότητας 7**

Συμπίεση : 1 μέρα

Διάρκεια έργου: 30 μέρες

Κόστος έργου: 18.004€



### 5.3 Συμπίεση εργασιών μέσω ασαφούς συστήματος

Για να πραγματοποιηθεί η συμπίεση των δραστηριοτήτων του έργου, πρέπει πρώτα να υπολογιστούν οι τιμές των εισόδων των τριών ασαφών υπο-συστημάτων για κάθε δραστηριότητα. Για τον λόγο αυτό, πρέπει να υπολογιστούν το κόστος συμπίεσης, το κόστος υπερανάθεσης, το συνολικό περιθώριο, το ελεύθερο περιθώριο, ο λόγος διάρκειας εργασίας προς την συνολική διάρκεια του έργου και τέλος ο βαθμός επικινδυνότητας. Σε αυτό το σημείο πρέπει να πούμε ότι επειδή δεν υπάρχουν οι απαραίτητες πληροφορίες για τυχόν ενοικίαση μηχανημάτων ή εγκαταστάσεων κατά τη διάρκεια του έργου, δεν έχει νόημα ο υπολογισμός του κόστους παγίων, όπως αυτό έχει οριστεί στο δεύτερο κεφάλαιο.

#### Σύστημα 1

Στον πίνακα 5.2 παρουσιάζονται οι κανονικές διάρκειες και το ποσοστό μείωσης της διάρκειας που επιδέχεται κάθε δραστηριότητα, ώστε να εντατικοποιηθεί. Από το Ms Project προκύπτει το κόστος κάθε δραστηριότητας (στήλη *cost*), με βάση τα δεδομένα των πινάκων 5.1 και 5.2 . Το κόστος εντατικοποίησης των δραστηριοτήτων που επιδέχονται συμπίεση, και κατά συνέπεια το κόστος συμπίεσης, υπολογίζονται μέσω του προγράμματος excel, όπως και στην περίπτωση της κλασσικής συμπίεσης. Το κόστος υπερανάθεσης των δραστηριοτήτων προκύπτει από την σχέση 2.2 , έχοντας ως δεδομένα την υπερωριακή αμοιβή των εμπλεκόμενων πόρων σε κάθε δραστηριότητα και τις ώρες υπερωριακής απασχόλησης, οι οποίες προκύπτουν από την επιλογή *Recourse Usage* του Ms Project. Αναλυτικότερα, από την επιλογή *Resource Usage* προκύπτουν οι ημέρες κατά τις οποίες ένας πόρος είναι υπεραναθετημένος (σημειώνονται με κόκκινο χρώμα) και οι συνολικές ώρες απασχόλησής του την ημέρα αυτή. Αφαιρώντας από αυτές τις ώρες τις διατιθέμενες (ποσότητα πόρων επί 8ωρο) προκύπτουν οι ώρες υπερανάθεσης οι οποίες μοιράζονται στις δραστηριότητες εκείνης της ημέρας. Τέλος, όπως προαναφέρθηκε, το κόστος παγίων θα είναι για όλες τις δραστηριότητες ίσο με μηδέν. Τα

αποτελέσματα των υπολογισμών για τις εισόδους του πρώτου ασαφούς συστήματος παρουσιάζονται στον πίνακα 5.5.

WBS	Δραστηριότητα	Κόστος εντατικοποίησης (€)	κόστος συμπίεσης (€)	Κόστος Υπερανάθεσης Κ <sub>γπ</sub>	είσοδος Cc	είσοδος C <sub>ov</sub>	είσοδος C <sub>mash</sub>
					<b>391.585</b>	<b>9707.740</b>	
1	Μετακίνηση στο εργοτάξιο	1057.60	61.30	415.98	0.157	0.043	0
2	παραγγελία υλικών και εξοπλισμού, παραλαβή μερικών υλικών	1162.56	112.28	240.00	0.287	0.025	0
3	προμήθεια δομικών υλικών	2555.20	61.30	2572.74	0.157	0.265	0
4	προμήθεια ηλεκτρολογικού εξοπλισμού	1631.84	163.42	1099.98	0.417	0.113	0
6	κατασκευή χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων	840.00	0.00	1475.46	0.000	0.152	0
7	οπλισμός και τοποθέτηση σκυροδέματος θεμελίων/κατασκευή καλύμματος για τη δεξαμενή	4240.00	800.00	2249.58	2.043	0.232	0
8	εγκατάσταση υπόγειας δεξαμενής καυσίμων	560.00	0.00	768.00	0.000	0.079	0
9	κατασκευής ανωδομής	2880.00	144.00	0.00	0.368	0.000	0
11	εγκατάσταση συστήματος ηλεκτρικών παροχών και πίνακα ελέγχου παροχών	1922.40	102.13	104.00	0.261	0.011	0
12	έλεγχος γεννήτριας και αντλιών	170.08	0.08	0.00	0.000	0.000	0

**Πίνακας 5.5: τιμές εισόδων ασαφούς συστήματος κόστους**

## Σύστημα 2

Το συνολικό και το ελεύθερο περιθώριο των δραστηριοτήτων υπολογίζονται απευθείας από το Ms Project (στήλες *Total slack* και *Free slack* αντίστοιχα) . Ο υπολογισμός των εισόδων του δεύτερου συστήματος γίνεται μέσω excel, με βάση τις σχέσεις ορισμού των μεγεθών αυτών από το κεφάλαιο 4. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 5.6

WBS	Δραστηριότητα	κανονική διάρκεια (ημ.)	συνολικό περιθώριο (ημ.)	ελεύθερο περιθώριο (ημ.)	είσοδος St	είσοδος Sf	είσοδος DU
		<b>41</b>					
1	Μετακίνηση στο εργοτάξιο	5	0	0	0.00	0.00	0.12
2	παραγγελία υλικών και εξοπλισμού, παραλαβή μερικών υλικών	4	4	0	0.10	0.00	0.10
3	προμήθεια δομικών υλικών	10	19	0	0.46	0.00	0.24
4	προμήθεια ηλεκτρολογικού εξοπλισμού	5	5	5	0.12	0.12	0.12
6	κατασκευή χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων	6	28	28	0.68	0.68	0.15
7	οπλισμός και τοποθέτηση σκυροδέματος θεμελίων/κατασκευή καλύμματος για τη δεξαμενή	10	0	0	0.00	0.00	0.24
8	εγκατάσταση υπόγειας δεξαμενής καυσίμων	4	19	18	0.46	0.44	0.10
9	κατασκευής ανωδομής	10	0	0	0.00	0.00	0.24
11	εγκατάσταση συστήματος ηλεκτρικών παροχών και πίνακα ελέγχου παροχών	8	0	0	0.00	0.00	0.20
12	έλεγχος γεννήτριας και αντλιών	2	1	1	0.02	0.02	0.05

*Πίνακας 5.6: τιμές εισόδων ασαφούς συστήματος διάρκειας*

### Σύστημα 3

Όπως έχει προαναφερθεί, για τον υπολογισμό του βαθμού επικινδυνότητας των δραστηριοτήτων του έργου, θα χρησιμοποιηθεί ο πίνακας 2.4, όπου μια δραστηριότητα χαρακτηρίζεται ως ρισοκίνδυνη ανάλογα με τον βαθμό εκπλήρωσης ορισμένων χαρακτηριστικών. Η βαθμολόγηση κάποιων από αυτά τα χαρακτηριστικά θα γίνει με βάση την φύση της υπό εξέταση δραστηριότητας και την κρίση του βαθμολογητή, ενώ η βαθμολόγηση των υπολοίπων θα γίνει με βάση αριθμητικά δεδομένα. Τα δεδομένα που απαιτούνται για την βαθμολόγηση των αντίστοιχων χαρακτηριστικών, φαίνονται στον πίνακα 5.7, και αφορούν την διάρκεια, το κόστος, την χρήση σπάνιων πόρων, την χρήση ειδικευμένου προσωπικού και τον επηρεασμό διαδοχικών δραστηριοτήτων. Τα μεγέθη αυτά είναι απόλυτα και προκύπτουν από υπολογισμούς. Τα τελικά αποτελέσματα από τον υπολογισμό του βαθμού επικινδυνότητας των δραστηριοτήτων που επιδέχονται παρουσιάζονται στον πίνακα 5.8.



Πρέπει σε αυτό το σημείο να ορίσουμε το ειδικευμένο προσωπικό και τους σπάνιους πόρους του έργου σύμφωνα με τον ορισμό που δόθηκε στο δεύτερο κεφάλαιο και τα δεδομένα του έργου. Ως ειδικευμένο προσωπικό θα θεωρηθούν ο Ηλεκτρολόγος και ο Εργοδηγός, καθώς οι ειδικές τους γνώσεις είναι απαραίτητες για την περάτωση των εργασιών. Οι σπάνιοι πόροι του έργου θα είναι αυτοί των οποίων το κόστος είναι μεγαλύτερο από 40% από τον μέσο όρο των αμοιβών και ταυτόχρονα η διαθεσιμότητά τους μικρότερη από 15% από τον μέσο όρο του ανθρώπινου δυναμικού. Από τα δεδομένα του πίνακα 5.1 προκύπτει ότι κανένας πόρος δεν πληροί και τις δυο προϋποθέσεις.

WBS	Δραστηριότητα	κόστος εργασίας / συνολικό κόστος	ειδικευμένο προσωπικό / προσωπικό εργασίας x%	επηρεασμός διαδοχικών εργασιών	ποσοστό χρήσης σπάνιων πόρων / συν. πόροι εργασίας x%	διάρκεια εργασίας / διάρκεια έργου
		<b>16055.000</b>				<b>41.00</b>
1	Μετακίνηση στο εργοτάξιο	5.82%	0.00%	2.00	0.00%	12.20%
2	παραγγελία υλικών και εξοπλισμού, παραλαβή μερικών υλικών	5.84%	27.27%	3.00	0.00%	9.76%
3	προμήθεια δομικών υλικών	14.39%	16.67%	1.00	0.00%	24.39%
4	προμήθεια ηλεκτρολογικού εξοπλισμού	8.13%	33.33%	2.00	0.00%	12.20%
6	κατασκευή χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων	5.23%	25.00%	1.00	0.00%	14.63%
7	οπλισμός και τοποθέτηση σκυροδέματος θεμελίων/κατασκευή καλύμματος για τη δεξαμενή	21.43%	20.00%	1.00	0.00%	24,39%
8	εγκατάσταση υπόγειας δεξαμενής καυσίμων	3.49%	25.00%	1.00	0.00%	9.76%
9	κατασκευής ανωδομής	13.45%	33.33%	3.00	0.00%	24.39%
11	εγκατάσταση συστήματος ηλεκτρικών παροχών και πίνακα ελέγχου παροχών	10.07%	40.00%	3.00	0.00%	19.51%
12	έλεγχος γεννήτριας και αντλιών	1.06%	50.00%	1.00	0.00%	4.88%

*Πίνακας 5.7: Αριθμητικά δεδομένα για βαθμολόγηση κινδύνου*

WBS	Δραστηριότητα	Βαθμός επικινδυνότητας	Είσοδος RR
1	Μετακίνηση στο εργοτάξιο	12	0.24
2	παραγγελία υλικών και εξοπλισμού, παραλαβή μερικών υλικών	19	0.38
3	προμήθεια δομικών υλικών	21	0.42
4	προμήθεια ηλεκτρολογικού εξοπλισμού	20	0.4
6	κατασκευή χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων	17	0.34
7	οπλισμός και τοποθέτηση σκυροδέματος θεμελίων/κατασκευή καλύμματος για τη δεξαμενή	21	0.42
8	εγκατάσταση υπόγειας δεξαμενής καυσίμων	16	0.32
9	κατασκευής ανωδομής	25	0.5
11	εγκατάσταση συστήματος ηλεκτρικών παροχών και πίνακα ελέγχου παροχών	23	0.46
12	έλεγχος γεννήτριας και αντλιών	15	0.3

**Πίνακας 5.8: τιμές εισόδων ασαφούς συστήματος κινδύνου**

Από την εισαγωγή των δεδομένων από τους πίνακες 5.5, 5.6 και 5.8 στο Fuzzy Toolbox, προκύπτει για κάθε δραστηριότητα ένας βαθμός κρισιμότητας ανά κατηγορία κριτηρίων κρισιμότητας. Στη συνέχεια υπολογίζεται με βάση την σχέση 4.1 ο τελικός βαθμός κρισιμότητας της κάθε δραστηριότητας, βάσει του οποίου θα επιλεγεί η καταλληλότερη προς συμπίεση δραστηριότητα.

Με βάση τα αρχικά δεδομένα του συστήματος προκύπτουν οι βαθμοί κρισιμότητας CRc, CRd, CRr και ο τελικός βαθμός κρισιμότητας CR.



*Αρχικό κόστος: 16.055€*

*Αρχική διάρκεια: 41 μέρες*

WBS	Δραστηριότητα	είσοδος Cc	είσοδος Cov	είσοδος Cmash	CRc	είσοδος St	είσοδος Sf	είσοδος DU	CRd	Είσοδος RR	CRr	CR	MAX
1	Μετακίνηση στο εργοτάξιο	0.157	0.043	0.000	<b>0.531</b>	0.000	0.000	0.122	<b>0.980</b>	0.240	<b>0.748</b>	<b>0.679</b>	<b>0.718</b>
2	παραγγελία υλικών και εξοπλισμού, παραλαβή μερικών υλικών	0.287	0.025	0.000	<b>0.526</b>	0.098	0.000	0.098	<b>0.741</b>	0.380	<b>0.584</b>	<b>0.623</b>	
3	προμήθεια δομικών υλικών	0.157	0.265	0.000	<b>0.500</b>	0.463	0.000	0.244	<b>0.500</b>	0.420	<b>0.556</b>	<b>0.513</b>	
4	προμήθεια ηλεκτρολογικού εξοπλισμού	0.417	0.113	0.000	<b>0.495</b>	0.122	0.122	0.122	<b>0.646</b>	0.400	<b>0.568</b>	<b>0.571</b>	
6	κατασκευή χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων	0.000	0.152	0.000	<b>0.532</b>	0.683	0.683	0.146	<b>0.349</b>	0.340	<b>0.619</b>	<b>0.495</b>	
7	σπλισμός και τοποθέτηση σκυροδέματος θεμελίων/κατασκευή καλύμματος για τη δεξαμενή	2.043	0.232	0.000	<b>0.265</b>	0.000	0.000	0.244	<b>0.980</b>	0.420	<b>0.556</b>	<b>0.529</b>	
8	εγκατάσταση υπόγειας δεξαμενής καυσίμων	0.000	0.079	0.000	<b>0.655</b>	0.463	0.439	0.098	<b>0.490</b>	0.320	<b>0.639</b>	<b>0.589</b>	
9	κατασκευής ανωδομής	0.368	0.000	0.000	<b>0.532</b>	0.000	0.000	0.244	<b>0.980</b>	0.500	<b>0.502</b>	<b>0.599</b>	
11	εγκατάσταση συστήματος ηλεκτρικών παροχών και πίνακα ελέγχου παροχών	0.261	0.011	0.000	<b>0.525</b>	0.000	0.000	0.195	<b>0.980</b>	0.460	<b>0.53</b>	<b>0.607</b>	
12	έλεγχος γεννήτριας και αντλιών	0.000	0.000	0.000	<b>0.732</b>	0.024	0.024	0.049	<b>0.980</b>	0.300	<b>0.662</b>	<b>0.718</b>	

Από τα αποτελέσματα του πίνακα προκύπτει ότι η πρώτη προς συμπίεση δραστηριότητα είναι η 12(έλεγχος γεννήτριας και αντλιών). Η δραστηριότητα αυτή είναι μη κρίσιμη με την κλασσική έννοια του όρου, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από το αρχικό διάγραμμα Gantt (σχ.5.1).

### **Βήμα 1<sup>ο</sup>: συμπίεση δραστηριότητας 12**

Συμπίεση : 1 μέρα

Διάρκεια έργου: 41 μέρες

Κόστος έργου: 16.055,08€

Οι τιμές των εισόδων και των εξόδων των ασαφών συστημάτων μετά την συμπίεση της δραστηριότητας 12 φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

WBS	Δραστηριότητα	είσοδος Cc	είσοδος Cov	είσοδος C Mash	CRc	είσοδος St	είσοδος Sf	είσοδος DU	CRd	Είσοδος RR	CRr	CR	MAX
1	Μετακίνηση στο εργοτάξιο	0.157	0.043	0.000	<b>0.531</b>	0.000	0.000	0.122	<b>0.980</b>	0.240	<b>0.748</b>	<b>0.745</b>	<b>0.745</b>
2	παραγγελία υλικών και εξοπλισμού, παραλαβή μερικών υλικών	0.287	0.025	0.000	<b>0.526</b>	0.098	0.000	0.098	<b>0.741</b>	0.380	<b>0.584</b>	<b>0.611</b>	
3	προμήθεια δομικών υλικών	0.157	0.265	0.000	<b>0.500</b>	0.463	0.000	0.244	<b>0.500</b>	0.420	<b>0.556</b>	<b>0.513</b>	
4	προμήθεια ηλεκτρολογικού εξοπλισμού	0.417	0.113	0.000	<b>0.495</b>	0.122	0.122	0.122	<b>0.646</b>	0.400	<b>0.568</b>	<b>0.564</b>	
6	κατασκευή χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων	0.000	0.152	0.000	<b>0.532</b>	0.683	0.683	0.146	<b>0.349</b>	0.340	<b>0.619</b>	<b>0.495</b>	
7	οπλισμός και τοποθέτηση σκυροδέματος θεμελίων/κατασκευή καλύμματος για τη δεξαμενή	2.043	0.232	0.000	<b>0.265</b>	0.000	0.000	0.244	<b>0.980</b>	0.420	<b>0.556</b>	<b>0.594</b>	
8	εγκατάσταση υπόγειας δεξαμενής καυσίμων	0.000	0.079	0.000	<b>0.655</b>	0.463	0.439	0.098	<b>0.490</b>	0.320	<b>0.639</b>	<b>0.589</b>	
9	κατασκευής ανωδομής	0.368	0.000	0.000	<b>0.532</b>	0.000	0.000	0.244	<b>0.980</b>	0.500	<b>0.502</b>	<b>0.665</b>	
11	εγκατάσταση συστήματος ηλεκτρικών παροχών και πίνακα ελέγχου παροχών	0.261	0.011	0.000	<b>0.525</b>	0.000	0.000	0.195	<b>0.980</b>	0.460	<b>0.53</b>	<b>0.672</b>	

Η επόμενη δραστηριότητα προς συμπίεση είναι η 1.

### **Βήμα 2<sup>ο</sup>: συμπίεση δραστηριότητας 1**

Συμπίεση : 2 μέρες

Διάρκεια έργου: 39 μέρες

Κόστος έργου: 16.177,68€

Η διαμόρφωση των απαραίτητων δεδομένων μετά τη συμπίεση της δραστηριότητας 1 φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

WBS	Δραστηριότητα	είσοδος Cc	είσοδος Cov	είσοδος C Mash	CRc	είσοδος St	είσοδος Sf	είσοδος DU	CRd	Είσοδος RR	CRr	CR	MAX
2	παραγγελία υλικών και εξοπλισμού, παραλαβή μερικών υλικών	0.271	0.025	0.000	<b>0.526</b>	0.051	0.000	0.103	<b>0.927</b>	0.420	<b>0.556</b>	<b>0.663</b>	<b>0.672</b>
3	προμήθεια δομικών υλικών	0.148	0.265	0.000	<b>0.500</b>	0.462	0.000	0.256	<b>0.510</b>	0.420	<b>0.556</b>	<b>0.517</b>	
4	προμήθεια ηλεκτρολογικού εξοπλισμού	0.394	0.113	0.000	<b>0.498</b>	0.436	0.436	0.128	<b>0.500</b>	0.400	<b>0.568</b>	<b>0.517</b>	
6	κατασκευή χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων	0.000	0.152	0.000	<b>0.532</b>	0.718	0.718	0.154	<b>0.250</b>	0.340	<b>0.619</b>	<b>0.462</b>	
7	οπλισμός και τοποθέτηση σκυροδέματος θεμελίων/κατασκευή καλύμματος για τη δεξαμενή	1.929	0.232	0.000	<b>0.265</b>	0.000	0.000	0.256	<b>0.980</b>	0.460	<b>0.53</b>	<b>0.586</b>	
8	εγκατάσταση υπόγειας δεξαμενής καυσίμων	0.000	0.079	0.000	<b>0.655</b>	0.462	0.410	0.103	<b>0.500</b>	0.360	<b>0.601</b>	<b>0.579</b>	
9	κατασκευής ανωδομής	0.347	0.000	0.000	<b>0.535</b>	0.000	0.000	0.256	<b>0.980</b>	0.500	<b>0.502</b>	<b>0.666</b>	
11	εγκατάσταση συστήματος ηλεκτρικών παροχών και πίνακα ελέγχου παροχών	0.246	0.011	0.000	<b>0.525</b>	0.000	0.000	0.205	<b>0.980</b>	0.460	<b>0.53</b>	<b>0.672</b>	

Η δραστηριότητα με το μεγαλύτερο βαθμό κρισιμότητας είναι η 11, οπότε είναι η επόμενη προς συμπίεση δραστηριότητα.

**Βήμα 3<sup>ο</sup>: συμπίεση δραστηριότητας 11**

Συμπίεση : 3 μέρες  
 Διάρκεια έργου: 36 μέρες  
 Κόστος έργου: 16.484,07€

Η διαμόρφωση των απαραίτητων δεδομένων μετά τη συμπίεση της δραστηριότητας 11 φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

WBS	Δραστηριότητα	είσοδος Cc	είσοδος Cov	είσοδος C Mash	CRc	είσοδος St	είσοδος Sf	είσοδος DU	CRd	Είσοδος RR	CRr	CR	MAX
2	παραγγελία υλικών και εξοπλισμού, παραλαβή μερικών υλικών	0.245	0.025	0.000	<b>0.525</b>	0.056	0.000	0.111	<b>0.814</b>	0.420	<b>0.556</b>	<b>0.625</b>	<b>0.664</b>
3	προμήθεια δομικών υλικών	0.134	0.265	0.000	<b>0.500</b>	0.417	0.000	0.278	<b>0.566</b>	0.420	<b>0.556</b>	<b>0.535</b>	
4	προμήθεια ηλεκτρολογικού εξοπλισμού	0.357	0.113	0.000	<b>0.499</b>	0.472	0.472	0.139	<b>0.500</b>	0.400	<b>0.568</b>	<b>0.517</b>	
6	κατασκευή χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων	0.000	0.152	0.000	<b>0.532</b>	0.778	0.778	0.167	<b>0.250</b>	0.340	<b>0.619</b>	<b>0.462</b>	
7	οπλισμός και τοποθέτηση σκυροδέματος θεμελίων/κατασκευή καλύμματος για τη δεξαμενή	1.747	0.232	0.000	<b>0.265</b>	0.000	0.000	0.278	<b>0.980</b>	0.460	<b>0.53</b>	<b>0.586</b>	
8	εγκατάσταση υπόγειας δεξαμενής καυσίμων	0.000	0.079	0.000	<b>0.655</b>	0.472	0.361	0.111	<b>0.500</b>	0.360	<b>0.601</b>	<b>0.579</b>	
9	κατασκευής ανωδομής	0.314	0.000	0.000	<b>0.529</b>	0.000	0.000	0.278	<b>0.980</b>	0.500	<b>0.502</b>	<b>0.664</b>	

Από τα δεδομένα του πίνακα προκύπτει ότι η επόμενη δραστηριότητα προς συμπίεση είναι η 9.

**Βήμα 4<sup>ο</sup>: συμπίεση δραστηριότητας 9**

Συμπίεση : 5 μέρες  
 Διάρκεια έργου: 31 μέρες  
 Κόστος έργου: 17.204,07€

Η διαμόρφωση των απαραίτητων δεδομένων μετά τη συμπίεση της δραστηριότητας 9 φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

WB S	Δραστηριότητα	είσοδος Cc	είσοδος Cov	είσοδος C <sub>mash</sub>	CRc	είσοδος St	είσοδος Sf	είσοδος DU	CRd	Είσοδος RR	CRr	CR	MAX
2	παραγγελία υλικών και εξοπλισμού, παραλαβή μερικών υλικών	0.202	0.025	0.000	<b>0.526</b>	0.065	0.000	0.129	<b>0.755</b>	0.420	<b>0.556</b>	<b>0.606</b>	<b>0.606</b>
3	προμήθεια δομικών υλικών	0.110	0.265	0.000	<b>0.500</b>	0.323	0.000	0.323	<b>0.740</b>	0.420	<b>0.556</b>	<b>0.593</b>	
4	προμήθεια ηλεκτρολογικού εξοπλισμού	0.294	0.113	0.000	<b>0.500</b>	0.387	0.387	0.161	<b>0.500</b>	0.400	<b>0.568</b>	<b>0.517</b>	
6	κατασκευή χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων	0.000	0.152	0.000	<b>0.532</b>	0.645	0.645	0.194	<b>0.446</b>	0.320	<b>0.639</b>	<b>0.534</b>	
7	οπλισμός και τοποθέτηση σκυροδέματος θεμελίων/κατασκευή καλύμματος για τη δεξαμενή	1.442	0.232	0.000	<b>0.265</b>	0.000	0.000	0.323	<b>0.980</b>	0.420	<b>0.556</b>	<b>0.594</b>	
8	εγκατάσταση υπόγεια δεξαμενής καυσίμων	0.000	0.079	0.000	<b>0.655</b>	0.323	0.258	0.129	<b>0.500</b>	0.360	<b>0.601</b>	<b>0.579</b>	

Από τα δεδομένα του πίνακα προκύπτει ότι η επόμενη δραστηριότητα προς συμπίεση είναι η 2.

#### Βήμα 5<sup>ο</sup>: συμπίεση δραστηριότητας 2

Συμπίεση : 2 μέρες

Διάρκεια έργου: 31 μέρες

Κόστος έργου: 17.428,63€

Η διαμόρφωση των απαραίτητων δεδομένων μετά τη συμπίεση της δραστηριότητας 2 φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

WBS	Δραστηριότητα	είσοδος Cc	είσοδος Cov	είσοδος C <sub>mash</sub>	CRc	είσοδος St	είσοδος Sf	είσοδος DU	CRd	Είσοδος RR	CRr	CR	MAX
3	προμήθεια δομικών υλικών	0.109	0.265	0.000	<b>0.500</b>	0.387	0.000	0.323	<b>0.740</b>	0.420	<b>0.556</b>	<b>0.593</b>	<b>0.594</b>
4	προμήθεια ηλεκτρολογικού εξοπλισμού	0.291	0.113	0.000	<b>0.500</b>	0.452	0.452	0.161	<b>0.500</b>	0.400	<b>0.568</b>	<b>0.517</b>	
6	κατασκευή χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων	0.000	0.152	0.000	<b>0.532</b>	0.645	0.645	0.194	<b>0.446</b>	0.320	<b>0.639</b>	<b>0.534</b>	
7	οπλισμός και τοποθέτηση σκυροδέματος θεμελίων/κατασκευή καλύμματος για τη δεξαμενή	1.423	0.232	0.000	<b>0.265</b>	0.000	0.000	0.323	<b>0.980</b>	0.420	<b>0.556</b>	<b>0.594</b>	
8	εγκατάσταση υπόγεια δεξαμενής καυσίμων	0.000	0.079	0.000	<b>0.655</b>	0.387	0.323	0.129	<b>0.500</b>	0.360	<b>0.601</b>	<b>0.579</b>	

Από τα δεδομένα του πίνακα προκύπτει ότι η επόμενη δραστηριότητα προς συμπίεση είναι η 7.

**Βήμα 6':συμπίεση δραστηριότητας 7**

Συμπίεση : 1 μέρα

Διάρκεια έργου: 30 μέρες

Κόστος έργου: 18.228,63€

Η διαμόρφωση των απαραίτητων δεδομένων μετά τη συμπίεση της δραστηριότητας 7 φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

WBS	Δραστηριότητα	είσοδος Cc	είσοδος Cov	είσοδος C Mash	CRc	είσοδος St	είσοδος Sf	είσοδος DU	CRd	Είσοδος RR	CRr	CR	MAX
3	προμήθεια δομικών υλικών	0.101	0.265	0.000	<b>0.500</b>	0.367	0.000	0.333	<b>0.741</b>	0.420	<b>0.556</b>	<b>0.593</b>	<b>0.593</b>
4	προμήθεια ηλεκτρολογικού εξοπλισμού	0.269	0.113	0.000	<b>0.500</b>	0.433	0.433	0.167	<b>0.500</b>	0.400	<b>0.568</b>	<b>0.517</b>	
6	κατασκευή χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων	0.000	0.152	0.000	<b>0.532</b>	0.633	0.633	0.200	<b>0.463</b>	0.320	<b>0.639</b>	<b>0.539</b>	
8	εγκατάσταση υπόγειας δεξαμενής καυσίμων	0.000	0.079	0.000	<b>0.655</b>	0.367	0.300	0.133	<b>0.500</b>	0.360	<b>0.601</b>	<b>0.579</b>	

**Βήμα 7':συμπίεση δραστηριότητας 3**

Συμπίεση : 4 μέρες

Διάρκεια έργου: 30 μέρες

Κόστος έργου: 18.473,83€

Η διαμόρφωση των απαραίτητων δεδομένων μετά τη συμπίεση της δραστηριότητας 3 φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

WBS	Δραστηριότητα	είσοδος Cc	είσοδος Cov	είσοδος C Mash	CRc	είσοδος St	είσοδος Sf	είσοδος DU	CRd	Είσοδος RR	CRr	CR	MAX
4	προμήθεια ηλεκτρολογικού εξοπλισμού	0.265	0.113	0.000	<b>0.500</b>	0.433	0.433	0.167	<b>0.500</b>	0.400	<b>0.568</b>	<b>0.517</b>	<b>0.579</b>
6	κατασκευή χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων	0.000	0.152	0.000	<b>0.532</b>	0.633	0.633	0.200	<b>0.463</b>	0.320	<b>0.639</b>	<b>0.539</b>	
8	εγκατάσταση υπόγειας δεξαμενής καυσίμων	0.000	0.079	0.000	<b>0.655</b>	0.500	0.433	0.133	<b>0.500</b>	0.360	<b>0.601</b>	<b>0.579</b>	



#### **Βήμα 8<sup>ο</sup>:συμπίεση δραστηριότητας 8**

Συμπίεση : 2 μέρες  
Διάρκεια έργου: 30 μέρες  
Κόστος έργου: 18.473,83€

Η διαμόρφωση των απαραίτητων δεδομένων μετά τη συμπίεση της δραστηριότητας 3 φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

WB S	Δραστηριότητα	είσοδος Cc	είσοδος Cov	είσοδος C Mash	CRc	είσοδος St	είσοδος Sf	είσοδος DU	CRd	Είσοδος RR	CRr	CR	MAX
4	προμήθεια ηλεκτρολογικού εξοπλισμού	0.265	0.113	0.000	<b>0.500</b>	0.433	0.433	0.167	<b>0.500</b>	0.400	<b>0.568</b>	<b>0.517</b>	<b>0.539</b>
6	κατασκευή χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων	0.000	0.152	0.000	<b>0.532</b>	0.633	0.633	0.200	<b>0.463</b>	0.320	<b>0.639</b>	<b>0.539</b>	

#### **Βήμα 9<sup>ο</sup>:συμπίεση δραστηριότητας 6**

Συμπίεση : 2 μέρες  
Διάρκεια έργου: 30 μέρες  
Κόστος έργου: 18.473,83€

#### **Βήμα 10<sup>ο</sup>:συμπίεση δραστηριότητας 4**

Συμπίεση : 2 μέρες  
Διάρκεια έργου: 30 μέρες  
Κόστος έργου: 18.800,63€

Παρατηρούμε ότι ουσιαστικά η διαδικασία της συμπίεσης ολοκληρώθηκε στο έκτο βήμα όπου η διάρκεια του έργου μειώθηκε στις 30 μέρες. Τα συγκριτικά αποτελέσματα της διαδικασίας είναι τα εξής:

Αρχική διάρκεια έργου: 41 μέρες      Αρχικό κόστος έργου: 16.055€  
Τελική διάρκεια έργου: 30 μέρες      Τελικό κόστος έργου: 18.228,63€  
Βήματα συμπίεσης: 6  
Δραστηριότητες συμπίεσης: 12 / 1 / 11 / 9 / 2 / 7

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων, βλέπουμε ότι για το συγκεκριμένο έργο, η CPM αποφέρει καλύτερα αποτελέσματα εκ πρώτης όψεως. Πρέπει να λάβουμε όμως υπόψη μας ότι η συμπίεση με χρήση της μεθόδου ασαφούς λογικής, δίνει τη δυνατότητα αποδέσμευσης πόρων (λόγω προτεραιότητας συμπίεσης μη κρίσιμων δραστηριοτήτων), οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε άλλες εργασίες με αποτέλεσμα την τελική μείωση του κόστους. Στον πίνακα 5.9 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των δραστηριοτήτων που συμπίεστηκαν και στις δύο μεθόδους.

WBS	Δραστηριότητα	Κανονική διάρκεια (ημ.)	κόστος συμπίεσης (€)	Κόστος Υπερανάθεσης Κ <sub>ΥΠ</sub>	συνολικό περιθώριο (ημ.)	ελεύθερο περιθώριο (ημ.)	Βαθμός επικινδυνότητας
12	έλεγχος γεννήτριας και αντλιών	2	0.08	0.00	1	1	15
1	Μετακίνηση στο εργοτάξιο	5.00	61.30	415.98	0	0	12
11	εγκατάσταση συστήματος ηλεκτρικών παροχών και πίνακα ελέγχου παροχών	8.00	102.13	104.00	0	0	23
9	κατασκευής ανωδομής	10.00	144.00	0.00	0	0	25
2	παραγγελία υλικών και εξοπλισμού, παραλαβή μερικών υλικών	4.00	112.28	240.00	4	0	19
7	οπλισμός και τοποθέτηση σκυροδέματος θεμελίων/κατασκευή καλύμματος για τη δεξαμενή	10.00	800.00	2249.58	0	0	21

**Πίνακας 5.9: χαρακτηριστικά «κρίσιμων» δραστηριοτήτων**

Από τον παραπάνω πίνακα μπορούμε να δούμε πως γενικά, τα κριτήρια που εκπληρώθηκαν στον μεγαλύτερο βαθμό είναι το συνολικό και ελεύθερο περιθώριο, ενώ ακολουθεί το κριτήριο της διάρκειας, αφού οι περισσότερες από τις κρίσιμες δραστηριότητες έχουν σε σχέση με τη διάρκεια του έργου, μεγάλη διάρκεια. Το κριτήριο του βαθμού επικινδυνότητας δεν φαίνεται να παίζει ιδιαίτερο ρόλο στη σειρά συμπίεσης, αφού οι τιμές του κριτηρίου κατά τη σειρά συμπίεσης δεν διατηρούν αύξουσα πορεία. Η μεταβολή της τιμής του κόστους συμπίεσης ακολουθεί την επιθυμητή αύξουσα πορεία για την εκπλήρωση του συγκεκριμένου κριτηρίου, γενικά όμως εν έχουν επιλεγεί οι δραστηριότητες με τα ελάχιστα κόστη συμπίεσης (π.χ η 6, η 8 και η 3). Αντίθετα έχουν επιλεγεί οι δραστηριότητες με τα μικρότερα κόστη υπερανάθεσης, η σειρά συμπίεσης όμως δεν ανταποκρίνεται στην επιθυμητή πορεία των τιμών του κριτηρίου.

## 6. Συμπεράσματα

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αναπτύχθηκε ένα σύστημα υπολογισμού της κρισιμότητας των δραστηριοτήτων ενός έργου, με την ευρύτερη έννοια του όρου, κάνοντας χρήση της ασαφούς λογικής.

Ορίστηκαν συγκεκριμένα κριτήρια κρισιμότητας, πέραν του συνολικού περιθωρίου το οποίο αποτελεί το μοναδικό κριτήριο κρισιμότητας στην κλασική μέθοδο CPM. Τα κριτήρια αυτά άνηκαν στις κατηγορίες του κόστους, της διάρκειας και του κινδύνου που μπορεί να εμπεριέχει μια δραστηριότητα. Στη συνέχεια αναπτύχθηκαν τρία ασαφή συστήματα υπολογισμού του βαθμού κρισιμότητας των δραστηριοτήτων του έργου, ένα για κάθε κατηγορία κρισιμότητας. Η διαδικασία της ανάπτυξης αυτών των συστημάτων περιελάμβανε τον ορισμό των μεταβλητών, τον καθορισμό των συναρτήσεων συμμετοχής τους, τον ορισμό των λογικών κανόνων και τέλος την επιλογή των ασαφών τελεστών και των μεθόδων συνεπαγωγής, ομαδοποίησης και από-ασαφοποίησης των μεταβλητών εξόδου. Με βάση τις τιμές εξόδου των τριών συστημάτων ασαφούς λογικής, υπολογίστηκε ο τελικός βαθμός κρισιμότητας για κάθε δραστηριότητα από την σχέση:  $CR=0.33*CRc+0.33*CRd+0.33*CRr$ .

Από τα αποτελέσματα εφαρμογής σε έργο που αφορούσε την κατασκευή αντλιοστασίου, τόσο της κλασικής μεθόδου CPM, όσο και της μεθόδου ασαφούς λογικής που αναπτύχθηκε εδώ, προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Η εφαρμογή της μεθόδου CPM, απαιτήσε λιγότερο χρόνο τόσο για τον υπολογισμό των απαραίτητων δεδομένων, όσο και για την εφαρμογή των βημάτων συμπίεσης.
- Η διαδικασία συμπίεσης με την CPM επέφερε εκ πρώτης όψεως καλύτερα αποτελέσματα αφού η συμπίεση της διάρκειας του έργου επιτεύχθηκε με μικρότερο

κόστος συμπίεσης και σε λιγότερα βήματα απ'ότι με την μέθοδο ασαφούς λογικής .Η συμπίεση όμως με την μέθοδο ασαφούς λογικής δίνει τη δυνατότητα αποδέσμευσης πόρων για αξιοποίηση σε άλλες εργασίες με σκοπό τη μείωση του τελικού κόστους.

- Τέσσερις από τις έξι εργασίες που συμπίεστηκαν με τη μέθοδο της ασαφούς λογικής είναι κοινές και στις δυο περιπτώσεις.
- Από την αξιολόγηση των κριτηρίων κρισιμότητας των δραστηριοτήτων που συμπίεστηκαν και τις δυο μεθόδους προέκυψαν τα εξής:
  - Τα κριτήρια που εκπληρώθηκαν στον μεγαλύτερο βαθμό είναι το συνολικό και ελεύθερο περιθώριο.
  - Ακολουθεί το κριτήριο της διάρκειας, αφού οι περισσότερες από τις κρίσιμες δραστηριότητες έχουν σε σχέση με τη διάρκεια του έργου, μεγάλη διάρκεια
  - Το κριτήριο του βαθμού επικινδυνότητας δεν φαίνεται να παίζει ιδιαίτερο ρόλο στη σειρά συμπίεσης, αφού οι τιμές του κριτηρίου κατά τη σειρά συμπίεσης δεν διατηρούν αύξουσα πορεία
  - Η μεταβολή της τιμής του κόστους συμπίεσης ακολουθεί την επιθυμητή αύξουσα πορεία για την εκπλήρωση του συγκεκριμένου κριτηρίου, γενικά όμως εν έχουν επιλεγεί οι δραστηριότητες με τα ελάχιστα κόστη συμπίεσης (π.χ η 6, η 8 και η 3)
  - Έχουν επιλεγεί οι δραστηριότητες με τα μικρότερα κόστη υπερανάθεσης, η σειρά συμπίεσης όμως δεν ανταποκρίνεται στην επιθυμητή πορεία των τιμών του κριτηρίου.

Από όλα τα κριτήρια κρισιμότητας που αναπτύχθηκαν σε αυτή την εργασία, αυτά που έπαιξαν τον καθοριστικότερο ρόλο και στις δύο μεθόδους είναι το συνολικό και το ελεύθερο περιθώριο.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονίσουμε ότι τα παραπάνω συμπεράσματα προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθόδου σε ένα μόνο έργο και σε καμία περίπτωση δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ως γενικά συμπεράσματα για τον καθορισμό βαρύτητας των κριτηρίων κρισιμότητας.

Μελλοντικά, όσον αφορά την ανάπτυξη συστημάτων ασαφούς λογικής για τον καθορισμό της κρισιμότητας των δραστηριοτήτων ενός έργου και την συμπίεση της διάρκειάς του, θα μπορούσε κάποιος να ορίσει καταρχήν και άλλα κριτήρια κρισιμότητας. Θα μπορούσε να ακολουθήσει διαφορετική μοντελοποίηση του συστήματος ερευνώντας την περίπτωση του συνδυασμού συμπίεσης-επιμήκυνσης των δραστηριοτήτων για μείωση του τελικού κόστους. Ένα ακόμα ενδιαφέρον σημείο είναι ο καθορισμός των συντελεστών  $W_i$  οι οποίοι προσδιορίζουν την βαρύτητα συμμετοχής κάθε κατηγορίας κρισιμότητας (κόστος, διάρκεια, κίνδυνος) στον τελικό υπολογισμό του συντελεστή κρισιμότητας μιας δραστηριότητας. Όπως έχουμε πει, οι συντελεστές αυτοί έχουν σχέση με τον τύπο του έργου (κατασκευαστικό, υπηρεσία κλπ) , οπότε θα μπορούσε κάποιος με βάση δεδομένα από τα πρακτικά των έργων να βγάλει ένα συμπέρασμα για την τιμή των συντελεστών αυτών σε σχέση με τον τύπο του έργου και να τροποποιήσει την τελική σχέση υπολογισμού του συντελεστή κρισιμότητας με βάση αυτές τις τιμές. Μια άλλη προσέγγιση θα ήταν η ανάπτυξη ενός μοντέλου όπου μέσω επαναληπτικών διαδικασιών με διαφορετικές κάθε φορά τιμές των συντελεστών  $W_i$  να προκύπτει τελικά η βέλτιστη λύση. Τέλος όσον αφορά αποκλειστικά το κομμάτι της ανάπτυξης του ασαφούς συστήματος, θα μπορούσε κάποιος να κάνει διαφορετικές επιλογές για τις παραμέτρους του συστήματος (τελεστές, μέθοδος συνεπαγωγής κλπ) ή να επιλέξει σύστημα Sugeno αντί Mamdani.

Γενικά, η Ασαφής Λογική προσφέρει ένα εκτεταμένο πεδίο διερεύνησης για την εφαρμογή των αρχών της στην Διαχείριση Έργου. Ο συνδυασμός των δυο αυτών επιστημών μπορεί ίσως να οδηγήσει σε μοντέλα λήψης αποφάσεων που θα προσφέρουν τα βέλτιστα αποτελέσματα σε σχετικά μικρό χρόνο.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Project Management Institute: “ *A guide to the project management body of knowledge 2000*”
2. Chris Hendrickson: “ *Project Management for Construction: fundamental concepts for Owners, Engineers, Architects and Builders*” , Project Management Institute, version 2.1 , 2003
3. Earl Cox: “ *The Fuzzy Systems Handbook: a practitioner’s guide to building, using and maintaining fuzzy systems* ” , AP PROFESSIONAL publ. 1994
4. Ροβέρτος –Ε Κίνγκ: “ *Ευφύης Έλεγχος*” εκδόσεις Τζιόλα, 2004
5. Αλεξόπουλος Άρης, Λαγογιάννης Γιώργος: “*Τηλεπικοινωνίες και δίκτυα υπολογιστών*” , ΤΕΙ Πειραιά, Πέμπτη έκδοση 1999
6. Εμίρης Δημήτρης: “ *Διοίκηση και Χρονικός Προγραμματισμός Έργων*” , σημειώσεις μαθήματος Project Management, 1999
7. Κάμπρα Δήμητρα: “ *Ασαφής εκτίμηση της κρισιμότητας και της δυνατότητας επιμόκυνσης δραστηριότητας για την επίλυση προβλημάτων του χρονικού προγραμματισμού έργων*” Διπλωματική εργασία, 2001
8. Bakouros Yannis, Kelesidis Vassilis: “ *Project Management: dissemination of innovation and knowledge management techniques*” , Report produced for the EC funded project , 2000

## **Βιβλιογραφία από το διαδίκτυο (web bibliography)**

9. Alfred L. Guiffrida, Rakesh Nagi: “ *Fuzzy Set Theory Applications in Production Management Research: A literature Survey*”
10. [www.sfd.edu](http://www.sfd.edu) : Project crashing
11. [www.dis.wa.gov/pmframework/checklist.htm](http://www.dis.wa.gov/pmframework/checklist.htm)
12. SID policy on risk management(1807\_17).pdf
13. PM10.3 Planning risk management.pdf
14. PM5.4 Project execution risk monitoring.pdf
15. Project\_risk\_management\_paper\_tcm4-10763.pdf