



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗΝ ΔΙΟΙΚΗΣΗ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ – ΟΛΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ (ΜΒΑ-ΤΟΜ)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ :

***“Η ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ PERT ΚΑΙ Η
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΟΝΤΕ CARLO ΣΤΗΝ
ΔΙΟΙΚΗΣΗ / ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΟΥ”***

ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ : ΤΣΙΝΤΖΑΣ Κ. ΧΡΗΣΤΟΣ,

ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΥΧΟΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΜΠ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΣΦΑΚΙΑΝΑΚΗΣ ΜΙΧΑΛΗΣ

ΠΕΙΡΑΙΑΣ
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2006

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα έργα είναι ο ακρογωνιαίος λίθος του σχεδιασμού και υλοποίησης των στρατηγικών κάθε οργανισμού ή γενικότερα κάθε οργανωτικής δομής. Όπως είναι φυσικό η έννοια του έργου μπορεί να καθορισθεί με ποικίλους τρόπους. Συνήθως ορίζουμε ως έργο κάθε προσωρινή προσπάθεια που αναλαμβάνεται για να δημιουργηθεί ένα μοναδικό προϊόν ή υπηρεσία. Για να μπορέσουν όμως να επιτευχθούν οι απαιτήσεις ενός έργου είναι απαραίτητη η εφαρμογή κατάλληλων γνώσεων, δεξιοτήτων, εργαλείων και τεχνικών στις δραστηριότητες του έργου. Η εφαρμογή όλων των παραπάνω συνιστά ουσιαστικά την Διοίκηση / Διαχείριση Έργου (Δ.Ε.) και επιτυγχάνεται με τη χρήση κατάλληλων μεθόδων κατά την έναρξη, σχεδιασμό, εκτέλεση, έλεγχο και λήξη του έργου. Πρόκειται δηλαδή για την διαδικασία οργάνωσης και διαχείρισης του χρόνου και των μέσων παραγωγής (άνθρωποι, μέσα, υλικά) για ολοκλήρωση ενός συγκεκριμένου έργου σύμφωνα με τους αντικειμενικούς στόχους που έχουν τεθεί για το έργο και τη συμφωνημένη ποιότητα.

Υπάρχουν διάφορες γνωστικές περιοχές της Δ.Ε., οι οποίες ουσιαστικά περιγράφουν τις μεθόδους και τις τεχνικές της Δ.Ε. σε σχέση με τις βασικές διεργασίες της. Μια εκ των ιδιαίτερα βασικών είναι και η Διαχείριση Χρόνου (Δ.Χ.) του έργου που αφορά στις διεργασίες εκείνες που εξασφαλίζουν ότι το έργο θα έχει ολοκληρωθεί εντός των χρονικών περιορισμών που έχουν τεθεί. Στα πλαίσια της Δ.Χ. ενός έργου θεωρείται αναγκαίος ο σωστός χρονικός προγραμματισμός όλων των δραστηριοτήτων του, ώστε να καθίσταται δυνατή η έγκαιρη ολοκλήρωση αυτού. Η αναγκαιότητα αυτή προέρχεται από το γεγονός ότι, στην πράξη, ελάχιστα είναι τα έργα εκείνα τα οποία ολοκληρώνονται εντός των αρχικών χρονικών περιορισμών. Στην εργασία αυτή θα προσπαθήσουμε να προσεγγίσουμε την διεργασία του χρονοπρογραμματισμού μέσω δυο ευρύτατα γνωστών τεχνικών που χρησιμοποιούν ως υπόβαθρο την θεωρία πιθανοτήτων καθώς και την στατιστική με σκοπό να καταλήξουν σε όσο δυνατόν ασφαλέστερα και ρεαλιστικότερα συμπεράσματα σχετικά με την πορεία και την έγκαιρη ολοκλήρωση του έργου. Αναφερόμαστε φυσικά στην πιθανολογική μέθοδο PERT, η οποία χρησιμοποιείται ευρύτατα από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα, αλλά και στην προσομοίωση Monte Carlo που αποτελεί ένα πιο σύγχρονο εργαλείο όσον αφορά την εφαρμογή του στην Δ.Ε.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Οργάνωσης και Διοίκησης Επιχειρήσεων του Πανεπιστημίου Πειραιώς κ. Μιχάλη Σφακιανάκη , Επιβλέποντα Καθηγητή της εργασίας αυτής , για την κατανόηση, την συμπαράσταση, τις πολύτιμες υποδείξεις και τα εποικοδομητικά σχόλια που μου προσέφερε κατά την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, τους γονείς μου αλλά και τους φίλους μου για την ηθική υποστήριξη που μου προσέφεραν καθώς και όσους άλλους είχαν την καλοσύνη να συμβάλλουν στην προσπάθεια ολοκλήρωσης της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|--|-----------|
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 9 |
| Α΄ ΜΕΡΟΣ : ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΣΤΗΝ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΡΓΟΥ | 11 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΔΙΟΙΚΗΣΗ / ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΟΥ | 11 |
| 1.1 <u>ΈΡΓΟ – ΔΙΟΙΚΗΣΗ / ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΈΡΓΟΥ (Δ.Ε.)</u> | 11 |
| 1.2 <u>ΣΚΟΠΟΙ - ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΈΡΓΟΥ</u> | 14 |
| 1.3 <u>ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΡΓΟΥ</u> | 15 |
| 1.4 <u>ΛΟΓΟΙ ΑΠΟΤΥΧΙΑΣ ΤΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΈΡΓΟΥ - ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΓΙΑ ΕΠΙΤΥΧΙΑ ΤΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΈΡΓΟΥ</u> | 16 |
| 1.5 <u>ΓΝΩΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΈΡΓΟΥ</u> | 17 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Η ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗΣ | 20 |
| 2.1 <u>ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ</u> | 20 |
| 2.2 <u>ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗ ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΈΡΓΟΥ</u> | 20 |
| 2.3 <u>ΟΡΓΑΝΩΣΗ MATRIX</u> | 21 |
| 2.3.1 <u>Πλεονεκτήματα της Οργάνωσης Matrix</u> | 22 |
| 2.3.2 <u>Μειονεκτήματα της Οργάνωσης Matrix</u> | 22 |
| 2.4 <u>Η ΔΟΜΙΚΗ ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ MANAGEMENT</u> | 23 |
| 2.5 <u>ΤΟ MANAGEMENT ΣΤΙΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ</u> | 24 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : ΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ | 25 |
| 3.1 <u>ΕΝΤΟΛΕΑΣ / ΠΕΛΑΤΗΣ ΈΡΓΟΥ</u> | 25 |
| 3.2 <u>ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΗΣ / ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΈΡΓΟΥ (PROJECT MANAGER)</u> | 25 |
| 3.2.1 <u>Ικανότητες του Υπεύθυνου Έργου</u> | 26 |
| 3.2.2 <u>Απαραίτητες ενέργειες του Υπεύθυνου Έργου</u> | 27 |
| 3.3 <u>ΟΜΑΔΑ ΈΡΓΟΥ</u> | 28 |
| 3.4 <u>ΑΝΑΔΟΧΟΣ ΈΡΓΟΥ</u> | 29 |
| 3.5 <u>ΒΟΗΘΟΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΥ ΈΡΓΟΥ</u> | 29 |
| 3.6 <u>ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΈΡΓΩΝ Η ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ</u> | 31 |

| | |
|---|-----------|
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΒΑΣΙΚΑ ΕΓΓΡΑΦΑ ΕΡΓΟΥ | 32 |
| 4.1 <u>ΕΓΓΡΑΦΟ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΠΕΛΑΤΗ (CUSTOMER REQUIREMENTS DEFINITION)</u> | 32 |
| 4.2 <u>ΕΓΓΡΑΦΟ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΕΡΓΟΥ (PROJECT REQUIREMENTS DEFINITION)</u> | 32 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΡΓΟΥ | 34 |
| 5.1 <u>ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΕΡΓΟΥ (PROJECT LIFE CYCLE)</u> | 34 |
| 5.2 <u>ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΦΑΣΕΩΝ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ</u> | 35 |
| 5.2.1 Φάση Πρώτη : Σύλληψη ιδέας - Καθορισμός του Έργου | 35 |
| 5.2.2 Φάση Δεύτερη : Ανάπτυξη / Προγραμματισμός Έργου | 36 |
| 5.2.3 Φάση Τρίτη : Έναρξη / Εκτέλεση και Έλεγχος του Έργου | 37 |
| 5.2.4 Φάση Τέταρτη : Πέρασ του Έργου | 38 |
| 5.3 <u>ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ ΣΕ ΠΑΚΕΤΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ (WBS)</u> | 39 |
| 5.4 <u>ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΦΑΣΕΩΝ ΕΡΓΟΥ (ΠΑΚΕΤΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ)</u> | 40 |
| 5.5 <u>ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΡΓΟΥ (PROJECT BUDGET)</u> | 41 |
| 5.6 <u>ΒΑΣΙΚΟ ΠΛΑΝΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΕΡΓΟΥ (BASELINE PLAN)</u> | 43 |
| 5.7 <u>ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΕΓΚΡΙΣΗΣ ΕΝΟΣ ΕΡΓΟΥ</u> | 43 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: ΚΥΚΛΟΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ (P.D.C.A.) | 45 |
| 6.1 <u>ΔΙΕΡΓΑΣΙΟΚΕΝΤΡΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΣΤΗΝ Δ. Ε.</u> | 45 |
| 6.2 <u>Ο ΚΥΚΛΟΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ (P.D.C.A.)</u> | 48 |
| 6.2.1 Προγραμματισμός / Σχεδιασμός (Plan) | 49 |
| 6.2.2 Εκτέλεση του Έργου (Do) | 50 |
| 6.2.3 Έλεγχος (Check) | 51 |
| 6.2.4 Βελτίωση (Act) | 52 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο: ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΧΡΟΝΟΥ | 53 |
| 7.1 <u>ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΛΛΗΛΟΥΧΙΑΣ ΤΩΝ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ</u> | 53 |
| 7.1.1 Μέθοδος Κομβικών Διαγραμμάτων (Activity On Noad – AON) | 54 |
| 7.1.2 Μέθοδος Τοξοτών Διαγραμμάτων (Activity On Arrow – AOA) | 55 |
| 7.1.3 Άλλοι μέθοδοι σχεδιασμού αλληλουχίας δραστηριοτήτων | 56 |
| 7.2 <u>ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΩΝ</u> | 57 |
| 7.3 <u>ΧΡΟΝΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ</u> | 57 |
| 7.3.1 Μέθοδοι CPM – PERT | 58 |
| 7.3.2 Προσομοιώσεις | 59 |

**Β' ΜΕΡΟΣ : ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ PERT ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ
MONTE CARLO ΣΤΗΝ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΡΓΟΥ** 60

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο : ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ PERT ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ
ΕΡΓΟΥ** 60

| | |
|--|----|
| 8.1 <u>ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ PERT</u> | 60 |
| 8.2 <u>ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ PERT</u> | 61 |
| 8.3 <u>ΒΑΣΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΩΝ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ PERT</u> | 65 |
| 8.3.1 Η πιθανότητα ως μέτρο αβεβαιότητας | 65 |
| 8.3.2 Η διοικητική λειτουργία : Λήψη αποφάσεων κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας και κινδύνου | 66 |
| 8.3.3 Ο ρόλος της θεωρίας πιθανοτήτων στην μέθοδο PERT | 67 |
| 8.3.4 Εμπειρικές κατανομές συχνοτήτων | 68 |
| 8.3.5 Χαρακτηρισμός μιας εμπειρικής κατανομής | 70 |
| 8.3.6 Φυσική ερμηνεία της μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης | 71 |
| 8.3.7 Κεντρικό Οριακό Θεώρημα (Κ.Ο.Θ.) | 72 |
| 8.4 <u>ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ PERT</u> | 74 |
| 8.4.1 Αισιόδοξη, απαισιόδοξη και πλέον πιθανή διάρκεια των δραστηριοτήτων | 74 |
| 8.4.2 Χρήση ιστορικών δεδομένων για την εκτίμηση των a, m και b | 77 |
| 8.4.3 Βασικοί υπολογισμοί δικτύου με την μέθοδο PERT | 79 |
| 8.4.4 Εκτίμηση μέσης τιμής και διακύμανσης του χρόνου εκτέλεσης των εργασιών | 84 |
| 8.4.5 Παράδειγμα υπολογισμών της μέσης τιμής και διακύμανσης του χρόνου εκτέλεσης των επιμέρους εργασιών και του χρόνου ολοκλήρωσης του έργου | 88 |
| 8.4.6 Ανάλυση αβεβαιότητας κατά τον χρονοπρογραμματισμό | 90 |
| 8.5 <u>ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ PERT</u> | 95 |

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο : ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ MONTE CARLO ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ
ΕΡΓΟΥ** 99

| | |
|---|-----|
| 9.1 <u>ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ</u> | 99 |
| 9.2 <u>ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ</u> | 102 |
| 9.3 <u>ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ</u> | 105 |
| 9.4 <u>Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ</u> | 107 |

| | |
|--|-----|
| 9.5 <u>Η ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΗ MONTE CARLO</u> | 110 |
| 9.5.1 Παραγωγή τυχαίων αριθμών, μετασχηματισμός στην κατάλληλη κατανομή | 112 |
| 9.5.2 Στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων της Προσομοίωσης Monte Carlo | 125 |
| 9.5.3 Προσομοίωση Monte Carlo σε δίκτυο PERT | 129 |
| 9.5.4 Συμπεράσματα από την εφαρμογή της Προσομοίωσης Monte Carlo στο δίκτυο PERT | 145 |

Γ' ΜΕΡΟΣ : ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΣ ΣΕ ΑΝΕΓΕΡΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΓΙΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΠΟΘΗΚΩΝ 147

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10^ο : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ PERT ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΗΣ MONTE CARLO ΣΤΟΝ ΧΡΟΝΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΑΝΕΓΕΡΣΗΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΓΙΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΠΟΘΗΚΩΝ 147

| | |
|--|-----|
| 10.1 <u>ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΣ</u> | 147 |
| 10.2 <u>ΜΟΡΦΗ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ – ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΕΡΓΟΥ</u> | 148 |
| 10.3 <u>ΧΡΟΝΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΡΓΟΥ ΜΕΣΩ ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ PERT</u> | 150 |
| 10.3.1 Αναπαράσταση δικτύου έργου | 150 |
| 10.3.2 Υπολογισμός μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης δραστηριοτήτων | 151 |
| 10.3.3 Υπολογισμός ενωρίτερων και βραδύτερων χρόνων έναρξης και λήξης των δραστηριοτήτων | 153 |
| 10.3.4 Υπολογισμός μέσης χρονικής διάρκειας ολοκλήρωσης του έργου και διακύμανσης του χρόνου του έργου | 159 |
| 10.3.5 Υπολογισμός πιθανότητας έγκαιρης ολοκλήρωσης του έργου | 160 |
| 10.3.6 Μέθοδος PERT και χρήση H/Y | 161 |
| 10.4 <u>ΧΡΟΝΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΡΓΟΥ ΜΕΣΩ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΗΣ MONTE CARLO</u> | 170 |
| 10.4.1 Δομή του μοντέλου Προσομοίωσης Monte Carlo | 170 |
| 10.4.2 Προσδιορισμός αριθμού επαναλήψεων – Παραγωγή τυχαίων αριθμών | 178 |
| 10.4.3 Προσομοίωση Monte Carlo και χρήση H/Y | 179 |

| | |
|--|------------|
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11^ο : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ PERT ΚΑΙ MONTE CARLO SIMULATION ΣΤΗΝ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΡΓΟΥ | 188 |
| 11.1 <u>ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ PERT / MONTE CARLO SIMULATION</u> | 188 |
| 11.2 <u>ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΔΥΟ ΜΕΘΟΔΩΝ</u> | 190 |
| 11.3 <u>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ</u> | 194 |
| 11.4 <u>ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΔΥΟ ΜΕΘΟΔΟΥΣ</u> | 195 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 197 |

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η συγκεκριμένη εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών "Ευρωπαϊκό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών στην Διοίκηση Επιχειρήσεων – Ολική Ποιότητα" του Τμήματος Οργάνωσης και Διοίκησης Επιχειρήσεων του Πανεπιστημίου Πειραιώς και αποτελεί την διπλωματική εργασία του μεταπτυχιακού φοιτητή Χρήστου Τσίντζα. Ο τίτλος της εργασίας είναι "Η Πιθανολογική Προσέγγιση PERT και η Προσομοίωση Monte Carlo στην Διοίκηση / Διαχείριση Έργου". Κύριος στόχος της εργασίας είναι η διερεύνηση σε θεωρητικό επίπεδο της έννοιας της Διοίκησης / Διαχείρισης Έργου αλλά και η προσέγγιση της διεργασίας του χρονικού προγραμματισμού μέσω δυο ευρύτατα γνωστών τεχνικών (Πιθανολογική Προσέγγιση PERT και Monte Carlo Simulation), που χρησιμοποιούν ως υπόβαθρο την θεωρία πιθανοτήτων καθώς και την στατιστική με σκοπό να καταλήξουν σε όσο δυνατόν ασφαλέστερα και ρεαλιστικότερα συμπεράσματα σχετικά με την πορεία και την έγκαιρη ολοκλήρωση του έργου.

Η εργασία αυτή είναι χωρισμένη σε τρία μέρη. Στο Α' μέρος (κεφ. 1 έως 7) πραγματοποιείται μια θεωρητική προσέγγιση στην Διοίκηση / Διαχείριση Έργου (Δ.Ε.) η οποία περιλαμβάνει, πέρα από την έννοια της Δ.Ε., την οργανωτική μορφή της επιχείρησης, τους παράγοντες και τα βασικά έγγραφα του έργου, την καθεαυτού διεργασία δημιουργίας του έργου αλλά και άλλες βασικές συνιστώσες της Δ.Ε. όπως ο κύκλος βελτίωσης και φυσικά η Διαχείριση Χρόνου (Δ.Χ.) του έργου που θα αναλυθεί και στα επόμενα κεφάλαια.

Στο Β' μέρος (κεφ. 8 και 9) αναλύονται εκτενέστατα τόσο η πιθανολογική μέθοδος PERT όσο και η μέθοδος προσομοίωσης Monte Carlo. Στα κεφάλαια αυτά παρατίθεται όλη η θεωρία πιθανοτήτων και στατιστικής στην οποία στηρίζονται οι δύο μέθοδοι. Συγκεκριμένα γίνεται αναφορά σε εμπειρικές κατανομές συχνοτήτων, στην φυσική ερμηνεία και εκτίμηση της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης του χρόνου εκτέλεσης των δραστηριοτήτων ενός έργου, στην εφαρμογή του Κεντρικού Οριακού Θεωρήματος στην πιθανολογική προσέγγιση PERT, στην έννοια και τα είδη της προσομοίωσης, στην διαδικασία παραγωγής τυχαίων αριθμών και τον μετασχηματισμό στην κατάλληλη κατανομή, στην στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης Monte Carlo κ.λ.π.

Τέλος στο Γ΄ μέρος (κεφ. 10 και 11) γίνεται μια εφαρμογή των δύο μεθόδων που αναλύθηκαν στα κεφάλαια 8 και 9 μέσω μια συγκεκριμένης μελέτης περιπτώσεως που αφορά στην ανέγερση μεταλλικής κατασκευής με σκοπό την δημιουργία των νέων αποθηκών μιας επιχείρησης. Στο κεφάλαιο 10 εφαρμόζονται τα όσα αναφέρθηκαν στο Β΄ μέρος της εργασίας τόσο μέσω γνωστών σχέσεων που παρατίθενται όσο και μέσω χρήσης προγράμματος H / Y που υποστηρίζει τις μεθόδους PERT και Monte Carlo Simulation (Excel OM_IE Add – in⁵²). Τέλος στο κεφαλαίο 11 πραγματοποιείται μια σύγκριση των δυο μεθόδων αλλά και των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εφαρμογή αυτών στα προηγούμενα κεφάλαια, ενώ γίνεται και μια αναφορά στα συμπεράσματα που προέκυψαν μέσω της διερεύνησης των αποτελεσμάτων της μελέτης περιπτώσεως.

Α΄ ΜΕΡΟΣ : ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ

ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΣΤΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΡΓΟΥ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΔΙΟΙΚΗΣΗ / ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΟΥ

1.1 Έργο – Διοίκηση / Διαχείριση Έργου (Δ.Ε.)

Τα έργα είναι ο ακρογωνιαίος λίθος του σχεδιασμού και υλοποίησης των στρατηγικών κάθε οργανισμού ή γενικότερα κάθε οργανωτικής δομής, διότι παρέχουν τις βάσεις για την κατανόηση, την ανάπτυξη και τη δημιουργία νέων ή βελτιωμένων προϊόντων και υπηρεσιών, υπό την ευρύτερη έννοια.

Σύμφωνα με τον Οδηγό Απόκτησης Γνώσεων σχετικά με την Διοίκηση Έργων (Δ.Ε), του Ινστιτούτου Διοίκησης Έργων (PMI), το *έργο* ορίζεται ως: “... μία προσωρινή προσπάθεια που αναλαμβάνεται για να δημιουργηθεί ένα μοναδικό προϊόν ή υπηρεσία. Η λέξη προσωρινή υπονοεί ότι κάθε έργο έχει μία προκαθορισμένη λήξη. Μοναδικό σημαίνει ότι κάθε προϊόν ή υπηρεσία διαφέρει κατά κάποιο εμφανή τρόπο από όλα τα αντίστοιχα προϊόντα ή υπηρεσίες

Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 10006 : 1997 “Quality Management – Guidelines to Quality in Project Management”, *έργο* είναι : “ ...μια μοναδική διεργασία αποτελούμενη από μια ομάδα συνεργαζόμενων και ελεγχόμενων δραστηριοτήτων με χρονική αφετηρία και λήξη και η οποία αναλαμβάνεται για την επίτευξη ενός στόχου συμμορφούμενου με συγκεκριμένες απαιτήσεις, περιλαμβανομένων και περιορισμών σε χρόνο κόστος και πόρους.

Βασικό γνώρισμα κάθε έργου, όπως φαίνεται και από τον πιο πάνω ορισμό, είναι η μοναδικότητα που το διακρίνει. Υπό αυτή την έννοια, υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη σε όλες τις φάσεις του κύκλου ζωής του έργου. Λόγω του ότι τα αποτελέσματα κάθε έργου (προϊόν ή υπηρεσία) είναι μοναδικά, τα χαρακτηριστικά αυτών θα πρέπει να υφίστανται επεξεργασία προοδευτικά και με την πάροδο του χρόνου.

Πρέπει εδώ να τονισθεί πως για να μπορέσει να καθορισθεί και η μορφή της οργάνωσης της επιχείρησης η οποία θα ταιριάζει απόλυτα στις ανάγκες του κάθε έργου, θα πρέπει πρώτα να καθορισθούν τα χαρακτηριστικά του κάθε έργου. Τα πιο βασικά χαρακτηριστικά ενός έργου παρουσιάζονται πιο κάτω :

- § Σκοπός : Ποιο σκοπό έχει σχεδιασθεί να ικανοποιήσει το έργο; Η επιχείρηση θα πρέπει να αυξήσει τις πιθανότητες ικανοποίησης του αρχικού σκοπού του έργου χωρίς συμβιβασμούς.
- § Πρόγραμμα : Η διάρκεια του έργου και οι ημερομηνίες πέρατος και παράδοσης θα πρέπει να επιτευχθούν. Η επιχείρηση οφείλει να λειτουργεί με αρκετά αποτελεσματικό τρόπο ώστε να μην υπάρξουν αποκλίσεις από τον αρχικό χρονοπρογραμματισμό.
- § Πολυπλοκότητα : Οι τεχνολογικές απαιτήσεις καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό το είδος του οργανισμού που είναι συμβατός με το έργο. Για ιδιαίτερα εξειδικευμένες περιοχές , όπως για παράδειγμα η πυρηνική ενέργεια, υπάρχει ανάγκη για πολύ καλά οργανωμένες επιχειρήσεις με σύνθετη οργάνωση.
- § Μέγεθος και φύση του έργου : Ένα έργο που απασχολεί χιλιάδες εργάτες και το οποίο προβλέπεται να διαρκέσει αρκετά χρόνια, απαιτεί μια σαφώς πιο σύνθετη οργανωτική δομή από ότι ένα έργο ανέγερσης μιας πολυκατοικίας συνολικής διάρκειας λίγων μηνών.
- § Απαιτούμενοι πόροι : Κάθε έργο απαιτεί συγκεκριμένες πρώτες ύλες και ειδικά εξειδικευμένο προσωπικό ώστε να ολοκληρωθεί. Ακόμη και τα μικρά έργα μπορεί να παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά στους άνω βασικούς παράγοντες.
- § Συστήματα Ελέγχου / Πληροφοριακά Συστήματα : Ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες του κάθε έργου κάθε οργανισμός θα πρέπει να αναπτύσσει ένα σύστημα κατάλληλο ώστε να πραγματοποιείται σωστός και συνεχής έλεγχος της διάρκειας αλλά και του συνολικού κόστους του έργου.

Τα έργα αποτελούν βασικά συστατικά της επιχειρησιακής στρατηγικής κάθε οργανισμού και μάλιστα θα μπορούσαμε να πούμε πως η επιβίωση των ίδιων των επιχειρήσεων εξαρτάται από μια σειρά έργων που συνήθως ποικίλουν. Χαρακτηριστικά παραδείγματα έργων μπορεί να είναι :

- § Η κατασκευή ενός κτιρίου ή γενικότερα ενός τεχνικού έργου.
- § Η ανάπτυξη ενός νέου πληροφοριακού συστήματος.
- § Η ανάπτυξη ενός νέου προϊόντος ή υπηρεσίας.
- § Η οργανωμένη στελέχωση νέου προσωπικού σε κάποιο τμήμα.
- § Η λειτουργία μιας νέας διεργασίας σε μια επιχείρηση.

Διάφοροι θεωρητικοί έχουν δώσει κατά καιρούς αρκετούς ορισμούς για την Διοίκηση / Διαχείριση Έργου (Δ.Ε.). Παρακάτω παρατίθενται οι δύο επικρατέστεροι :

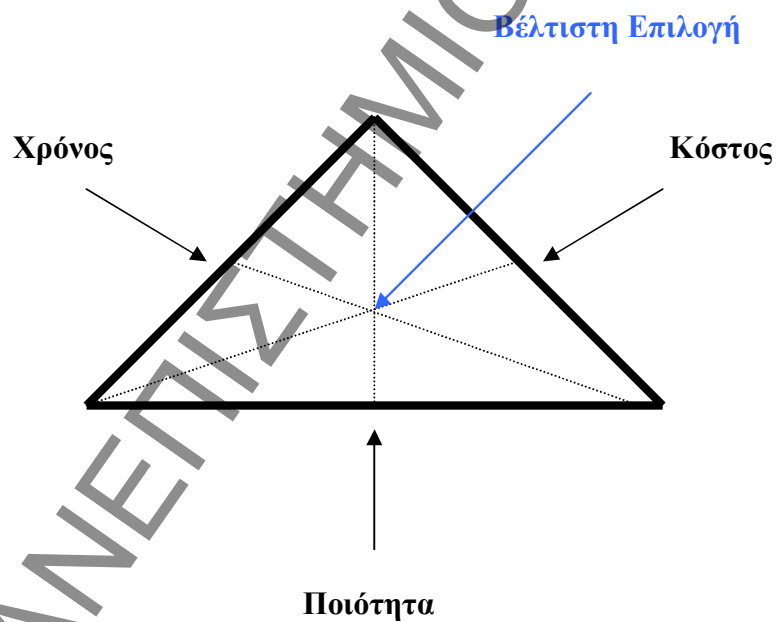
Σύμφωνα με το εγχειρίδιο γνώσεων της Διοίκησης Έργων (PMBOK), ως *Διοίκηση Έργου* ορίζεται: “...η εφαρμογή γνώσεων, δεξιοτήτων, εργαλείων και τεχνικών στις δραστηριότητες του έργου, ώστε να επιτευχθούν οι απαιτήσεις του έργου. Η διοίκηση έργου επιτυγχάνεται με τη χρήση κατάλληλων μεθόδων κατά την έναρξη, σχεδιασμό, εκτέλεση, έλεγχο και λήξη του έργου. Η ομάδα εκτέλεσης του έργου, διαχειρίζεται την εκτέλεση των υποέργων και η δουλειά αυτή περιλαμβάνει τα εξής : την ικανοποίηση αναγκών σκοπού, χρόνου, κόστους, ρίσκου και ποιότητας, την ύπαρξη κατόχων συμφερόντων με διαφορετικές ανάγκες και προσδοκίες και την αναγνώριση των απαιτήσεων.”

Πιο απλά θα μπορούσαμε να πούμε πως *Διοίκηση Έργου (Project Management - PM)* είναι η διαδικασία οργάνωσης και διαχείρισης του χρόνου και των μέσων παραγωγής (άνθρωποι, μέσα, υλικά) για ολοκλήρωση ενός συγκεκριμένου έργου σύμφωνα με τους αντικειμενικούς στόχους που έχουν τεθεί για το έργο και τη συμφωνημένη ποιότητα.

1.2 Σκοποί - Στόχοι της Διοίκησης Έργου

Όπως ήδη έχει αναφερθεί η εκτέλεση ενός έργου με τη διαδικασία του P.M. έχει σαν σκοπό να τελειώσει το έργο :

- § Μέσα στα χρονικά όρια που έχουν τεθεί.
- § Μέσα στα όρια και πλαίσια του προϋπολογισμού.
- § Σύμφωνα με το επίπεδο ποιότητας και τα ποιοτικά πρότυπα που έχουν τεθεί.



Σχήμα 1.1 : Το “Σιδηρούν Τρίγωνο” (Iron Triangle) της Διοίκησης Έργου

Βασικοί στόχοι για το P.M. είναι:

- § Να καθοριστεί με ακρίβεια το χρονικό διάστημα που απαιτείται για τη συμπλήρωση των εργασιών ή δραστηριοτήτων και συνεπώς της συνολικής διάρκειας όλου του έργου.
- § Να δημιουργηθεί μία λίστα οικονομικών πόρων που είναι αναγκαίοι για την εκτέλεση του έργου καθώς και να γίνει ορθολογική κατανομή τους στις επιμέρους δραστηριότητες του έργου.
- § Να παρακολουθείται η εκτέλεση του έργου, να συλλέγονται πληροφορίες προόδου και να γίνεται έλεγχος της πορείας του με σύγκριση αυτών που είναι προγραμματισμένα να συμβούν με αυτά που στην πραγματικότητα συμβαίνουν (χρόνος, οικονομικοί πόροι).
- § Να γίνουν οι διαδικασίες παραλαβής – παράδοσης του έργου από τον πελάτη.
- § Να οργανωθεί το έργο με τέτοιο τρόπο ώστε να αναδεικνύονται εύκολα και με ευκρίνεια τα ανεξάρτητα τμήματα που το συνθέτουν.
- § Να εφαρμοστούν, όπου απαιτούνται, οι διαδικασίες βελτίωσης.

1.3 Πλεονεκτήματα από την εφαρμογή της Διοίκησης Έργου

Όταν οι αρχές της Διοίκησης Έργου ακολουθούνται ορθά, τότε είναι δυνατόν να αποτελέσει ένα πολύ σημαντικό εργαλείο στα χέρια της Διοίκησης. Τα οφέλη από την εφαρμογή της Δ.Ε. μπορεί να είναι ποικίλα τόσο για την διοίκηση όσο και για όλα τα υπόλοιπα ενδιαφερόμενα μέρη. Μερικά από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η Δ.Ε. παρουσιάζονται πιο κάτω :

- § Καλλιεργείται ένα κλίμα συνεργασίας μεταξύ των εργαζομένων καθώς έρχονται σε επαφή άτομα με διαφορετικό υπόβαθρο (ομάδα έργου) με σκοπό την επίτευξη ενός κοινού στόχου.
- § Αυξάνεται η ικανοποίηση του προσωπικού καθώς παρέχονται ευκαιρίες για προσωπική εξέλιξη μέσω των επιτυχιών της ομάδας έργου.

- § Δίνεται ένας σαφέστατος προσανατολισμός προς το αποτέλεσμα, που επιδιώκεται να είναι η έγκαιρη, ποιοτική και με το ελάχιστο κόστος, ολοκλήρωση του έργου.
- § Καθίσταται δυνατός ο έλεγχος διαφόρων έργων που μπορεί να πραγματοποιούνται και ταυτόχρονα.
- § Υπάρχει ευελιξία όσον αφορά την διάθεση των πόρων στους στόχους εκείνους που κρίνεται απαραίτητο να επιτευχθούν κάθε χρονική περίοδο.
- § Υπάρχει η δυνατότητα δέσμευσης προς τον πελάτη για έγκαιρη παράδοση του έργου μιας και το έργο είναι χρονικά αυστηρά προγραμματισμένο. Ως εκ τούτου αυξάνεται και ο βαθμός ικανοποίησης του Πελάτη / Εντολέα του έργου.

1.4 Λόγοι αποτυχίας της Διοίκησης Έργου – Παράγοντες για επιτυχία της Διοίκησης Έργου

Είναι προφανές πως η Διοίκηση Έργων δεν είναι μια εύκολη και τυπική διαδικασία. Για να μπορέσουν τα έργα που τρέχουν να τελειώσουν με τις απαιτούμενες προδιαγραφές και εντός των περιορισμών ποιότητας, χρόνου και κόστους, πρέπει ο Project Manager να λάβει υπόψη ένα πλήθος από διαφορετικούς παράγοντες και ταυτόχρονα να έχει την βοήθεια της ομάδας έργου καθώς και την συνεχή στήριξη της διοίκησης. Στην πραγματικότητα μόνο ένα μικρό ποσοστό των έργων ολοκληρώνονται έγκαιρα και εντός των περιορισμών κόστους και ποιότητας. Ορισμένοι βασικοί λόγοι αποτυχίας της Δ.Ε. παρουσιάζονται πιο κάτω :

- § Ανεπαρκής κατανόηση των αναγκών του πελάτη.
- § Ανεπαρκής προσδιορισμός των απαιτήσεων του έργου ή των περιορισμών του με αποτέλεσμα την θέση μη ρεαλιστικών στόχων.
- § Παράγοντες οργανωσιακής συμπεριφοράς, όπως για παράδειγμα η δομή, οι λειτουργίες, η απόδοση και η συμπεριφορά των ομάδων και των ατόμων κ.λ.π.

- § Μη ορθολογικός σχεδιασμός - προγραμματισμός αλλά και εκτέλεση του έργου, που μπορεί να οφείλεται τόσο σε ατομικές λάθος εκτιμήσεις (Υπεύθυνος Έργου) όσο και σε κακή επικοινωνία μεταξύ της διοίκησης και των υπολοίπων εμπλεκομένων στο έργο.
- § Ανεπαρκής έλεγχος κατά την φάση εκτέλεσης του έργου.
- § Ασαφή ή κακώς διανεμημένα καθήκοντα, ρόλοι και ευθύνες με αποτέλεσμα να υπάρχει σύγκρουση ρόλων και γενικότερη σύγχυση κυρίως στο εσωτερικό της ομάδας έργου.
- § Έλλειψη στήριξης από την ηγεσία.

Για να μπορέσει η Διοίκηση Έργου να είναι επιτυχής και αποτελεσματική θα πρέπει να τηρούνται κάποιες προϋποθέσεις. Μερικές από αυτές είναι :

- § Κατανόηση των αναγκών και απαιτήσεων του πελάτη.
- § Γνώση του εσωτερικού περιβάλλοντος, της δυναμικότητας της επιχείρησης και λεπτομερής ανάλυση των περιορισμών του έργου ώστε να πραγματοποιείται ρεαλιστικός προγραμματισμός του έργου.
- § Ύπαρξη κατάλληλου συστήματος επικοινωνίας και ροής πληροφοριών στο εσωτερικό της επιχείρησης.
- § Σωστή κατανομή καθηκόντων, ρόλων και ευθυνών ώστε να αποφεύγονται οι συγκρούσεις και να διευκολύνεται η ομαλή ροή του έργου.
- § Στήριξη από μέρος της ηγεσίας (διάθεση πόρων, bonus, open – door policy κ..λ.π.).

1.5 Γνωστικές περιοχές Διοίκησης Έργου

Οι γνωστικές περιοχές της Διοίκησης Έργου ουσιαστικά περιγράφουν τις μεθόδους και τεχνικές της Δ.Ε. σε σχέση με τις βασικές διεργασίες της. Οι διεργασίες αυτές που έχουν οργανωθεί σε εννέα (9) γνωστικές περιοχές, περιγράφονται πιο κάτω (βλέπε και Σχ. 1.2) :

1. Διαχείριση της Ενοποίησης του Έργου : Αφορά στις διεργασίες εκείνες που εξασφαλίζουν ότι τα διάφορα μέρη του έργου συντονίζονται κατάλληλα.
2. Διαχείριση του Πεδίου Εφαρμογής του Έργου : Αφορά στις διεργασίες εκείνες που εξασφαλίζουν ότι το έργο περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες εργασίες ώστε να ολοκληρωθεί επιτυχώς.
3. Διαχείριση του Χρόνου του Έργου : Αφορά στις διεργασίες εκείνες που εξασφαλίζουν ότι το έργο θα έχει ολοκληρωθεί εντός των χρονικών περιορισμών που έχουν τεθεί.
4. Διαχείριση του Ανθρώπινου Παράγοντα του Έργου : Αφορά στις διεργασίες εκείνες που εξασφαλίζουν την αποτελεσματική χρήση των ανθρώπινων πόρων που εμπλέκονται στο έργο.
5. Διαχείριση της Ποιότητας του Έργου : Αφορά στις διεργασίες εκείνες που εξασφαλίζουν ότι το έργο θα είναι εντός των ποιοτικών περιορισμών, δηλαδή θα ικανοποιήσει τις ανάγκες για τις οποίες αναλήφθηκε.
6. Διαχείριση του Κόστους του Έργου : Αφορά στις διεργασίες εκείνες που εξασφαλίζουν ότι το έργο θα ολοκληρωθεί εντός του αρχικού προϋπολογισμού.
7. Διαχείριση των Επικοινωνιών του Έργου : Αφορά στις διεργασίες εκείνες που εξασφαλίζουν ότι θα υπάρχει κατάλληλη και άμεση δημιουργία, συλλογή, μετάδοση, αποθήκευση και χρήση των πληροφοριών που σχετίζονται με το έργο.
8. Διαχείριση των Κινδύνων του Έργου : Αφορά στις διεργασίες εκείνες που σχετίζονται με την αναγνώριση, την ανάλυση και την απόκριση στους κινδύνους του έργου.
9. Διαχείριση των Προμηθειών του Έργου : Αφορά στις διεργασίες εκείνες που εξασφαλίζουν ότι θα αποκτηθούν τα αναγκαία αγαθά (ύλες / υπηρεσίες) για το έργο.



Σχήμα 1.2: Οι εννέα (9) Γνωστικές Περιοχές της Διοίκησης Έργου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Η ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗΣ

2.1 Σκοπός της Οργάνωσης

Για να μπορούν οι άνθρωποι να εργάζονται αποτελεσματικά και να πετυχαίνουν τους στόχους τους πρέπει να σχεδιαστεί και να διατηρηθεί μια διάρθρωση ρόλων μέσα στην επιχείρηση. Τα παραπάνω αποτελούν το σκοπό της διοικητικής λειτουργίας της Οργάνωσης.

2.2 Παραδοσιακή Οργάνωση Διοίκησης Έργου

Η Οργάνωση έργων χρησιμοποιείται για επεξεργασία νεωτεριστικών προβλημάτων κάτω από πίεση χρόνου. Το τμήμα της επιχείρησης στο οποίο θα εφαρμοστεί η Διοίκηση Έργου αποσπάται ολόκληρο και αναλαμβάνει να φέρει σε πέρας μόνο του το έργο. Στην οργανωτική αυτή μορφή δεν υπάρχει διπλή υπευθυνότητα αλλά αυτό-συντονισμός, απαιτούνται στελέχη με μεγάλη εξειδίκευση και υψηλά προσόντα και για την λειτουργία της απαιτείται υψηλό κόστος.

Η οργάνωση αυτής της μορφής συνίσταται κυρίως σε περιπτώσεις όπου ο ιδιοκτήτης έχει αναλάβει να κατασκευάσει ένα ιδιαίτερα μεγάλο και πολυσύνθετο έργο, το οποίο είναι μοναδικό. Η μορφή αυτή της οργάνωσης δημιουργείται δηλαδή για την διαχείριση του συγκεκριμένου έργου. Φυσικά μια τέτοια μορφή οργάνωσης, εξαιτίας κυρίως της αποκλειστικότητας της, απαιτεί ένα ιδιαίτερα υψηλό κόστος για να διαμορφωθεί ενώ είναι αναγκαίο να αναμειχθούν άτομα υψηλής εξειδίκευσης και προηγούμενης εμπειρίας.

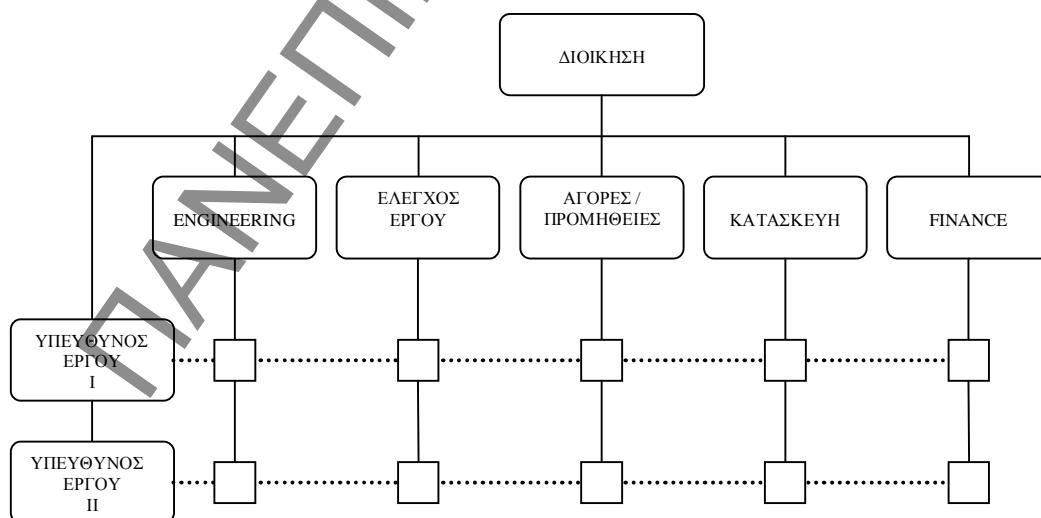
Πρέπει να τονισθεί τέλος πως η συγκεκριμένη μορφή οργάνωσης είναι άμεσα συνδεδεμένη με τα χαρακτηριστικά του έργου που αναφέρθησαν πιο πάνω, εξαρτάται δηλαδή από παράγοντες όπως η πολυπλοκότητα, το μέγεθος, η χρονική διάρκεια του έργου κ.λ.π. Πιο κάτω παρουσιάζεται η παραδοσιακή οργάνωση Διαχείρισης Έργου.



Σχήμα 2.1 : Παραδοσιακή οργάνωση Διοίκησης Έργου

2.3 Οργάνωση Matrix

Παρά την ευρύτητα εφαρμογής της πιο πάνω οργανωτικής δομής, η καταλληλότερη οργανωτική μορφή για τη Διοίκηση Έργου θεωρείται η οργάνωση Matrix που ως γνωστό χρησιμοποιεί δύο διαστάσεις στη διακίνηση των πληροφοριών.



Σχήμα 2.2 : Οργάνωση έργων με την μέθοδο Matrix

Φυσικά και η οργάνωση Matrix παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα όμως αυτά είναι σαφώς λιγότερα από τα πλεονεκτήματα της μορφής αυτής, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται συχνά στην πράξη. Στο προηγούμενο σχήμα παρουσιάζεται η οργάνωση έργων με την μέθοδο Matrix.

2.3.1 Πλεονεκτήματα της Οργάνωσης Matrix

- § Διευκολύνεται η συνεργασία Κεντρικών και Περιφερειακών Υπηρεσιών.
- § Προσαρμόζεται εύκολα στο συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον.
- § Γίνεται ταυτόχρονη χρήση και των δύο διαστάσεων (οριζόντια και κάθετη ροή πληροφοριών).
- § Η εξουσία δεν βασίζεται μόνο στη θέση αλλά και στα πρόσωπα.
- § Επιτυγχάνονται μικρότερα δίκτυα επικοινωνίας.
- § Δεν απαιτεί ιδιαίτερες γνώσεις για τη χρησιμοποίησή της με αποτέλεσμα η αξιοποίηση της να γίνεται αποτελεσματικότερη.
- § Ο συντονισμός γίνεται με βάση και τις δύο διαστάσεις έτσι ώστε να μην παραμελείται ο ένας ή ο άλλος επιχειρησιακός τομέας.
- § Αναπτύσσει τις ατομικές δυνατότητες και το αίσθημα ευθύνης των στελεχών.
- § Ελαφρύνεται η κορυφή από το φόρτο εργασίας.
- § Ευνοεί τη συλλογική εργασία για τη λήψη των αποφάσεων.

2.3.2 Μειονεκτήματα της οργάνωσης Matrix

- § Τα στελέχη πρέπει να είναι ώριμα άτομα.
- § Υπάρχει κίνδυνος σύγκρουσης γιατί τα άτομα δε δίνουν αναφορά σ' ένα προϊστάμενο αλλά σε περισσότερους.
- § Οι αποφάσεις αργούν γιατί υπάρχει συλλογική ευθύνη και στιβαροί οργανωτικοί κανόνες.

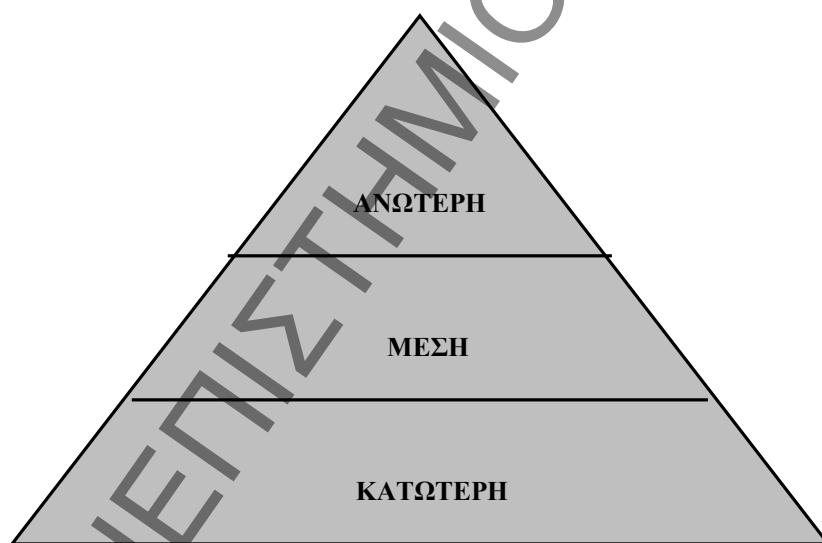
2.4 Η Δομική έννοια του Management

Για να καθοριστεί η δομική έννοια του Management θα πρέπει :

- § Να εντοπιστούν οι φορείς της διοικητικής δραστηριότητας.
- § Να δομηθεί η διοικητική ιεραρχία μέσα στο έργο.

Με τον τρόπο αυτό γίνεται δυνατός ο διαχωρισμός των ατόμων που δραουν μέσα στο έργο με βάση τις δραστηριότητες που εκτελούν σε δύο ομάδες :

- § Διοικητικά Στελέχη ή Φορείς της Διοικητικής Δραστηριότητας.
- § Εργατικό Δυναμικό ή Φορείς της Εκτελεστικής Δραστηριότητας.



Σχήμα 2.3 : Η Διοικητική Πυραμίδα

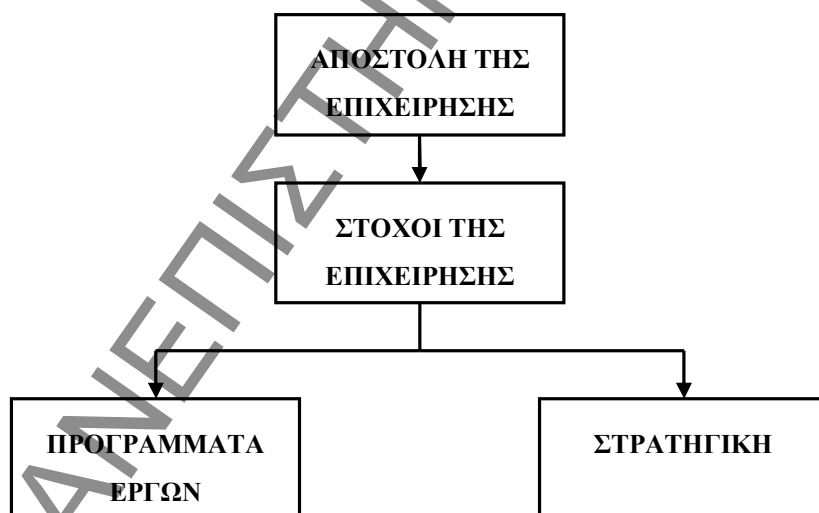
Με το διαχωρισμό αυτό είναι δυνατό να καθοριστεί η ιεραρχική κλίμακα των στελεχών ανάλογα με τη σπουδαιότητα του εκτελούμενου έργου. Η διοικητική ιεραρχία εκφράζει επίσης και το βαθμό εξουσίας που ασκεί ένα στέλεχος μέσα στην κοινωνική ομάδα που δρα. Βέβαια είναι δυνατό να υπάρξουν περισσότερες

διαβαθμίσεις και οι γραμμές διαχωρισμού μεταξύ των ιεραρχικών επιπέδων δεν είναι απόλυτες. Σ' αυτό συντελούν το μέγεθος το έργο και η οργανωτική του δομή.

2.5 Το Management στις Επιχειρήσεις

Κάθε επιχείρηση ξεκινά από το ιδρυτικό καταστατικό της το οποίο προσδιορίζει την αποστολή της (mission) και στη συνέχεια βάζει τους στόχους της (objectives).

Οι στρατηγικές χρησιμοποιούνται για να δηλώσουν ένα γενικό πρόγραμμα δράσης για την επίτευξη των στόχων χωρίς να εισέρχονται σε λεπτομέρειες ενώ για το Project Management στόχοι είναι το έργο στο οποίο στοχεύει η δραστηριότητα της μέσα σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Τα έργα υλοποιούνται μέσα από προγράμματα στα πλαίσια των στρατηγικών που εφαρμόζει η επιχείρηση.



Σχήμα 2.4 : Το Management στις επιχειρήσεις

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : ΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΡΓΟΥ

3.1 Εντολέας / Πελάτης Έργου

Είναι το φυσικό ή νομικό εκείνο πρόσωπο που διαπιστώνει την ανάγκη εκτέλεσης ενός έργου και έχει την αποκλειστική αρμοδιότητα να δώσει την εντολή πραγματοποίησής του. Πρόκειται, ουσιαστικά, για το πρόσωπο ή τον οργανισμό που θα κάνει χρήση του προϊόντος του έργου. Ο Εντολέας ή Πελάτης αφού διαπιστώσει την ανάγκη εκτέλεσης του έργου με τις διαδικασίες του P.M., οριοθετεί τις απαιτήσεις του έργου και επιλέγει το κατάλληλο εκείνο πρόσωπο, που κατά τη γνώμη του, μπορεί να το φέρει σε πέρας.

3.2 Διαχειριστής / Υπεύθυνος Έργου (Project Manager)

Πρόκειται για τον οργανισμό ή το πρόσωπο εκείνο στο οποίο, μετά από μια συγκεκριμένη διαδικασία, ανατίθεται από τον Εντολέα / Πελάτη, ως αποκλειστική απασχόληση, η πλήρης ευθύνη συντονισμού του έργου ενώ του εκχωρούνται και οι απαιτούμενοι για το σκοπό αυτό οικονομικοί πόροι, αρμοδιότητες, κ.λπ.

Το κλειδί της επιτυχίας του έργου είναι ο Υπεύθυνος Έργου, που είναι ουσιαστικά αυτός που τελικά διοικεί και διευθύνει το έργο. Οι αρμοδιότητές και οι ευθύνες τους είναι θα πρέπει να είναι καλά σχεδιασμένες από την αρχή. Όπως λέγεται είναι η «καρδιά» όλου του συστήματος και πρέπει να έχει διοικητικές αρετές, τεχνικές γνώσεις, όπου απαιτείται, και καλό χαρακτήρα. Φυσικά ο υπεύθυνος έργου απασχολείται στο έργο με πλήρη και αποκλειστική απασχόληση (full time).

Ο υπεύθυνος του έργου οφείλει να διαχειρίζεται το έργο όμως ταυτόχρονα θα πρέπει να χαράσσει την κατάλληλη στρατηγική για πιθανές αλλαγές που μπορεί να γίνουν όπου κρίνεται απαραίτητο. Ο ρόλος του υπευθύνου του έργου σήμερα είναι ιδιαίτερα πολυσύνθετος καθώς θα πρέπει να δρα ως ηγέτης για να μπορεί να κατευθύνει σωστά

την ομάδα έργου και να επιτύχει τελικά τα επιθυμητά αποτελέσματα. Οφείλει να έχει γνώση του συνεχώς μεταβαλλόμενου περιβάλλοντος, το οποίο μπορεί να επηρεάσει την πορεία του έργου, ενώ θα πρέπει να τον διακρίνουν τα χαρακτηριστικά που διακρίνουν κάθε σωστό ηγέτη όπως το κύρος, η διορατικότητα, η συνεργατικότητα, η ικανότητα εμπύχωσης και σωστής επικοινωνίας, η ικανότητα λήψης αποφάσεων κ.λ.π. Πλέον ο Διαχειριστής του έργου έχει να διαχειρισθεί πέρα από το ίδιο το έργο και άλλους παράγοντες όπως π.χ. ο Ανθρώπινος Παράγοντας (Ομάδα Έργου), γεγονός που κάνει σαφώς δυσκολότερο το έργο του. Πιο κάτω παρουσιάζονται τόσο οι ικανότητες που οφείλει να έχει ένας Project Manager, όσο και οι ενέργειες που πρέπει να κάνει για να διασφαλίζεται η ομαλή πορεία του έργου.

3.2.1 Ικανότητες του Υπεύθυνου Έργου

Ο Υπεύθυνος Έργου θα πρέπει να έχει όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά που οφείλει να έχει ένας Ηγέτης δηλαδή θα πρέπει :

- § Να είναι ικανός να δημιουργεί κλίμα συνεργασίας μεταξύ των μελών των ομάδων του P.M..
- § Να γνωρίζει την τέχνη του «διοικείν».
- § Να είναι δίκαιος και αξιοκρατικός απέναντι στα μέλη της ομάδας που διοικεί.
- § Να επαινεί δημόσια τους υφισταμένους του αλλά να φροντίζει να τους επιπλήττει ιδιαίτερω.
- § Να σέβεται την ανθρώπινη εργασία και τους εργαζόμενους.
- § Να έχει εμπειρία σε έργα και να έχει περάσει από διάφορα τμήματα της επιχείρησης.
- § Να χρησιμοποιεί όλες εκείνες τις κατάλληλες μεθόδους παρακίνησης και εμπύχωσης για να ενεργοποιεί το ενδιαφέρον των συνεργατών του.
- § Να είναι ολοκληρωμένη προσωπικότητα.
- § Να προωθεί την σωστή επικοινωνία.

- § Να έχει υψηλό γνωστικό υπόβαθρο και να είναι ικανός να λαμβάνει αποφάσεις / επιλύει προβλήματα ακόμη και σε στιγμές κρίσης.
- § Να τον διακρίνουν χαρακτηριστικά όπως το κύρος, η διπλωματία, η κοινωνικότητα και η συμμετοχικότητα.

Συνεπώς ο Project Manager θα πρέπει να προσεγγίζει το έργο που του έχει ανατεθεί με τις κατάλληλες μεθόδους εργασίας, με σωστή οργάνωση της εργασίας και κυρίως με καλές ανθρώπινες σχέσεις.

3.2.2 Απαραίτητες ενέργειες του Υπεύθυνου Έργου

Ο Υπεύθυνος Έργου θα πρέπει να φροντίζει :

- § Για την έγκαιρη έναρξη, σωστή εκτέλεση και ολοκλήρωση του έργου που έχει αναλάβει.
- § Να αναλύει το έργο που έχει αναλάβει σε πακέτα εργασίας, σε δραστηριότητες οι οποίες θα πρέπει να περιγράφουν το έργο που θα εκτελεστεί και να αναθέτει στις δραστηριότητες και τα πακέτα τους σωστούς χρόνους καθώς και να κάνει ορθολογική χρησιμοποίηση των οικονομικών πόρων και των συντελεστών παραγωγής.
- § Να αναπτύσσει τα κατάλληλα για το έργο Συστήματα Πληροφοριών (MIS), καθώς και διαδικασίες και συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου του έργου.
- § Να είναι έτοιμος και ικανός να αντιμετωπίζει τις διάφορες συγκρούσεις που παρουσιάζονται κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του έργου και να παραμερίζει τα παρουσιαζόμενα εμπόδια.

3.3 Ομάδα Έργου

Όσες και όποιες ικανότητες αν έχει ο Υπεύθυνος Έργου δεν θα μπορέσει να φέρει σε πέρας το έργο που έχει αναλάβει χωρίς αξιόλογους συνεργάτες. Η επιλογή των κατάλληλων εκείνων συνεργατών που θα αναλάβουν τα διάφορα πακέτα εργασίας προϋποθέτει κατ' αρχήν σωστή ανάλυση του έργου, ώστε να εντοπισθούν οι θέσεις και ο αριθμός των συνεργατών που είναι αναγκαίοι για να προχωρήσει το έργο. Στους υπευθύνους πακέτων εργασίας ανατίθεται από τον Υπεύθυνο του Έργου η πλήρης ευθύνη εκτέλεσης του πακέτου τους, είναι επικεφαλής της ομάδας τους και εκτός των άλλων έχουν υπευθυνότητα για την παροχή τεχνικής υποστήριξης και πιστοποίησης της πορείας των παραδοτέων τους.

Ο αριθμός των ατόμων τα οποία πλαισιώνουν μια Ομάδα Έργου εξαρτάται από το είδος και τη σημαντικότητα του έργου, το βαθμό αποκέντρωσης που έχει υιοθετήσει η επιχείρηση, την σημαντικότητα που έχει το έργο για την επιχείρηση καθώς και τον αριθμό των έργων που μπορεί να εκτελούνται παράλληλα (sub projects). Παράλληλα για την στελέχωση των ομάδων δεν θα πρέπει να παραλειφθεί το θέμα των αρμοδιοτήτων που δίνονται στον Project Manager και οι απαιτήσεις του Πελάτη / Εντολέα (ιδιομορφίες, ειδικές ανάγκες κ.λ.π.).

Πρέπει να τονισθεί βέβαια πως όσο πιο λίγα μέλη έχει μια Ομάδα Έργου τόσο καλύτερη προβλέπεται να είναι η λειτουργία και η αποδοτικότητα αυτής καθώς συνήθως στις πολυπληθείς ομάδες παρουσιάζονται προβλήματα όπως η κακή επικοινωνία μεταξύ των μελών, η δημιουργία άτυπων ομάδων, οι συνεχείς συγκρούσεις λόγω των πολλών διαφορετικών απόψεων κ.λ.π.. Η αρχή αυτή έχει και μικρό κόστος και δεν αποσπά τον Υπεύθυνο Έργου από τα κύρια καθήκοντά του σε καθήκοντα διοίκησης προσωπικού. Βέβαια ο αριθμός των μελών εξαρτάται και από τον καλό ή όχι προγραμματισμό του έργου καθώς και από άλλους παράγοντες όπως , για παράδειγμα , η πολυπλοκότητα του έργου. Πιο κάτω παρουσιάζονται τα κάποιες προϋποθέσεις που πρέπει να πληρούνται για είναι μια ομάδα λειτουργική και αποδοτική :

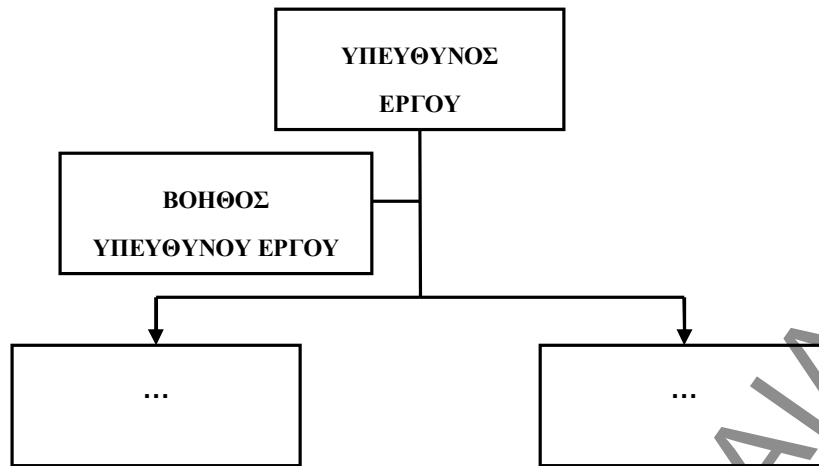
- § Σαφής καθορισμός και σωστή κατανομή ρόλων εντός της ομάδας.
- § Ιδανικό μέγεθος ομάδας.
- § Κοινοί και ξεκάθαροι στόχοι.
- § Κατάλληλη ηγεσία από τον υπεύθυνο της ομάδας.
- § Ομοιογένεια και κατάλληλο γνωστικό υπόβαθρο των μελών.
- § Προώθηση καλής επικοινωνίας και όσο το δυνατόν καλύτερη χημεία μεταξύ των μελών.
- § Υποστήριξη της ομάδας από την διοίκηση.
- § Ύπαρξη κατάλληλων κινήτρων για αύξηση της απόδοσης.
- § Ορθή και συνεχής εκπαίδευση των μελών της ομάδας.

3.4 Ανάδοχος Έργου

Ανάδοχος Έργου είναι ένα φυσικό ή νομικό πρόσωπο ή ακόμη και κάποια υπηρεσιακή λειτουργία, που είναι υπεύθυνη για την υλοποίηση των διάφορων φάσεων εκτέλεσης του έργου (πακέτα εργασιών).

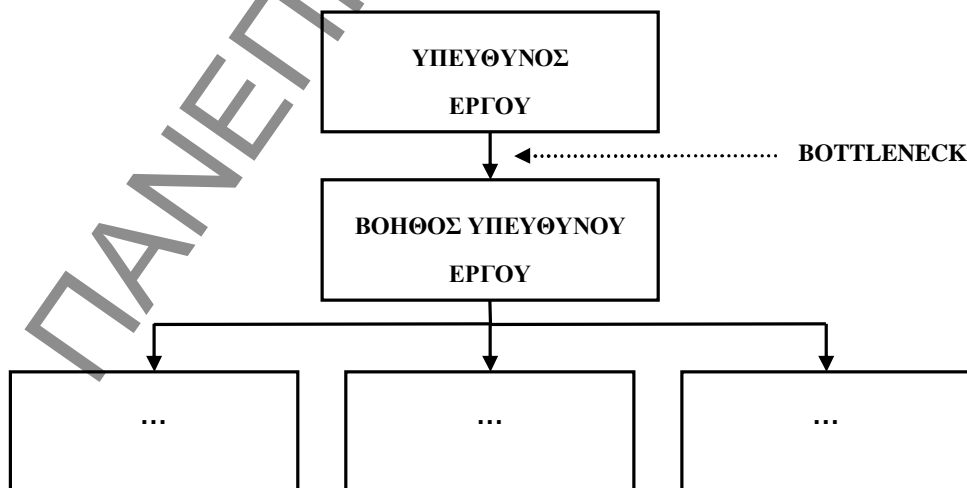
3.5 Βοηθός Υπεύθυνου Έργου

Συχνά στο οργανόγραμμα διαφόρων επιχειρήσεων συναντούμε και την θέση του Βοηθού Υπευθύνου Έργου (Assistant Project Manager), το αντικείμενο του οποίου αφορά την ανάληψη κάποιων εργασιών που υπό άλλες συνθήκες θα αναλάμβανε να εκτελέσει ο ίδιος ο Υπεύθυνος Έργου. Η απασχόληση του βοηθού Project Manager μπορεί να μην είναι full time και η βοήθεια να αφορά μερικά μόνο θέματα ή και ακόμη ένα συγκεκριμένο θέμα της ειδικότητας του βοηθού Project Manager.



Σχήμα 3.1α : Η θέση του Βοηθού Υπεύθυνου Έργου

Πιο πάνω παρουσιάζεται μια οργανωτική δομή στην οποία εμπεριέχεται και η θέση του Βοηθού Υπεύθυνου Έργου. Υπάρχει όμως και μια άλλη οργανωτική δομή σύμφωνα με την οποία ο Βοηθός Υπεύθυνου Έργου παίζει ουσιαστικότερο ρόλο στο έργο. Όλες οι γραμμές εξουσίας περνούν από αυτόν και η θέση του είναι ιδιαίτερα ισχυρή και ουσιαστικής σημασίας. Στην περίπτωση αυτή η απασχόληση του είναι full time, μπορεί όμως να γίνει το σημείο που σταματά σχεδόν όλη η πληροφόρηση προς τον Project Manager (bottleneck), καθώς όλες οι πληροφορίες περνούν από αυτόν.



Σχήμα 3.1β : Ο ουσιαστικός ρόλος του Βοηθού Υπεύθυνου Έργου

3.6 Διευθυντής Έργων ή Προγράμματος

Σε επιχειρήσεις που εκτελούνται πολλά έργα , κυρίως του ίδιου επιχειρησιακού ενδιαφέροντος , δημιουργείται η θέση του Διευθυντή Έργων ή Προγράμματος. Διευθυντής Έργων ή Προγράμματος είναι το φυσικό εκείνο πρόσωπο στο οποίο ανατίθεται από τον Πελάτη / Εντολέα η πλήρης ευθύνη συντονισμού περισσότερων του ενός έργων. Στις αρμοδιότητες του Διευθυντή Έργου είναι η εφαρμογή της πολιτικής της επιχείρησης στα έργα, η συνεργασία με όλους τους παράγοντες που εμπλέκονται για θέματα που αφορούν τους οικονομικούς πόρους, η επίλυση προβλημάτων που ενδεχομένως παρουσιάζονται μεταξύ των Project Managers και τέλος η βοήθεια δημιουργίας και λειτουργίας του συστήματος Διοίκησης Έργου στην επιχείρηση.

Να πούμε τέλος πως πέρα από όλα τα πάνω <<ενδιαφερόμενα>> μέρη που αναμιγνύονται σε ένα έργο, συνήθως εμπλέκονται και τρίτοι όπως χορηγοί, προμηθευτές, εργολάβοι, δημόσιοι οργανισμοί, απλοί πολίτες και το κοινωνικό σύνολο γενικότερα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : ΒΑΣΙΚΑ ΕΓΓΡΑΦΑ ΕΡΓΟΥ

Για τη σωστή οργάνωση και λειτουργία του έργου αλλά και τη ομαλή πορεία αυτού είναι απαραίτητο να υπάρχει η κατάλληλη τεκμηρίωση τόσο των απαιτήσεων του πελάτη όσο και των απαιτήσεων του έργου που στην ουσία σημαίνει την λεπτομερή καταγραφή του τρόπου εκτέλεσής του.

4.1 Έγγραφο Απαιτήσεων Πελάτη Έργου (Customer Requirements Definition)

Βασική προϋπόθεση για την προκήρυξη του έργου είναι η τεκμηριωμένη ανακοίνωση των προϋποθέσεων και επιθυμιών του πελάτη για το έργο. Το Έγγραφο Απαιτήσεων Πελάτη (C.R.D.) είναι ουσιαστικά το τυποποιημένο εκείνο έγγραφο που αναφέρει τις απαιτήσεις του για το συγκεκριμένο έργο και το οποίο απευθύνεται προς το Διευθυντή Έργου, που θα επιλέξει (με ανάθεση ή προκήρυξη) ο Πελάτης για να του αναθέσει την υλοποίηση του έργου.

4.2 Έγγραφο Απαιτήσεων Έργου (Project Requirements Definition)

Παράλληλα με το Έγγραφο Απαιτήσεων Πελάτη είναι απαραίτητο να συμπληρωθεί και το Έγγραφο Απαιτήσεων Έργου (P.R.D.) που δεν είναι τίποτε άλλο παρά το τυποποιημένο εκείνο έγγραφο στο οποίο ο Διευθυντής Έργου αναλύει με κάθε λεπτομέρεια (σκοπός, στόχοι, εύρος, προϋπολογισμός, χρονοπρογράμματα κλπ) το έργο, προκειμένου να το φέρει σε πέρας. Ουσιαστικά το Έγγραφο Απαιτήσεων Έργου (P.R.D.) μετά την αποδοχή και υπογραφή του από τον Πελάτη και το Διευθυντή Έργου είναι το Βασικό Πλάνο Αναφοράς (Baseline Plan) του Έργου, το οποίο θα αναλυθεί πιο κάτω. Για να συνταχθεί ορθά το Έντυπο Απαιτήσεων Έργου θα πρέπει να μην παραληφθούν τα παρακάτω στοιχεία :

- § Σκοπός του έργου
- § Ανάλυση του έργου σε πακέτα εργασίας (W.B.S.)
- § Παραδοτέα του έργου
- § Σχέδιο δράσης
- § Προϋπολογισμός έργου
- § Ρόλοι και αρμοδιότητες
- § Απόδοση (Κριτήρια παραλαβής έργου)
- § Κίνδυνοι
- § Αναγνώριση του έργου – Πρωτόκολλο καταγραφής εγγράφων
- § Παραρτήματα

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΡΓΟΥ

5.1 Κύκλος Ζωής Έργου (Project Life Cycle)

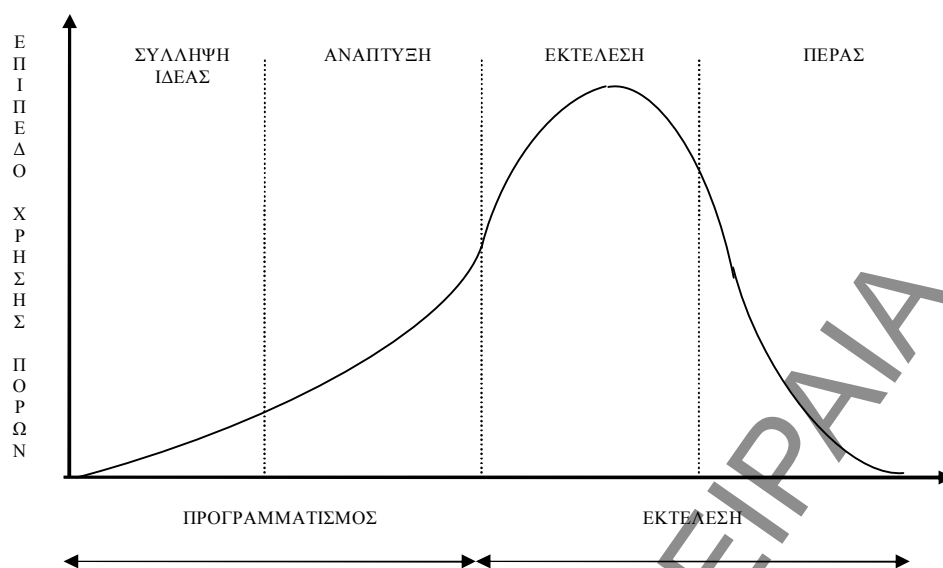
Κύκλος Ζωής είναι η αλληλουχία των διακεκριμένων φάσεων του έργου από τη φάση της σχεδίασης μέχρι και τη φάση της ολοκλήρωσης. Όπως είναι φυσικό, τα έργα ανεξάρτητα από το μέγεθός τους ή τον τύπο τους, ακολουθούν ένα συγκεκριμένο τύπο ανάπτυξης.

Κάθε έργο αρχίζει από την «ιδέα», η εφικτότητα και η αποδοτικότητα της οποίας εξετάζεται με κατάλληλη μελέτη σκοπιμότητας. Στην περίοδο αυτή (*πρώτη φάση*) αποφασίζεται το μέγεθος του έργου, μελετάται ο τρόπος χρηματοδότησής του και αρχίζουν οι διαδικασίες οργάνωσής του. Οι πληροφορίες που απαιτούνται στη φάση αυτή είναι λίγες και συγκεντρωτικές και οι αποφάσεις αφορούν τα υψηλά διοικητικά επίπεδα και όπως είναι φυσικό εμπεριέχουν μεγάλο ρίσκο. Η φάση αυτή τελειώνει με την απόφαση αν θα γίνει το έργο ή όχι.

Η *δεύτερη φάση* υποδιαιρείται σε δύο περιόδους. Στη πρώτη περίοδο ανήκει η γενική μελέτη του έργου ενώ στη δεύτερη ουσιαστικά οργανώνεται το έργο από τεχνικής και οικονομικής πλευράς, καταρτίζεται ο προϋπολογισμός, γίνεται η στελέχωσή του με το κατάλληλο προσωπικό κ.λπ.

Η *τρίτη φάση* έχει σαν σκοπό την υλοποίηση του έργου. Στη φάση αυτή δεν υπάρχουν μόνο προγράμματα δράσης αλλά και η εκτέλεση του έργου. Τέλος η *τέταρτη φάση* περιλαμβάνει την ολοκλήρωση και την παράδοση - παραλαβή του έργου.

Κάθε έργο συνεπώς έχει συγκεκριμένες φάσεις που η κάθε μία από αυτές απαιτεί διαφορετικό στυλ διοίκησης, οργάνωσης, ελέγχου και διαδικασίας βελτίωσης. Πιο κάτω παρουσιάζεται ένα διάγραμμα στο οποίο παρουσιάζεται ο Κύκλος Ζωής ενός έργου ενώ στην συνέχεια αναλύονται οι φάσεις αυτές ξεχωριστά.



Σχήμα 5.1 : Ο Κύκλος Ζωής του Έργου (Project Life Cycle)

5.2 Ανάλυση των φάσεων του Έργου

5.2.1 Φάση Πρώτη : Σύλληψη ιδέας / Καθορισμός του Έργου

Με δεδομένη και αναγκαία την σύλληψη της ιδέας για την δημιουργία ενός νέου έργου, στη φάση του καθορισμού του έργου αναλύεται και επιβεβαιώνεται η εργασία που απαιτείται για να ολοκληρωθεί το έργο, με τον καθορισμό και τη συμφωνία για τους στόχους, το πεδίο, και τα οφέλη. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, η διαχείριση του έργου περιγράφει τον τρόπο υλοποίησης και καθιερώνει μια σαφή κατανόηση του σκοπού, της προσέγγισης και των πόρων που απαιτούνται για να συμπληρωθεί επιτυχώς το έργο. Οι διευθυντές του έργου προσδιορίζουν τι θα γίνει, από ποιους, και με ποιους πόρους (προσωπικό, εξοπλισμός, και εγκαταστάσεις). Κατά τη διάρκεια του καθορισμού του έργου, η ομάδα εργασίας και άλλοι βασικοί συμμετοχοί, επιτυγχάνουν τη συναίνεση όσον αφορά την κατανόηση και τις προσδοκίες από το έργο. Το τελικό αποτέλεσμα όλων των παραπάνω είναι η ανάπτυξη ενός διοικητικού πλάνου, που περιλαμβάνει τα εξής :

- § Στόχους, ανάγκες, πεδίο, οφέλη, και κινδύνους.
- § Μεθοδολογία / Στρατηγική υλοποίησης του έργου.
- § Σχέδιο των πόρων και υποδομή.
- § Προσέγγιση / διαδικασίες ελέγχου του έργου.
- § Εκτιμήσεις (χρόνος περάτωσης, δαπάνες, εναλλακτικά σενάρια).

5.2.2 Φάση Δεύτερη : Ανάπτυξη / Προγραμματισμός Έργου

Ο προγραμματισμός του έργου καθορίζει με λεπτομέρεια, τους τρόπους με τους οποίους οι συγκεκριμένοι στόχοι και οι δραστηριότητες του έργου θα πρέπει να διευθυνθούν. Μέσω του προγραμματισμού καλύπτονται οι στόχοι που πρέπει να ολοκληρωθούν, το χρονικό πλαίσιο στο οποίο θα εκτελεσθούν, καθώς και τα μέλη των ομάδων που θα τα εκτελέσουν. Μέσω της ανάπτυξης ενός λεπτομερούς σχεδίου εργασίας, οι διευθυντές προγράμματος προσδιορίζουν την εργασία (στόχοι, αλληλεξαρτήσεις, και προϊόντα), τους πόρους (άνθρωποι, εξοπλισμός, και χρηματοδότηση), την προσπάθεια (ώρες), τα προγράμματα (ημερομηνίες έναρξης και λήξης), και τις δαπάνες που απαιτούνται για να επιτευχθούν οι στόχοι του προγράμματος. Μέσω του προγραμματισμού μειώνονται οι πιθανοί κίνδυνοι με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι πιθανότητες επιτυχίας, δηλαδή εκτέλεσης του έργου με την ιδανική ποιότητα, το ελάχιστο κόστος και την έγκαιρη παράδοση αυτού. Οι βασικές δραστηριότητες αυτής της φάσης περιλαμβάνουν:

- § Αυστηρό προσδιορισμό των πόρων (άνθρωποι, εξοπλισμός, χρηματοδοτικά, και άλλα εργαλεία).
- § Καθορισμό των απαιτήσεων απόδοσης του έργου.
- § Οικοδόμηση ενός αρχικού προγράμματος.
- § Ανάπτυξη λεπτομερούς προγράμματος εργασιών.
- § Προσδιορισμό των ρόλων και των ευθυνών.
- § Ανάπτυξη και τεκμηρίωση ενός σχεδίου επικοινωνίας.
- § Εγκατάσταση συστημάτων παρακολούθησης και καταγραφής πληροφοριών.

- § Ανάπτυξη και τεκμηρίωση των διαδικασιών επίλυσης προβλημάτων.
- § Ανάπτυξη και τεκμηρίωση τεχνικών/εργαλείων διαχείρισης κινδύνου.

5.2.3 Φάση Τρίτη : Έναρξη / Εκτέλεση και Έλεγχος του Έργου.

Η εκτέλεση και ο έλεγχος του έργου επιτυγχάνονται μέσω επαναληπτικών διαδικασιών που μετρούν συνεχώς την τρέχουσα θέση και τη μελλοντική κατεύθυνση του προγράμματος, σε σχέση με το πρόγραμμα των εργασιών. Πραγματοποιείται δηλαδή μια συνεχής σύγκριση του σημείου που βρίσκονται οι εργασίες / δραστηριότητες του έργου σε σχέση με το σημείο που θα έπρεπε να βρίσκονται βάσει του αρχικού προγραμματισμού. Μέσω των δραστηριοτήτων εντοπισμού και ελέγχου, οι υπεύθυνοι του έργου θα πρέπει να εξασφαλίσουν ότι οι στόχοι του προγράμματος, που καθορίζονται στο σχέδιο του έργου, μπορούν να επιτυγχάνονται. Αυτή η φάση παρέχει επίσης τη βάση για την επικοινωνία, την μέτρηση της προγραμματισμένης και πραγματικής προσπάθειας, των τάσεων, της χρησιμοποίησης των πόρων, των αλλαγών κ.λ.π. Οι βασικές δραστηριότητες αυτής της φάσης περιλαμβάνουν:

- § Την έναρξη εκτέλεσης του έργου.
- § Την καταγραφή και επεξεργασία των διάφορων πληροφοριών που προέρχονται από την εκτέλεση του έργου.
- § Τη σύγκριση της πορείας του έργου με το Βασικό Πλάνο Αναφοράς Έργου (δηλαδή σύγκριση των πραγματικών αποτελεσμάτων του προγράμματος με τις αρχικές εκτιμήσεις).
- § Υποβολή έκθεσης σχετικά με τη θέση και την πρόοδο του έργου.
- § Διαδικασίες αναθεώρησης για να εντοπιστούν οι τομείς βελτίωσης.
- § Αποτελέσματα αναθεώρησης.
- § Εύρεση διορθωτικών ενεργειών στους τομείς βελτίωσης.

5.2.4 Φάση Τέταρτη : Πέρασ του Έργου

Μετά την οριστική περάτωση του έργου και σύμφωνα με όσα έχουν συμφωνηθεί στο Έντυπο Απαιτήσεων Έργου, γίνεται οριστική παραλαβή του έργου από τον πελάτη του. Τονίζεται εδώ ότι κανένα έργο δεν θεωρείται ότι έχει ουσιαστικά και πρακτικά περατωθεί αν δεν υπάρξει η οριστική παραλαβή του.

Η φάση του τέλους του έργου αποτελείται από τρία στάδια : Την έναρξη της λειτουργίας του τελικού παραδοτέου, την απελευθέρωση των πόρων, και τις αναθεωρήσεις μετά τη λειτουργία του έργου. Για να ολοκληρωθεί ένα έργο κατά τρόπο αποτελεσματικό, ο διευθυντής του έργου και οι λοιποί βασικοί συμμετέχοντες προσδιορίζουν λεπτομερή κριτήρια που καθορίζουν το τέλος του έργου. Όταν επιτευχθούν οι στόχοι του προγράμματος και όλες οι απαραίτητες δραστηριότητες έχουν ολοκληρωθεί, οι πόροι ελευθερώνονται με έναν οργανωμένο τρόπο, και στο τέλος πραγματοποιείται ένας έλεγχος για να αξιολογηθεί η επιτυχία του έργου. Ο υπεύθυνος του έργου θα πρέπει να εξασφαλίζει ότι όλοι οι βασικοί συμμετέχοντες καταλαβαίνουν και υποστηρίζουν τη διαδικασία κλεισίματος του έργου, ώστε να μειωθούν οι πιθανότητες αποτυχίας κατά την παράδοση και λειτουργία του.

Να πούμε τέλος πως το κλείσιμο του έργου δεν σημαίνει απαραίτητα και το τέλος της ζωής αυτού καθώς υπάρχει και ένα επόμενο στάδιο το οποίο δεν είναι άλλο από την συντήρηση του έργου. Η συντήρηση μπορεί να είναι απλή διαδικασία ή και σύνθετη, συνεχής ή και περιοδική, ανάλογα με την μορφή και την πολυπλοκότητα του κατασκευασθέντος έργου. Δεν έχει συγκεκριμένη αρχή και τέλος, αποτελεί μια διαρκή κατάσταση και για τον λόγο αυτό δεν συμπεριλαμβάνεται στις άνω φάσεις του κύκλου ζωής ενός έργου.

5.3 Ανάλυση του Έργου σε Πακέτα Εργασίας (Work Breakdown Structure - W.B.S.)

Κάθε έργο μπορεί να αναλυθεί σε πακέτα ή φάσεις εργασίας. Τα πακέτα αυτά αποτελούν τη βάση γύρω από την οποία δομείται το έργο. Ουσιαστικά, ο διαχωρισμός του έργου σε διάφορες δραστηριότητες γίνεται με βάση το ποιος θα εκτελέσει τη συγκεκριμένη εργασία (τμήμα της επιχείρησης, συγκεκριμένα άτομα ή συνεργεία), τη γεωγραφική περιοχή, το χρόνο, τα παραδοτέα του ή συνδυασμό όλων των παραπάνω. Η πορεία διαχωρισμού του έργου σε πακέτα εργασίας είναι σταδιακή και ξεκινάει από μεγάλες κατηγορίες και φθάνει σε μικρότερες και στη συνέχεια σε μικρότερες μέχρι της μοναδιαίες δραστηριότητες. Ως εκ τούτου, δημιουργείται μια πυραμίδα που περιγράφει σαφώς και πλήρως το έργο.

Εφόσον, λοιπόν, έχουν καθοριστεί ο στόχος, το εύρος της ανάλυσης και τα τελικά προϊόντα του έργου, μπορούν να χρησιμοποιηθεί η Ανάλυση Έργου σε Πακέτα Εργασίας (Work Breakdown Structures) ώστε να διασπαστεί η δουλειά του έργου σε μικρότερα συστατικά στοιχεία. Τα Work Breakdown Structures (WBS) δεν είναι τίποτε άλλο παρά μία διάσπαση των συστατικών στοιχείων του έργου, σε «πακέτα εργασίας» με βάση συνήθως τα τελικά παραδοτέα, τις εκροές κάθε δραστηριότητας. Το πακέτο εργασίας είναι το χαμηλότερο επίπεδο στην ανάλυση WBS και είναι συνήθως μία δραστηριότητα με προκαθορισμένη αρχή και τέλος, δεδομένων πόρων και κόστους. Τα WBS χρησιμοποιούνται ουσιαστικά για να εξασφαλιστεί η κοινή κατανόηση του έργου από όλους τους εμπλεκόμενους σε αυτό. Καθώς αναπτύσσονται τα πρότυπα WBS, οι ομάδες εργασίας αλλά και τα μεμονωμένα άτομα που ασχολούνται με το έργο, αναλαμβάνουν συγκεκριμένες ευθύνες για την ολοκλήρωση των πακέτων εργασίας της αρμοδιότητάς τους. Κατ' αυτό τον τρόπο ενοποιείται η εργασία με τον οργανισμό γι' αυτό πολλές φορές τα WBS αποκαλούνται και OBS (Organization Breakdown Structures). Η χρήση της ανάλυσης WBS κάνει επίσης ευκολότερο τον μελλοντικό προγραμματισμό και τον προϋπολογισμό, καθώς παρέχει το πλαίσιο για τον έλεγχο του κόστους και της απόδοσης της εργασίας. Ακόμα καθορίζονται οι διάυλοι επικοινωνίας και διευκολύνεται έτσι ο συντονισμός μεταξύ των στοιχείων και των ομάδων του έργου.

5.4 Συσχέτιση φάσεων Έργου (Πακέτων Εργασίας)

Κατά την εκτέλεση ενός έργου κάποιες δραστηριότητες μπορεί να είναι απαραίτητο να αρχίσουν ή να τελειώσουν μαζί, ενώ κάποιες φορές κρίνεται απαραίτητο κάποια δραστηριότητα να αρχίζει αφού έχει τελειώσει κάποια άλλη (αμέσως ή μετά από κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα). Στην Διοίκηση Έργου, στη φάση της συσχέτισης των φάσεων έργου ή των δραστηριοτήτων μεταξύ τους δημιουργούνται δύο κατηγορίες δραστηριοτήτων, οι οποίες παρουσιάζονται πιο κάτω :

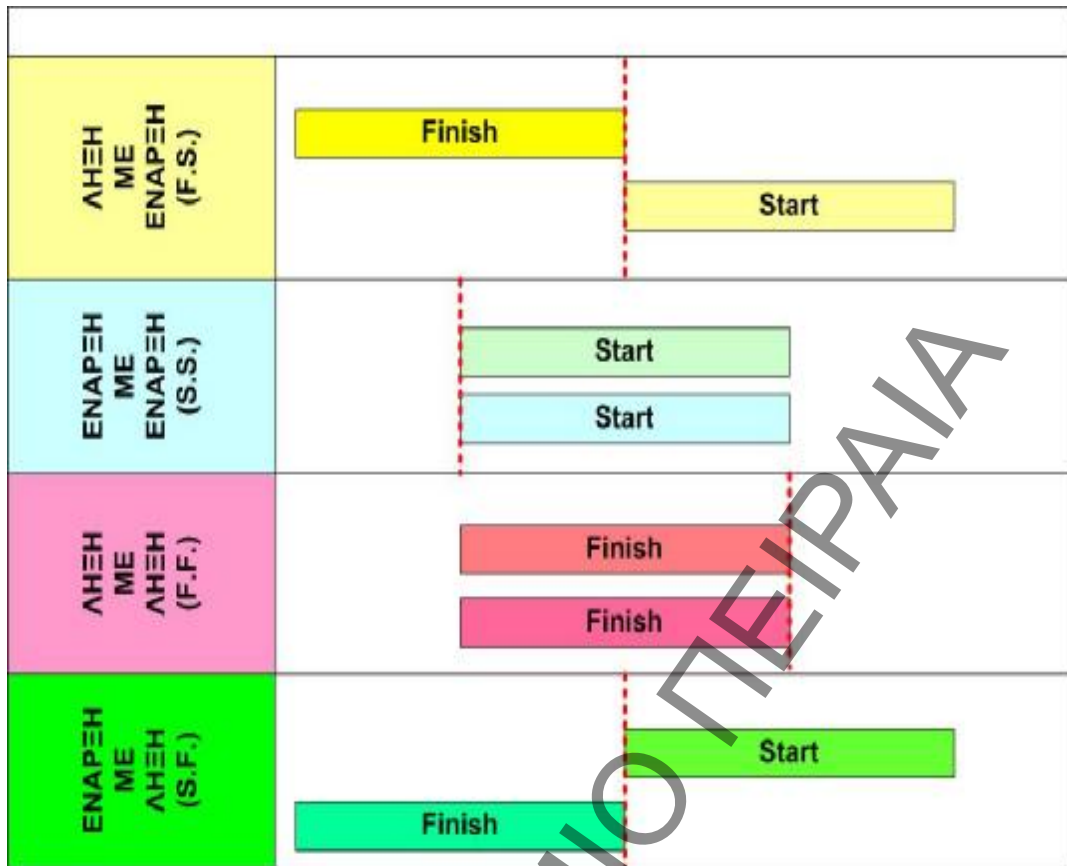
Προκάτοχος εργασία (predecessor task) : Εάν μια δραστηριότητα πρέπει να αρχίσει ή να τελειώσει πριν κάποια άλλη, τότε η δραστηριότητα αυτή ονομάζεται Προκάτοχος.

Διάδοχος εργασία (successor task) : Είναι η δραστηριότητα η οποία βασίζεται στην έναρξη ή στο πέρας μιας προηγούμενης εργασίας.

Ο βασικοί τρόποι με τους οποίους μπορεί να συσχετίζονται οι δραστηριότητες μεταξύ τους είναι:

- § Όταν τελειώνει η μία φάση ή εργασία να αρχίζει η άλλη, δηλαδή Πέρασ με Έναρξη (F.S.).
- § Οι φάσεις να αρχίζουν μαζί, δηλαδή Έναρξη με Έναρξη (S.S.).
- § Οι φάσεις να τελειώνουν μαζί, δηλαδή Πέρασ με Πέρασ (F.F.).
- § Έναρξη με Πέρασ (S.F.).

Να πούμε , τέλος , πως υπάρχουν κάποιες δραστηριότητες που έχουν διάρκεια 0 (μηδέν) και χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν τα σημαντικά σημεία του έργου ή είναι τα σημεία με τα οποία ξεχωρίζονται οι διαφορετικές φάσεις εκτέλεσης του έργου. Αυτές οι δραστηριότητες ονομάζονται Ορόσημα (Milestones) και χρησιμοποιούνται κυρίως για τον έλεγχο της χρονικής εξέλιξης των φάσεων του έργου. Κάθε έργο έχει τουλάχιστον δύο ορόσημα το ένα είναι της αρχής του έργου και το άλλο του τέλους.



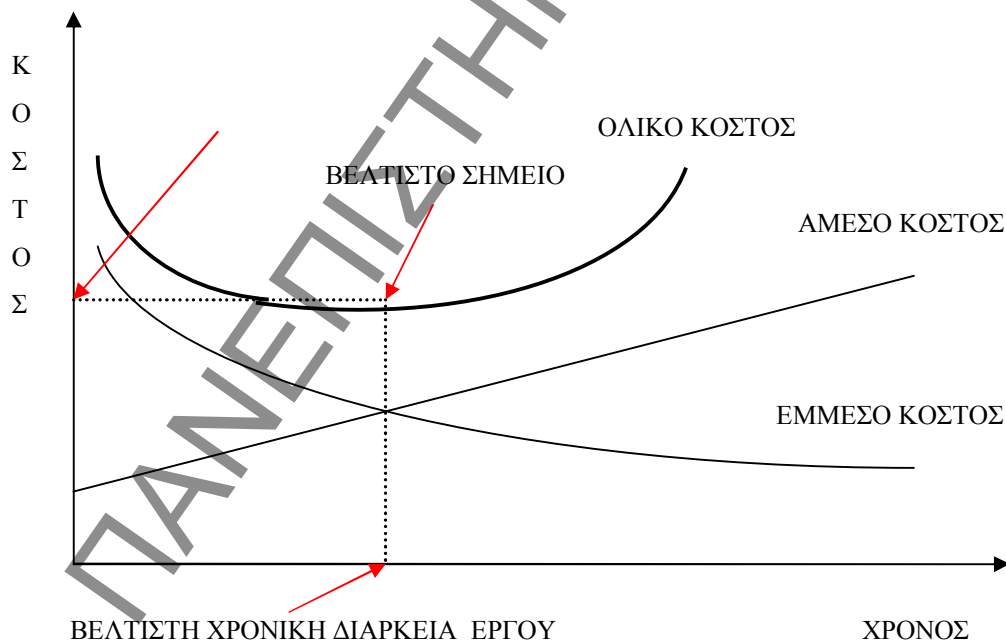
Σχήμα 5.2 : Τρόποι συσχέτισης δραστηριοτήτων

5.5 Προϋπολογισμός Κόστους Έργου (Project Budget)

Σύμφωνα με μια γενική έννοια *Προϋπολογισμός* είναι η οικονομική έκφραση ενός προγράμματος δράσης. *Προϋπολογισμός κόστους* είναι η πρόβλεψη του συνολικού κόστους του έργου, αναλυμένο σε κατηγορίες που είναι κατάλληλες για τον έλεγχο και κατανοητές μέσα στο χρόνο. Η ανάλυση του κόστους σε κατηγορίες γίνεται όχι μόνο για τον έλεγχο αλλά και για τη συλλογή στοιχείων για μελλοντική χρήση (ιστορικά στοιχεία). Το προϋπολογιστικό κόστος διακρίνεται στις παρακάτω κατηγορίες :

- Άμεσο Εργατικό Κόστος
- Γενικά Έξοδα Προσωπικού
- Κόστος Υλικών
- Έξοδα Εξοπλισμού
- Έξοδα Διοίκησης
- Έξοδα Εγκαταστάσεων
- Έξοδα Συμβούλων ή Υπεργολάβων

Όπως ήδη έχει αναφερθεί η εκτέλεση ενός έργου με τη διαδικασία του P.M. έχει σαν σκοπό να τελειώσει το έργο μέσα στα χρονικά όρια που έχουν τεθεί., μέσα στα όρια και πλαίσια του προϋπολογισμού και σύμφωνα με το επίπεδο ποιότητας και τα ποιοτικά πρότυπα που τεθεί. Πιο κάτω παρουσιάζεται σε μορφή γραφικής παράστασης η συνάρτηση μεταξύ του κόστους και του χρόνου εκτέλεσης του έργου καθώς και μια ποιοτική εκτίμηση του βέλτιστου συνδυασμού αυτών.



Σχήμα 5.3 : Συνάρτηση χρόνου – κόστους του έργου

5.6 Βασικό Πλάνο Αναφοράς Έργου (Baseline Plan)

Ως Πρόγραμμα δράσης ορίζεται ένα σύνολο ομαδοποιημένων δραστηριοτήτων που έχουν συγκεκριμένο προϋπολογισμό και χρόνο εκτέλεσης και έχουν σαν σκοπό την επίτευξη ενός κοινού σκοπού και στόχου.

Το Βασικό Πλάνο Αναφοράς Έργου (*Baseline Plan*) είναι το τελικό πρόγραμμα δράσης ενός έργου και περιλαμβάνει τον χρονικό προγραμματισμό των φάσεων του έργου καθώς και τους απαιτούμενους, για την εκτέλεση του έργου, οικονομικούς πόρους.

Η διαδικασία κατάρτισης του Βασικού Πλάνου Αναφοράς είναι η εξής :

- § Αρχικά πραγματοποιείται η κατάρτιση της λίστας των διαφορετικών φάσεων του έργου (πακέτα εργασίας).
- § Στη συνέχεια οι φάσεις διασυνδέονται λογικά μεταξύ τους και προγραμματίζονται χρονικά.
- § Δημιουργούνται τα διάφορα αναγκαία διαγράμματα (PERT & Gantt).
- § Επιλύονται τυχόν προβλήματα που έχουν σχέση με τον χρόνο πέρατος του έργου, τους οικονομικούς πόρους, το κόστος και την ποιότητα του έργου.
- § Υπογράφεται το Έντυπο Απαιτήσεων Έργου (P.R.D.) μεταξύ του Πελάτη (εντολέα) και Διευθυντή Έργου ή Project Manager (εντολοδόχου).

5.7 Διαδικασίες έγκρισης ενός Έργου

Αφού επιλεγεί ο Υπεύθυνος του Έργου και ανατεθεί σε αυτόν το έργο, συμφωνούνται, μεταξύ Πελάτη και Διευθυντή Έργου, ο χρονικός ορίζοντας του έργου καθώς και τα κόστη και η ποιότητα εκτέλεσής του, δηλαδή ουσιαστικά καταγράφονται και συμφωνούνται οι απαιτήσεις του έργου. Οι γενικοί αυτοί άξονες

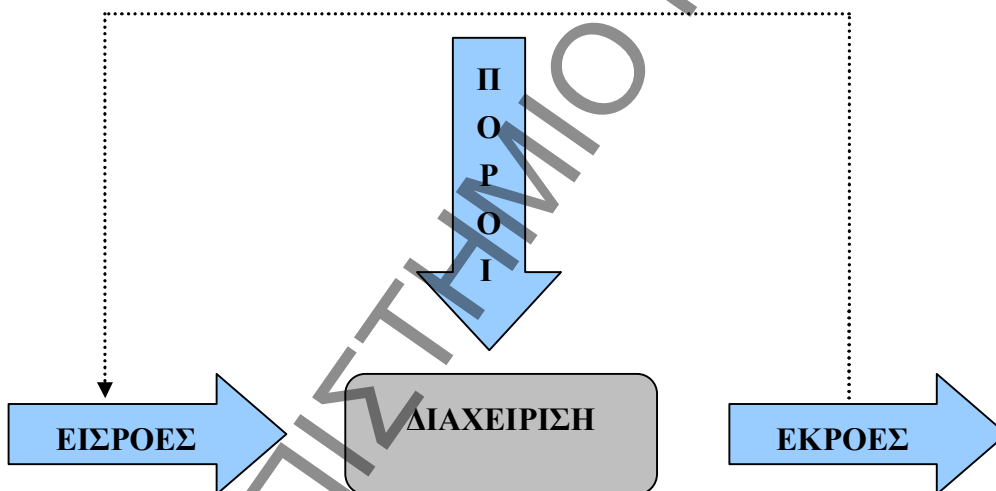
του έργου δίδονται για σχολιασμό και ενδεχόμενη τροποποίησή τους από τον εντολέα / πελάτη του έργου και μετά την τελική του απόφαση επιστρέφουν στον Υπεύθυνο του Έργου για τη σύνταξη του Βασικού Πλάνου Αναφοράς (Baseline Plan). Στην συνέχεια, αφού ο Υπεύθυνος του Έργου πάρει τη σύμφωνη γνώμη από το Δ.Σ. ή τον Εντολέα για το Βασικό Πλάνο Αναφοράς του έργου, κατανέμει ρόλους, ορίζει υπευθύνους κατά παραδοτέο και στελεχώνει κατάλληλα τις ομάδες εργασίας. Από το σημείο αυτό και μετά είναι έτοιμες οι διαδικασίες έναρξης εκτέλεσης του έργου.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΑΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : ΚΥΚΛΟΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ (P.D.C.A.)

6.1 Διεργασιοκεντρική Προσέγγιση του Κύκλου Βελτίωσης στη Διοίκηση Έργου

Σε ένα έργο το επιθυμητό αποτέλεσμα επιτυγχάνεται καλύτερα, όταν οι δραστηριότητες και οι οικονομικοί του πόροι διαχειρίζονται σαν μια διεργασία. Σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο ISO 8402 : 1994, *Διεργασία* είναι μια ομάδα αλληλοεπιδρώντων πόρων (διοίκηση, προσωπικό, εξοπλισμός, κεφάλαια, μέθοδοι) οι οποίες μετασχηματίζουν εισροές (inputs) σε εκροές (outputs).



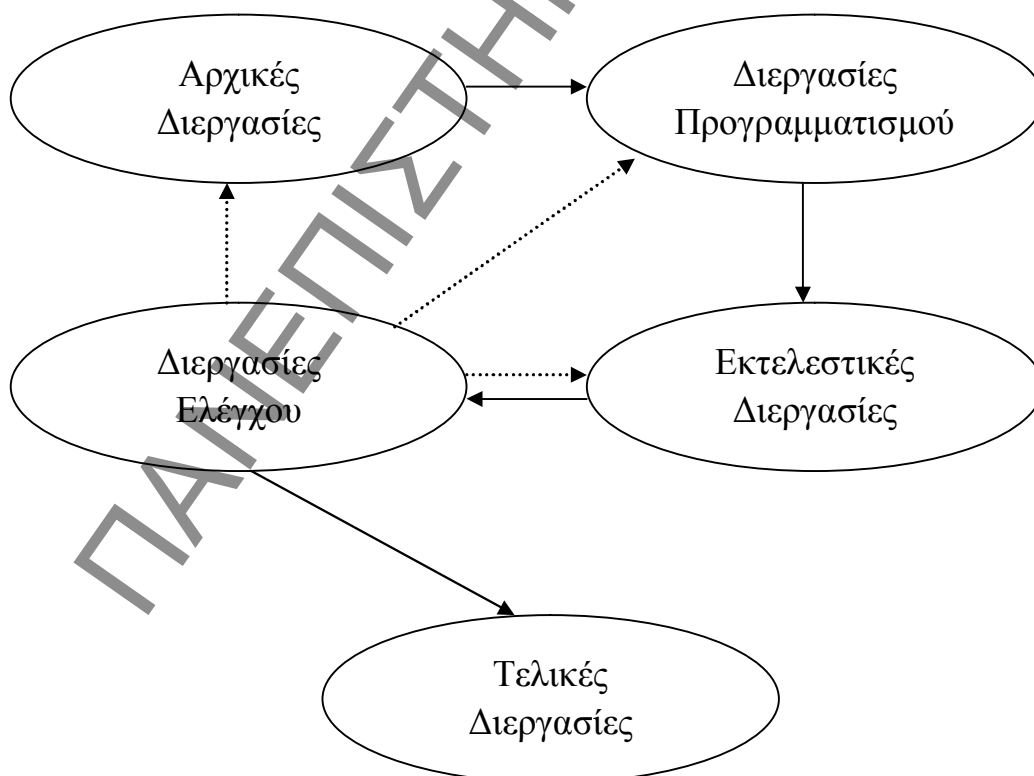
Σχήμα 6.1 : Αναπαράσταση Διεργασίας

Οι διεργασίες που αφορούν το έργο εκτελούνται από ανθρώπους και ανήκουν στις δυο πιο κάτω κατηγορίες :

- § Διεργασίες Διοίκησης Έργου : Αφορούν στην περιγραφή και οργάνωση των επιμέρους εργασιών του έργου.
- § Διεργασίες προσανατολισμένες στο προϊόν : Αφορούν στον καθορισμό και την δημιουργία του προϊόντος.

Οι διεργασίες που αφορούν την Διοίκηση Έργου μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω ομάδες :

- § Αρχικές Διεργασίες : Αναγνωρίζουν ότι το έργο πρέπει να ξεκινήσει και δεσμεύονται για την έναρξή του.
- § Διεργασίες Προγραμματισμού / Σχεδιασμού : Δημιουργούν ένα εφαρμόσιμο σχέδιο με σκοπό την επίτευξη της επιχειρησιακής ανάγκης για την οποία δημιουργείται το έργο.
- § Εκτελεστικές Διεργασίες : Συντονίζουν κάθε είδους πόρους με τελικό σκοπό τον σωστό προγραμματισμό και την εκτέλεση του έργου.
- § Διεργασίες Ελέγχου : Εξασφαλίζουν ότι οι στόχοι του έργου πραγματοποιούνται, μέσω παρακολούθησης και μέτρησης της προόδου του έργου, ενώ λαμβάνονται διορθωτικές ενέργειες όπου κρίνεται αναγκαίο.
- § Τελικές Διεργασίες : Διαμορφώνουν την αποδοχή του έργου και το οδηγούν στο τέλος του.



Σχήμα 6.2 : Σύνδεση Διεργασιών Διοίκησης Έργου

Όπως φαίνεται και στο προηγούμενο σχήμα οι παραπάνω διεργασίες συνδέονται άμεσα μεταξύ τους κυρίως μέσω των αποτελεσμάτων (εκροών) που παράγει η κάθε δραστηριότητα. Δηλαδή οι εκροές μιας δραστηριότητας αποτελούν εισροές για την επόμενη κ.ο.κ. Αυτή η στενή σύνδεση, φυσικά, δημιουργεί αναγκαιότητα για αυστηρούς ελέγχους στα αποτελέσματα των διεργασιών καθώς αυτά θα χρησιμοποιούν ως εισροές σε επόμενες διεργασίες και ελλοχεύει έτσι ο κίνδυνος της μετατόπισης του σφάλματος κάποιων εκροών και σε επόμενες διεργασίες και τελικά σε συνολικά λανθασμένα αποτελέσματα ή εκτιμήσεις.

Ως *Διεργασιοκεντρική προσέγγιση* ορίζουμε την συστηματική αναγνώριση και διαχείριση των διεργασιών, που εκτελούνται σε ένα έργο καθώς και την αλληλεπίδραση μεταξύ τους. Οι ενέργειες που πρέπει να γίνουν για την ορθολογική διαχείριση των διεργασιών του έργου είναι:

- § Καθορισμός των διεργασιών για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος.
- § Αναγνώριση και μέτρηση των εισροών και εκροών της διεργασίας.
- § Αποτίμηση πιθανών ρίσκων, συνεπειών και επιδράσεων των διεργασιών στους παράγοντες που συμμετέχουν άμεσα ή έμμεσα στο έργο.
- § Καθορισμός υπευθυνοτήτων, αρμοδιοτήτων και εξουσιοδοτήσεων για τη διαχείριση των διεργασιών.

Η συστημική αυτή λειτουργία οδηγεί σε οφέλη όπως :

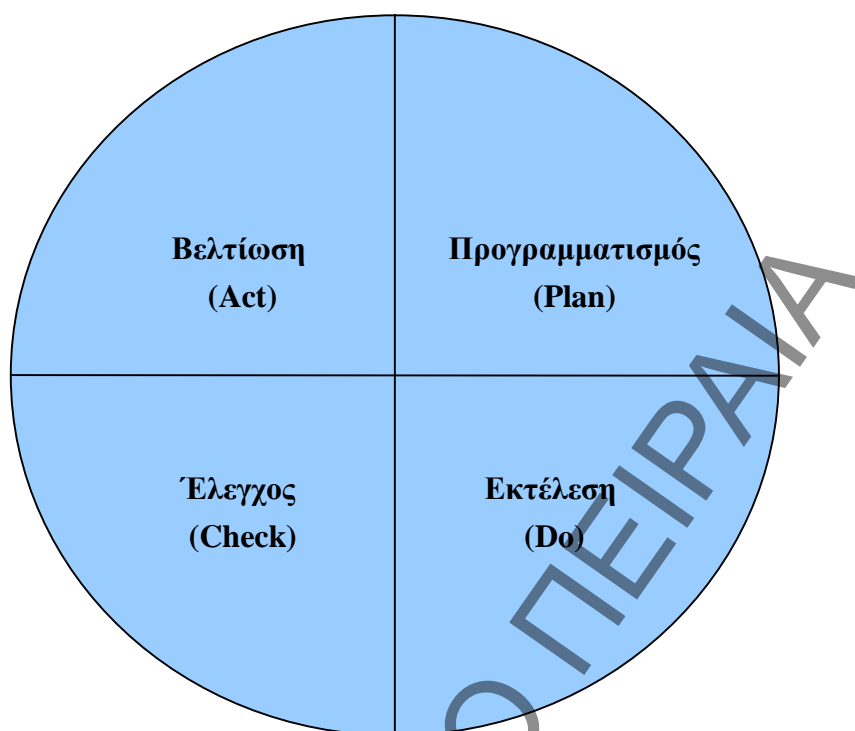
- § Περισσότερο προβλέψιμα αποτελέσματα, καλύτερη αξιοποίηση των οικονομικών πόρων, συντομότερους κύκλους διεργασιών και χαμηλότερο κόστος λειτουργίας.
- § Πρόληψη λαθών (κυρίως στη φάση της εκτέλεσης) και αυστηρότερο έλεγχο των πιθανών αποκλίσεων.
- § Ορθολογικότερη διαχείριση των ανθρώπινων πόρων, μέσω της καθιέρωσης αποδοτικών από άποψης κόστους διεργασιών για τη διαχείριση των εργαζομένων, όπως διαδικασίες πρόβλεψης, εκπαίδευσης και επιμόρφωσης. Όλα τα παραπάνω οδηγούν στην

ευθυγράμμιση των διαδικασιών με τις ανάγκες και απαιτήσεις που έχει το έργο και στην δημιουργία ικανότερου ανθρώπινου δυναμικού.

6.2 Ο Κύκλος Βελτίωσης (P.D.C.A.)

Η συνεχής βελτίωση είναι μια συστηματική προσπάθεια για την βελτίωση κάθε είδους δραστηριοτήτων μιας επιχείρησης προκειμένου αυτή να αυξήσει την ανταγωνιστικότητα της και φυσικά δεν μπορεί παρά να αφορά και τις διεργασίες της Διοίκησης Έργου. Όταν αναφερόμαστε στην συνεχή βελτίωση εννοούμε βελτιώσεις που αφορούν στην μείωση των λαθών ή ελαττωματικών προϊόντων, στην αύξηση της παραγωγικότητας ή της αποτελεσματικότητας στην χρήση των πόρων, στην αύξηση της ικανοποίησης του πελάτη, στην μείωση του χρόνου απόκρισης κ.λ.π. Στην περίπτωση της Δ.Ε., η συνεχής βελτίωση αφορά σε βελτιώσεις όπως στην μείωση του χρόνου εκτέλεσης του έργου, στην αύξηση της ποιότητας αυτού, στην ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους, στην αύξηση της ικανοποίηση του πελάτη (εντολέα) του έργου κ.λ.π.

Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται, κατά την εκτέλεση ενός έργου, στην προσπάθεια για συνεχή βελτίωση της ποιότητας αυτού. Η βελτίωση της ποιότητας αποτελεί μέρος της Διαχείρισης της Ποιότητας και επιτυγχάνεται μέσω διαφόρων τεχνικών και μεθοδολογιών. Μια βασική μεθοδολογία βελτίωσης της ποιότητας, που εφαρμόζεται και στην Διοίκηση Έργου, είναι και ο κύκλος του Deming. Η μεθοδολογία αυτή είναι ιδιαίτερα απλή και εύκολα εφαρμόσιμη σε όλα τα διοικητικά επίπεδα ενός οργανισμού. Αποτελείται από τέσσερα (4) στάδια (Plan – Do – Check – Act), τα οποία θα αναλυθούν στην συνέχεια όσον αφορά στην Δ.Ε., ενώ στο αμέσως επόμενο σχήμα παρουσιάζεται και η μορφή του κύκλου του Deming που εμπεριέχει τα στάδια αυτά.



Σχήμα 6.3 : Ο κύκλος του Deming

6.2.1 Προγραμματισμός / Σχεδιασμός (Plan)

Ο Προγραμματισμός - Σχεδιασμός (Plan) περιλαμβάνει την επιλογή των αντικειμενικών σκοπών και στόχων του έργου καθώς και τις στρατηγικές, τα προγράμματα και τους τρόπους ενέργειας που θα πρέπει να ακολουθηθούν για την επιτυχή ολοκλήρωσή του. Στη φάση αυτή λαμβάνονται επίσης αποφάσεις, πραγματοποιούνται προβλέψεις για τη μελλοντική συμπεριφορά όλων των μεταβλητών του έργου, προτείνονται και επεξεργάζονται εναλλακτικές λύσεις, λαμβάνονται αποφάσεις ως προς την επιλογή της πιο συμφέρουσας λύσης και γενικά μεθοδεύονται όλες εκείνες οι ενέργειες που πρέπει να γίνουν για να επιτευχθούν οι στόχοι του έργου.

Βασική λειτουργία στη φάση του Προγραμματισμού και Σχεδιασμού είναι η οργάνωση του έργου που αφορά :

- § Στον καταμερισμό του έργου σε επιμέρους δραστηριότητες (W.B.S).
- § Στην ομαδοποίηση των δραστηριοτήτων σε τμήματα, τομείς ή φορείς κόστους.
- § Στη στελέχωση των τμημάτων (φάσεων) του έργου με το κατάλληλο ανθρώπινο δυναμικό.
- § Στην σωστή κατανομή ρόλων και αρμοδιοτήτων στους υπευθύνους των φάσεων για να μπορούν να εκτελέσουν την αποστολή τους αποδοτικότερα.

Μετά τη ολοκλήρωση της φάσης του Σχεδιασμού – Προγραμματισμού συντάσσεται το Βασικό Πλάνο Αναφοράς (Baseline Plan) καθώς και τα Εναλλακτικά Προγράμματα Δράσης (Interim Plans).

6.2.2 Εκτέλεση του Έργου (Do)

Από τη στιγμή που εγκρίνεται το Βασικό Πλάνο Αναφοράς του Έργου (Baseline Plan) μπορεί να αρχίσει να εκτελείται το έργο. Κατά την εκτέλεση του έργου (Do) και ανάλογα με το διοικητικό επίπεδο δομούνται Κύκλοι Ελέγχου και Πληροφοριακά Συστήματα Διοίκησης (M.I.S.). Η ροή των πληροφοριών μπορεί να είτε καθοδική είτε ανοδική στην διοικητική πυραμίδα της επιχείρησης ενώ σε περιπτώσεις που υπάρχει οργάνωση Matrix ευνοούνται και οι οριζόντιες μετακινήσεις των πληροφοριών. Η πρώτη πληροφορία που χρειάζεται ένα έργο είναι η ημερομηνία έναρξής του. Στη συνέχεια εισάγονται μέσω του Πληροφοριακού Συστήματος πληροφορίες που αφορούν :

- § Την οικονομική παρακολούθηση του έργου που πραγματοποιείται μέσω της σύγκρισης των δαπανών που καταγράφονται και χρεώνονται σε σχέση με τις προϋπολογισθέντες δαπάνες.

- § Την χρονική παρακολούθηση του έργου που αφορά τη μέτρηση του ποσοστού εκτέλεσης των δραστηριοτήτων που προβλέπονται από το έργο.

Η οικονομική και χρονική παρακολούθηση οδηγούν σε προβλέψεις της πορείας των δαπανών και της διάρκειας του έργου, εξάγονται συμπεράσματα, υπολογίζονται τα ποσοστά προόδου και τέλος γίνεται σύγκριση της πραγματικής πορείας του έργου με το Βασικό Πλάνο Αναφοράς Έργου (Baseline Plan).

6.2.3 Έλεγχος (Check)

Έλεγχος (Check) είναι η λειτουργία με την οποία μετριέται ο βαθμός απόδοσης της διοικητικής προσπάθειας σε όλα τα διοικητικά επίπεδα του έργου. Ο αποτελεσματικός έλεγχος επιτυγχάνεται:

- § Με τη μέτρηση και τον προσδιορισμό των πραγματικών αποτελεσμάτων (οικονομικών, χρονικών κ.λ.π.).
- § Με τον καθορισμό των αποκλίσεων μεταξύ του Βασικού Πλάνου Αναφοράς και των πραγματικών αποτελεσμάτων (οικονομικών, χρονικών κ.λ.π.).
- § Με την έρευνα των αιτιών που συνετέλεσαν στις αποκλίσεις.
- § Με τον σωστό σχεδιασμό και εφαρμογή κατάλληλων ενεργειών για πιθανή διόρθωση της πορείας του έργου.

Σε περίπτωση που κατά την διάρκεια των δραστηριοτήτων ελέγχου της πορείας του έργου παρουσιασθούν αποκλίσεις μεταξύ των αρχικών εκτιμήσεων και των πραγματικών αποτελεσμάτων, τότε θα πρέπει να γίνουν οι κατάλληλες διορθωτικές κινήσεις. Οι διορθωτικές κινήσεις μπορεί να αφορούν:

- Τους στόχους του έργου
- Τις απαιτήσεις του έργου
- Το βασικό χρονοπρόγραμμα έργου
- Τον προϋπολογισμό του έργου

Οι εκθέσεις και οι διάφορες αναφορές προόδου ποικίλουν ανάλογα με το διοικητικό επίπεδο, την περιοδικότητα και το περιεχόμενό τους. Για παράδειγμα, οι πληροφορίες σε κατώτερα διοικητικά επίπεδα είναι αναλυτικές και η συχνότητα του Κύκλου Ελέγχου μεγάλη. Όσο ανεβαίνουν τα διοικητικά επίπεδα οι πληροφορίες γίνονται λιγότερο περιεκτικές και η συχνότητά τους μικρότερη. Σε περίπτωση που παρατηρούνται σημαντικές διαφοροποιήσεις κατά την εκτέλεση του έργου τότε αυτές αντιμετωπίζονται από τον Πελάτη (Εντολέα) και το Διευθυντή Έργου (Εντολοδόχο).

6.2.4 Βελτίωση (Act)

Μετά την μέτρηση των πραγματικών αποτελεσμάτων, τον καθορισμό των αποκλίσεων και την έρευνα των αιτιών που τις προκάλεσαν, λαμβάνονται μέτρα (Act) για τη διόρθωση και την αναπροσαρμογή των στόχων του έργου, των χρονοπρογραμμάτων και του προβλεπόμενου προϋπολογισμού του έργου. Η εύρεση και καταγραφή των αιτιών που προκάλεσαν τις αποκλίσεις μπορεί να βοηθήσει μελλοντικά στην αποφυγή μη επιθυμητών καταστάσεων που δρουν ανασταλτικά στην υλοποίηση του έργου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο : ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΧΡΟΝΟΥ

Η διαχείριση του χρόνου περιλαμβάνει τις διαδικασίες εκείνες που απαιτούνται για να εξασφαλισθεί η έγκαιρη ολοκλήρωση του έργου. Περιλαμβάνει τον καθορισμό των επιμέρους δραστηριοτήτων, την χρονική τους αλληλουχία, την εκτίμηση της διάρκειας τους, την ανάπτυξη ενός χρονοπρογράμματος και τον έλεγχο αυτού. Ουσιαστικά ο στόχος του χρονικού προγραμματισμού είναι ο προσεγγιστικός προσδιορισμός της χρονικής διάρκειας έναρξης και λήξης των δραστηριοτήτων, των φάσεων και γενικότερα ολόκληρου του έργου. Η προσοχή επικεντρώνεται επίσης σε σημαντικά ζητήματα , για την πορεία του έργου, όπως :

- § Ποια η αναμενόμενη διάρκεια του έργου.
- § Ποιες οι ημερομηνίες έναρξης και λήξης των εργασιών των δραστηριοτήτων και του έργου.
- § Ποια η επιτρεπόμενη καθυστέρηση στην έναρξη και λήξη κάθε δραστηριότητας και φάσης ώστε να μην υπάρξει ανατροπή του χρονοπρογράμματος των εργασιών.
- § Ποιες δραστηριότητες παρουσιάζουν κρισιμότητα για την τήρηση του χρονικού προγράμματος των εργασιών.

7.1 Σχεδιασμός της αλληλουχίας των δραστηριοτήτων

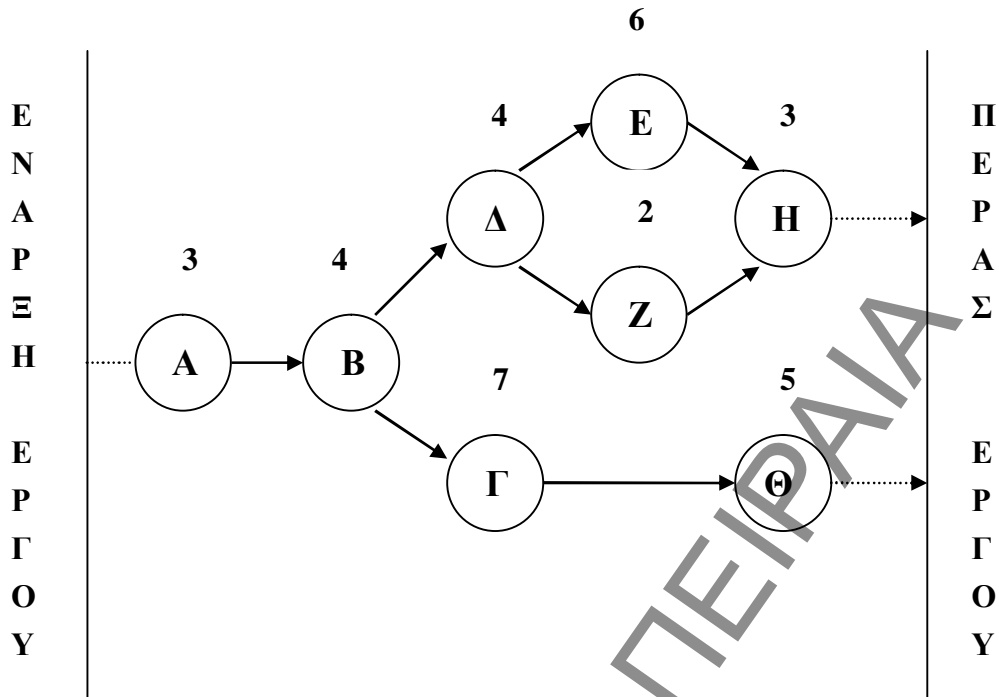
Όπως έχουμε ήδη αναφέρει το κάθε έργο υποδιαιρείται σε ένα πλήθος δραστηριοτήτων οι οποίες συσχετίζονται μεταξύ τους χρονικά. Με δεδομένο ότι η ανάλυση του έργου σε πακέτα εργασίας (W.B.S) και δραστηριότητες αλλά και οι τρόποι συσχέτισης μεταξύ των δραστηριοτήτων έχουν ήδη αναφερθεί, προχωράμε στον σχεδιασμό και την απεικόνιση της αλληλουχίας των δραστηριοτήτων. Ο σχεδιασμός αυτός πραγματοποιείται μέσω της χρήσης της Δικτυωτής Ανάλυσης. Η πολυπλοκότητα των σχέσεων που υπάρχουν στο έργο αντικατοπτρίζεται με ένα δικτυωτό διάγραμμα. Το δίκτυο , όπως αποκαλείται αυτό το διάγραμμα , αποτελείται από κόμβους και κλάδους. Απεικονίζει όλα τα επιμέρους στοιχεία του έργου και τις

μεταξύ τους σχέσεις. Ο αντικειμενικός στόχος των τεχνικών της δικτυωτής ανάλυσης είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου και κόστους εκτέλεσης του έργου. Απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί η ικανοποίηση όλων των περιορισμών του συστήματος, όπως είναι η χρονική αλληλοσυσχέτιση των επιμέρους δραστηριοτήτων, οι διαθέσιμοι χρηματικοί πόροι και το περιορισμένο έμψυχο και υλικό δυναμικό.

7.1.1 Μέθοδος Κομβικών Διαγραμμάτων (Activity On Node - AON)

Αυτός είναι ο πιο συνηθισμένος τρόπος απεικόνισης που χρησιμοποιείται στην πράξη. Κάθε δραστηριότητα παρουσιάζεται ως ένας μοναδικός κόμβος ενώ η σχέση αλληλουχίας της με τις προηγούμενες δραστηριότητες απεικονίζεται με ακμές που συνδέουν τους κόμβους - δραστηριότητες. Κάθε κόμβος (δραστηριότητα) που συνδέεται με μία επόμενη δραστηριότητα μέσω μίας ακμής, δηλώνει ότι η δραστηριότητα είναι προαπαιτούμενη της και πρέπει να έχει ολοκληρωθεί πριν ξεκινήσει η επόμενη. Σε κάθε κόμβο σημειώνεται το σύμβολο της αντίστοιχης δραστηριότητας και η διάρκειά της. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα παράδειγμα της μεθόδου με βάση τις υποθετικές δραστηριότητες Α έως Θ του επόμενου πίνακα.

| Πίνακας 7.1 : Παράδειγμα μεθόδου κομβικών διαγραμμάτων | | |
|--|------------------|-----------------------------------|
| ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ | ΧΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ | ΑΜΕΣΑ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ |
| A | 3 | - |
| B | 4 | A |
| Γ | 7 | B |
| Δ | 4 | B |
| E | 6 | Δ |
| Z | 2 | Δ |
| H | 3 | E,Z |
| Θ | 5 | Γ |



Σχήμα 7.1 : Παράδειγμα μεθόδου κομβικών διαγραμμάτων (AON)

7.1.2 Μέθοδος Τοξοτών Διαγραμμάτων (Activity On Arrow - AOA)

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την κατασκευή του δικτύου ενός έργου, όμως στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται βέλη για να παρασταθούν οι δραστηριότητες (π.χ. δραστηριότητα 1-2, 2-3 κ.λπ. στο σχήμα 7.2) και κόμβοι για να παρασταθούν οι σχέσεις εξάρτησης μεταξύ αυτών. Πάνω από τα βέλη τοποθετούνται οι διάρκειες των δραστηριοτήτων (βλέπε σχήμα 7.2). Η μέθοδος αυτή δεν χρησιμοποιείται πολύ στην πράξη, ιδιαίτερα σε μεγάλα δίκτυα, διότι χρησιμοποιεί μόνο σχέσεις FS ενώ απαιτείται και η δημιουργία εικονικών δραστηριοτήτων (με μηδενική διάρκεια) για να αναπαρασταθούν όλες τις λογικές αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των δραστηριοτήτων. Αποτέλεσμα αυτού είναι τα δίκτυα να γίνονται πολλές φορές πολύπλοκα και δύσχρηστα. Στο επόμενο παράδειγμα είναι ορατή η πολυπλοκότητα της μεθόδου, η οποία σαφώς αυξάνει καθώς αυξάνεται το πλήθος των επιμέρους δραστηριοτήτων αλλά και των απαιτούμενων εικονικών δραστηριοτήτων.

7.2 Χρονική διάρκεια δραστηριοτήτων

Η ακριβής χρονική διάρκεια των δραστηριοτήτων δεν είναι εύκολο πάντα να εκτιμηθεί. Μάλιστα πολλές φορές είναι πρακτικά αδύνατον να γνωρίζουμε εκ των προτέρων πόσο ακριβώς θα διαρκέσει μια δραστηριότητα καθώς είναι πολυάριθμοι οι παράγοντες που επηρεάζουν την πραγματική χρονική διάρκεια των δραστηριοτήτων. Τέτοιοι παράγοντες μπορεί να είναι οι κλιματολογικές συνθήκες, πιθανές απεργίες εργαζομένων, κακή χρησιμοποίηση πόρων, βλάβες σε εξοπλισμό, έλλειψη αναγκαίων υλικών κ.λ.π.

Συνήθως για να εκτιμήσουμε την πιθανή διάρκεια κάποιων δραστηριοτήτων βασιζόμαστε σε κάποια ιστορικά στοιχεία που έχουμε βρει από άλλα αντίστοιχα έργα που έχουν πραγματοποιηθεί κατά το παρελθόν. Τέτοιου είδους εκτιμήσεις ονομάζονται αναλογικές και χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιπτώσεις όπου υπάρχει περιορισμένος όγκος πληροφοριών σχετικά με το έργο και αποτελούν μία μορφή εκτίμησης εμπειρογνομώνων. Για να είναι οι εκτιμήσεις αυτές αξιόπιστες θα πρέπει οι δραστηριότητες βάσης που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση να είναι παρόμοιες όχι μόνο φαινομενικά αλλά και ουσιαστικά αλλά και τα άτομα που παράγουν τις εκτιμήσεις να έχουν την απαραίτητη εξειδίκευση και ικανότητα. Τέλος να πούμε πως υπάρχουν και περιπτώσεις όπου οι εκτιμήσεις γίνονται και με βάση ποσοτικά κριτήρια όπως οι ποσότητες υλικών που απαιτεί η κάθε δραστηριότητα, η παραγωγικότητα, ο αριθμός των εργατών που απασχολούνται στην συγκεκριμένη δραστηριότητα κ.λ.π.

7.3 Χρονικός Προγραμματισμός

Για να γίνει ορθά ο χρονικός προγραμματισμός του έργου θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν στην Διοίκηση Έργου τα κατάλληλα εργαλεία και οι σωστές τεχνικές. Ο χρονοπρογραμματισμός μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε μέσω κατάλληλου λογισμικού (π.χ. MS – Project, MS Excel Add – Ins, Primavera, SPSS κ.λ.π.), είτε μέσω των μεθόδων CPM – PERT , ή ακόμη και μέσω της τεχνικής της προσομοίωσης (π.χ. Monte Carlo Simulation). Στις τεχνικές αυτές θα γίνει μια

σύντομη αναφορά στην συνέχεια, όμως στο επόμενο μέρος (Μέρος 2^ο) θα δώσουμε έμφαση στα στοχαστικά μοντέλα και θα γίνει μια λεπτομερής ανάλυση μεθόδων όπως η Pert Analysis και η Monte Carlo Simulation (Προσομοίωση Monte Carlo), οι οποίες βασίζονται σε θεωρία πιθανοτήτων και στατιστικής για να απαντήσουν σε βασικά ερωτήματα που τίθενται κατά την Διοίκηση Έργου, όπως το πότε προβλέπεται να ολοκληρωθεί το έργο, ποια η πιθανότητα να ολοκληρωθεί στην ώρα του κ.λ.π. Ταυτόχρονα, στην μελέτη περιπτώσεως που παρουσιάζεται στο τελευταίο μέρος (Μέρος 3^ο) πραγματοποιείται και επίλυση του δικτύου του έργου με την βοήθεια κατάλληλου λογισμικού που συχνά χρησιμοποιείται στην Δ.Ε.

7.3.1 Μέθοδοι CPM – PERT

Μέθοδος κρίσιμης διαδρομής (Critical Path Method - CPM) : Η μέθοδος αυτή πρωτοχρησιμοποιήθηκε από την εταιρεία DuPont Corporation & Remington Rand στις αρχές του 1950. Πρόκειται για ένα μαθηματικό μοντέλο που υπολογίζει τη συνολική διάρκεια ενός έργου βασισμένη στη διάρκεια των δραστηριοτήτων καθώς και στη συσχέτιση που έχουν μεταξύ τους ενώ ταυτόχρονα επισημαίνει ποιες από τις δραστηριότητες του έργου βρίσκονται στη Κρίσιμη Διαδρομή. Η μέθοδος αυτή υπολογίζει έναν συγκεκριμένο ενωρίτερο και αργότερο χρόνο έναρξης και λήξης για κάθε δραστηριότητα, με βάση την καθορισμένη σειρά αλληλουχίας του δικτύου καθώς και μία απλή εκτίμηση της διάρκειας. Εστιάζει στον εντοπισμό του χαλαρού χρόνου (float) για να καθοριστούν ποιες δραστηριότητες είναι λιγότερο ελαστικές όσον αφορά τον χρονικό τους προγραμματισμό.

Μέθοδος PERT (Program Evaluation and Review Technique) : Η μέθοδος αυτή πρωτοχρησιμοποιήθηκε την ίδια περίπου περίοδο (1950) από το Αμερικανικό Ναυτικό για τις ανάγκες των πυραύλων Polaris που ήταν υπό κατασκευή το χρονικό εκείνο διάστημα. Η μέθοδος χρησιμοποιεί στατιστικές πιθανότητες για να υπολογίσει την αναμενόμενη διάρκεια του έργου, και για τον λόγο αυτό θα αποτελέσει και βασικό αντικείμενο μελέτης στην συνέχεια της εργασίας. Σήμερα η μέθοδος P.E.R.T., την οποία πολλοί ονομάζουν και Διάγραμμα Δικτύου παρουσιάζει γραφικά τη συσχέτιση των δραστηριοτήτων μεταξύ τους. Σύμφωνα με την τεχνική αυτή:

- § Το έργο προγραμματίζεται σύμφωνα με βάση την συσχέτιση των εργασιών του.
- § Υπάρχει χρονικός προγραμματισμός του έργου και των φάσεών του.
- § Δίνεται η δυνατότητα ελέγχου της πορείας του έργου και κατά φάση και στο σύνολο.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί έναν σταθμισμένο μέσο της εκτιμώμενης διάρκειας για να υπολογίσει την διάρκεια των δραστηριοτήτων. Η PERT διαφέρει από την CPM κυρίως στο ότι χρησιμοποιεί τον μέσο μίας κατανομής (μέση διάρκεια) αντί να χρησιμοποιήσει την πιο πιθανή διάρκεια, όπως η CPM.

Να τονίσουμε στο σημείο αυτό πως παράλληλα με τις πιο πάνω μεθόδους χρησιμοποιούνται και κάποιες τεχνικές που αφορούν τον εντοπισμό τρόπων μείωσης του χρόνου ολοκλήρωσης του έργου χωρίς όμως να αλλάξουν οι καθορισμένες ημερομηνίες και οι ενδιάμεσοι στόχοι. Επιπλέον συμπληρωματικά των δύο άνω δημοφιλών μεθόδων, χρησιμοποιούνται συχνά και τα διαγράμματα Gantt με τα οποία δίνονται πολλές πληροφορίες για το έργο (π.χ. ποιες δραστηριότητες έχουν προτεραιότητα σε σχέση με κάποιες άλλες, ποιες μπορεί να αρχίσουν ή να τελειώσουν μαζί, ποιες είναι αναγκαίο να αρχίσουν ή να τελειώσουν πριν από κάποιες άλλες κ.λ.π.) σε αναλυτική ή και συγκεντρωτική μορφή, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από όλα τα επίπεδα διοίκησης της επιχείρησης.

7.3.2 Προσομοιώσεις

Με την τεχνική αυτή υπολογίζονται διαφορετικές περιπτώσεις διάρκειας του έργου για διαφορετικά σενάρια δραστηριοτήτων. Η περισσότερο γνωστή τεχνική προσομοίωσης είναι η Monte Carlo Simulation, με την οποία καθορίζεται μία κατανομή πιθανών χρόνων για κάθε δραστηριότητα και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό μίας κατανομής πιθανών χρόνων για όλο το έργο. Όπως αναφέραμε και πιο πάνω στην συνέχεια της εργασίας θα αναφερθούμε εκτενέστερα και στην μέθοδο της Monte Carlo Simulation.

Β' ΜΕΡΟΣ : ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ PERT ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ MONTE CARLO ΣΤΗΝ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΡΓΟΥ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο :

ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ PERT ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΡΓΟΥ

8.1 Εισαγωγή στην πιθανολογική προσέγγιση PERT

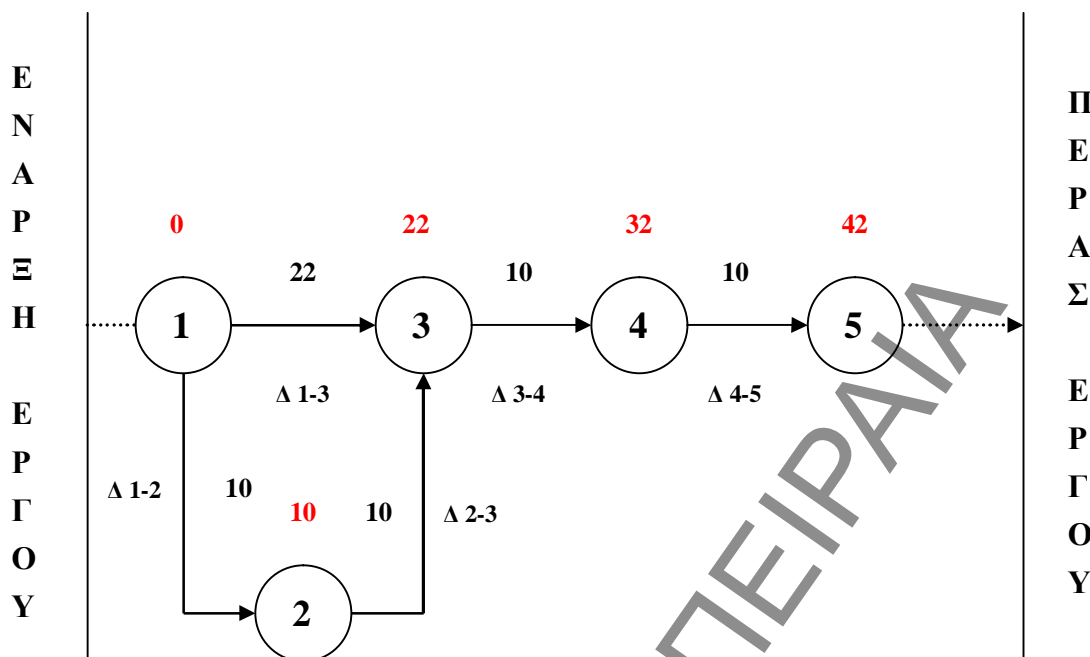
Στο προηγούμενο μέρος της εργασίας έγινε μόνο μια απλή αναφορά στην μέθοδο χρονικού προγραμματισμού PERT. Στο μέρος αυτό της εργασίας θα γίνει μια εκτενέστατη αναφορά στην συγκεκριμένη μέθοδο καθώς πίσω από αυτή κρύβονται θεωρίες πιθανοτήτων και στατιστικής στις οποίες θα αναφέρουμε αναλυτικά πιο κάτω. Η συγκεκριμένη μέθοδος θεωρείται η κατάλληλη για τον προγραμματισμό και τον έλεγχο έργων που αποτελούνται κυρίως από δραστηριότητες των οποίων οι πραγματικοί χρόνοι διάρκειας υπόκεινται σε πιθανές μεταβολές. Εξαιτίας αυτής της μεταβλητότητας στα έργα αυτού του τύπου, η απόδοση του έργου, όσον αφορά τον παράγοντα χρόνο, είναι υψίστης σημασίας. Ενώ και η προσέγγιση CPM αρκετά συχνά εφαρμόζεται στα έργα αυτού του τύπου, έχει το μειονέκτημα πως αγνοεί εντελώς το στοιχείο της πιθανής μεταβλητότητας των δραστηριοτήτων του έργου εξαιτίας διαφόρων εξωτερικών παραγόντων. Πρόκειται δηλαδή για ένα καθαρά ντετερμινιστικό εργαλείο καθώς σε όλες τις δραστηριότητες του έργου αντιστοιχεί συγκεκριμένη διάρκεια (τιμή) η οποία δεν υπόκειται σε μεταβολές. Παραδείγματος χάριν, μια δραστηριότητα που αναμένεται να διαρκέσει 100 ημέρες, αλλά γνωρίζουμε ότι μπορεί στην πράξη να κυμανθεί και από 90 έως 110 ημέρες, δεν θα ήταν αντιμετωπιζόταν διαφορετικά, με βάση την μέθοδο CPM, από μια δραστηριότητα που αναμένεται επίσης να διαρκέσει 100 ημέρες, αλλά γνωρίζουμε ότι μπορεί στην πράξη να κυμανθεί και από 30 έως 200 ημέρες.

Είναι εύκολα κατανοητό πως η χρονική διάρκεια διαφόρων δραστηριοτήτων είναι πιθανό να μεταβληθεί σε σχέση με τις αρχικές εκτιμήσεις εξαιτίας παραγόντων όπως οι καιρικές συνθήκες, η χαμηλή απόδοση του εργατικού δυναμικού, οι ξαφνικές βλάβες κάποιων μηχανημάτων κ.λ.π. Το πλεονέκτημα της στατιστικής προσέγγισης PERT είναι ότι αποτελεί μια μέθοδο που λαμβάνει υπόψη την μεταβλητότητα των χρόνων εκτέλεσης και στους υπολογισμούς κατά τον χρονοπρογραμματισμό, και τελικά χρησιμοποιεί την μεταβλητότητα αυτή ως βάση για την εύρεση της πιθανότητας ότι το έργο, ή κάποια βασικά κύρια σημεία στο έργο, θα ολοκληρωθούν στην ώρα τους ή ακόμη και πριν από τη σχεδιασμένη ημερομηνία τους. Σε αντίθεση δηλαδή με την μέθοδο CPM, η μέθοδος PERT δεν αποτελεί ένα ντετερμινιστικό αλλά ένα πιθανολογικό εργαλείο με αποτέλεσμα να μπορεί με μεγαλύτερη ακρίβεια να εκτιμήσει την αβεβαιότητα που συνδέεται με την προσπάθεια επίτευξης κάποιων προσυμφωνημένων ημερομηνιών.

Αν και κάποιες από τις υποθέσεις που συνοδεύουν την μέθοδο PERT εξετάζονται ακόμη σε θεωρητικό επίπεδο, παρακάτω θα περιγραφούν πρακτικές διαδικασίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παρακάμψουν αυτές τις κριτικές. Στο επόμενο κεφάλαιο θα αναφερθούμε άλλωστε και σε μια διαφορετική μέθοδο, δηλαδή την προσομοίωση Monte Carlo, η οποία όπως θα δούμε δεν απαιτεί την ύπαρξη υποθέσεων αναλόγων της μεθόδου PERT. Άλλωστε η μέθοδος PERT, στην οποία αναφερόμαστε στο κεφάλαιο αυτό, δεν αποτελεί τίποτε άλλο παρά μια απλοποίηση της διαδικασίας ανάλυσης κινδύνου που αναλύεται στο επόμενο κεφάλαιο μέσω της προσομοίωσης Monte Carlo.

8.2 Χρησιμότητα της μεθόδου PERT

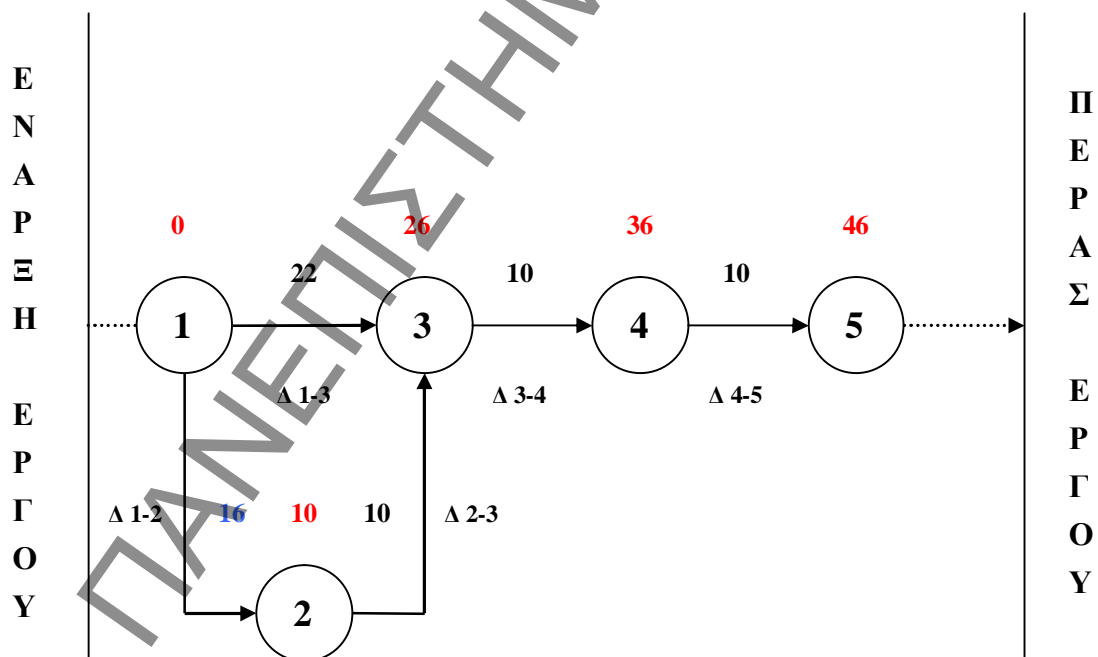
Για να κατανοήσουμε την χρησιμότητα της στατιστικής προσέγγισης PERT, θα χρησιμοποιήσουμε ένα παράδειγμα έργου, οι δραστηριότητες του οποίου καθώς και οι σχέσεις αυτών μεταξύ τους παρουσιάζονται στο επόμενο σχήμα (8.1α) με την μέθοδο των τοξοτών διαγραμμάτων (AOA), που χρησιμοποιείται κυρίως σε δίκτυα μικρού μεγέθους.



Σχήμα 8.1α : Παράδειγμα δικτύου έργου με την μέθοδο ΑΟΑ

Στο σχήμα 8.1α παρουσιάζονται οι πέντε (5) δραστηριότητες από τις οποίες αποτελείται το έργο του παραδείγματος. Όπως φαίνεται στο δίκτυο, το έργο ξεκινά με τις δραστηριότητες Δ 1-2 και Δ 1-3 ενώ οι δραστηριότητες Δ 1-2 και Δ 2-3 πραγματοποιούνται παράλληλα με την Δ 1-3. Για να ξεκινήσει η δραστηριότητα Δ 3-4 πρέπει να έχουν ολοκληρωθεί τόσο οι Δ 2-3 όσο και η Δ 1-3. Τέλος για να ξεκινήσει η Δ 4-5 πρέπει να ολοκληρωθεί η Δ 3-4. Κατά συνέπεια η δραστηριότητες Δ 3-4 και Δ 4-5 έχουν σχέση Finish to Start, όπως και οι Δ 2-3, Δ 3-4. Ομοίως οι δραστηριότητες Δ1-3, Δ 3-4 αλλά και οι Δ1-2, Δ 2-3. Με τα κόκκινα γράμματα παρουσιάζεται ο αριθμός των ημερών που απαιτούνται για να τελειώσουν οι προηγούμενες δραστηριότητες του σχήματος, δηλαδή ο ενωρίτερος χρόνος έναρξης των δραστηριοτήτων που ακολουθούν. Για παράδειγμα, για να ξεκινήσει η Δ 3-4 πρέπει να έχουν τελειώσει τόσο η Δ 1-3 (22 ημέρες) όσο και οι Δ 1-2, Δ 2-3 (10 + 10 = 20 ημέρες). Άρα η ενωρίτερη έναρξη της Δ 3-4 είναι 22 ημέρες. Με την λογική αυτή, λοιπόν, προκύπτει πως το έργο προβλέπεται να ολοκληρωθεί σε 42 ημέρες.

Όλα τα παραπάνω ισχύουν με βάση την λογική της μεθόδου CPM, που όπως προείπαμε σε όλες τις δραστηριότητες του έργου αντιστοιχεί συγκεκριμένη διάρκεια (τιμή) η οποία δεν υπόκειται σε μεταβολές. Εάν υποθέσουμε όμως πως για κάποιο έκτακτο λόγο, π.χ. κακοκαιρία την πρώτη εβδομάδα του έργου, η πραγματική διάρκεια της δραστηριότητας Δ 1-2 αυξήθηκε από 10 σε 16 ημέρες τότε θα έχουμε αλλαγές και στην ολική διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου. Πλέον για να ολοκληρωθούν οι δραστηριότητες Δ 1-2 και Δ 2-3 που έχουν σχέση Finish to Start απαιτούνται $16 + 10 = 26$ ημέρες. Κατά συνέπεια η Δ 3-4 δεν μπορεί να ξεκινήσει νωρίτερα από τις 26 ημέρες άρα δεν θα ολοκληρωθεί νωρίτερα από τις $26 + 10 = 36$ ημέρες κ.ο.κ. Αποτέλεσμα όλων των παραπάνω είναι το έργο να αναμένεται να ολοκληρωθεί πλέον σε 46 ημέρες έναντι των 42 που είχε αρχικά υπολογισθεί (βλέπε σχήμα 8.1β). Να πούμε στο σημείο αυτό πως για τους άνω υπολογισμούς, που έγιναν με πρακτικό τρόπο, θα δοθούν στην συνέχεια κατάλληλες εξισώσεις η χρήση των οποίων είναι απαραίτητη ειδικά όταν έχουμε να αντιμετωπίσουμε πιο σύνθετα δίκτυα.



Σχήμα 8.1β : Μεταβολή ημερομηνίας πέρατος του έργου

Με το ίδιο σκεπτικό που αναφέρθηκε πιο πάνω μπορούν να διαμορφωθούν διάφορα σενάρια που θα μεταβάλλουν την εκτιμώμενη τελική διάρκεια του έργου. Μέσω μεθόδων όπως η ανάλυση κινδύνου γίνεται μια προσπάθεια μέτρησης της αβεβαιότητας που εμπεριέχει κάθε εκτίμηση, όπως για παράδειγμα η εκτίμηση της διάρκειας ολοκλήρωσης ενός έργου. Στην προσπάθεια ποσοτικοποίησης της αβεβαιότητας αυτής η μέθοδος PERT, όπως προείπαμε , επιτρέπει στον υπεύθυνο του έργου να εκτιμά την διάρκεια του έργου με την βοήθεια τριών τιμών (αισιόδοξη, απαισιόδοξη και πλέον πιθανή διάρκεια) έναντι μιας ντετερμινιστικής εκτίμησης της μεθόδου CPM. Για παράδειγμα, η διάρκεια της δραστηριότητας Δ 1-2 του προηγούμενου παραδείγματος θα έχει την μορφή:

$$\text{Διάρκεια} = 8, 10, 20$$

Η πιο πάνω μορφή υποδηλώνει ότι η δραστηριότητα Δ 1-2 μπορεί να διαρκέσει από 8 έως και 20 ημέρες με πιο πιθανή τιμή διάρκειας τις 10 ημέρες, ανάλογα πάντα με τις συνθήκες που θα επικρατούν κατά την διάρκεια εκτέλεσης της δραστηριότητας. Εάν δημιουργήσουμε ένα τέτοιο εύρος τιμών για όλες τις δραστηριότητες του προηγούμενου παραδείγματος τότε προκύπτει ο πίνακας 8.1.

| Πίνακας 8.1 : Ποσοτικοποίηση αβεβαιότητας μέσω τριών τιμών a, m και b | | | |
|--|-------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Δραστηριότητα | Αισιόδοξη Εκτίμηση (a) | Πλέον Πιθανή Εκτίμηση (m) | Απαισιόδοξη Εκτίμηση (b) |
| Δ 1-3 | 20 | 22 | 25 |
| Δ 1-2 | 5 | 10 | 15 |
| Δ 2-3 | 5 | 10 | 15 |
| Δ 3-4 | 8 | 10 | 20 |
| Δ 4-5 | 9 | 10 | 11 |

Είναι φανερό πως με δεδομένο ότι δεν έχουμε πλέον ντετερμινιστικές τιμές για κάθε δραστηριότητα, μπορούμε να καταλήξουμε σε διαφορετικές διάρκειες ολοκλήρωσης του έργου. Έτσι εάν χρησιμοποιήσουμε τις πιο πιθανές τιμές θα καταλήξουμε σε διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου 42 ημερών όπως και με την μέθοδο CPM. Εάν όμως χρησιμοποιήσουμε τις πιο αισιόδοξες τιμές θα καταλήξουμε σε διάρκεια έργου 37 ημερών με υπολογισμούς ανάλογους αυτών του προηγούμενου παραδείγματος (πίνακας 8.1). Αντιθέτως εάν χρησιμοποιήσουμε τις πιο απαισιόδοξες τιμές θα καταλήξουμε σε διάρκεια έργου 61 ημερών (πίνακας 8.1). Βέβαια μπορούμε να κάνουμε και πλήθος άλλων συνδυασμών με την βοήθεια των άνω τιμών του πίνακα και φυσικά να έχουμε κάθε φορά διαφορετική εκτίμηση, με αποτέλεσμα να καθίσταται πρακτικά αδύνατη η ανάλυση της διάρκειας του έργου και η εύρεση της πιο πιθανής διάρκειας χωρίς την χρήση στατιστικών μεθόδων. Για τον λόγο αυτό στην αμέσως επόμενη παράγραφο παρατίθεται όλη η θεωρία πιθανοτήτων και στατιστικής που χρησιμοποιεί η μέθοδος PERT για να καταλήξει σε ασφαλή συμπεράσματα.

8.3 Βασική θεωρία πιθανοτήτων της μεθόδου PERT

8.3.1 Η πιθανότητα ως μέτρο αβεβαιότητας

Παρά το γεγονός ότι μερικοί από τους μαθηματικούς ορισμούς της πιθανότητας μπορεί να είναι ιδιαίτερα αφηρημένοι και η διατύπωση αυτών κάπως περίπλοκη, εντούτοις, όλοι γνωρίζουν λίγο ή πολύ την έννοια της πιθανότητας. Εάν πούμε, για παράδειγμα, ότι ένα γεγονός είναι "σχεδόν σίγουρο," "ιδιαίτερα πιθανό", "ιδιαίτερα απίθανο" κ.τ.λ., ο οποιοσδήποτε, που πιθανότατα δεν έχει ιδιαίτερες γνώσεις πιθανοτήτων ή στατιστικής, μπορεί να καταλάβει τι εννοούμε. Η θεωρία των πιθανοτήτων, μέρος της οποίας θα αναφέρουμε στην πορεία αυτού του κεφαλαίου, αυτό που προσπαθεί να καταφέρει είναι να ποσοτικοποιήσει αυτές τις κάπως υποκειμενικές δηλώσεις με έναν ακριβή και αντικειμενικό τρόπο.

Προκειμένου να γίνει αυτό έχει βρεθεί πως ο πλέον κατάλληλος τρόπος να εκφράσουμε τις πιθανότητες, είναι σε μια κλίμακα από το 0 έως το 1. Σε αυτήν την κλίμακα, το μηδέν (0) αντιπροσωπεύει το αδύνατο (αδύνατο ενδεχόμενο) και το ένα (1) αντιπροσωπεύει τη βεβαιότητα (βέβαιο ενδεχόμενο) ενώ οι αριθμοί στο ενδιάμεσο αντιπροσωπεύουν ποικίλους βαθμούς πιθανότητας. Προφανώς η πιθανότητα πραγματοποίησης ενός ενδεχομένου αυξάνεται καθώς αυξάνεται και η αντίστοιχη τιμή αυτής στο εύρος [0,1]. Αντί του ρητού, παραδείγματος χάριν, ότι είναι "σχεδόν σίγουρο" ότι μια συσκευή θα συνεχίσει να λειτουργεί για τουλάχιστον μια ή και περισσότερη ώρα, μπορούμε να πούμε πως η πιθανότητα να συνεχίσει να λειτουργεί για τουλάχιστον μια ή και περισσότερη ώρα είναι, για παράδειγμα, 0,990. Οι ορισμοί και οι μαθηματικές διαδικασίες που επιτρέπουν την μετατροπή ποιοτικών δηλώσεων σε ποσοτικές μπορούν να γίνουν αρκετά τεχνικοί και ιδιαίτερα εξειδικευμένοι, η πρόθεση, εντούτοις, είναι να καταστεί εύκολο να κάνουμε ακριβείς και έγκυρες δηλώσεις για το βαθμό βεβαιότητας ή αβεβαιότητας που συνδέεται με τα συγκεκριμένα περιστατικά.

8.3.2 Η διοικητική λειτουργία : Λήψη αποφάσεων κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας και κινδύνου

Οι λέξεις "αβεβαιότητα" και "κίνδυνος" εμφανίζονται συχνά στη μαθηματική βιβλιογραφία στις έννοιες της πιθανότητας. Οι ίδιες δύο λέξεις ή τα συνώνυμά τους είναι επίσης ένα μέρος του διοικητικού λεξιλογίου, γιατί μια από τις πρωταρχικές λειτουργίες της διοίκησης είναι η λήψη αποφάσεων κάτω από συνθήκες αβεβαιότητας με στόχο την εξισορρόπηση των κινδύνων που συνδέονται με ένα ιδιαίτερο πρόβλημα.

Ο κίνδυνος εμπεριέχει δύο στοιχεία : την πιθανότητα να συμβεί ένα ενδεχόμενο καθώς και την απώλεια που θα υπάρξει εάν όντως πραγματοποιηθεί το ενδεχόμενο. Η απόφαση που θα ληφθεί, επομένως, θα εξαρτηθεί από την αξιολόγηση όλων των πιθανών απωλειών που μπορεί να προέλθουν από την πραγματοποίηση του ενδεχομένου, καθώς και από την αξιολόγηση της πιθανότητας πραγματοποίησης του

ενδεχομένου. Οι τρέχουσες βιομηχανικές εφαρμογές της θεωρίας πιθανοτήτων περιστρέφονται γύρω από αυτήν την έννοια της εξισορρόπησης των κινδύνων. Η θεωρία πιθανοτήτων χρησιμοποιείται, παραδείγματος χάριν, στον προσδιορισμό των βέλτιστων μεγεθών αποθεμάτων, όπου οι αντιτιθέμενοι κίνδυνοι είναι οι δαπάνες υπεραποθεματοποίησης (αυξημένο εργατικό κόστος, αυξημένα έξοδα συντήρησης, ανάγκη για μεγαλύτερους αποθηκευτικούς χώρους κ.λ.π.), και η απώλεια πωλήσεων που προκύπτει όταν υπάρχει έλλειψη αποθεμάτων. Ανάλογη ανάγκη για εξισορρόπηση των κινδύνων μπορεί φυσικά να εμφανισθεί και στην περίπτωση της Διοίκησης Έργου. Σε περίπτωση, για παράδειγμα, που ένα αναληφθέν έργο προβλέπεται ότι δεν θα είναι έτοιμο στην αρχικά συμφωνημένη ημερομηνία παράδοσης, ο Υπεύθυνος του Έργου θα πρέπει να ζυγίσει το κόστος που μπορεί να έχει από την μη έγκαιρη παράδοση του έργου (πιθανές ρήτρες, κοινωνικό κόστος λόγω δημιουργίας κακής φήμης, δικαστικές διαμάχες κ.λ.π.) έναντι του συνολικού κόστους που μπορεί να εμπεριέχει η προσπάθεια για έγκαιρη παράδοση του έργου (επιπλέον προσωπικό, υπερωρίες κ.λ.π.) και να λάβει όσο δυνατόν ορθολογικότερα την σωστή απόφαση.

Έχουμε ήδη αναφέρει πως η πιθανότητα έχει οριστεί ήδη ως ένας τρόπος της μέτρησης αβεβαιότητας. Δεδομένου ότι πολλά από τα προβλήματα που παρατηρούνται κατά την Διοίκηση Έργου είναι και προβλήματα αβεβαιότητας και κινδύνου, είναι σαφές ότι η θεωρία πιθανοτήτων παίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην προσπάθεια του Υπευθύνου του Έργου για επίλυση όλων των προβλημάτων που μπορεί να εμφανισθούν. Έτσι τεχνικές που χρησιμοποιούν θεωρία πιθανοτήτων και στατιστικής, όπως η μέθοδος PERT, η προσομοίωση Monte Carlo ή ακόμη και τα Δέντρα Αποφάσεων, μπορούν να αποτελέσουν πολύ χρήσιμα εργαλεία στα χέρια κάθε Project Manager.

8.3.3 Ο ρόλος της θεωρίας πιθανοτήτων στην μέθοδο PERT

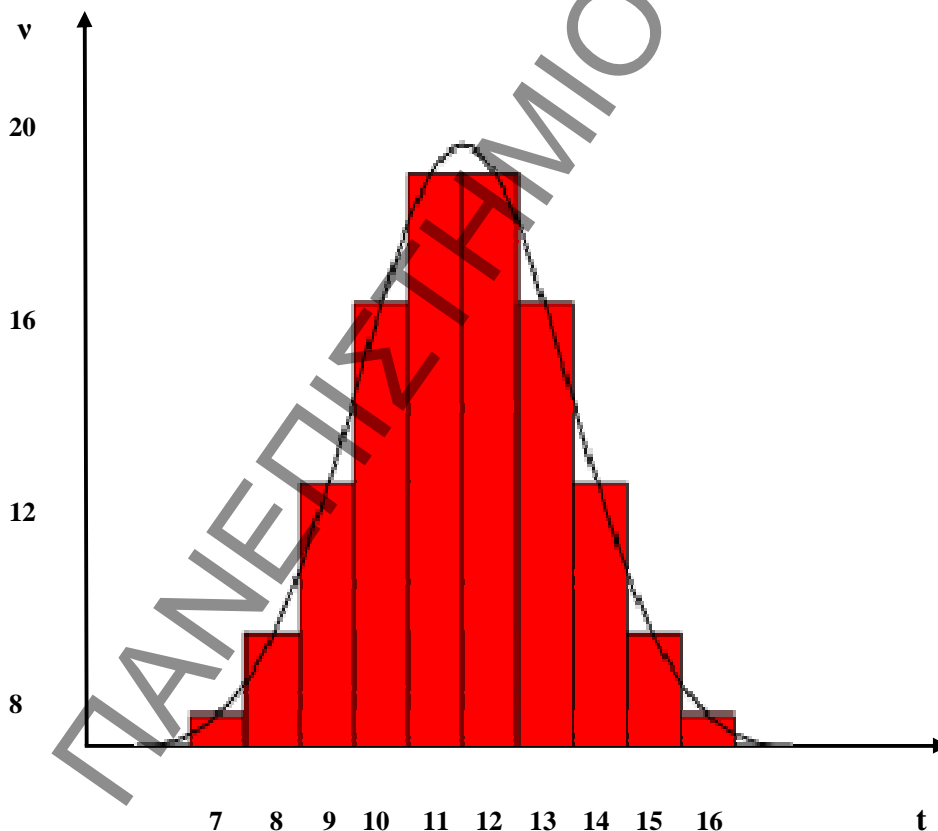
Ένα σημαντικό επίτευγμα της στατιστικής προσέγγισης PERT, όπως προείπαμε, είναι η χρήση θεωρίας πιθανοτήτων στην διοικητική λήψη αποφάσεων. Η διαδικασία του χρονοπρογραμματισμού, παραδοσιακά, έχει βασιστεί στην ύπαρξη ενός σταθερού χρόνου για κάθε δραστηριότητα. Στην μέθοδο PERT τρεις χρονικές εκτιμήσεις

λαμβάνονται για κάθε μια δραστηριότητα : ένας *αισιόδοξος χρόνος* εκτέλεσης της δραστηριότητας, ένας *απαισιόδοξος χρόνος* εκτέλεσης της δραστηριότητας, και ο *πλέον πιθανός χρόνος* εκτέλεσης της δραστηριότητας. Αυτή η σειρά των χρόνων παρέχει ένα μέτρο της αβεβαιότητας που συνδέεται με τον πραγματικό χρόνο που θα απαιτηθεί για να εκτελεσθεί η δραστηριότητα κάποια στιγμή στο μέλλον. Με τη βοήθεια των τεχνικών που συζητούνται κατωτέρω είναι δυνατό , βάσει αυτών των εκτιμήσεων , να βρεθούν οι πιθανότητες ότι ένα έργο θα είναι έτοιμο κατά ή πριν από μια καθορισμένη ημερομηνία. Επιπλέον, η παραπλανητική έννοια ενός καθορισμένου χρόνου για την ολοκλήρωση ενός έργου ή κάποια φάσης του έργου, μπορεί να αντικατασταθεί με δηλώσεις του πιθανού εύρους των χρονικών διαρκειών και των πιθανοτήτων που συνδέονται με κάθε μια από τις διάρκειες αυτές. Το αποτέλεσμα είναι ένα σημαντικό και ενδεχομένως χρήσιμο διοικητικό εργαλείο. Με την προσθήκη σε αυτές τις πληροφορίες μιας αξιολόγησης των συνεπειών της μη συνάντησης μιας προγραμματισμένης ημερομηνίας και του κόστους επίσπευσης του έργου με διάφορους εναλλακτικούς τρόπους, η διοίκηση μπορεί καλύτερα να προγραμματίσει ένα έργο και ταυτόχρονα να εξισορροπήσει αποτελεσματικότερα τα διάφορα είδη κινδύνων όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω.

8.3.4 Εμπειρικές κατανομές συχνότητας

Για να υπάρχει έστω και ένα υποτυπώδες υπόβαθρο στις πιθανότητες και την στατιστική είναι λογικό να ξεκινήσουμε με τις παρατηρήσεις κάποιας μετρήσιμης ποσότητας υποκειμένης σε τυχαίες πηγές μεταβλητότητας. Ας αναφερθούμε σε ένα παράδειγμα σχετικό με την Διοίκηση Έργου και έστω ότι εξετάζουμε μια συγκεκριμένη δραστηριότητα. Για παράδειγμα ας θεωρήσουμε μια δραστηριότητα ενός έργου η οποία έχει πραγματοποιηθεί κατά το παρελθόν αρκετές φορές και μάλιστα κάτω από τις ίδιες ουσιαστικά συνθήκες. Λέγοντας ίδιες συνθήκες εννοούμε πως κανενός είδους εκμάθηση, αλλαγή στις συνθήκες εργασίας ή την περιγραφή εργασίας, κ.λπ., δεν έχει λάβει χώρα. Η μέθοδος PERT γενικά δεν περιλαμβάνει κατ' ανάγκη κάποια τέτοιου είδους στατιστική δειγματοληψία, όμως θα μπορούσαμε να υποθέσουμε πως οι παρελθοντικοί χρόνοι διάρκειας αυτής της δραστηριότητας κυμαίνονται από 7 έως 16 ημέρες. Εάν τώρα υποθέσουμε πως έχουμε ακριβή

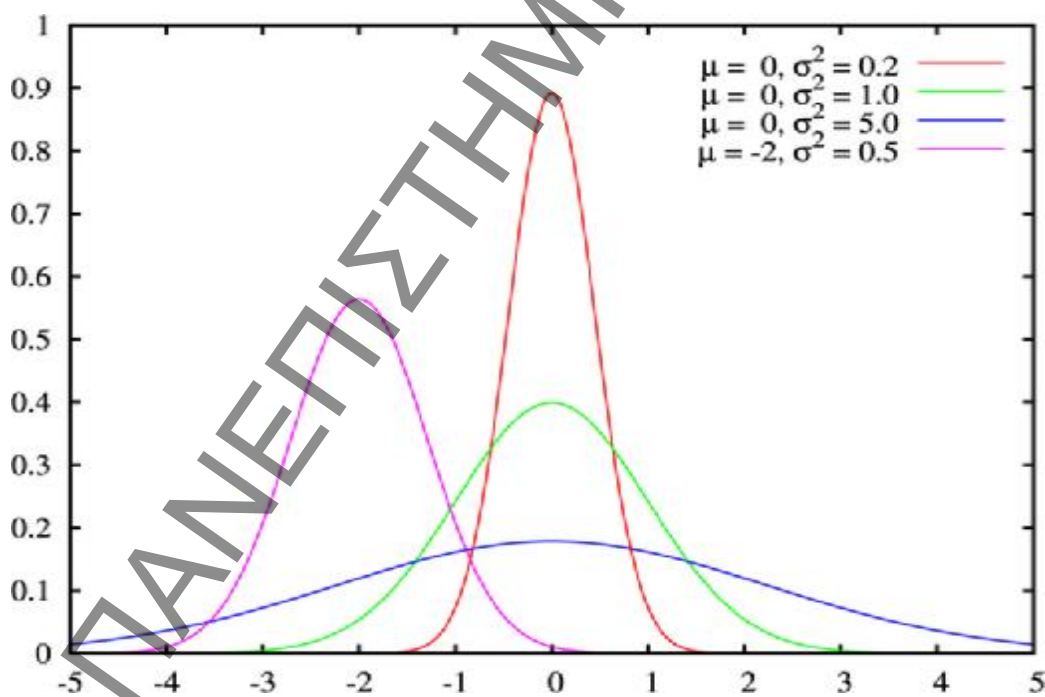
ιστορικά στοιχεία, μπορούμε να μετρήσουμε την συχνότητα εμφάνισης κάθε χρονικής διάρκειας κατά το παρελθόν, δηλαδή το πόσες φορές η δραστηριότητα χρειάστηκε 7 ημέρες για να ολοκληρωθεί, πόσες φορές χρειάστηκε 8 ημέρες κ.ο.κ. Τα στοιχεία αυτά που θα βρούμε μπορούμε να τα απεικονίσουμε με την μορφή μιας εμπειρικής κατανομής συχνοτήτων ή ενός ιστογράμματος όπως του σχήματος 8.2. Εάν είχαμε έναν άπειρο αριθμό παρατηρήσεων και το πλάτος των διαστημάτων στο σχήμα 8.2 μπορούσε να προσεγγίσει το μηδέν, η κατανομή θα έτεινε σε μια ομαλή καμπύλη. Αυτός ο τύπος της καμπύλης αναφέρεται ως *θεωρητική συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας* της τυχαίας μεταβλητής. Η συνολική περιοχή κάτω από μια τέτοια καμπύλη είναι ίση με την μονάδα (1), με αποτέλεσμα η περιοχή κάτω από την καμπύλη μεταξύ οποιονδήποτε δύο τιμών του t (χρονική διάρκεια) να μας δίνει άμεσα την πιθανότητα η τυχαία μεταβλητή t να βρίσκεται σε αυτό το διάστημα.



Σχήμα 8.2 : Κατανομή συχνοτήτων εμφάνισης χρονικών διαρκειών δραστηριοτήτων

8.3.5 Χαρακτηρισμός μιας εμπειρικής κατανομής

Για να περιγράψουμε μια εμπειρική κατανομή συχνότητας ποσοτικά, δύο μέτρα συχνά υιοθετούνται. Το πρώτο, η μέση τιμή (μ), εντοπίζει το σημείο ως προς το οποίο η κατανομή είναι συμμετρική, και αποτελεί ουσιαστικά ένα μέτρο θέσης. Το δεύτερο μέτρο είναι η διασπορά (σ^2) της κατανομής και αποτελεί ένα μέτρο της μεταβλητότητάς της. Τα μέτρα αυτά και η διαφορά τους παρουσιάζονται γραφικά στο σχήμα 8.3. Στο σχήμα αυτό παρατηρούμε τόσο την συμμετρικότητα της κατανομής ως προς την μέση τιμή όσο και τις διαφορετικές μορφές της κατανομής για διάφορες τιμές της μέσης τιμής και της διασποράς. Παρατηρούμε για παράδειγμα πως όσο μεγαλύτερη είναι η διασπορά τόσο μεγαλύτερο είναι και το πλάτος της κατανομής.



Σχήμα 8.3 : Τυπικές εμπειρικές κατανομές

Κατά τους υπολογισμούς στην μέθοδο PERT θα χρησιμοποιηθούν ο μεν αριθμητικός μέσος (μέση τιμή) \bar{t} (ή \bar{X}) ως μέτρο θέσης και η δε τυπική απόκλιση s_t (ή S) ως μέτρο μεταβλητότητας. Τα παραπάνω μέτρα ορίζονται πιο κάτω με βάση ένα δείγμα n παρατηρήσεων που προέρχονται από κάποια κατανομή όπως αυτή που παρουσιάστηκε στο σχήμα 8.3. Εάν οι n παρατηρήσεις του δείγματος αναπαρίστανται με t_1, t_2, \dots, t_n τότε τα άνω μέτρα θέσης και μεταβλητότητας υπολογίζονται ως εξής :

$$\text{Αριθμητικός Μέσος (ή μέση τιμή } \bar{X}) = \bar{t} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{n} \quad (8.1)$$

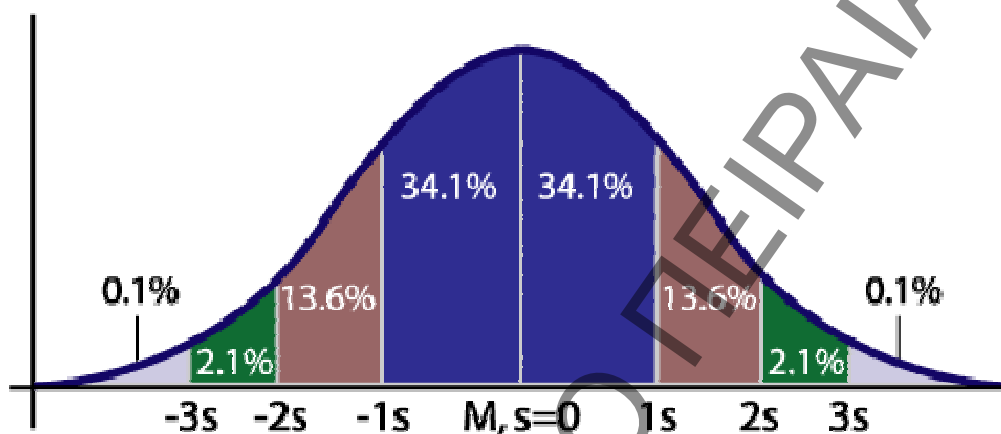
$$\text{Τυπική Απόκλιση} = s_t = \sqrt{\frac{[(t_1 - \bar{t})^2 + (t_2 - \bar{t})^2 + \dots + (t_n - \bar{t})^2]}{n}} \quad (8.2)$$

Ο πιο πάνω τύπος για την τυπική απόκλιση μας δείχνει γιατί μερικές φορές αναφέρεται και ως απόκλιση μέσης τετραγωνικής τιμής. Ουσιαστικά είναι η τετραγωνική ρίζα του μέσου όρου των τετραγώνων των αποκλίσεων των μεμονωμένων παρατηρήσεων από το μέσο όρο τους. Στους υπολογισμούς, όπως θα δούμε και πιο κάτω, θα χρησιμοποιούμε συχνά και το τετράγωνο της τυπικής απόκλισης, η οποία, για την ευκολία, καλείται διασπορά ή διακύμανση (s_t^2).

8.3.6 Φυσική ερμηνεία της μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης

Η ερώτηση που υποβάλλεται συνήθως σε αυτό το σημείο είναι τι ακριβώς μας δείχνουν τα \bar{t} (ή \bar{X}) και s_t (ή S) ; Καταρχήν, το \bar{t} και το s_t είναι εκτιμήσεις του πραγματικού μέσου όρου και της τυπικής απόκλισης της κατανομής που παρουσιάζεται από την ομαλή καμπύλη στο σχήμα 8.3. Η πραγματική μέση τιμή και η τυπική απόκλιση συμβολίζονται με t_e (ή μ) και $(V_t)^{1/2}$ (ή σ) και αφορούν όλο τον πληθυσμό και όχι το δείγμα. Η τιμή του \bar{t} προσεγγίζει το t_e και η τιμή του s_t αυτή του $(V_t)^{1/2}$ καθώς το μέγεθος του δείγματος n τείνει στο άπειρο. Εάν κάποια υπόθεση γίνει όσον αφορά την θεωρητική κατανομή (βλέπε σχήμα 8.3) από την οποία

λήφθηκε το δείγμα, μπορούμε να συνεχίσουμε με περαιτέρω ερμηνεία. Παραδείγματος χάριν, μπορούμε να υποθέσουμε πως η τυχαία μεταβλητή t κατανέμεται “κανονικά”, δηλαδή η κατανομή έχει μια χαρακτηριστική συμμετρική μορφή που εμφανίζεται παραστατικά στο σχήμα 8.4.



Σχήμα 8.4 : Η Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας της Κανονικής Κατανομής

8.3.7 Κεντρικό Οριακό Θεώρημα (Κ.Ο.Θ.)

Ένα πολύ βασικό θεώρημα το οποίο είναι απαραίτητο για τους υπολογισμούς κατά την στατιστική προσέγγιση PERT είναι το *Κεντρικό Οριακό Θεώρημα (Κ.Ο.Θ.)*, το οποίο αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα θεωρήματα στον χώρο της μαθηματικής στατιστικής. Σύμφωνα με τους Hahn και Shapiro (1967) το θεώρημα αυτό μπορεί να διατυπωθεί ως εξής :

“*Η κατανομή της μέσης τιμής n ανεξάρτητων παρατηρήσεων οποιασδήποτε κατανομής, ή ακόμη και από n διαφορετικές κατανομές, με πεπερασμένη μέση τιμή και διακύμανση πλησιάζει την κανονική κατανομή καθώς ο αριθμός παρατηρήσεων στο δείγμα αυξάνεται, δηλαδή όσο το n τείνει στο άπειρο. Το αποτέλεσμα ισχύει ανεξάρτητα από την κατανομή κάθε ενός από τα n στοιχεία που διαμορφώνουν τον μέσο όρο.*”

Στην περίπτωση της στατιστικής προσέγγισης PERT το πιο πάνω θεώρημα μπορεί να διατυπωθεί και σύμφωνα με τον ακόλουθο τρόπο :

“Υποθέτουμε ότι m ανεξάρτητες δραστηριότητες πρόκειται να εκτελεσθούν στη σειρά (για παράδειγμα οι m δραστηριότητες θα μπορούσαν να είναι οι δραστηριότητες που βρίσκονται στην κρίσιμη διαδρομή του δικτύου, στην οποία θα αναφερθούμε πιο κάτω). Έστω t_1, t_2, \dots, t_m οι χρόνοι στους οποίους ολοκληρώνονται στην πραγματικότητα οι δραστηριότητες αυτές. Οι χρόνοι αυτοί αποτελούν τυχαίες μεταβλητές με πραγματικούς μέσους $t_{e1}, t_{e2}, \dots, t_{em}$ και πραγματικές διακυμάνσεις $V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{im}$ ενώ θεωρούνται άγνωστοι έως ότου οι συγκεκριμένες δραστηριότητες εκτελεσθούν στην πράξη. Συμβολίζουμε τώρα με T το άθροισμα :

$$T = t_1 + t_2 + \dots + t_m \quad (8.3)$$

σημειώνοντας ότι και το T είναι μια τυχαία μεταβλητή και κατά συνέπεια έχει κάποια κατανομή. Το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα υποδηλώνει ότι εάν το m είναι μεγάλο, η κατανομή του T είναι περίπου κανονική με μέση τιμή E (ή μ) και διακύμανση V_T (ή σ^2) τέτοια ώστε :

$$E = t_{e1} + t_{e2} + \dots + t_{em} \quad (8.4)$$

$$V_T = V_{i1} + V_{i2} + \dots + V_{im} \quad (8.5)$$

Δηλαδή η μέση τιμή του αθροίσματος, είναι το άθροισμα των μέσων τιμών ενώ η διακύμανση του αθροίσματος είναι το άθροισμα των διακυμάνσεων. Παράλληλα η κατανομή του αθροίσματος των χρόνων των δραστηριοτήτων θα είναι κανονική ανεξάρτητα από τη μορφή της κατανομής των πραγματικών χρόνων εκτέλεσης των δραστηριοτήτων.”

Η κανονική κατανομή είναι εκτενώς ταξινομημένη σε πίνακες και επομένως οι εύρεση διαφόρων πιθανοτήτων (π.χ. ολοκλήρωσης του έργου την προβλεπόμενη ημερομηνία κ.λ.π.) μπορεί να γίνει , όσον αφορά την τυχαία μεταβλητή T , μέσω των πινάκων

αυτών. Η χρήση αυτών των πινάκων θα επεξηγηθεί παρακάτω μέσω παραδειγμάτων.

8.4 Ανάλυση της μεθόδου PERT

8.4.1 Αισιόδοξη, απαισιόδοξη και πλέον πιθανή διάρκεια των δραστηριοτήτων

Οι βασικοί υπολογισμοί που πραγματοποιούνται στην μέθοδο αυτή χρησιμοποιούν τις αναμενόμενες τιμές και τις υποθετικές κατανομές των πραγματικών χρόνων εκτέλεσης των δραστηριοτήτων, που απεικονίζονται στο σχήμα 8.3. Δεδομένου ότι η μέθοδος PERT χρησιμοποιείται πρώτιστα σε έργα των οποίων οι δραστηριότητες υπόκεινται σε ιδιαίτερες τυχαίες μεταβολές και σε έργα όπου τα χρονικά προγράμματα είναι ουσιαστικής σημασίας, χρησιμοποιεί τις τυπικές αποκλίσεις των κατανομών που παρουσιάζονται στα πιο πάνω σχήματα για τον υπολογισμό των πιθανοτήτων επίτευξης των διάφορων αρχικά σχεδιασμένων ημερομηνιών του έργου που έχει αναληφθεί.

Κατά τους υπολογισμούς στην μέθοδο PERT πρέπει να τονισθεί ότι η κατανομή της χρονικής διάρκειας εκτέλεσης της κάθε δραστηριότητας είναι καθαρά υποθετική, μιας και συνήθως δεν είναι εύκολο να πραγματοποιηθεί στατιστική δειγματοληψία. Εάν φυσικά υπάρχουν ιστορικά δεδομένα (δείγματα) όσον αφορά τις διάρκειες των δραστηριοτήτων, τότε αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να γίνει εκτίμηση των αισιόδοξων (a), απαισιόδοξων (b) και πλέον πιθανών (m) χρόνων κάθε δραστηριότητας, όπως θα δείξουμε πιο κάτω. Αφότου έχει εκτελεσθεί μια δραστηριότητα, ο παρατηρηθείς πραγματικός χρόνος εκτέλεσης, που συμβολίζεται με t , μπορεί να θεωρηθεί ως απλό δείγμα από αυτήν την υποθετική κατανομή. Εντούτοις, όλοι οι υπολογισμοί γίνονται πριν από την εκτέλεση της δραστηριότητας και ως εκ τούτου, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η βάση των υπολογισμών στην μέθοδο PERT δεν περιλαμβάνει κάποια στατιστική δειγματοληψία, αλλά μάλλον εξαρτάται από την κρίση του υπεύθυνου για την εν λόγω δραστηριότητα. Η τελευταία κρίση είναι, φυσικά, βασισμένη σε μια

δειγματοληψία επαγγελματικών εμπειριών , εντούτοις , αυτό δεν αποτελεί δειγματοληψία υπό την ακριβή στατιστική έννοια. Για την δημιουργία αυτών των εκτιμήσεων, ο υπεύθυνος καλείται να χρησιμοποιήσει τη γενική εμπειρία του, τη γνώση του σχετικά με τις απαιτήσεις της εν λόγω δραστηριότητας, να αξιολογήσει το προσωπικό και τις εγκαταστάσεις που είναι διαθέσιμα, και έπειτα να υπολογίσει τους τρεις χρόνους που παρουσιάζονται πιο κάτω. Οι χρόνοι αυτοί θα χρησιμοποιηθούν έπειτα για να υπολογισθεί η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της υποθετικής κατανομής της χρονικής διάρκειας εκτέλεσης της δραστηριότητας. Η επιλογή ενός πλέον πιθανού χρόνου m , και έπειτα ενός εύρους των χρόνων από μια αισιόδοξη εκτίμηση a σε μια απαισιόδοξη εκτίμηση b φαίνεται να είναι μια φυσική επιλογή των χρόνων. Έχουμε λοιπόν :

a = *αισιόδοξος χρόνος εκτέλεσης της δραστηριότητας* : ο χρόνος ο οποίος δεν θα μπορούσε να βελτιωθεί παρά μόνο ελάχιστα (π.χ. κατά το 1/20 του) ακόμη και εάν η δραστηριότητα μπορούσε να εκτελεσθεί επανειλημμένα κάτω από τις ίδιες συνθήκες.

m = *πλέον πιθανός χρόνος εκτέλεσης της δραστηριότητας* : η τιμή εκείνη του χρόνου που είναι πιθανό να εμφανισθεί συχνότερα από οποιαδήποτε άλλη τιμή.

b = *απαισιόδοξος χρόνος εκτέλεσης της δραστηριότητας* : ο χρόνος ο οποίος δεν θα μπορούσε να αυξηθεί παρά μόνο ελάχιστα (π.χ. κατά το 1/20 του) ακόμη και εάν η δραστηριότητα μπορούσε να εκτελεσθεί επανειλημμένα κάτω από τις ίδιες συνθήκες

Αν και οι ανωτέρω ορισμοί των a , m και b εμφανίζονται να είναι σαφείς και εύκολα εφαρμόσιμοι, τα ακόλουθα σημεία είναι χρήσιμα στη λήψη των αξιόπιστων τιμών για αυτές τις χρονικές εκτιμήσεις :

- § Μια από τις σημαντικές υποθέσεις στο Κεντρικό Οριακό Θεώρημα είναι η ανεξαρτησία των εν λόγω τυχαίων μεταβλητών. Δεδομένου ότι αυτό το θεώρημα είναι η βάση των υπολογισμών πιθανοτήτων της στατιστικής προσέγγισης PERT, οι εκτιμήσεις των a , m και b πρέπει

να ληφθούν έτσι ώστε να ικανοποιείται η υπόθεση της ανεξαρτησίας, δηλαδή πρέπει να γίνουν ανεξάρτητα από ότι μπορεί να συμβεί σε άλλες δραστηριότητες του έργου, που μπορεί στη συνέχεια να έχει επιπτώσεις στη διαθεσιμότητα του εργατικού δυναμικού ή του εξοπλισμού που είχε προγραμματισθεί να ανατεθούν στην εν λόγω δραστηριότητα. Ο εκτιμητής πρέπει να υποβάλει κατάλληλες τιμές για τα a , m και b εάν η εργασία πραγματοποιείται με το αρχικά υποτιθέμενο εργατικό δυναμικό, τις εγκαταστάσεις και κάτω από τις υποτιθέμενες συνθήκες εργασίας.

- § Οι εκτιμήσεις των a , m και b δεν θα πρέπει να επηρεάζονται από τον διαθέσιμο χρόνο για την ολοκλήρωση του έργου, δηλαδή δεν είναι λογικό να γίνεται αναθεώρηση των εκτιμήσεων σε μια προσπάθεια περιορισμού των χρονικών διαρκειών εάν συνειδητοποιηθεί πως η κρίσιμη διαδρομή του έργου είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα. Ένα τέτοιο λάθος θα ακύρωνε ολοκληρωτικά τις πιθανότητες που υπολογίζονται μέσω τις μεθόδου PERT και θα κατέστρεφε κάθε θετική συνεισφορά που θα μπορούσε να έχει η μέθοδος στην λειτουργία του χρονοπρογραμματισμού του έργου. Οι χρονικές εκτιμήσεις μπορούν να αναθεωρηθούν μόνο εάν υπάρξει αλλαγή στο πεδίο κάποιας δραστηριότητας ή εάν το εργατικό δυναμικό ή οι εγκαταστάσεις που ανατίθενται στην δραστηριότητα μεταβληθούν.
- § Για την διατήρηση ενός κλίματος που θα συμβάλλει στην λήψη αμερόληπτων εκτιμήσεων των a , m και b , θα πρέπει να γίνει κατανοητό πως πρόκειται απλά για εκτιμήσεις και όχι κάποιες δεσμεύσεις χρονοπρογραμμάτων.
- § Γενικά, οι εκτιμήσεις των a , m και b , δεν θα πρέπει να εμπεριέχουν συμβάντα που πραγματοποιούνται τόσο σπάνια ώστε να μην μπορούν να θεωρηθούν ως τυχαίες μεταβλητές, όπως για παράδειγμα φωτιές, πλημμύρες, τυφώνες κ.λ.π.
- § Τέλος, οι εκτιμήσεις των a , m και b , θα πρέπει να εμπεριέχουν συμβάντα που είναι κανονικά ταξινομημένα ως τυχαίες μεταβλητές. Ένα κλασσικό

παράδειγμα εδώ είναι η επίδραση των καιρικών συνθηκών. Για δραστηριότητες των οποίων η απόδοση και η χρονική διάρκεια εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες, είναι αρμόζον να προσδοκούμε την περίοδο εκείνη του έτους οπότε και θα πραγματοποιηθεί η δραστηριότητα και να πραγματοποιηθούν κατάλληλες χορηγήσεις για τον προσδοκώμενο επικρατούντα καιρό κατά την εκτίμηση των a , m και b .

8.4.2 Χρήση ιστορικών δεδομένων για την εκτίμηση των a , m και b

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, υπό συνθήκες , είναι δυνατόν να έχουμε συλλέξει ιστορικά δεδομένα (δείγμα) σχετικά με τις χρονικές διάρκειες των δραστηριοτήτων, με βάση τα οποία θα γίνουν οι εκτιμήσεις των t_e (ή μ) και $(Vt)^{1/2}$ (ή σ) ή για να είμαστε πιο σωστοί οι εκτιμήσεις των a , m και b , τα οποία με την βοήθεια σχέσεων που θα αναφερθούν πιο κάτω θα δώσουν στην συνέχεια τελικά τις εκτιμήσεις των t_e και $(Vt)^{1/2}$. Αυτή η διαδικασία έχει αξία όταν ικανοποιούνται οι επόμενες συνθήκες :

- § Τα ιστορικά δεδομένα να είναι αντιπροσωπευτικά του υποθετικού πληθυσμού στον οποίο πρόκειται να γίνει μελλοντική “δειγματοληψία” για την εν λόγω δραστηριότητα. Δηλαδή η δραστηριότητα να είναι ακριβώς η ίδια και οι συνθήκες που επικρατούσαν κατά την συλλογή των ιστορικών δεδομένων να είναι αντιπροσωπευτικές των συνθηκών που αναμένονται να επικρατήσουν και στο μέλλον όταν δηλαδή η εν λόγω δραστηριότητα θα εκτελεσθεί στην πράξη.
- § Το δείγμα των ιστορικών δεδομένων θα πρέπει να έχει “ικανοποιητικό” μέγεθος. Η ποσοτικοποίηση του όρου “ικανοποιητικός” εξαρτάται από την φύση της εν λόγω δραστηριότητας καθώς και από την εμπειρία και τις ικανότητες του υπευθύνου που παρέχει τις εκτιμήσεις. Παρόλα αυτά ένα δείγμα με λιγότερες από τέσσερις (4) ή πέντε (5) παρατηρήσεις δεν μπορεί να θεωρηθεί “ικανοποιητικό”.

Εάν οι πιο πάνω συνθήκες πληρούνται, οι εκτιμήσεις για τα α , m και b μπορούν να προέλθουν από τις πιο κάτω εξισώσεις (8.6), (8.7) και (8.8), όπου :

$$R = \text{Εύρος των δεδομένων του δείγματος}$$

$$= \text{μεγαλύτερη παρατήρηση} - \text{μικρότερη παρατήρηση}$$

$k = 1.6 / d_2$, όπου d_2 μια σταθερά στατιστικού ελέγχου ποιότητας η οποία εξαρτάται από τον αριθμό n των χρονικών διαρκειών των δραστηριοτήτων στο δείγμα δεδομένων. Στην πραγματικότητα το d_2 είναι το πηλίκο $R / (V_i)^{1/2}$. Τιμές του k παρατίθενται στον επόμενο πίνακα (πίνακας 8.2).

\bar{i} = Αριθμητικός μέσος των δεδομένων του δείγματος.

| Πίνακας 8.2 : Τιμές της σταθεράς k για διάφορα μεγέθη δείγματος n | | |
|--|---------------------------------------|---------------------------------|
| Μέγεθος Δείγματος ⁺ | d_2 ⁺⁺ | $k = 1.6/d_2$ |
| 2 | 1.13 | 1.416 |
| 3 | 1.69 | 0.947 |
| 4 | 2.06 | 0.777 |
| 5 | 2.33 | 0.687 |
| 6 | 2.53 | 0.632 |
| 7 | 2.70 | 0.593 |
| 8 | 2.85 | 0.561 |
| 9 | 2.97 | 0.539 |
| 10 | 3.08 | 0.519 |
| 12 | 3.26 | 0.491 |
| 15 | 3.47 | 0.461 |
| 20 | 3.74 | 0.428 |
| 25 | 3.93 | 0.407 |

+ : Παρά το γεγονός ότι ο συγκεκριμένος πίνακας συμπεριλαμβάνει και δείγματα μεγέθους έως και 2, δεν μπορούμε να βγάλουμε ασφαλή συμπεράσματα εάν το μέγεθος του δείγματος δεν είναι τουλάχιστον 4.

++ : Το σύμβολο d_2 που χρησιμοποιείται εδώ είναι ο διεθνής συμβολισμός για τον λόγο $R / (V_i)^{1/2}$ και χρησιμοποιείται ευρέως στην διεθνή βιβλιογραφία του στατιστικού ελέγχου ποιότητας. Προϋποθέτει ότι η τυχαία μεταβλητή ακολουθεί κανονική κατανομή.

$$\text{Εκτιμήτρια του } m = \bar{t} \quad (8.6)$$

$$\text{Εκτιμήτρια του } a = \bar{t} - k \cdot R \quad (8.7)$$

$$\text{Εκτιμήτρια του } b = \bar{t} + k \cdot R \quad (8.8)$$

Σε περιπτώσεις όπου το γινόμενο $k \cdot R$ είναι μεγαλύτερο του \bar{t} , και κατά συνέπεια το a προκύπτει αρνητικό, χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες σχέσεις :

$$a = 0 \quad (8.9)$$

$$b = 2\bar{t} \quad (8.10)$$

8.4.3 Βασικοί υπολογισμοί δικτύου με την μέθοδο PERT

Για την ανάπτυξη ενός δικτύου με την μέθοδο PERT αλλά και για τους βασικούς υπολογισμούς του δικτύου χρησιμοποιούνται τα ίδια βήματα με την μέθοδο CPM. Αρχικά το έργο διαιρείται στις βασικές δραστηριότητες που το αποτελούν. Ο ορισμός των δραστηριοτήτων, η συσχέτιση των δραστηριοτήτων και η δομή του δικτύου είναι κοινά και στις δυο μεθόδους. Για την απεικόνιση του δικτύου όπως έχουμε αναφέρει στο προηγούμενο κεφάλαιο χρησιμοποιούνται τόσο τα κομβικά όσο και τα τοξωτά διαγράμματα. Στα πρώτα κάθε δραστηριότητα παρουσιάζεται ως ένας μοναδικός κόμβος ενώ η σχέση αλληλουχίας της με τις προηγούμενες δραστηριότητες απεικονίζεται με ακμές που συνδέουν τους κόμβους-δραστηριότητες. Αντίθετα στα δεύτερα χρησιμοποιούνται βέλη για να παρασταθούν οι δραστηριότητες και κόμβοι για να παρασταθούν οι σχέσεις εξάρτησης μεταξύ αυτών.

Τοξωτά Διαγράμματα : Πριν την παρουσίαση των βασικών σχέσεων που χρειάζονται για τους υπολογισμούς, αναφέρονται κάποιες βασικές έννοιες για την ευκολότερη κατανόηση των δικτύων.

Ενωρίτερος Χρόνος - EX ενός γεγονότος είναι ο μικρότερος δυνατός χρόνος πραγματοποίησής του. Ο χρόνος αυτός είναι ίσος με τη μεγαλύτερη διαδρομή από το αρχικό γεγονός μέχρι το συγκεκριμένο.

Βραδύτερος Χρόνος - BX ενός γεγονότος είναι ο μέγιστος διαθέσιμος χρόνος πραγματοποίησής του χωρίς να επηρεασθεί η συνολική διάρκεια του έργου. Ο χρόνος αυτός υπολογίζεται αν από το βραδύτερο χρόνο του επόμενου γεγονότος αφαιρεθεί η μικρότερη διαδρομή από το συγκεκριμένο γεγονός.

Ο υπολογισμός των ενωρίτερων χρόνων γίνεται με σάρωση του δικτύου από τ' αριστερά προς τα δεξιά (από την αρχή προς το τέλος), ενώ των βραδύτερων χρόνων από τα δεξιά προς τ' αριστερά (από το τέλος προς την αρχή). Ο ενωρίτερος και βραδύτερος χρόνος του αρχικού γεγονότος είναι μηδενικός, ενώ ο ενωρίτερος και βραδύτερος χρόνος του τελικού γεγονότος του δικτύου ταυτίζονται και ορίζουν τη συνολική διάρκεια έργου, εφόσον δεν έχει ορισθεί από την αρχή τακτός βραδύτερος χρόνος του τέλους του έργου. Επιπλέον ο ενωρίτερος και βραδύτερος χρόνος ενός γεγονότος αρχής δραστηριότητας, καθορίζουν τον αντίστοιχο ενωρίτερο και βραδύτερο χρόνο έναρξης της δραστηριότητας. Τέλος ο ενωρίτερος και βραδύτερος χρόνος ενός γεγονότος τέλους δραστηριότητας, καθορίζουν τον αντίστοιχο ενωρίτερο και βραδύτερο χρόνο τέλους της δραστηριότητας. Το *Περιθώριο Χρόνου Έναρξης της δραστηριότητας* είναι η διαφορά :

Βραδύτερος Χρόνος Έναρξης - Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης

και ορίζει την επιτρεπόμενη καθυστέρηση έναρξης της δραστηριότητας. Το *Περιθώριο Χρόνου Λήξης της δραστηριότητας* είναι η διαφορά:

Βραδύτερος Χρόνος Λήξης - Ενωρίτερος Χρόνος Λήξης

και ορίζει την επιτρεπόμενη καθυστέρηση λήξης της δραστηριότητας.

Διακύμανση Χρόνου είναι η διαφορά: $BX - EX$ για κάθε γεγονός.

Χρονικό Περιθώριο μιας δραστηριότητας ονομάζεται η διαφορά που προκύπτει αν από το Διαθέσιμο Χρόνο της αφαιρεθεί ο Απαραίτητος Χρόνος για την Υλοποίηση της.

Συνολικό Περιθώριο Χρόνου είναι το μεγαλύτερο δυνατό χρονικό διάστημα κατά το οποίο μπορεί να επιβραδυνθεί η εκτέλεση μιας δραστηριότητας χωρίς να μεγαλώσει η συνολική διάρκεια του έργου.

Σύμφωνα με όσα έχουν μέχρι τώρα εκτεθεί, ισχύει η σχέση :

$$\Sigma\Pi X = BX_j - EX_i - \chi\Delta_{ij} \quad (8.11)$$

Όσες δραστηριότητες δε έχουν $\Sigma\Pi X = 0$ ονομάζονται *κρίσιμες*. Η έννοια της κρισιμότητας προέρχεται από το γεγονός ότι οι δραστηριότητες αυτές δεν επιτρέπουν μεταβολή στην προγραμματισμένη τους διάρκεια χωρίς να υπάρξει συνέπεια στη συνολική διάρκεια του έργου. Η επιβράδυνση τους συνεπάγεται την επιβράδυνση του έργου. Αν το συνολικό περιθώριο (μη μηδενικό) μιας δραστηριότητας χρησιμοποιηθεί από μια μόνο δραστηριότητα τότε οι επόμενες γίνονται κρίσιμες. Υπάρχει όμως και η περίπτωση να χρησιμοποιηθεί τμηματικά από άλλες δραστηριότητες. Οι κρίσιμες δραστηριότητες καθορίζουν στο δίκτυο διαδρομή (ή διαδρομές) η οποία ονομάζεται *κρίσιμη (critical path)*. Σε κάθε δίκτυο, για το οποίο ο ενωρίτερος και βραδύτερος χρόνος του τελικού γεγονότος συμπίπτουν, θα υπάρχει μία τουλάχιστον κρίσιμη διαδρομή.

Ελεύθερο Περιθώριο Χρόνου είναι το χρονικό διάστημα κατά το οποίο μπορεί να επιβραδυνθεί μια δραστηριότητα χωρίς να επηρεασθεί ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης των επόμενων δραστηριοτήτων. Ισχύει η σχέση:

$$E\Pi X = EX_j - EX_i - \chi\Delta_{ij} \quad (8.12)$$

Ανεξάρτητο Περιθώριο Χρόνου είναι το χρονικό διάστημα κατά το οποίο μια δραστηριότητα μπορεί να επιβραδυνθεί, χωρίς να επηρεασθεί ούτε το βραδύτερο τέλος των προηγούμενων, ούτε η ενωρίτερη έναρξη των επομένων

δραστηριοτήτων. Ισχύει η σχέση:

$$AIX = EX_j - BX_i - XA_{i,j} \quad (8.13)$$

Κομβικά Διαγράμματα : Αυτά τα δίκτυα παρέχουν λογική αποτύπωση του έργου και όχι χρονική. Μια δραστηριότητα η οποία στο διάγραμμα προηγείται μιας άλλης, δεν σημαίνει ότι προηγείται και χρονικά. Στα κομβικά δίκτυα τα χρονικά στοιχεία αναφέρονται σε δραστηριότητες και όχι σε γεγονότα. Οι δείκτες i και j αναφέρονται στην προηγούμενη και επόμενη, αντιστοίχως, δραστηριότητα στο δίκτυο. Έτσι για κάθε δραστηριότητα ορίζονται:

- § Ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης - EXE.
- § Ο Ενωρίτερος Χρόνος Λήξης - EXΛ.
- § Ο Βραδύτερος Χρόνος Έναρξης - BXE.
- § Ο Βραδύτερος Χρόνος Λήξης - BXΛ.

Το πρόβλημα που αναφύεται στην περίπτωση αυτή είναι, ότι μεταξύ των δραστηριοτήτων υφίστανται διάφορες σχέσεις αλληλουχίας οι οποίες και επηρεάζουν ανάλογα τους υπολογισμούς. Αν, για παράδειγμα, η σχέση είναι FS τότε οι υπολογισμοί γίνονται με ανάλογο τρόπο όπως στα τοξωτά δίκτυα. Σε άλλη όμως περίπτωση οι υπολογισμοί είναι διαφορετικοί. Αναλυτικότερα:

Ενωρίτεροι Χρόνοι : Ο χρόνος έναρξης της πρώτης δραστηριότητας θεωρείται ο χρόνος 0. Ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης της δραστηριότητας j είναι ο μεγαλύτερος από τους ενωρίτερους χρόνους οι οποίοι προκύπτουν ανάλογα με τις σχέσεις αλληλουχίας που υπάρχουν μεταξύ των δραστηριοτήτων i και j (εφόσον, βέβαια, υπάρχουν πάνω από μία). Δηλαδή:

$$EXE_j = \text{MAX} \{ EXE_i + SS(i,j), EXA_i + FS(i,j), EXE_i + SF(i,j) - XA_j, EXA_i + FF(i,j) - XA_j \} \quad (8.14)$$

Ο *Ενωρίτερος Χρόνος Λήξης* της δραστηριότητας είναι:

$$EXA_i = EXE_j + X\Delta_j \quad (8.15)$$

Βραδύτεροι Χρόνοι : Ο υπολογισμός τους γίνεται όπως και στα τοξωτά δίκτυα, σαρώνοντας το δίκτυο από δεξιά προς τ'αριστερά (από το τέλος προς την αρχή). Εφόσον δεν έχει οριστεί ο βραδύτερος χρόνος τέλους του έργου, τότε αυτός θεωρείται ίσος με το μεγαλύτερο από τους ενωρίτερους χρόνους τέλους όλων των δραστηριοτήτων του έργου και ταυτίζεται με τη συνολική χρονική διάρκεια του έργου. Για μια δραστηριότητα i ο *Βραδύτερος Χρόνος Λήξης* είναι:

$$BXA_i = \text{MIN} \{ BXE_j - FS(i,j), BXA_j - FF(i,j), BXE_i - SS(i,j) + X\Delta_i, BXA_j - SF(i,j) + X\Delta_j \} \quad (8.16)$$

Ο *Βραδύτερος Χρόνος Έναρξης* είναι:

$$BXE_i = BXA_i - X\Delta_i \quad (8.17)$$

Χρονικά Περιθώρια : Το *Συνολικό Περιθώριο Χρόνου* κάθε δραστηριότητας i , δίνεται από την σχέση :

$$\Sigma\Pi X_i = BXA_i - EXA_i = BXE_i - EXE_i \quad (8.18)$$

Για κάθε δραστηριότητα i ορίζεται ένα *Ελάχιστο Περιθώριο Χρόνου* (ΕΠΧ) το οποίο είναι:

$$E\Pi X_i = \text{MIN} \{ EXE_j - EXA_i - FS(i,j), EXE_j - EXE_i - SS(i,j), EXE_j - EXA_i + X\Delta_j - FF(i,j), EXE_j - EXE_i + X\Delta_j - SF(i,j) \} \quad (8.19)$$

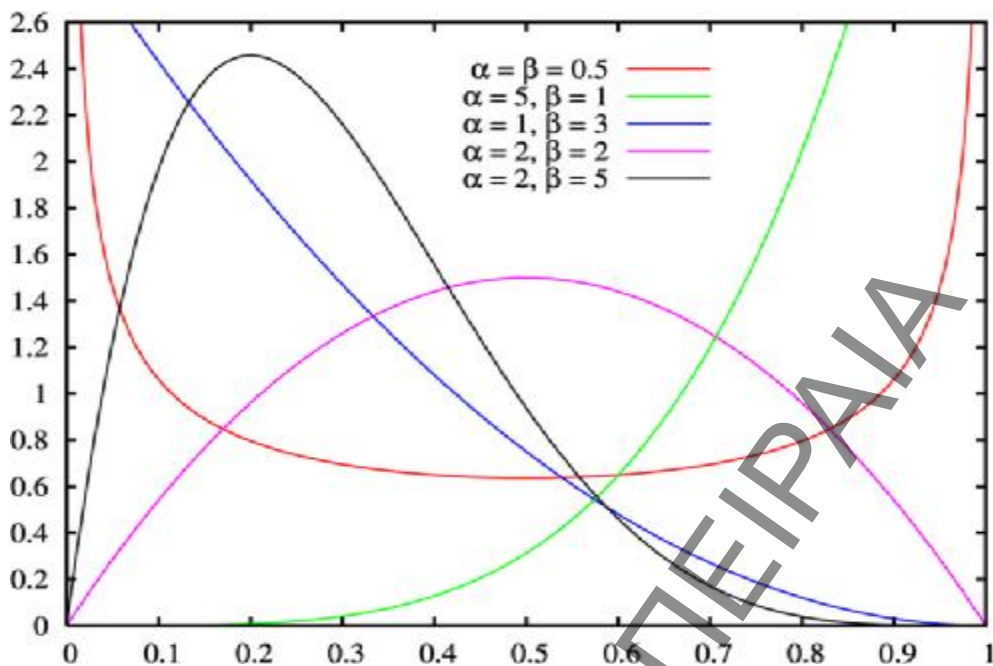
$$\Sigma\Pi X_i = 0 \quad (8.20)$$

8.4.4 Εκτίμηση μέσης τιμής και διακύμανσης του χρόνου εκτέλεσης των εργασιών

Όπως θα δούμε για την εύρεση της τιμής τόσο της μέσης τιμής όσο και της τυπικής απόκλισης μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις σχέσεις (8.29) και (8.30) που παρατίθενται πιο κάτω. Οι σχέσεις αυτές προκύπτουν υποθέτοντας κάποια λειτουργική μορφή για την άγνωστη κατανομή του t . Μια πιθανή τέτοια κατανομή είναι και η *κατανομή Βήτα* που επιλέγεται από τον Clark²⁸. Η κατανομή αυτή έχει τις επιθυμητές ιδιότητες του περιορισμού μέσα σε ένα πεπερασμένο διάστημα, ενώ μπορεί να είναι συμμετρική ή κυρτή, ανάλογα με τη θέση της πλέον πιθανής (επικρατούσας) τιμής m , σχετικά με το a και το b . Ελλείψει μιας εμπειρικής βάσης για την επιλογή μιας συγκεκριμένης κατανομής, η *κατανομή Βήτα* έγινε αποδεκτή ιστορικά ως μαθηματικό πρότυπο για την χρονική διάρκεια δραστηριοτήτων, με σκοπό κυρίως την χρήση των επόμενων εύχρηστων εξισώσεων.

Κατανομή Βήτα : Η κατανομή Βήτα έχει τέσσερις (4) παραμέτρους, πρόκειται δηλαδή ουσιαστικά για μια συνάρτηση της μορφής $f(x; \alpha, \gamma, L, U)$ όπου το x αναπαριστά μια μεταβλητή, τα α, γ είναι σχηματικές παράμετροι ενώ τα L, U αποτελούν τις οριακές τιμές του x . Δεδομένου ότι τα ακραία σημεία και η επικρατούσα τιμή είναι διαθέσιμα από συλλεχθέντα στοιχεία (π.χ. με την βοήθεια εμπειρογνωμόνων), μια πρόσθετη παράμετρος απαιτείται για να χαρακτηριστεί πλήρως η κατανομή Βήτα με τις τέσσερις παραμέτρους της. Για τον λόγο αυτό υιοθετήθηκε η υπόθεση ότι η τυπική απόκλιση θα αντιστοιχεί στο 1/6 του εύρους με σκοπό να διευκολυνθούν οι υπολογισμοί.

Η κατανομή Βήτα έχει ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες κατανομές (π.χ. κανονική, γάμα, ομοιόμορφη κ.λ.π.) που την καθιστά την πλέον κατάλληλη για να αντιπροσωπεύσει τις χρονικές διάρκειες των δραστηριοτήτων. Παραδείγματος χάριν, η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας μιας κατανομής Βήτα μπορεί να λάβει πολλές μορφές (σχήμα 8.5). Αυτό μας επιτρέπει να αντιμετωπίζουμε και περιπτώσεις όπου η πλέον πιθανή τιμή (m) είναι κοντά στις αισιόδοξες ή απαισιόδοξες τιμές (a, b) απεικονίζοντας έτσι την προβλεπόμενη διασπορά των πιθανών χρονικών διαρκειών.



Σχήμα 8.5 : Η κατανομή Βήτα

Αντίθετα το σχήμα της κανονικής κατανομής, για παράδειγμα (σχήμα 8.4), δεν επιτρέπει αυτή την ελαστικότητα και απαιτεί η διασπορά των χρονικών διαρκειών να είναι συμμετρική γύρω από την μέση τιμή. Επιπλέον η κατανομή Βήτα είναι συνδεδεμένη μεταξύ δυο σημείων, γεγονός που την καθιστά πιο κατάλληλη για την πεπερασμένη διαμόρφωση των χρονικών διαρκειών. Η κατανομή Βήτα καθορίζεται πλήρως από τα οριακά της σημεία και τις δυο σχηματικές παραμέτρους. Η λειτουργική της μορφή δίνεται από την εξίσωση :

$$f(x; \alpha, \gamma, L, U) = \frac{\Gamma(\alpha + \gamma)(x - L)^{\alpha-1}(U - x)^{\gamma-1}}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\gamma)(U - L)^{\alpha+\gamma-1}}, \text{ με } L \leq x \leq U \quad (8.21)$$

διαφορετικά $f(x; \alpha, \gamma, L, U) = 0$. Όπου $\Gamma(\cdot)$ = συνάρτηση γάμα με $\Gamma(z) = \int_0^{\infty} t^{z-1} e^{-t} dt$ για κάθε $z > 0$.

Στην στατιστική προσέγγιση PERT θέλουμε να εκτιμήσουμε την μέση τιμή και διακύμανση της κατανομής Βήτα που αντιστοιχεί στις καθορισμένες εκτιμήσεις των a , m και b . Η μέση τιμή και η διακύμανση της κατανομής Βήτα δίνονται από τις πιο κάτω εξισώσεις ως συνάρτηση των παραμέτρων a , γ , L και U :

$$\mu \text{ (ή } t_e) = \frac{aU + gL}{a + g} \quad (8.22)$$

και

$$\sigma^2 \text{ (ή } V_t) = \frac{(U - L)^2 ag}{(a + g)^2 (a + g + 1)} \quad (8.23)$$

Παρόλα αυτά οι αναλυτές της μεθόδου PERT απλοποίησαν τον υπολογισμό τόσο της μέσης τιμής όσο και της διακύμανσης χρησιμοποιώντας ουσιαστικά έναν σταθμισμένο μέσο όρο της αισιόδοξης διάρκειας a , της πλέον πιθανής διάρκειας m και της απαισιόδοξης διάρκειας b . Με λίγα λόγια οι πιο πάνω εξισώσεις απλουστεύθηκαν στις παρακάτω εξισώσεις :

$$\mu \text{ (ή } t_e) = \frac{(L + 4M + U)}{6} \quad (8.24)$$

και

$$\sigma^2 \text{ (ή } V_t) = \left[\frac{(U - L)}{6} \right]^2 \quad (8.25)$$

Στην πραγματικότητα για να ικανοποιεί τις άνω συνθήκες η κατανομή Βήτα θα πρέπει να έχει τις κάποιο από τα πιο κάτω ζεύγη των σχηματικών παραμέτρων :

$$\alpha = 2 + \sqrt{2} \text{ και } \gamma = 2 - \sqrt{2} \quad (8.26)$$

$$\alpha = 2 - \sqrt{2} \text{ και } \gamma = 2 + \sqrt{2} \quad (8.27)$$

$$\alpha = 3 \text{ και } \gamma = 3 \quad (8.28)$$

Παρά την δεδομένη απλούστευση των αρχικών σχέσεων της κατανομής Βήτα, οι προσεγγιστικές αυτές σχέσεις δίνουν πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα σε πλήθος πρακτικών καταστάσεων. Για την περίπτωση της Διοίκησης Έργου έχουμε όπου $U = b$, όπου $L = a$ και όπου $M = m$. Έτσι με βάση τις άνω απλουστευμένες σχέσεις (8.24) και (8.25) της κατανομής Βήτα έχουμε για κάθε χρονική διάρκεια των δραστηριοτήτων του έργου :

$$\sigma = (V_i)^{1/2} = \frac{(b-a)}{6} \quad \text{ή} \quad \sigma^2 = V_i = \left[\frac{(b-a)}{6} \right]^2 \quad (8.29)$$

και

$$\mu = t_e = \frac{(a + 4m + b)}{6} \quad (8.30)$$

Πρέπει επίσης να επισημανθεί ότι η μέση τιμή είναι ίση με την πλέον πιθανή χρονική διάρκεια της δραστηριότητας (δηλαδή $\mu = t_e = m$), μόνο εάν οι αισιόδοξοι και απαισιόδοξοι είναι συμμετρικοί ως προς την πλέον πιθανή χρονική διάρκεια m (δηλαδή όταν ισχύει $b - m = m - a$). Κατά συνέπεια, στη μέθοδο CPM η μοναδική χρονική εκτίμηση (D), είναι μια εκτίμηση του μέσου χρόνου διάρκειας της δραστηριότητας και όχι απαραίτητως της πλέον πιθανής χρονικής διάρκειας όπως καθορίζεται εδώ. Αυτό είναι ουσιαστικό, δεδομένου ότι σύμφωνα με το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα η αναμενόμενη συνολική χρονική διάρκεια μιας σειράς δραστηριοτήτων είναι ίση με το άθροισμα των μέσων χρόνων τους και όχι ίση με το άθροισμα των πλέον πιθανών χρόνων τους. Στην πραγματικότητα, δεδομένου ότι η κατανομή του αθροίσματος των τυχαίων μεταβλητών τείνει να ακολουθεί την κανονική κατανομή, όπου η μέση τιμή και η επικρατούσα τιμή ταυτίζονται, οι πλέον πιθανή διάρκεια μιας σειράς δραστηριοτήτων δεν δίνεται από το άθροισμα επιμέρους πλέον πιθανών χρόνων εκτέλεσης των δραστηριοτήτων αλλά από το άθροισμα των μέσων χρόνων. Αυτό φυσικά ισχύει μόνο κατά προσέγγιση εάν ο αριθμός των επιμέρους δραστηριοτήτων είναι πολύ μικρός. Παρόλα αυτά, για τις περισσότερες περιπτώσεις πρακτικών εφαρμογών δικτύων έργου αυτή η προσέγγιση έχει ισχύ.

Τέλος, ακόμη και εάν ένα ντετερμινιστικό σύστημα χρονικής εκτίμησης (CPM) χρησιμοποιείται, και υπάρχει κάποια δραστηριότητα που έχει μια κυρτή κατανομή με ένα μη αμελητέο ποσό μεταβλητότητας, η εξίσωση (8.30) μπορεί να βοηθήσει στην εύρεση μιας συγκεκριμένης χρονικής εκτίμησης, D_i . Σε αυτήν την περίπτωση, μπορούμε να υπολογίσουμε το μέσο χρόνο διάρκειας της δραστηριότητας ακριβέστερα με τον υπολογισμό των a , m , και b , και την χρησιμοποίηση της εξίσωσης (8.30) ώστε να μετατραπούν οι αριθμοί αυτοί σε μια συγκεκριμένη χρονική εκτίμηση, D_i .

8.4.5 Παράδειγμα υπολογισμών της μέσης τιμής και διακύμανσης του χρόνου εκτέλεσης των επιμέρους εργασιών αλλά και του χρόνου ολοκλήρωσης του έργου.

Για να κατανοήσουμε καλύτερα την χρήση των παραπάνω σχέσεων (8.29 και 8.30), επιστρέφουμε στο παράδειγμα της παραγράφου 8.2 (σχήματα 8.1, 8.2 και πίνακας 8.1). Για κάθε μια από τις δραστηριότητες υπολογίζουμε τις τιμές των a , m και b . Για παράδειγμα, για την δραστηριότητα 1-2, έχουμε :

$$\sigma_{1-2}^2 = V_{1-2} = \left[\frac{(b-a)}{6} \right]^2 = \left[\frac{(15-5)}{6} \right]^2 = (1.66)^2 = 2.77 \approx 2.8$$

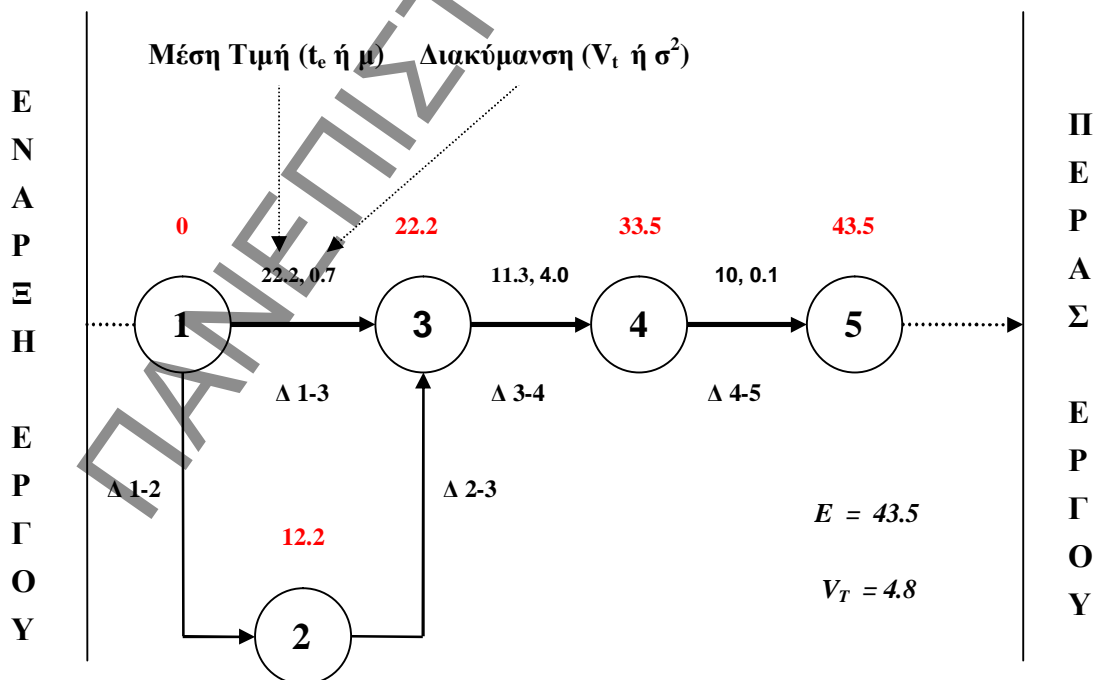
και

$$\mu_{1-2} = t_{e1-2} = \frac{(a + 4m + b)}{6} = \frac{(5 + 4*10 + 15)}{6} = 10$$

Με τον ίδιο τρόπο και κάνοντας και τις κατάλληλες στρογγυλοποιήσεις ο πίνακας 8.1 παίρνει πλέον την μορφή του πίνακα 8.3, ο οποίος περιέχει για όλες τις δραστηριότητες τις τιμές της μέσης τιμής (t_e), της τυπικής απόκλισης (V_i)^{1/2}, όσο και της διακύμανσης (V_i).

| Πίνακας 8.3 : Ποσοτικοποίηση αβεβαιότητας μέσω τριών τιμών | | | | | | |
|--|----|----|----|---------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Δραστηριότητα | a | m | b | μ ή t_e | σ^2 ή V_t | σ ή $(V_t)^{1/2}$ |
| Δ 1-3 | 20 | 22 | 25 | 22.2 | 0.7 | 0.8 |
| Δ 1-2 | 5 | 10 | 15 | 10.0 | 2.8 | 1.7 |
| Δ 2-3 | 5 | 10 | 15 | 10.0 | 2.8 | 1.7 |
| Δ 3-4 | 8 | 10 | 20 | 11.3 | 4.0 | 2.0 |
| Δ 4-5 | 9 | 10 | 11 | 10.0 | 0.1 | 0.3 |

Πλέον οι μέσες τιμές αλλά και η διακύμανση της κάθε δραστηριότητας εμφανίζονται παραστατικά και στο δίκτυο του επομένου σχήματος που είναι ανάλογο των σχημάτων 8.1 α, β. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι ανάλογη της μεθόδου CPM, όπου χρησιμοποιούσαμε μια συγκεκριμένη τιμή για την χρονική διάρκεια των δραστηριοτήτων, μόνο που εδώ χρησιμοποιούμε τις μέσες τιμές (t_e) των χρονικών διαρκειών των δραστηριοτήτων. Στο σχήμα φαίνεται πως αντί για 22 ημέρες ($\max\{22, 10 + 10 = 20\}$) που απαιτούντο με την μέθοδο CPM για να ξεκινήσει η Δ 3-4, τώρα απαιτούνται 22,2 ($\max\{22.2, 10 + 10 = 20\}$) κ.ο.κ.



Σχήμα 8.6 : Παράδειγμα δικτύου έργου (AOA) μέσω της μεθόδου PERT

Όπως έχουμε ξαναπεί, η τελική διάρκεια του έργου καθορίζεται από τις χρονικές διάρκειες των δραστηριοτήτων που βρίσκονται στην κρίσιμη διαδρομή. Στην περίπτωση μας, όπως προείπαμε, οι κρίσιμες δραστηριότητες είναι οι Δ 1-3, Δ 3-4 και Δ 4-5, οι οποίες μάλιστα αναπαρίστανται με πιο έντονα βέλη στο προηγούμενο σχήμα. Ως εκ τούτου, τόσο η μέση διάρκεια του έργου, όσο και η διακύμανση του χρόνου του έργου θα δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις όπως προέκυψαν και από την εφαρμογή του Κεντρικού Οριακού Θεωρήματος (παρ. 8.3.7) :

$$E = t_{e1-3} + t_{e3-4} + t_{e4-5} = 22.2 + 11.3 + 10.0 = 43.5$$

$$V_T = V_{t1-3} + V_{t3-4} + V_{t4-5} = 0.7 + 4.0 + 0.1 = 4.8$$

Με λίγα λόγια με βάση την στατιστική προσέγγιση PERT, όπως αυτή περιγράφηκε αναλυτικά, το έργο έχει προβλεπόμενη διάρκεια ολοκλήρωσης 43.5 ημέρες παρουσιάζοντας ταυτόχρονα μια διακύμανση της τάξης του 4.8. Όλα αυτά έρχονται σε αντίθεση με τα αποτελέσματα της κλασσικής μεθόδου CPM, με την οποία προέκυπτε μια ντετερμινιστική διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου, της τάξης των 42 ημερών.

8.4.6 Ανάλυση αβεβαιότητας κατά τον χρονοπρογραμματισμό

Η ανάλυση της αβεβαιότητας πραγματοποιείται υποθέτοντας πως ο χρόνος ολοκλήρωσης του έργου (ή οποιουδήποτε άλλου κομβικού γεγονότος) ακολουθεί την κανονική κατανομή με τη μέση τιμή E και διακύμανση V_T . Πριν λοιπόν αρχίσουμε τους υπολογισμούς σχετικά με τις πιθανότητες επίτευξης δεδομένων γεγονότων, θα πρέπει να αναφερθούμε πιο εκτενώς και στη κανονική κατανομή γεγονότων.

Κανονική Κατανομή : Η Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας (Probability Density Function - PDF) της κανονικής κατανομής, με μέση τιμή μ (εδώ E) και διακύμανση σ^2 (εδώ V_T), δίνεται από την σχέση :

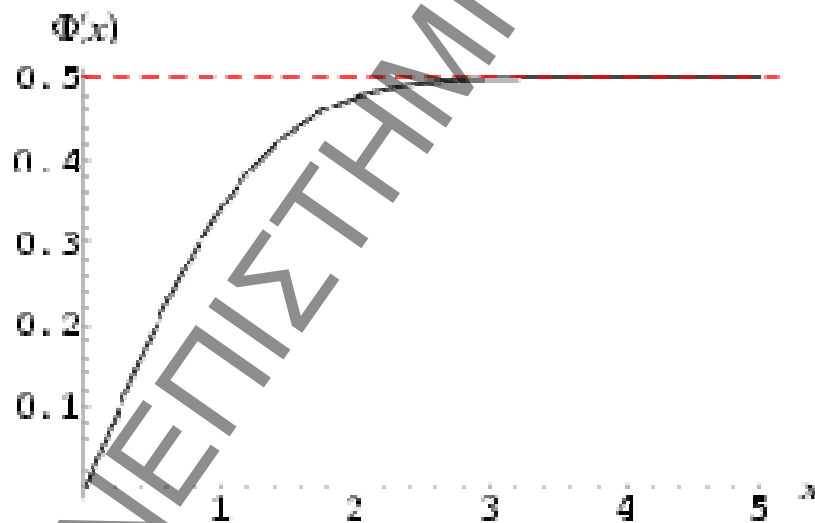
$$f(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(c-m)^2}{2s^2}\right] \quad (8.31)$$

και έχει την μορφή του σχήματος 8.4 που παρουσιάστηκε πιο πάνω. Η κανονική κατανομή έχει μια συμμετρική μορφή, ενώ η μέση τιμή συμπίπτει με την επικρατούσα τιμή και την διάμεσο (50^ο εκατοστημόριο).

Η Συνάρτηση Κατανομής Πιθανότητας (Cumulative Distribution Function - CDF) της κανονικής κατανομής, με μέσο μ και διακύμανση σ^2 , δίνεται από τον τύπο :

$$\Phi(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(z-m)^2}{2s^2}\right] dz \quad (8.32)$$

ο οποίος αναπαρίσταται και γραφικά στο επόμενο σχήμα 8.7.



Σχήμα 8.7 : Η Συνάρτηση Κατανομής Πιθανότητας της Κανονικής

Η Συνάρτηση Κατανομής Πιθανότητας είναι εξέχουσας σημασίας διότι παρέχει τα μέσα για τον υπολογισμό μιας συγκεκριμένης παρατήρησης ή ενός εύρους. Για οποιαδήποτε δεδομένη τιμή του x , η πιθανότητα να έχουμε έναν αριθμό μικρότερο ή ίσο του x δίνεται από την σχέση (8.32) ή και μέσω της γραφική παράστασης του

σχήματος 8.7. Φυσικά τα άνω προϋποθέτουν να είναι γνωστά τόσο τα μ (εδώ E) και σ^2 (εδώ V_T) όσο και η τιμή του x . Δεδομένου πάντως ότι η χρήση της σχέσης (8.32) δεν είναι ιδιαίτερα εύκολη, οι τιμές του $\Phi(x)$ προκύπτουν πιο απλά με την βοήθεια κατάλληλων πινάκων όπως του πίνακα 8.4. Δεδομένου, τώρα, ότι τόσο η μέση τιμή E όσο και η διακύμανση V_T της διάρκειας ολοκλήρωσης του έργου έχουν υπολογισθεί, όπως έχει υποδειχθεί στην παράγραφο 8.4.5, η συνάρτηση της κανονικής κατανομής της εξίσωσης (8.32) είναι πλήρως καθορισμένη και η πιθανότητα επίτευξης οποιασδήποτε προγραμματισμένης ημερομηνίας x μπορεί να εκτιμηθεί είτε χρησιμοποιώντας την σχέση (8.32) είτε λαμβάνοντας απευθείας την τιμή της πιθανότητας από πίνακες κανονικής κατανομής όπως ο 8.4. Οι πίνακες αυτοί εμπεριέχουν τιμές για τις πιθανότητες που αναζητούμε με την προϋπόθεση ότι έχουμε κανονική κατανομή με μέση τιμή $\mu = 0$ και διακύμανση $\sigma^2 = 1$. Ως εκ τούτου για να μπορούμε να χρησιμοποιούμε τους πίνακες αυτούς είναι απαραίτητος ο ακόλουθος μετασχηματισμός. Εάν το x ακολουθεί την κανονική κατανομή με μέσο μ και διακύμανση σ^2 τότε η τυχαία μεταβλητή

$$Z = \frac{(x - \mu)}{\sigma} \quad (8.33)$$

ή

$$Z = \frac{(x - E)}{(V_T)^{1/2}} \quad (8.34)$$

ακολουθεί επίσης την κανονική κατανομή με μέσο $\mu = 0$ και διακύμανση $\sigma^2 = 1$. Τότε το Z αναφέρεται ως *σταθερά κανονικής κατανομής*. Έτσι για να βρεθεί η πιθανότητα ολοκλήρωσης του έργου το πολύ σε x χρονικές μονάδες, αρκεί να διαβασθεί η πιθανότητα που αντιστοιχεί στη σταθερά Z της κανονικής κατανομής που έχει υπολογισθεί, από πίνακες όπως ο 8.4. Για παράδειγμα, στην περίπτωση του δικτύου της παραγράφου 8.2 όπως είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο προέκυψε ότι το έργο έχει προβλεπόμενη διάρκεια ολοκλήρωσης $E = 43.5$ ημέρες παρουσιάζοντας ταυτόχρονα μια διακύμανση της τάξης του $V_T = 4.8$. Για να βρεθεί η πιθανότητα ολοκλήρωσης του έργου το πολύ σε $x = 44$ ημέρες, προκύπτει :

$$Z = \frac{(x - E)}{(V_T)^{1/2}} = \frac{(44 - 43.5)}{2.19} = 0.228$$

Από τον πίνακα 8.4, προκύπτει , μέσω γραμμικής παρεμβολής , ότι για σταθερά Z της κανονικής κατανομής ίση με 0.228 η πιθανότητα ολοκλήρωσης του έργου στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα είναι περίπου 58,8 %.

| Πίνακας 8.4 : Τιμές της σταθεράς Z της κανονικής κατανομής | | | |
|--|--------|------|--------|
| 0.0 | 0.5000 | -3.0 | 0.0013 |
| 0.1 | 0.5398 | -2.9 | 0.0019 |
| 0.2 | 0.5793 | -2.8 | 0.0026 |
| 0.3 | 0.6179 | -2.7 | 0.0035 |
| 0.4 | 0.6554 | -2.6 | 0.0047 |
| 0.5 | 0.6915 | -2.5 | 0.0062 |
| 0.6 | 0.7257 | -2.4 | 0.0082 |
| 0.7 | 0.7580 | -2.3 | 0.0107 |
| 0.8 | 0.7881 | -2.2 | 0.0139 |
| 0.9 | 0.8159 | -2.1 | 0.0179 |
| 1.0 | 0.8413 | -2.0 | 0.0228 |
| 1.1 | 0.8643 | -1.9 | 0.0287 |
| 1.2 | 0.8849 | -1.8 | 0.0359 |
| 1.3 | 0.9032 | -1.7 | 0.0446 |
| 1.4 | 0.9192 | -1.6 | 0.0548 |
| 1.5 | 0.9332 | -1.5 | 0.0668 |
| 1.6 | 0.9452 | -1.4 | 0.0808 |
| 1.7 | 0.9554 | -1.3 | 0.0968 |
| 1.8 | 0.9641 | -1.2 | 0.1151 |
| 1.9 | 0.9713 | -1.1 | 0.1357 |
| 2.0 | 0.9772 | -1.0 | 0.1587 |
| 2.1 | 0.9821 | -0.9 | 0.1841 |
| 2.2 | 0.9861 | -0.8 | 0.2119 |
| 2.3 | 0.9893 | -0.7 | 0.2420 |
| 2.4 | 0.9918 | -0.6 | 0.2743 |
| 2.5 | 0.9938 | -0.5 | 0.3085 |
| 2.6 | 0.9953 | -0.4 | 0.3446 |
| 2.7 | 0.9965 | -0.3 | 0.3821 |
| 2.8 | 0.9974 | -0.2 | 0.4207 |
| 2.9 | 0.9981 | -0.1 | 0.4602 |
| 3.0 | 0.9987 | -0.0 | 0.5000 |

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονισθεί πως υπάρχει περίπτωση κατά τους υπολογισμούς να προκύψει αρνητική τιμή για την σταθερά Z της κανονικής κατανομής. Σε περίπτωση που υπάρχουν πίνακες που περιέχουν και αρνητικές τιμές του x δεν υπάρχει ιδιαίτερο πρόβλημα καθώς εξάγεται απευθείας η αντίστοιχη τιμή της πιθανότητας. Εάν όμως οι πίνακες δεν περιέχουν αρνητικές τιμές για το Z τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν βασικές ιδιότητες της κανονικής κατανομής που αφορούν την συμμετρικότητα αυτής για να παρακαμφθεί το πρόβλημα. Συγκεκριμένα, λόγω συμμετρικότητας της κανονικής κατανομής, ισχύει η σχέση :

$$\Phi(-Z) = 1 - \Phi(Z) \quad (8.35)$$

Δηλαδή η πιθανότητα που αναζητείται θα προκύπτει βρίσκοντας την πιθανότητα που αντιστοιχεί στην απόλυτη τιμή του Z και αφαιρώντας στην συνέχεια την τιμή αυτή από την μονάδα.

Ανακεφαλαιώνοντας και έχοντας ήδη αναφερθεί εκτενέστατα σε όλη την απαραίτητη θεωρία πιθανοτήτων και στατιστικής που κρύβεται πίσω από τους υπολογισμούς της στατιστικής προσέγγισης PERT, μπορούμε να κάνουμε μια ανασκόπηση στα βασικά βήματα που απαιτούνται για τον υπολογισμό της πιθανότητας ολοκλήρωσης ενός έργου σε κάποιο τακτό χρόνο x .

- Ø 1^ο βήμα : Για κάθε δραστηριότητα λαμβάνονται (βλέπε παραγράφους 8.4.1 και 8.4.2) οι χρονικές διάρκειες a , m και b .
- Ø 2^ο βήμα : Για κάθε δραστηριότητα υπολογίζονται η μέση τιμή t_e (ή μ) και η διακύμανση V_t (ή σ^2).
- Ø 3^ο βήμα : Για κάθε δραστηριότητα υπολογίζεται ο ενωρίτερος και βραδύτερος χρόνος έναρξης και λήξης και το συνολικό περιθώριο χρόνου με βάση την μέση τιμή t_e της κάθε δραστηριότητας, ο αναμενόμενος χρόνος υλοποίησης του έργου E καθώς και οι κρίσιμες διαδρομές του δικτύου.

Ø 4^ο βήμα : Υπολογίζεται η διακύμανση V_T του χρόνου όλου του έργου σαν άθροισμα των διακυμάνσεων όλων των δραστηριοτήτων *κάθε* κρίσιμης διαδρομής. Στην συνέχεια των υπολογισμών συμμετέχει η μεγαλύτερη διακύμανση (σε περίπτωση ύπαρξης περισσοτέρων της μιας κρίσιμων διαδρομών με διαφορετικές διακυμάνσεις).

Ø 5^ο βήμα : Υπολογίζεται η σταθερά Z της κανονικής κατανομής μέσω της σχέσης (8.33). Τέλος ο πίνακας 8.4 συνδέει την σταθερά Z με την ζητούμενη πιθανότητα.

8.5 Προϋποθέσεις εφαρμογής και γενικές παρατηρήσεις για την πιθανολογική προσέγγιση PERT

Στην διάρκεια του κεφαλαίου έχουν αναφερθεί κάποιες υποθέσεις στις οποίες στηριζόμαστε για να καταλήξουμε σε βασικά συμπεράσματα με την μέθοδο PERT. Πιο κάτω παρουσιάζονται , λοιπόν , συνολικά οι βασικές προϋποθέσεις εφαρμογής της μεθόδου :

- § Θεωρείται (αυθαίρετα μιν αλλά με επιβεβαίωση από την πράξη – βλέπε Clark²⁸) ότι η συχνότητα εμφάνισης των χρόνων εκτέλεσης των δραστηριοτήτων ενός έργου ακολουθούν την κατανομή Βήτα.
- § Για κάθε δραστηριότητα ορίζονται οι τρεις χρόνοι a , m και b , οι οποίοι καθορίζονται βασίζόμενοι στην εμπειρία υλοποίησης παρόμοιων έργων ή με την βοήθεια ιστορικών δεδομένων.
- § Οι χρόνοι των δραστηριοτήτων είναι στατιστικά ανεξάρτητοι μεταξύ τους.
- § Η μέση τιμή της κατανομής Βήτα καθορίζει τον αναμενόμενο χρόνο κάθε δραστηριότητας, δηλαδή τον απαραίτητο μέσο χρόνο (t_e) για την υλοποίηση της.
- § Η διακύμανση του χρόνου κάθε δραστηριότητας συμπίπτει με το τετράγωνο της τυπικής απόκλισης ($Vt^{1/2}$) της κατανομής Βήτα.

- § Η μέση διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου E ισούται με το άθροισμα των μέσων τιμών των δραστηριοτήτων της κρίσιμης διαδρομής του (Κ.Ο.Θ.).
- § Η διακύμανση του χρόνου όλου του έργου V_T ισούται με το άθροισμα των διακυμάνσεων των δραστηριοτήτων της κρίσιμης διαδρομής του (Κ.Ο.Θ.). Εάν υπάρχουν περισσότερες της μιας κρίσιμες διαδρομές χρησιμοποιείται εκείνη που έχει την μεγαλύτερη διακύμανση.

Πέρα από τις προϋποθέσεις εκείνες στις οποίες βασίζεται η μέθοδος PERT ώστε να είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν οι κατάλληλοι υπολογισμοί, πρέπει να γίνει αναφορά και σε κάποια βασικά σημεία τα οποία αφορούν την μέθοδο PERT και τα οποία χρήζουν βαθύτερης διερεύνησης.

1. Όσο μεγαλύτερη είναι η διακύμανση μιας διαδρομής του δικτύου του έργου, τόσο μεγαλύτερη είναι η αβεβαιότητα που αντιστοιχεί στην χρονική εκτίμηση της διαδρομής αυτής. Κατά συνέπεια μια διαδρομή που κατά την ντετερμινιστική ανάλυση CPM προέκυπτε κρίσιμη, στην περίπτωση της στοχαστικής ανάλυσης PERT μπορεί να μην θεωρείται κρίσιμη καθώς μπορεί να υπάρχει κάποια άλλη διαδρομή με μικρότερη μέση διάρκεια αλλά με σαφώς μεγαλύτερη διακύμανση και κατά συνέπεια σαφώς μεγαλύτερη αβεβαιότητα (ή μικρότερη πιθανότητα) έγκαιρης ολοκλήρωσης.
2. Παρά το γεγονός ότι στην βιβλιογραφία η κλασική κατανομή που χρησιμοποιείται στην μέθοδο PERT είναι η Βήτα, αυτό δεν είναι πάντα αναγκαίο. Στην πραγματικότητα η πιθανολογική μέθοδος PERT απλά χρησιμοποιεί την μέση τιμή η οποία δεν είναι τίποτε άλλο από ένας σταθμισμένος μέσος όρος των τριών χρονικών εκτιμήσεων (a , m και b). Στην πραγματικότητα δεν απαιτείται κάποια συγκεκριμένη κατανομή για αυτού του είδους την ανάλυση, απλά χρησιμοποιείται για την διευκόλυνση της θεωρητικής αποδείξεως. Άλλωστε και ο τύπος της διακύμανσης που χρησιμοποιείται στην κατανομή Βήτα προκύπτει εύκολα από το γεγονός ότι το 99,7 % της κανονικής κατανομής περιέχεται στο διάστημα μεταξύ τριών αποκλίσεων από τον μέσο.

3. Κατά τους υπολογισμούς που πραγματοποιούνται στην μέθοδο PERT μόνο η μέση τιμή των δραστηριοτήτων χρησιμοποιείται για να φθάσουμε στην κρίσιμη διαδρομή. Η διακύμανση χρησιμοποιείται μόνο αφού έχει καθορισθεί η κρίσιμη διαδρομή με σκοπό να ορίσει ένα επίπεδο αβεβαιότητας το οποίο σχετίζεται με την μέση τιμή του καθορισμένου γεγονότος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία ενός σημαντικού προβλήματος (γνωστό ως *'merge event bias'* στην διεθνή βιβλιογραφία) που δεν είναι άλλο από τον υπολογισμό μιας αισιόδοξης εκτίμησης της μέσης διάρκειας του έργου σε σχέση με την πραγματική μέση διάρκεια. Δεν είναι λίγοι οι ερευνητές (Clark²⁸, Moder⁴¹ κ.λ.π.) που έχουν ασχοληθεί κατά καιρούς με την προσπάθεια επίλυσης του προβλήματος αυτού όμως οι διάφορες προσεγγίσεις που έχουν αναπτυχθεί κατά καιρούς είναι ιδιαίτερα σύνθετες και απαιτούν και την χρήση Η/Υ. Μια από τις πιο “οικονομικές” προσεγγίσεις για την επίλυση του προβλήματος είναι και αυτή της προσομοίωσης Monte Carlo που αναπτύσσεται στο επόμενο κεφάλαιο.
4. Ένα ερώτημα που συχνά τίθεται είναι το πόσο μεγάλος θα πρέπει να είναι ο αριθμός των δραστηριοτήτων στην κρίσιμη διαδρομή ώστε να ισχύει το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα. Φυσικά, όσο μικρότερος είναι ο αριθμός αυτός τόσο μεγαλύτερη θα είναι η απόκλιση από την κανονική κατανομή. Τα αποτελέσματα θα ισχύουν φυσικά, έστω και προσεγγιστικά.
5. Ένα άλλο ερώτημα που συχνά τίθεται είναι το κατά πόσο μπορούμε να υποθέσουμε πως οι δραστηριότητες είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Η υπόθεση αυτή γίνεται συχνά καθώς απλουστεύει την ανάλυση όμως πολλές φορές είναι δυνατόν να υπάρχει ιδιαίτερη συσχέτιση μεταξύ κάποιων δραστηριοτήτων, ειδικά στη περίπτωση τεχνικών έργων.

Πιο πάνω παρουσιάσθηκαν κάποια βασικά σημεία της πιθανολογικής προσέγγισης PERT τα οποία χρήζουν διερεύνησης και αφορούν κυρίως κάποιες από τις υποθέσεις στις οποίες βασίζεται η μέθοδος αυτή. Τα προβλήματα αυτά μπορούν να ελαχιστοποιηθούν στην περίπτωση που χρησιμοποιείται ένα μοντέλο στοχαστικής προσομοίωσης όπως αυτό που αναλύεται στο επόμενο κεφάλαιο. Μελετώντας ένα τέτοιο μοντέλο οι πραγματικές ιδιότητες μιας κατανομής (συμπεριλαμβανομένων και όλων των παραμέτρων περιγραφικής στατιστικής της, όπως η μέση τιμή ή η διακύμανση) χρησιμοποιούνται, ενώ αντί της έννοιας της κρίσιμης διαδρομής εισάγεται η έννοια της κρίσιμης δραστηριότητας με σκοπό να ξεπεραστούν οι δυσκολίες που δημιουργούν πολλοί από τους συλλογισμούς που αναφέρθησαν πιο πάνω.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο :

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ MONTE CARLO ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΡΓΟΥ

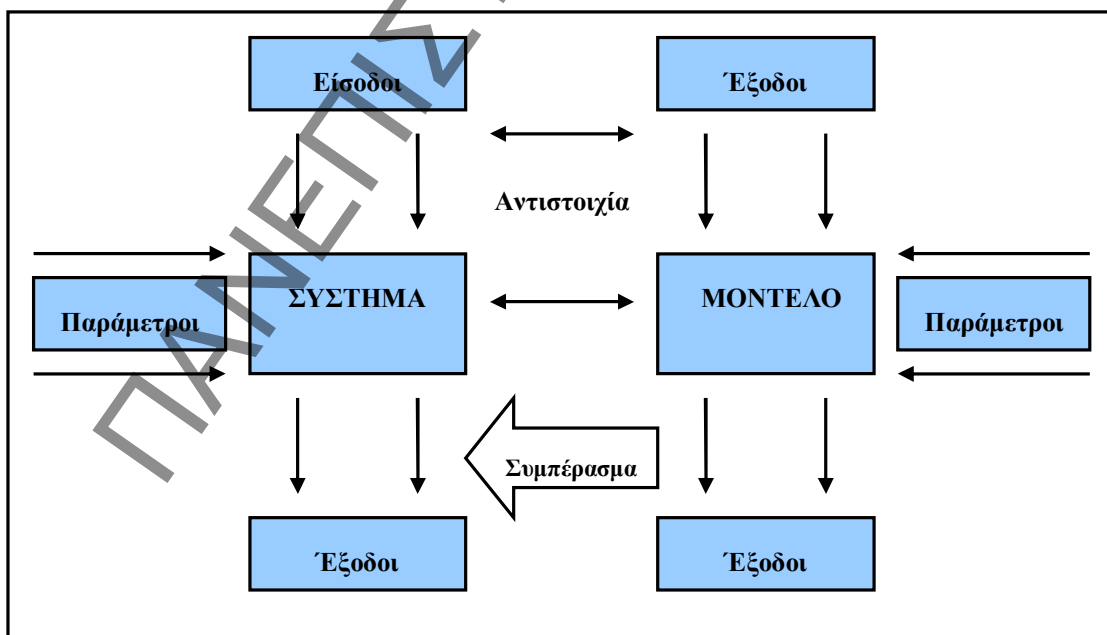
9.1 Εισαγωγή στην έννοια της Προσομοίωσης

Η προσομοίωση έχει εξελιχθεί σε ένα από τα πιο ενδιαφέροντα και ικανά εργαλεία που διατίθενται σήμερα για ανάλυση ιδιαίτερα σύνθετων και πολύπλοκων προβλημάτων. Δημιουργώντας και εφαρμόζοντας ένα μοντέλο προσομοίωσης, μας επιτρέπεται τόσο η παρατήρηση της δυναμικής συμπεριφοράς ενός συστήματος που βρίσκεται κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες, όσο και ο έλεγχος του υπό εξέταση συστήματος. Με άλλα λόγια η προσομοίωση μας παρέχει ένα εργαστήριο για ανάλυση προβλημάτων που δεν μπορούν να λυθούν εύκολα με την χρήση άλλων μέσων.

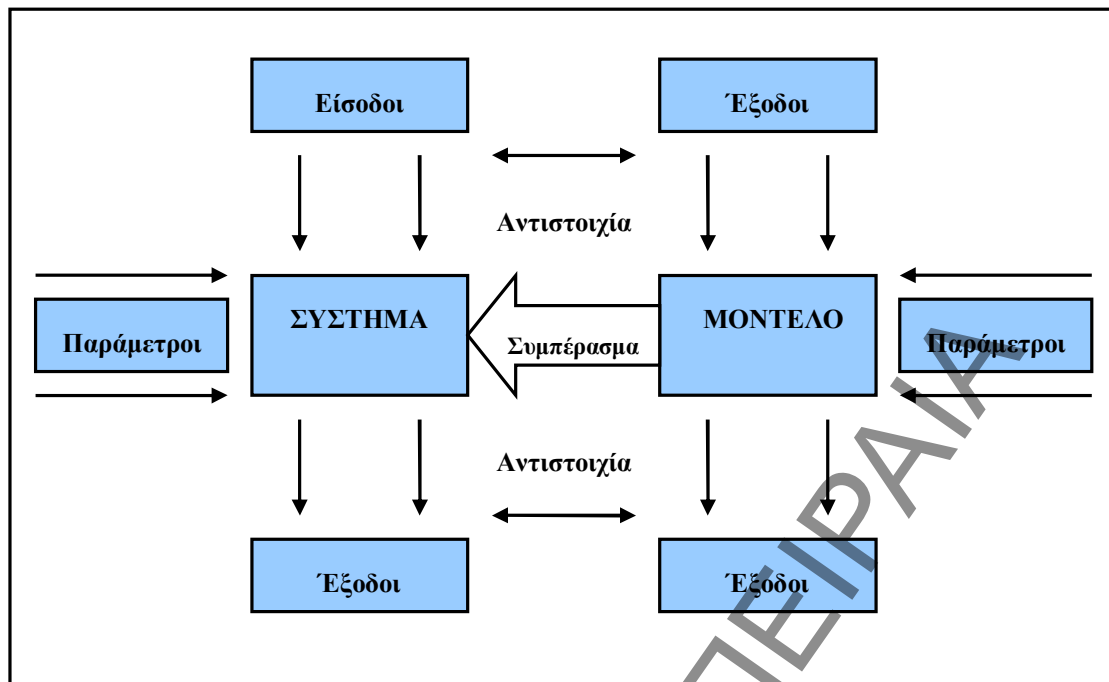
Ο όρος «προσομοίωση» όπως χρησιμοποιείται στη διοικητική και οικονομική επιστήμη, παραπέμπει στη λειτουργία ενός αριθμητικού μοντέλου που αναπαριστά τη διάρθρωση μιας δυναμικής διαδικασίας. Δίνοντας τις τιμές των αρχικών παραμέτρων και των εξωγενών μεταβλητών, η προσομοίωση εφαρμόζεται για να αναπαραστήσει τη συμπεριφορά μιας διαδικασίας. Η εφαρμοζόμενη προσομοίωση μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ένα πείραμα πάνω σε ένα υπόδειγμα. Ένα σύνολο μεταβλητών περιγράφει την κατάσταση ενός υπό εξέταση συστήματος σε μια δεδομένη αρχική χρονική στιγμή. Αυτές οι μεταβλητές χρησιμοποιούνται μαζί με τυχόν άλλες εξωγενείς εισροές, ώστε να «παραχθεί» η συμπεριφορά του συστήματος κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος. Τελικά προκύπτουν οι τιμές των μεταβλητών που περιγράφουν την κατάσταση του συστήματος στο τέλος του χρονικού διαστήματος. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι το πέρας του επιθυμητού χρονικού διαστήματος.

Η προσομοίωση περιλαμβάνει ουσιαστικά την κατασκευή ενός μοντέλου το οποίο είναι κυρίως μαθηματικό στη φύση του. Μέσω του μοντέλου αυτού περιγράφεται η λειτουργία του συστήματος, όσον αφορά ανεξάρτητα γεγονότα ως προς τις

ανεξάρτητες συνιστώσες του συστήματος. Συγκεκριμένα, το σύστημα χωρίζεται σε στοιχεία των οποίων η συμπεριφορά μπορεί να προβλεφθεί, τουλάχιστον όσον αφορά κατανομές πιθανοτήτων, για καθεμία από τις πιθανές καταστάσεις του συστήματος και των στοιχείων εισόδου του. Οι σχέσεις μεταξύ των στοιχείων, επίσης, δημιουργούνται μέσα στο μοντέλο. Έτσι το έργο κατασκευής του μοντέλου χωρίζεται σε συνιστώσες και στην συνέχεια συνδυάζονται οι συνιστώσες αυτές στη φυσική τους σειρά, επιτρέποντας στον υπολογιστή να παρουσιάσει το πώς αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Αφού κατασκευαστεί το μοντέλο, τότε ενεργοποιείται ο υπολογιστής παράγοντας κάποια δεδομένα εισόδου, για να προσομοιώσει την ακριβή λειτουργία του συστήματος στο χρόνο και να καταγράψει τη συνολική συμπεριφορά του. Επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία αυτή για τους ποικίλους εναλλακτικούς σχηματισμούς και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα, μπορούν να προσδιοριστούν οι προκρινόμενοι σχηματισμοί. Βέβαια, εξαιτίας του υπάρχοντος στατιστικού σφάλματος δεν μπορούμε να εγγυηθούμε ότι ο σχηματισμός που δίνει το καλύτερο αποτέλεσμα είναι πραγματικά ο βέλτιστος, όμως θα βρίσκεται σίγουρα πολύ κοντά στον βέλτιστο, εάν το προσομοιωμένο πείραμα έχει σχεδιασθεί κατάλληλα. Στα σχήματα 9.1 και 9.2 παρουσιάζεται η αντιστοιχία μεταξύ μοντέλου και συστήματος τόσο κατά την ανάλυση όσο και κατά την σύνθεση του συστήματος.



Σχήμα 9.1 : Αντιστοιχία μοντέλου – συστήματος (Ανάλυση Συστήματος)



Σχήμα 9.2 : Αντιστοιχία μοντέλου – συστήματος (Σύνθεση Συστήματος)

Με λίγα λόγια η μέθοδος της προσομοίωσης βασίζεται στη δημιουργία ενός μοντέλου προσομοίωσης το οποίο αποτελείται από

- 1) Τα Στοιχεία (στοιχειώδη μέρη) του συστήματος.
- 2) Τα Γεγονότα που παράγονται από κάθε στοιχείο.
- 3) Τις Σχέσεις ανάμεσα στα στοιχεία του συστήματος

Από όλα τα παραπάνω προκύπτει επίσης ότι , για τη λειτουργία του , το μοντέλο της προσομοίωσης χρειάζεται ένα σύνολο με δεδομένα εισόδου. Όταν τα δεδομένα αυτά κατασκευάζονται, τότε λέμε ότι έχουμε μια πιθανολογική προσομοίωση ή προσομοίωση τύπου Monte Carlo ενώ όταν είναι πραγματικά δεδομένα , που έχουν συλλεχθεί από μια πραγματική πηγή , τότε λέμε ότι έχουμε μια ντετερμινιστικού τύπου προσομοίωση. Στην επόμενη παράγραφο θα παρουσιασθούν αναλυτικά τα είδη της προσομοίωσης.

Με την επανάληψη μέσω της προσομοίωσης, χρησιμοποιώντας διαφορετικές ρυθμίσεις και δεδομένα, είναι εφικτή η σύγκριση των τιμών της απόδοσης του συστήματος σε κάθε περίπτωση και ο προσδιορισμός των ρυθμίσεων που οδηγούν σε βέλτιστη απόδοση. Συνεπώς, η προσομοίωση αποτελεί μια μέθοδο δειγματοληψίας από πειράματα που πραγματοποιούνται στο μοντέλο του υπό εξέταση συστήματος. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει η προσομοίωση να βασίζεται σε τεχνικές καθαρά στατιστικής ανάλυσης, για να εκλαμβάνονται ως φυσικά πειράματα.

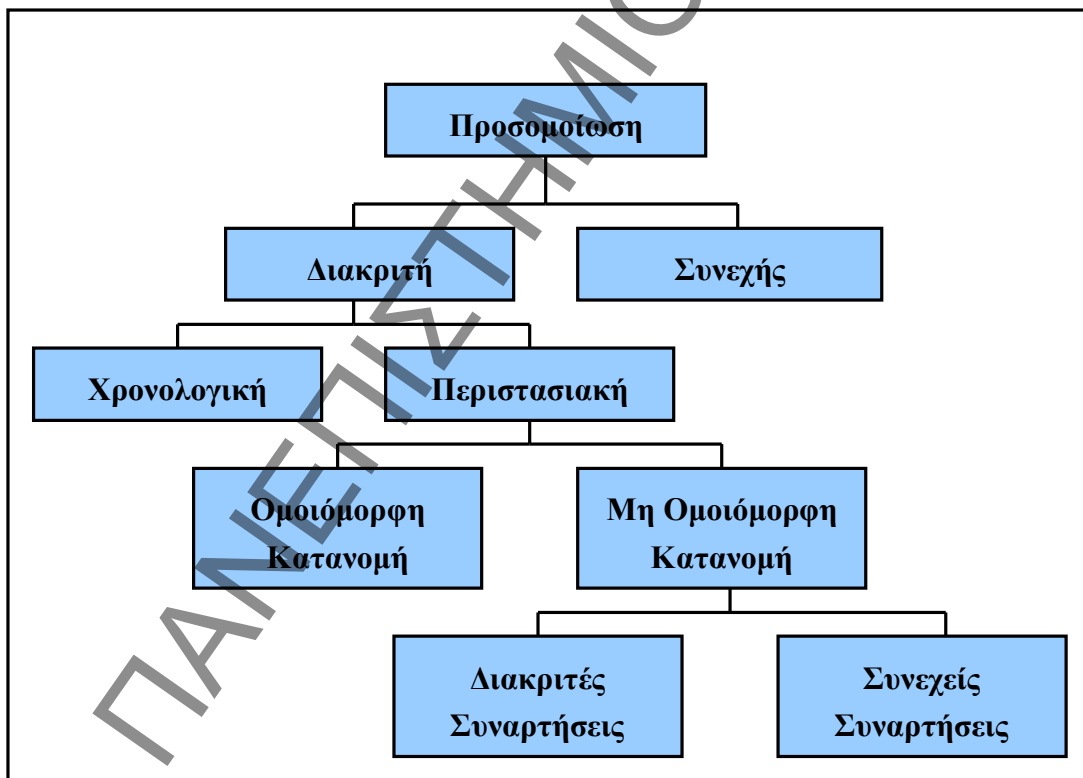
9.2 Ορισμός και είδη Προσομοίωσης

Στην ευρεία της έννοια, η *υπολογιστική προσομοίωση* είναι η διαδικασία σχεδιασμού ενός μαθηματικού - λογικού μοντέλου ενός αληθινού συστήματος, καθώς και πειραματισμού με αυτό το μοντέλο συνήθως σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Εν ολίγοις, η προσομοίωση εμπεριέχει τη διαδικασία δημιουργίας μοντέλου, καθώς και το σχεδιασμό και την εφαρμογή ενός κατάλληλου πειράματος που αφορά το μοντέλο αυτό.

Σύμφωνα με τον ορισμό του Morgenthaler, το να *προσομοιώνουμε* είναι το να αντιγράφουμε τα πρωτεύοντα χαρακτηριστικά ενός συστήματος ή διαδικασίας χωρίς αυτό να ενεργοποιείται στην πραγματικότητα από μόνο του. Έτσι, *προσομοίωση* μπορούμε να πούμε ότι είναι η χρησιμοποίηση ενός υποδείγματος προκειμένου να απεικονίσουμε τα ουσιώδη χαρακτηριστικά ενός συστήματος ή διαδικασίας που μελετούμε. Τη δυναμική της συμπεριφοράς ενός συστήματος μπορούμε να τη συμπεράνουμε από τη λειτουργία του μοντέλου.

Η προσομοίωση με μοντέλα υποστηρίζει ότι μπορούμε να περιγράψουμε ένα σύστημα κατά τρόπο αποδεκτό για το υπολογιστικό σύστημα. Σύμφωνα με αυτό, μία έννοια-κλειδί είναι αυτή της περιγραφής της κατάστασης του συστήματος. Ένα σύστημα μπορεί να χαρακτηριστεί από ένα σύνολο μεταβλητών, ώστε με κάθε συνδυασμό τιμών των μεταβλητών να αντιπροσωπεύεται μία μοναδική κατάσταση ή συνθήκη του συστήματος. Η κατάλληλη επεξεργασία των τιμών των μεταβλητών προσομοιώνει την κίνηση του συστήματος από κατάσταση σε κατάσταση. Ένα

πρόβλημα προσομοίωσης αφορά ουσιαστικά στην παρατήρηση της δυναμικής συμπεριφοράς ενός μοντέλου μετακινούμενου από κατάσταση σε κατάσταση σύμφωνα με κάποιους καλά προσδιορισμένους λειτουργικούς κανόνες, σχεδιασμένους μέσα στο μοντέλο. Αλλαγές στην κατάσταση ενός συστήματος μπορεί να εμφανιστούν είτε συνεχώς στη διάρκεια του χρόνου είτε σε διακριτές στιγμές στο χρόνο. Οι διακριτές στιγμές μπορεί να αναλυθούν ντετερμινιστικά ή στοχαστικά, κάτι που εξαρτάται από τη φύση των αποτελεσμάτων που δίνει το μοντέλο. Παρά τις διαδικασίες για την περιγραφή της δυναμικής συμπεριφοράς (διακριτής ή συνεχούς) πάνω στην οποία τα μοντέλα διαφέρουν, η βασική έννοια της προσομοίωσης ενός συστήματος, περιγράφοντας τις αλλαγές στην κατάσταση του συστήματος στο χρόνο, παραμένει η ίδια. Στο σχήμα 9.3 παρουσιάζεται μια κατηγοριοποίηση των ειδών της προσομοίωσης.



Σχήμα 9.3 : Είδη Προσομοίωσης

Όπως φαίνεται και από το σχήμα 9.3, υπάρχουν δυο βασικές κατηγορίες μοντέλων προσομοίωσης : τα *διακριτά* και τα *συνεχή*. Στην περίπτωση των διακριτών μοντέλων γίνεται αναπαράσταση συστήματος στο οποίο οι αλλαγές στις τιμές των βασικών μεταβλητών γίνεται κατά *ασυνεχή* τρόπο. Αντίθετα στην περίπτωση που έχουμε συνεχές μοντέλο, γίνεται αναπαράσταση συστήματος στο οποίο οι αλλαγές στις τιμές των βασικών μεταβλητών γίνεται κατά *συνεχή* τρόπο. Οι διακριτές προσομοιώσεις διακρίνονται σε *χρονολογικές* και *περιστασιακές*. *Χρονολογική* ονομάζεται μια διακριτή προσομοίωση αν ο μηχανισμός (<<ρολόι>>) που αναπαριστά τον προσομοιούμενο χρόνο αναθεωρείται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Εάν δε η αναθεώρηση γίνεται με την εμφάνιση κάποιων γεγονότων, η προσομοίωση ονομάζεται *περιστασιακή*. Οι περιστασιακές προσομοιώσεις είναι και *πιθανολογικές* και διακρίνονται σε δυο επιμέρους κατηγορίες, ανάλογα με το εάν η εμφάνιση των γεγονότων ακολουθεί *ομοιόμορφη κατανομή* ή όχι. Τέλος όταν τα γεγονότα δεν ακολουθούν ομοιόμορφη κατανομή έχουμε δυο ομάδες μοντέλων, ανάλογα με το εάν η κατανομή εμφάνισης των γεγονότων ακολουθεί *διακριτή* ή *συνεχή συνάρτηση*.

Μια προσομοίωση μπορεί επίσης να κατηγοριοποιηθεί και με βάση τον βαθμό λεπτομέρειας στον οποίο το υπό εξέταση σύστημα θα πρέπει να αναλυθεί και να προσομοιωθεί ώστε να δοθεί λύση στο πρόβλημα. Η προσομοίωση ενός συστήματος μπορεί να γίνει σε πολλά επίπεδα, και με διαφορετικό βαθμό λεπτομέρειας, ώστε να δώσει τη δυνατότητα στον ερευνητή να πειραματιστεί με διαφορετικές παραμέτρους και να μελετήσει τα αποτελέσματα - συνέπειες στη λειτουργία του μοντέλου. Όταν, για παράδειγμα, ένα μοντέλο σχεδιάζεται προκειμένου να μελετηθούν οι εσωτερικές λειτουργίες ενός επεξεργαστή, ο σχεδιαστής θα πρέπει να συμπεριλάβει στο μοντέλο της προσομοίωσης τις διάφορες υπομονάδες του συγκεκριμένου επεξεργαστή καθώς και τις σχέσεις ανάμεσά τους. Για την μελέτη της απόδοσης ενός ολοκληρωμένου υπολογιστικού συστήματος, από την άλλη πλευρά, το μοντέλο της προσομοίωσης πιθανώς θα συμπεριλάβει τη λειτουργία των υπομονάδων του συστήματος και τις σχέσεις ανάμεσα στις υπομονάδες αυτές, χωρίς να αναλυθεί η εσωτερική τους δομή. Η πρώτη μορφή μοντέλου προσομοίωσης αποτελεί προφανώς μια λεπτομερή, *μικροσκοπική* μορφή σε αντίθεση με τη δεύτερη μορφή, που βασίζεται σε *μακροσκοπικά* χαρακτηριστικά.

Στην πράξη, δεν είναι βέβαια πάντα δυνατός ο χαρακτηρισμός ενός μοντέλου προσομοίωσης ως *μικροσκοπικό* ή *μακροσκοπικό*, διότι για την επίλυση ενός προβλήματος μπορεί στο ίδιο μοντέλο προσομοίωσης ο σχεδιαστής να αναπαραστήσει κάποια τμήματα του προσομοιούμενου συστήματος σε μικροσκοπικό επίπεδο και άλλα σε μακροσκοπικό επίπεδο. Επιπλέον, τις περισσότερες φορές είναι σχεδόν αδύνατο να προσδιοριστεί εκ των προτέρων, και χωρίς σχεδιαστική ατέλεια, ο βαθμός λεπτομέρειας στη μοντελοποίηση των τμημάτων ενός συστήματος, διότι η πληροφορία που απαιτούνται συνήθως προκύπτουν στην πορεία των πειραμάτων, ως αποτέλεσμα της εκτέλεσης της προσομοίωσης, ανάλυσης των δεδομένων εξόδου, αξιολόγησής τους και τελικά αναθεώρησης της έκφρασης του αρχικού προβλήματος.

9.3 Εφαρμογές και πλεονεκτήματα της Προσομοίωσης

Η προσομοίωση είναι ένα εργαλείο που εφαρμόζεται σε ένα μεγάλο εύρος δραστηριοτήτων, ορισμένες από τις οποίες παρατίθενται πιο κάτω :

- § Διοίκηση Έργου
- § Χρηματοοικονομικές υπηρεσίες
- § Βιομηχανίες κατασκευής
- § Αξιοπιστία συστημάτων
- § Παραγωγή ενέργειας
- § Τηλεπικοινωνίες
- § Πληροφορική
- § Συγκοινωνίες
- § Logistics
- § Υπηρεσίες υγείας
- § Υπηρεσίες τροφίμων
- § Ξενοδοχειακές υπηρεσίες

- § Θετικές επιστήμες (φυσική , μετεωρολογία κ.λ.π.)
- § Εκπαίδευση
- § Κοινωνικές επιστήμες

Η προσομοίωση έχει χρησιμοποιηθεί επανειλημμένα στην διεξαγωγή πειραμάτων σε μοντέλα πραγματικών ή προτεινόμενων συστημάτων. Η ανάγκη για χρήση της προσομοίωσης προέρχεται από έναν αριθμό σημαντικών παραγόντων. Συγκρίνοντας την τεχνική αυτή με άλλες εναλλακτικές, μπορεί να ειπωθεί ότι η προσομοίωση :

- § Είναι ίσως η μόνη προσέγγιση για την επίλυση σύνθετων προβλημάτων.
- § Μπορεί να κοστίζει λιγότερο.
- § Απαιτεί λιγότερο χρόνο.
- § Είναι πιο απλή.
- § Είναι πιο πρακτική.
- § Έχει μεγαλύτερη ευαισθησία στο να αντιλαμβάνεται τις σχέσεις που υπάρχουν μεταξύ των προβλημάτων.
- § Γίνεται κατανοητή από τον μέσο όρο των χρηστών.
- § Είναι πιο ασφαλής, καθώς δε βάζει σε κίνδυνο ανθρώπους, ενώ επιτρέπει ταυτόχρονα τη μελέτη επικίνδυνων καταστάσεων, χωρίς να χρειαστεί να δημιουργηθούν στην πράξη.
- § Δίνει τη δυνατότητα επανάληψης ακριβώς του ίδιου του φαινομένου, πράγμα ιδιαίτερα δύσκολο σε πραγματικά προβλήματα.
- § Δίνει τη δυνατότητα πλήρους ενόρασης του συστήματος που εξετάζεται από όλες τις πλευρές, πράγμα αδύνατο στις περισσότερες περιπτώσεις στα φυσικά συστήματα.

Βέβαια η προσομοίωση ως μέθοδος παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα, όπως :

- § Κάποιες φορές απαιτεί σημαντικό χρόνο και κόστος.
- § Μπορεί να μην είναι η πιο κατάλληλη μέθοδος επίλυσης του προβλήματος.
- § Δεν εγγυάται ότι θα οδηγήσει στην καλύτερη δυνατή λύση.
- § Μπορεί να μην αντανακλά με ακρίβεια την υπό μελέτη κατάσταση.
- § Βασίζεται καθοριστικά στην τυχαιότητα (στοχαστικές κατανομές, τυχαίοι αριθμοί).

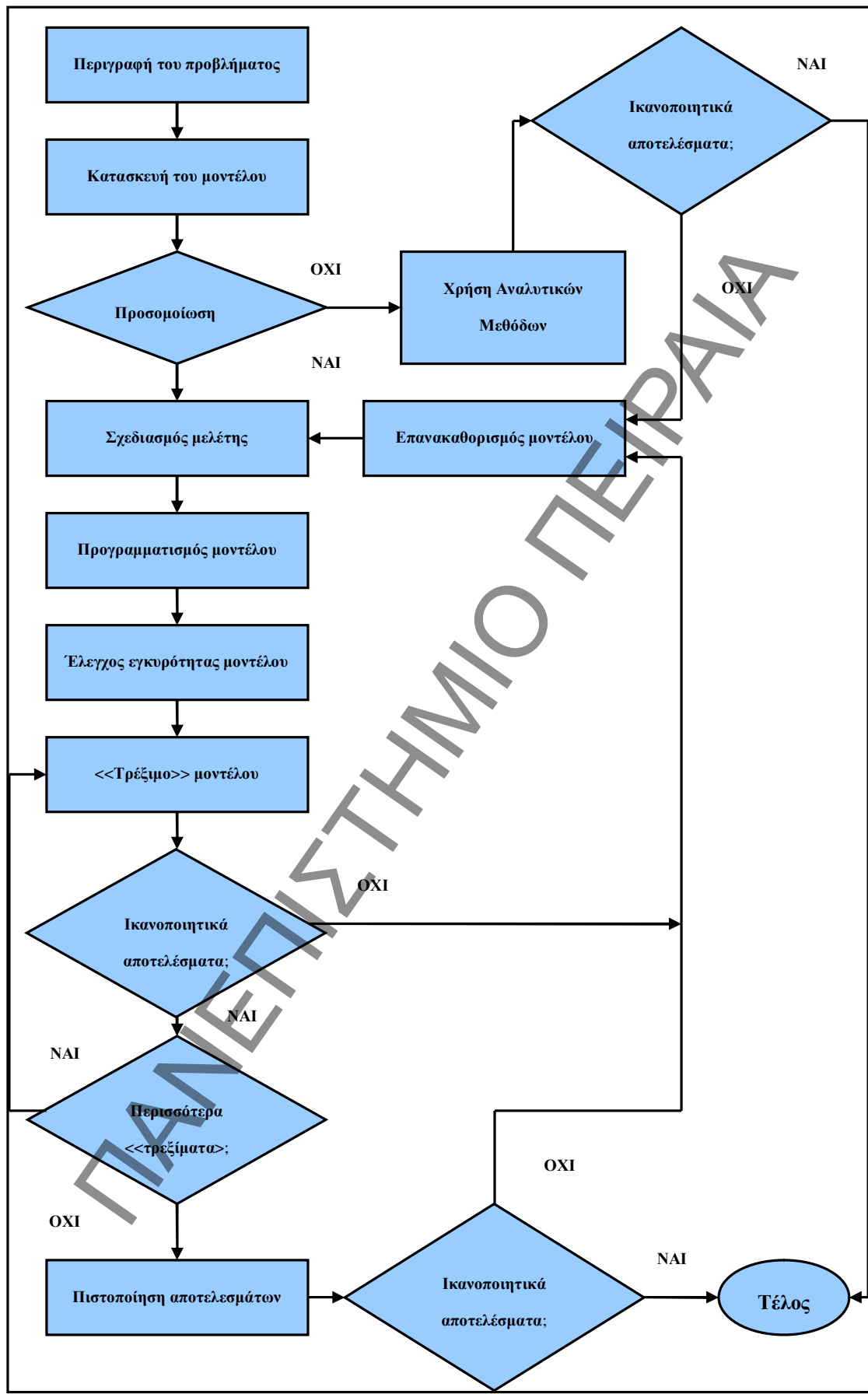
9.4 Η διαδικασία της Προσομοίωσης

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, η διαδικασία για την επιτυχή εξέλιξη ενός μοντέλου προσομοίωσης περιλαμβάνει αρχικά ένα απλό μοντέλο, το οποίο εξωραϊζεται με εξελίξεις, έτσι ώστε να εναρμονίζεται με τις απαιτήσεις του τρόπου επίλυσης του προβλήματος. Μέσα στην διαδικασία αυτή μπορούν να προσδιορισθούν τα ακόλουθα στάδια εξέλιξης :

1. Περιγραφή του προβλήματος : Ο ορισμός του προβλήματος που μελετάται, συμπεριλαμβανομένου του καθορισμού του στόχου από τη λύση του προβλήματος.
2. Κατασκευή του μοντέλου : Η «μετάλλαξη» του συστήματος σε μαθηματικολογικές σχέσεις σύμφωνα με τη διατύπωση του προβλήματος.
3. Σχεδιασμός στρατηγικής και τακτικής : Η διαδικασία για τον καθορισμό των συνθηκών του πειράματος για τη χρήση του μοντέλου.
4. Συγκέντρωση δεδομένων : Η αναγνώριση, ο προσδιορισμός και η συλλογή των δεδομένων.
5. Προγραμματισμός του μοντέλου : Η προετοιμασία του μοντέλου για την εφαρμογή στον υπολογιστή.
6. Επαλήθευση : Η διαδικασία για την επιβεβαίωση ότι το πρόγραμμα στον υπολογιστή λειτουργεί ικανοποιητικά.

7. Έλεγχος εγκυρότητας : Η διαδικασία για την επιβεβαίωση ότι μία επιθυμητή ακρίβεια ή συσχέτιση υπάρχει μεταξύ του μοντέλου προσομοίωσης και του πραγματικού συστήματος.
8. Πειραματισμός : Η εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης, ώστε να αποκτηθούν αριθμητικά αποτελέσματα.
9. Ανάλυση των αποτελεσμάτων : Η διαδικασία ανάλυσης της προσομοίωσης που αποσκοπεί στο να εξαχθούν αναφορές / συμπεράσματα και να γίνουν συστάσεις για την επίλυση του προβλήματος.
10. Εφαρμογή και εξαγωγή συμπερασμάτων από δεδομένα : Η διαδικασία εφαρμογής αποφάσεων που απορρέουν από την προσομοίωση, καθώς και εξαγωγή συμπερασμάτων γύρω από το μοντέλο και τη χρήση του.

Στο διάγραμμα ροής του σχήματος 9.4 απεικονίζεται η διαδικασία μιας μελέτης προσομοίωσης. Το διάγραμμα αυτό δείχνει τα σημαντικότερα βήματα που συνήθως λαμβάνουν χώρα στη διαδικασία μιας μελέτης προσομοίωσης, παρ' όλο που είναι αδύνατο να εκφραστεί πλήρως η εξέλιξη της παραπάνω διαδικασίας μέσα από ένα σύνολο καθορισμένων βημάτων. Το παρακάτω διάγραμμα όμως δρα βοηθητικά και δεν πρέπει να εκληφθεί ως «τυφλός» κανόνας διαδοχικών βημάτων, μη λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες του συστήματος που προσομοιώνεται.



Σχήμα 9.4 : Η διαδικασία της προσομοίωσης

9.5 Η Προσομοίωση Monte Carlo

Στο κεφάλαιο αυτό εισάγεται η έννοια της προσομοίωσης και της ανάλυσης κινδύνου με την βοήθεια της τεχνικής της προσομοίωσης Monte Carlo. Η τεχνική αυτή είναι , όπως έχουμε πει ξανά , είναι μια τεχνική πιθανολογικής προσομοίωσης που αφορά στη συλλογή αριθμών με τυχαία διαδικασία από μια ή περισσότερες κατανομές πιθανότητας για χρήση σε μια ειδική εφαρμογή μελέτης προσομοίωσης. Έχει αναφερθεί εκτενέστατα πως όλα τα έργα , και ιδιαιτέρως τα τεχνικά έργα , συνδέονται συχνά με υψηλούς βαθμούς αβεβαιότητας που προκύπτουν από την απρόβλεπτη φύση των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων. Είναι τόσο πολλοί οι παράγοντες που επηρεάζουν ένα τέτοιο έργο που κανείς δεν μπορεί να είναι απόλυτος για το αν θα ολοκληρωθεί το έργο στην ώρα του ή εντός των περιορισμών κόστους και ποιότητας που έχουν τεθεί. Ένας τέτοιος παράγοντας μπορεί να είναι η επίδραση του καιρού στην παραγωγικότητα ή και στην πρόοδο κάποιων δραστηριοτήτων του έργου. Κατά συνέπεια η ανάλυση κινδύνου και αβεβαιότητας πρέπει να αποτελεί μια βασική επιδίωξη για κάθε Project Manager.

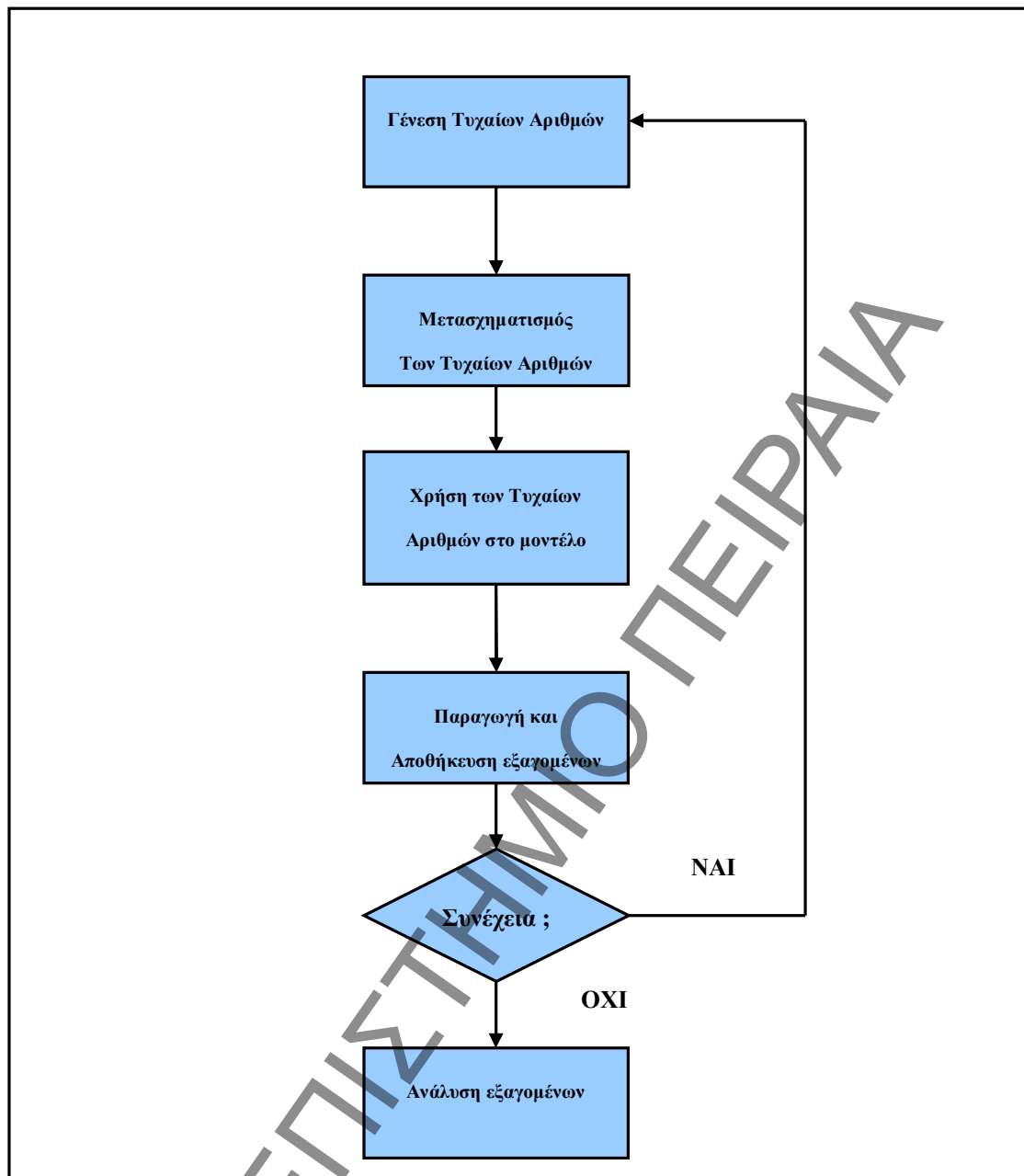
Η στατιστική προσέγγιση PERT , που αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο , προσπαθεί να εκτιμήσει την αβεβαιότητα που υπάρχει κατά τον χρονοπρογραμματισμό του έργου. Όμως δεν είναι λίγοι οι περιορισμοί της μεθόδου PERT που συζητήθηκαν. Η προσομοίωση αποτελεί ένα εργαλείο που εξαλείφει πολλούς από αυτούς τους περιορισμούς. Σήμερα μάλιστα με την εκτενή χρήση των Η/Υ πολλές από τις υπολογιστικές δυσκολίες του παρελθόντος έχουν ελαχιστοποιηθεί με αποτέλεσμα η προσομοίωση να αποτελεί ένα εύχρηστο πλέον εργαλείο.

Η μέθοδος της κρίσιμης διαδρομής (CPM), η μέθοδος PERT ή ακόμη και τα απλά ιστογράμματα ουσιαστικά παρέχουν τα μοντέλα για το πρόγραμμα του έργου. Μόλις κατασκευαστεί ένα μοντέλο, ο υπεύθυνος του έργου εισάγει τα απαραίτητα δεδομένα και αναμένει την παραγωγή κάποιων δεδομένων εξόδου, πάνω στα οποία βασίζεται οποιαδήποτε περαιτέρω ανάλυση που πρόκειται να γίνει ή ακόμη και η λήψη συγκεκριμένων αποφάσεων. Στα προαναφερθέντα μοντέλα όμως επιτρέπεται να εισαχθεί ένα σύνολο μεταβλητών εισόδου και έτσι το αντίστοιχο σύνολο εξόδου παράγεται. Στην ανάλυση προσομοίωσης το μοντέλο του συστήματος εισάγει τα

δεδομένα εισόδου υπό την μορφή τυχαίων μεταβλητών. Στην συνέχεια ο Η/Υ αναλαμβάνει να εκτελέσει πειράματα με πολλές παραλλαγές των εισαγομένων και συλλέγει σύνολα δεδομένων εξόδου που παρουσιάζονται στην συνέχεια ως στατιστικές κατανομές. Τα εξαγόμενα μπορούν έπειτα αναλυθούν κατάλληλα ώστε να παρέχουν ένα μέτρο αβεβαιότητας και κινδύνου. Για ένα διευκρινισμένο μοντέλο με καθορισμένες μεταβλητές παραμέτρους, η προσομοίωση Monte Carlo μπορεί να συνοψισθεί από τον ακόλουθο αλγόριθμο:

1. Παραγωγή ενός τυχαίου αριθμού που ακολουθεί την ομοιόμορφη κατανομή στο διάστημα (0,1)
2. Μετασχηματισμός του τυχαίου αριθμού σε μια κατάλληλη στατιστική κατανομή (π.χ., κανονική, βήτα κ.λ.π.).
3. Αντικατάσταση των τυχαίων αριθμών στις κατάλληλες μεταβλητές στο μοντέλο.
4. Υπολογισμός των επιθυμητών παραμέτρων εξόδου μέσα στο μοντέλο.
5. Αποθήκευση της προκύπτουσας εξόδου για περαιτέρω στατιστική ανάλυση.
6. Επανάληψη των βημάτων 1-5 ένα συγκεκριμένο αριθμό φορών (να σημειωθεί ότι οι γενόμενοι ομοιόμορφοι τυχαίοι αριθμοί πρέπει να είναι διαφορετικοί σε κάθε επανάληψη).
7. Ανάλυση του συλλεχθέντος δείγματος των δεδομένων εξόδου και εκτέλεση ανάλυσης κινδύνου.

Αυτή η διαδικασία απεικονίζεται γραφικά στο σχήμα 9.5 για την περίπτωση εφαρμογής της προσομοίωσης σε ένα δίκτυο PERT.



Σχήμα 9.5 : Διάγραμμα ροής της προσομοίωσης Monte Carlo

9.5.1 Παραγωγή τυχαίων αριθμών και μετασχηματισμός στην κατάλληλη κατανομή

Τυχαίοι αριθμοί είναι οι «τυχαίες» τιμές που παίρνει μια μεταβλητή και οι οποίες έχουν συγκεκριμένες στατιστικές ιδιότητες. Οι τυχαίοι αριθμοί χρησιμοποιούνται

ευρέως στη στατιστική, για παράδειγμα στην παραγωγή δειγμάτων ή στην τοποθέτηση συνιστωσών σε στατιστικά πειράματα. Ακόμα, οι ομοιόμορφοι τυχαίοι αριθμοί χρειάζονται για τη διεξαγωγή λοταριών. Όπως είπαμε, για την εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης απαιτείται οι τυχαίοι αριθμοί να προέλθουν από τυχαίες παρατηρήσεις, οι οποίες με τη σειρά τους να προέρχονται από κατανομές πιθανοτήτων. Βασική απαίτηση είναι κάθε αριθμός στη σειρά να έχει την ίδια πιθανότητα εμφάνισης όπως κάθε άλλη από τις δυνατές τιμές και να είναι στατιστικά ανεξάρτητος από τους άλλους αριθμούς στη σειρά. Με άλλα λόγια οι αριθμοί πρέπει να είναι τυχαίες παρατηρήσεις προερχόμενες από μία διακριτή ομοιόμορφη κατανομή. Κάποιοι βασικοί τρόποι παραγωγής τυχαίων αριθμών είναι οι ακόλουθοι :

- § Πρακτικές μέθοδοι (ρίξιμο ζαριού, νομίσματος κτλ.).
- § Πίνακες τυχαίων αριθμών.
- § Αναλογικοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές (καταγραφή της τυχαίας συμπεριφοράς ενός φυσικού φαινομένου).
- § Ψηφιακοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές (επαναληπτικές διαδικασίες).

Οι πρακτικές μέθοδοι και οι αναλογικοί υπολογιστές έχουν το πλεονέκτημα ότι ως διαδικασίες είναι απόλυτα τυχαίες, αλλά οι αριθμοί που δημιουργούν δεν μπορούν να αναπαραχθούν οι ίδιοι ακριβώς, εάν θέλουμε να επαναλάβουμε το πείραμα. Οι πίνακες τυχαίων αριθμών, εξάλλου, δεν είναι αρκετά γρήγορη μέθοδος για κάποιο πρόβλημα στο οποίο απαιτούνται χιλιάδες τυχαίοι αριθμοί. Για τους λόγους αυτούς χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά αλγόριθμοι οι οποίοι παράγουν τυχαίους αριθμούς σε ψηφιακούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές.

Στα πλαίσια της προσομοίωσης η ενσωμάτωση της τυχειότητας σε ένα μοντέλο μιας κατασκευαστικής λειτουργίας πραγματοποιείται μέσω μιας σειράς βημάτων, που καθορίζουν μια συνεπή και περιεκτική τεχνική πειραματισμού που συνοψίζεται ως εξής :

1. Παραγωγή *τυχαίων αριθμών* Y που να είναι αναπαραγώγιμοι (δηλαδή θα πρέπει να είναι δυνατόν να επαναληφθεί η ίδια διαδικασία όταν αυτό είναι επιθυμητό).
2. Παραγωγή *τυχαίων αριθμών* X που απεικονίζουν την πραγματική φύση της διάρκειας των δραστηριοτήτων που αποτελούν την διαδικασία που μοντελοποιείται. Ως εκ τούτου για να έχει σωστά αποτελέσματα μια ιδανική κατανομή που θεωρείται πως είναι ένα κατάλληλο μοντέλο για τα δεδομένα εισόδου, πρέπει να διευκρινισθεί (αυτό συχνά αναφέρεται και ως *μοντελοποίηση εισόδου*).
3. Αποτελεσματική και ακριβής συλλογή δειγμάτων των παραμέτρων εξόδου που μας ενδιαφέρουν.
4. Ανάλυση των δειγμάτων των παραμέτρων εξόδου σωστά και αναπτύσσοντας τόσο σημειακές εκτιμήσεις όσο και εκτιμήσεις διαστημάτων για τις σχετικές παραμέτρους.

Στην συνέχεια θα αναφερθούμε αρχικά στις πιο δημοφιλείς αριθμητικές μεθόδους για την γένεση τυχαίων μεταβλητών. Έπειτα θα γίνει αναφορά στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την μοντελοποίηση των δεδομένων εισόδου αλλά και στις διαδικασίες στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων εξόδου της προσομοίωσης.

Παραγωγή τυχαίων αριθμών : Η προσομοίωση υπολογιστών μιας στοχαστικής διαδικασίας καθορίζεται από διαδικασίες τυχαίων δεδομένων εισόδου. Η βάση για την ύπαρξη τυχαιότητας σε ένα πείραμα προσομοίωσης βασίζεται στις *Γεννήτριες Τυχαίων Αριθμών*. Για παράδειγμα έστω ότι γνωρίζουμε πως μια συγκεκριμένη δραστηριότητα έχει παρατηρηθεί πως διαρκεί από 100 έως 300 ημέρες ($a =$ αισιόδοξος χρόνος = 100 ημέρες και $b =$ απαισιόδοξος χρόνος = 300 ημέρες). Εάν θελήσουμε να μοντελοποιήσουμε το παρατηρηθέν αυτό φαινόμενο στην προσομοίωση πρέπει να έχουμε κάποιους τρόπους γένεσης τυχαίων χρονικών διαρκειών σε διαφορετικούς κύκλους και μεταξύ των συγκεκριμένων ορίων με αποτελεσματικό τρόπο. Η βάση για την δημιουργία διαρκειών μεταξύ του χαμηλότερου ορίου (100 ημέρες) και του ανώτερου ορίου (300 ημέρες) βρίσκεται στην γένεση ενός *ομοιόμορφου τυχαίου αριθμού* εντός του εύρους (0,1) και έπειτα

στο μετασχηματισμό εκείνου του αριθμού στο κατάλληλο εύρος που εμείς θέλουμε (εδώ [100 , 300]) και σύμφωνα με το κατάλληλο μοντέλο των συλλεχθέντων δεδομένων. Ο μετασχηματισμός των τυχαίων αριθμών στην κατανομή που εμείς θέλουμε συζητείται στην επόμενη παράγραφο. Σε αυτό το τμήμα αναλύεται η γένεση των ομοιόμορφων τυχαίων αριθμών Y εντός του εύρους $(0,1)$.

Ένας πραγματικός τυχαίος αριθμός δεν είναι εύκολο να γεννηθεί. Στις ημέρες μας όμως και με την εκτενή χρήση των H/Y , οι προσομοιωτές χρησιμοποιούν συχνά τους ψευδοτυχαίους αριθμούς. Οι *ψευδοτυχαίοι αριθμοί* είναι οι αριθμοί εκείνοι που παράγονται με την βοήθεια H/Y και οι οποίοι είναι προβλέψιμοι και αναπαραγωγίμοι (κάτι που όπως είδαμε και πιο πάνω είναι πολλές φορές επιθυμητό). Για καθαρά λειτουργικούς λόγους θεωρούμε πως ένας τέτοιος αριθμός κατέχει παρόμοιες ιδιότητες με έναν πραγματικό τυχαίο αριθμό, έτσι από εδώ και πέρα θα χρησιμοποιούμε την φράση *τυχαίος αριθμός* αντί για *ψευδοτυχαίος αριθμός*. Πρακτικά, για να πάρουμε έναν τυχαίο αριθμό θα μπορούσαμε να ρίξουμε ένα ζάρι, να ψάξουμε σε έναν τηλεφωνικό κατάλογο, να τραβήξουμε μια μπάλα από ένα πλήθος αριθμημένων μπαλών ή να χρησιμοποιήσουμε αριθμητικά μέσα. Τα αριθμητικά μέσα είναι προσαρμόσιμα για χρήση H/Y και με την απαραίτητη προσοχή θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να παραγάγουν αριθμούς που εμφανίζονται να είναι τυχαίοι για πολλούς πρακτικούς σκοπούς. Ένας επαναλαμβανόμενος αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για να παραγάγει τυχαίους αριθμούς αναφέρεται συχνά ως *Γεννήτρια Τυχαίων Αριθμών* (Random Number Generator - RNG). Μια τέτοια γεννήτρια πρέπει να παραγάγει ομοιόμορφους αριθμούς εντός του εύρους $(0,1)$ που εμφανίζονται να επιλέγονται ανεξάρτητα, αρκετά πυκνούς στο διάστημα $(0,1)$ και αναπαραγωγίμους. Ο αλγόριθμος πρέπει επίσης να είναι αποδοτικός και κατάλληλος για χρήση σε ένα προγράμματα προσομοίωσης.

Οι αριθμητικές τεχνικές για την γένεση τυχαίων αριθμών κρατούν από τις αρχές της δεκαετίας του 1940 με την μέθοδο *midsquare* που εισήγαγαν οι Newman και Metropolis. Στην μέθοδο αυτή δοθέντος ενός ακέραιου οκταψηφίου αριθμού, παίρνουμε το τετράγωνο και κρατούμε τα 8 μεσαία ψηφία. Για παράδειγμα έστω έχουμε τον αρχικό οκταψηφίο $X_1 = 65236789$. Ψώνοντας τον X_1 στο τετράγωνο προκύπτει $X_1^2 = 4255838639030521$, Άρα $X_2 = 83863903$ κ.ο.κ. Είναι προφανές πως

ανάλογες μεθόδους που εμφανίζονται να παράγουν τυχαίους αριθμούς μπορούμε να βρούμε αρκετές με απλές σχετικά διαδικασίες για έναν υπολογιστή. Όμως θα πρέπει να βεβαιωθούμε για τις μεθόδους αυτές ότι η γεννήτρια δεν αρχίζει να επαναλαμβάνει τους ίδιους αριθμούς αρκετά σύντομα καθώς και ότι οι αριθμοί που παράγονται είναι στατιστικά <<τυχαίοι>>. Σήμερα οι πιο γνωστές μέθοδοι παραγωγής τυχαίων αριθμών είναι οι συγκλίνουσες μέθοδοι, η προσθετική, η πολλαπλασιαστική και η μεικτή μέθοδος. Μια από τις πλέον γνωστές και δημοφιλείς μεθόδους είναι και η *πολλαπλασιαστική γραμμική συγκλίνουσα μέθοδος (Multiplicative Linear Congruential Scheme)* η οποία μπορεί να περιγραφεί από την πιο κάτω επαναληπτική εξίσωση, για την *n*-οστή επανάληψη :

$$Z_n = \alpha * Z_{n-1} \text{ MOD } m \quad (9.1)$$

Όπου το Z_0 (σπόρος ή γεννήτορας) είναι μια , ορισμένη από τον χρήστη , αρχική ακέραια τιμή για το Z_{n-1} , το m είναι ένας συντελεστής που καθορίζεται συνήθως ως μια μεγάλη ακέραια τιμή (π.χ. $2^{31} - 1$) και α είναι ένας πολλαπλασιαστής που παίρνει συνήθως την τιμή 7^5 (16.807). Ο τυχαίος αριθμός Y_n στην *i*-οστή επανάληψη προκύπτει από την πιο κάτω εξίσωση :

$$Y_n = \frac{Z_n}{m} \quad (9.2)$$

Για την γένεση τυχαίων αριθμών πρέπει αρχικά να προσδιορίσουμε έναν αρχικό αριθμό Z_0 ως τιμή εκκίνησης. Έτσι θα υπολογίζεται η τιμή Z_1 και στην συνέχεια , από την πιο πάνω σχέση , η τιμή Y_1 κ.λ.π. Βέβαια, οι τιμές των α , m θα πρέπει να επιλεγθούν με προσοχή καθώς σε άλλη περίπτωση οι τυχαίοι αριθμοί θα αρχίσουν να αναπαράγονται μετά από ένα συγκεκριμένο κύκλο. Πιο κάτω παρουσιάζεται ένα παράδειγμα χρήσης της *πολλαπλασιαστικής γραμμικής συγκλίνουσας μεθόδου*. Έστω ότι :

$$\alpha = 5, m = 7, Z_0 = 9$$

Από την επαναληπτική εξίσωση (9.1) προκύπτει :

$$Z_n = 5 * Z_{n-1} \text{ MOD } 7 \quad \text{ό}$$

$$Z_1 = 5 * Z_0 \text{ MOD } 7 =$$

$$= 5 * 9 \text{ MOD } 7 =$$

$$= 45 \text{ MOD } 7 =$$

$$= 3 \text{ (Υπόλοιπο της διαίρεσης του 45 με το 7)}$$

Έτσι έχουμε , από την σχέση (9.2) :

$$Y_1 = \frac{Z_1}{m} = \frac{3}{7} = 0.4285714$$

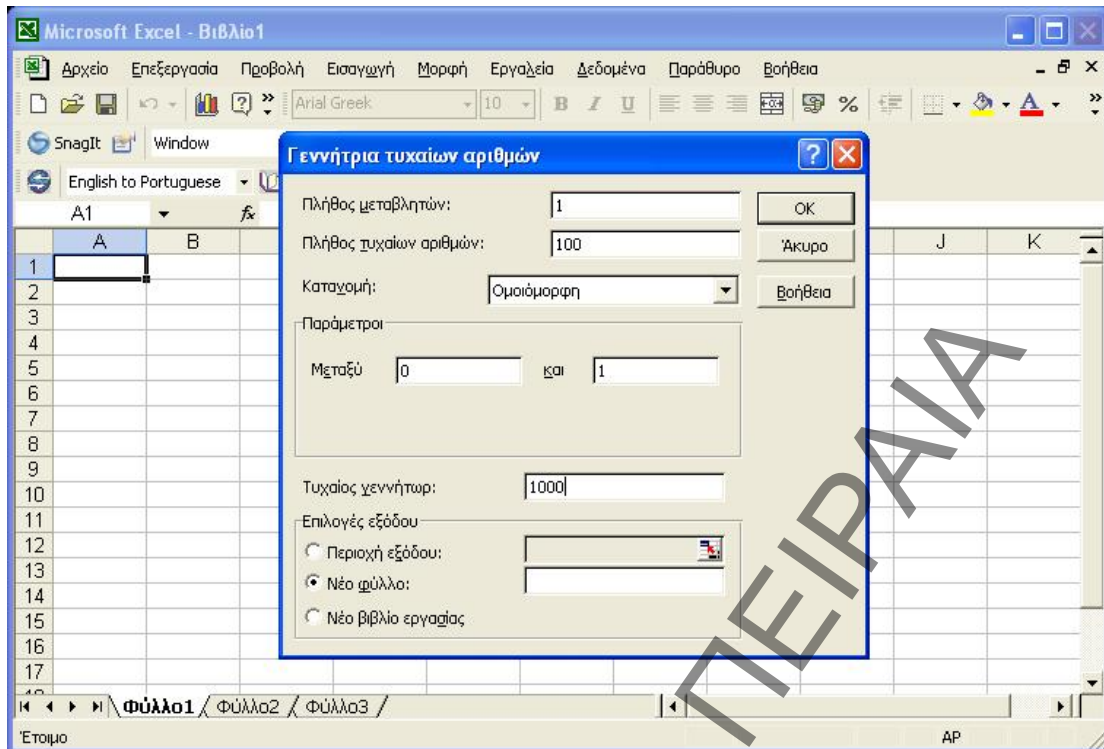
Εάν συνεχίσουμε την άνω διαδικασία βρίσκουμε διαδοχικά τους τυχαίους αριθμούς $Y_1, Y_2, Y_3 \dots Y_n$ που παρουσιάζονται στον πιο κάτω πίνακα.

| Πίνακας 9.1 : Γένεση Τυχαίων Αριθμών | | |
|--------------------------------------|-------|-----------|
| n | Z_n | Y_n |
| 0 | 9 | |
| 1 | 3 | 0.4285714 |
| 2 | 1 | 0.1428571 |
| 3 | 5 | 0.7142857 |
| 4 | 4 | 0.5714286 |
| 5 | 6 | 0.8751429 |
| 6 | 2 | 0.2857143 |
| 7 | 3 | 0.4285714 |

Όπως φαίνεται από τον πιο πάνω πίνακα, στην έβδομη επανάληψη λάβαμε την ίδια τιμή για τα Z , Y με την πρώτη επανάληψη. Βλέπουμε δηλαδή πως μετά την έβδομη επανάληψη οι τυχαίοι αριθμοί αναπαράγονται. Αυτό το γεγονός είναι αποτέλεσμα της χαμηλής τιμής που επιλέξαμε για τον συντελεστή m . Όπως προείπαμε ορθό θα ήταν να επιλέξουμε μια τιμή της τάξης του $2^{31} - 1$, όμως εδώ επιλέχθηκε μια μικρή τιμή για πρακτικούς καθαρά λόγους. Επιπλέον πρέπει να τονισθεί πως οι τυχαίοι αυτοί αριθμοί είναι ομοιόμορφοι στο διάστημα $(0,1)$ και δείχνουν να είναι ανεξάρτητοι ενώ στην πραγματικότητα δεν είναι. Εάν χρησιμοποιούσαμε ένα σαφώς μεγαλύτερο m , θα είχε προκύψει ένας σαφώς πυκνότερος πληθυσμός. Ως εκ τούτου θεωρείται ιδιαίτερα ουσιαστική η χρήση H/Y για την παραγωγή τυχαίων αριθμών. Αμέσως μετά θα αναφερθούμε στην παραγωγή τυχαίων αριθμών μέσω χρήσης H/Y (εφαρμογή στο Excel).

Παραγωγή τυχαίων αριθμών στο Excel : Ένας παραδοσιακός τρόπος παραγωγής τυχαίων αριθμών Y είναι και μέσω χρήσης της λειτουργίας $= RAND ()$, η οποία παράγει τυχαίους αριθμούς στο διάστημα $(0,1)$. Εάν θέλουμε να παραγάγουμε τυχαίους αριθμούς που να ανήκουν σε ένα διάστημα $[a,b]$ εφαρμόζουμε την λειτουργία $= RAND () * (b-a) + a$. Τέλος εάν θέλουμε να παραγάγουμε ακέραιους αριθμούς, τότε χρησιμοποιούμε τις λειτουργίες $ROUND$ και INT σε συνδιασμό με την λειτουργία $RAND ()$.

Σε περίπτωση που στόχος μας είναι η δημιουργία παρατηρήσεων οι οποίες να προέρχονται από μια συγκεκριμένη κατανομή, διακριτή ή συνεχή (π.χ. Ομοιόμορφη, Κανονική, Poisson κ.λ.π.) επιλέγουμε : Εργαλεία (Tools) / Ανάλυση Δεδομένων (Data Analysis) και στην συνέχεια το μενού Παραγωγή Τυχαίων Αριθμών (Random Number Generation) όπου επιλέγουμε την κατανομή που θέλουμε, τις αντίστοιχες παραμέτρους της και δίνουμε το πλήθος των παρατηρήσεων που επιθυμούμε. Στα επόμενα σχήματα παρουσιάζονται τόσο η δημιουργία 100 τυχαίων αριθμών (σχήμα 9.6) από την συνεχή ομοιόμορφη κατανομή στο διάστημα $(0,1)$ όσο και η μορφή των αριθμών (σχήμα 9.7). Φυσικά με την ίδια διαδικασία που ακολουθείται πιο πάνω θα μπορούσαμε να παράγουμε τυχαίους αριθμούς από οποιαδήποτε άλλη κατανομή όπως για παράδειγμα η τυποποιημένη κανονική κατανομή $\sim N(0,1)$.



Σχήμα 9.6 : Δημιουργία 100 τυχαίων αριθμών από συνεχή ομοιόμορφη κατανομή

| | A | B | C | D | E |
|----|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 0,100833 | 0,013703 | 0,592151 | 0,635395 | 0,719657 |
| 2 | 0,250893 | 0,413984 | 0,954663 | 0,647603 | 0,131809 |
| 3 | 0,819391 | 0,877041 | 0,460128 | 0,227882 | 0,659902 |
| 4 | 0,428419 | 0,859127 | 0,394635 | 0,608661 | 0,37138 |
| 5 | 0,046052 | 0,2107 | 0,048555 | 0,684774 | 0,081545 |
| 6 | 0,194311 | 0,527604 | 0,784295 | 0,550523 | 0,721366 |
| 7 | 0,239753 | 0,166662 | 0,77514 | 0,922605 | 0,078494 |
| 8 | 0,651936 | 0,86639 | 0,836909 | 0,644124 | 0,915281 |
| 9 | 0,212653 | 0,25782 | 0,163457 | 0,229316 | 0,966857 |
| 10 | 0,310068 | 0,087863 | 0,303964 | 0,934751 | 0,766625 |
| 11 | 0,664907 | 0,65624 | 0,054506 | 0,804193 | 0,083438 |
| 12 | 0,201758 | 0,960244 | 0,188574 | 0,632893 | 0,745781 |
| 13 | 0,659749 | 0,167028 | 0,42378 | 0,153417 | 0,136448 |
| 14 | 0,962401 | 0,45201 | 0,922605 | 0,11832 | 0,682546 |
| 15 | 0,877834 | 0,59505 | 0,962828 | 0,504807 | 0,836604 |
| 16 | 0,602435 | 0,230293 | 0,282662 | 0,419263 | 0,657216 |
| 17 | 0,693197 | 0,457045 | 0,350597 | 0,201849 | 0,86813 |
| 18 | 0,09537 | 0,902432 | 0,516892 | 0,533494 | 0,154088 |
| 19 | 0,960601 | 0,120579 | 0,049837 | 0,228462 | 0,22898 |
| 20 | 0,363964 | 0,509629 | 0,429182 | 0,389752 | 0,638936 |

Σχήμα 9.7 : Μορφή των παραχθέντων τυχαίων αριθμών

Μετασχηματισμός τυχαίου αριθμού στην κατάλληλη κατανομή : Στην προηγούμενη παράγραφο αναφέρθηκαν κάποιοι βασικοί τρόποι παραγωγής τυχαίων αριθμών Y είτε με την βοήθεια μαθηματικών σχέσεων είτε μέσω χρήσης Η/Υ. Συγκεκριμένα αναλύθηκε ο τρόπος δημιουργίας ομοιόμορφων τυχαίων αριθμών που ανήκουν στο διάστημα $(0,1)$. Στο σημείο αυτό θα αναφερθούν κάποιες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται συχνά για τον μετασχηματισμό των τυχαίων αυτών αριθμών Y που ακολουθούν την ομοιόμορφη κατανομή σε τυχαίους αριθμούς X συγκεκριμένης κατανομής $F(X)$.

Μέθοδος Αντίστροφου Μετασχηματισμού

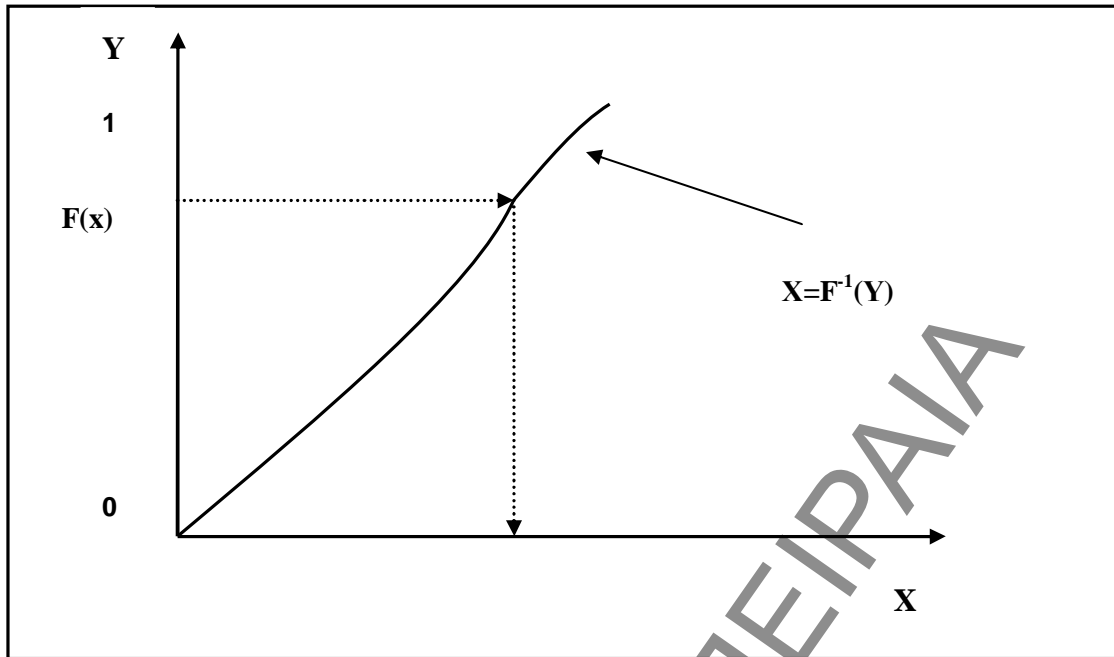
Η πιο βασική και αξιόπιστη μέθοδος για την παραγωγή τυχαίων αριθμών X είναι η *μέθοδος αντίστροφου μετασχηματισμού*. Η μέθοδος θεωρείται ανώτερη από άλλες μεθόδους δεδομένου ότι υπάρχει άμεση συσχέτιση μεταξύ του χρησιμοποιούμενου τυχαίου αριθμού Y και του παραγόμενου τυχαίου αριθμού X . Η μέθοδος αυτή θα προτιμάται κυρίως όταν υπάρχει η Συνάρτηση Κατανομής Πιθανότητας (Σ. Κ. Π) και είναι εύκολο να υπολογιστεί αριθμητικά. Στην ουσία η μέθοδος αντίστροφου μετασχηματισμού λειτουργεί ως εξής :

1. Παράγουμε έναν τυχαίο αριθμό Y εντός του εύρους $(0,1)$
2. Θέτουμε $X = F^{-1}(Y)$
3. Υπολογίζουμε το X

Γραφικά η μέθοδος λειτουργεί με την παραγωγή ενός τυχαίου αριθμού Y στο διάστημα $(0,1)$. Τότε με την βοήθεια της γραφικής παράστασης της Σ. Κ. Π (σχήμα 9.8) βρίσκουμε στον άξονα X το σημείο που αντιστοιχεί στον τυχαίο αυτό αριθμό. Το σημείο αυτό μας δίνει την τιμή του X .

Παραγωγή ομοιόμορφων τυχαίων αριθμών Y εντός του εύρους $[L,U]$: Η Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας (Σ. Π. Π.) μιας μεταβλητής X η οποία έχει ομοιόμορφη κατανομή δίνεται από την σχέση :

$$f(x) = \frac{1}{U-L} \quad \text{για } L \leq x \leq U \quad \text{ή} \quad f(x) = 0 \quad \text{για κάθε άλλη τιμή του } x \quad (9.3)$$



Σχήμα 9.8 : Συνάρτηση Κατανομής Πιθανότητας

Η αντίστοιχη Σ. Κ. Π. μπορεί να προκύψει άμεσα από την Σ. Π. Π. Έχουμε :

$$F(X) = \int_{-\infty}^x f(x)dx = \frac{X-L}{U-L}, \text{ για } L \leq x \leq U \quad (9.4)$$

$$\dot{\eta} F(X) = 0 \text{ για } x < L \text{ και } F(X) = 1 \text{ για } x > U$$

Πρακτικά , λοιπόν , για να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος αντίστροφου μετασχηματισμού για την παραγωγή ομοιόμορφων τυχαίων αριθμών Y θέτουμε $F(X) = Y$ και λύνουμε ως προς X . Δηλαδή :

$$\frac{X-L}{U-L} = Y \quad \circ$$

$$X = F^{-1}(X) = Y * (U-L) + L \quad (9.5)$$

Συμπερασματικά, για την παραγωγή ενός ομοιόμορφου τυχαίου αριθμού Y στο διάστημα $[L,U]$ ακολουθούμε τα εξής βήματα :

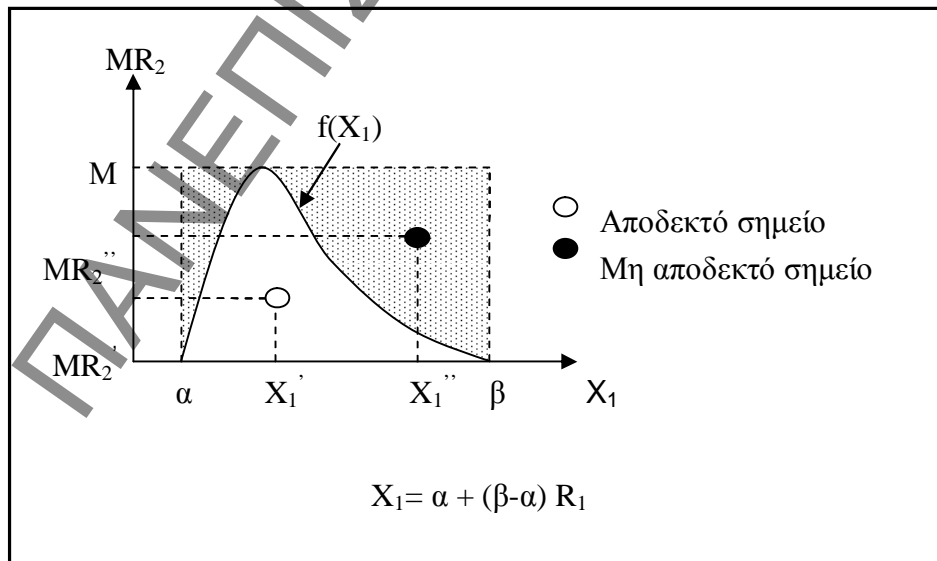
1. Παράγουμε έναν τυχαίο αριθμό Y εντός του εύρους $(0,1)$.
2. Θέτουμε $X = Y*(U-L) + L$
3. Υπολογίζουμε το X το οποίο θα είναι το $UNIF(L,U)$.

Μέθοδος Απόρριψης

Συνήθως είναι εύκολος ο υπολογισμός της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας $f(x)$, αλλά είναι δύσκολος ο υπολογισμός της συνάρτησης κατανομής $F(x)$ ή της αντίστροφης $F^{-1}(x)$. Η μέθοδος της απόρριψης είναι μια τεχνική που αναπτύχθηκε για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος. Έστω ότι η $f(x)$ έχει όριο M και πεπερασμένο πεδίο ορισμού $[a,\beta]$, δηλαδή: $a \leq x \leq \beta$, σύμφωνα με το σχήμα 9.9. Παράγουμε δύο τυχαίους αριθμούς στο διάστημα μεταξύ 0 και 1 κι έχουμε:

$$X_1 = a + (\beta - a) * R_1 \quad (9.6)$$

Όπου ο αριθμός X_1 είναι τυχαίος αριθμός στο διάστημα $[a,\beta]$.



Σχήμα 9.9 : Η Μέθοδος της Απόρριψης

Κάθε φορά που ένα ζεύγος (R_1, R_2) ικανοποιεί τη συνθήκη $MR_2 \leq f(X_1)$, δεχόμαστε το X_1 , διαφορετικά το απορρίπτουμε. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των X_1 που δεχτήκαμε θα είναι $f(x)$. Το πλήθος των αποτυχημένων προσπαθειών, μέχρι να βρεθεί ένα αποδεκτό ζευγάρι (R_1, R_2) είναι τυχαία μεταβλητή n με γεωμετρική κατανομή:

$$P(n) = \rho * (1-\rho)^{n-1} \quad (9.7)$$

$$\text{με } \rho = 1/M * (\beta - \alpha) \quad (9.8)$$

Μέθοδος Σύνθεσης

Ας υποθέσουμε ότι η κατανομή $F(x)$ εκφράζεται ως σύνθεση δύο κατανομών $F_1(x)$ και $F_2(x)$:

$$F(x) = p * F_1(x) + (1-p) * F_2(x) \quad (9.9)$$

Μπορούμε να παράγουμε τιμές X από την κατανομή $F(x)$ ακολουθώντας τα ακόλουθα βήματα:

- 1) Παράγουμε μια τυχαία τιμή U ομοιόμορφης κατανομής.
- 2) Εάν $U < p$, τότε λαμβάνουμε ως τιμή της X μια τυχαία τιμή με βάση την κατανομή $F_1(x)$, διαφορετικά λαμβάνουμε την τυχαία τιμή με βάση την κατανομή $F_2(x)$.

Σε μερικές περιπτώσεις, η κατανομή $F(x)$ μιας τυχαίας μεταβλητής X εκφράζεται ως σύνθεση μιας ή περισσότερων ανεξάρτητων τυχαίων μεταβλητών, με απλές κατανομές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η κατανομή Erlang : Εάν X είναι μια τυχαία μεταβλητή με κατανομή Erlang k -επιπέδου που έχει μέσο $1/\mu$, τότε η X μπορεί να αναπαρασταθεί ως το άθροισμα από k ανεξάρτητες εκθετικές τυχαίες μεταβλητές, κάθε μία από τις οποίες έχει μέσο $1/(k\mu)$. Μπορούμε, συνεπώς να παράγουμε τυχαίες τιμές που ακολουθούν κατανομή Erlang παράγοντας και αθροίζοντας k τυχαίες τιμές που ακολουθούν εκθετική κατανομή

Επιλογή της κατάλληλης κατανομής : Για να μπορούν οι διαδικασίες που περιγράφηκαν πιο πάνω να έχουν επιτυχή αποτελέσματα θα πρέπει να προσδιορίζονται για κάθε πρόγραμμα προσομοίωσης δύο βασικές συνιστώσες σχετικά με την παραγωγή τυχαίων αριθμών X . Δηλαδή, τόσο ο τύπος της επιθυμητής κατανομής για την παραγωγή τυχαίων αριθμών X όσο και οι παράμετροι της επιλεγμένης κατανομής.

Παρά το γεγονός ότι θεωρητικά είναι δυνατόν να δημιουργηθούν εμπειρικές κατανομές με βάση το δείγμα των δεδομένων που διαθέτουμε, συνήθως η τεχνική αυτή δεν είναι ιδιαίτερα πρακτική με αποτέλεσμα να ψάχνουμε για μια τυποποιημένη στατιστική κατανομή που έχει μια καθορισμένη, σαφή και λειτουργική μορφή και προσεγγίζει όσο το δυνατόν περισσότερο το σύνολο των διαθέσιμων παρατηρήσεων. Τέτοιες κατανομές υποστηρίζονται συνήθως από το εκάστοτε λογισμικό προσομοίωσης. Έτσι το πρόβλημα εστιάζεται στην εύρεση μιας ιδανικής κατανομής, τον προσδιορισμό των παραμέτρων που καθορίζουν πλήρως την επιλεγμένη κατανομή, και την εξέταση του κατά πόσο η επιλεγμένη αυτή κατανομή προσεγγίζει την εμπειρική κατανομή των δεδομένων του δείγματος.

Καθορισμός του απαιτούμενου αριθμού επαναλήψεων : Δεδομένου ότι έχουμε καθορίσει το μοντέλο της προσομοίωσης είναι απαραίτητο να καθορίσουμε το πόσες φορές είναι απαραίτητο να «τρέξουμε» το μοντέλο μας ώστε να μπορούμε, ανάλογα και με το πλήθος των μεταβλητών που έχουμε, να δούμε και πόσους τυχαίους αριθμούς πρέπει να παράγουμε με βάση τις μεθόδους που αναφέρθησαν πιο πάνω. Παρά το γεγονός ότι έχουν αναπτυχθεί διάφορες θεωρίες (Toledo, T. et al. 2003 ή Law, A.M. & Kelton κ.λ.π.) σχετικά με τον προσδιορισμό του ιδανικού αριθμού των επαναλήψεων σε ένα μοντέλο προσομοίωσης Monte Carlo, συνήθως χρησιμοποιείται στην πράξη η απλή και αποτελεσματική προσέγγιση που στηρίζεται στο Μέσο Τυπικό Σφάλμα (Standard Error of the Mean – S.E.M). Ισχύει η σχέση :

$$S.E.M. = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (9.10)$$

Όπου S η τυπική απόκλιση της υπό εξέταση μεταβλητής και n ο αριθμός των επαναλήψεων της προσομοίωσης.

Ως εκ τούτου , με βάση το S.E.M. που θέλουμε να επιτύχουμε , που συνήθως θέλουμε να είναι μικρότερο του 1% , βρίσκουμε το τον απαιτούμενο αριθμό των επαναλήψεων επιλύοντας ως προς n :

$$n = \frac{S^2}{(S.E.M.)^2} \quad (9.11)$$

9.5.2 Στατιστική Ανάλυση των αποτελεσμάτων της Προσομοίωσης Monte Carlo

Μέση Τιμή και Διακύμανση

Δεδομένου ότι έχει πραγματοποιηθεί ένα πείραμα προσομοίωσης που έχει <<τρέξει>> n ανεξάρτητες φορές, είναι δυνατόν να υπολογισθεί τόσο η μέση τιμή (εδώ \bar{X}) όσο και η διακύμανση (εδώ S^2) του δείγματος μιας παραμέτρου X_i , σύμφωνα με τις γνωστές εξισώσεις :

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (9.12)$$

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (9.13)$$

Φυσικά στην προσομοίωση εάν το πείραμα επαναληφθεί με ένα άλλο σύνολο τυχαίων αριθμών, η μέση τιμή του δείγματος θα είναι πιθανώς διαφορετική από αυτή του αρχικού πειράματος. Αυτό το γεγονός δημιουργεί απαίτηση για την δημιουργία ενός διαστήματος εμπιστοσύνης γύρω από την συγκεκριμένη εκτίμηση. Ένα $100*(1-\alpha)$ % διάστημα εμπιστοσύνης γύρω από την παράμετρο ουσιαστικά σημαίνει ότι εάν κάποιος επαναλαμβάνει το πείραμα προσομοίωσης (με το ίδιο μέγεθος δείγματος) έναν μεγάλο αριθμό φορών, το $100*(1-\alpha)$ % των υπολογισμένων παραμέτρων θα περιέχουν την τυχαία παράμετρο που προσπαθούμε να υπολογίσουμε. Με λίγα λόγια η πιθανότητα η εν λόγω παράμετρος να βρίσκεται στο διάστημα αυτό θα είναι $(1-\alpha)$.

Διαστήματα Εμπιστοσύνης για Μέση Τιμή και Διακύμανση

Για να κατασκευασθεί ένα διάστημα εμπιστοσύνης πρέπει να είναι γνωστή κατανομή που ακολουθεί η εν λόγω τυχαία μεταβλητή. Η θεωρία της κανονικής κατανομής μπορεί να εφαρμοστεί για να κατασκευασθεί ένα διάστημα εμπιστοσύνης γύρω από την εν λόγω εκτίμηση όταν τα δεδομένα που αναλύονται προσεγγίζουν την κανονικότητα. Αντίθετα η ανάπτυξη και η ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης μπορεί να γίνουν αρκετά περίπλοκες εάν το δείγμα δεν μπορεί να υποθεθεί πως είναι κανονικό και ανεξάρτητο (δηλαδή εάν υπάρχει ένδειξη υψηλών συσχετίσεων). Εδώ περιορίζουμε την μελέτη στη συγκεκριμένη περίπτωση όπου τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φαίνεται πως προέρχονται από μια κανονική κατανομή ενώ παράλληλα είναι και ανεξάρτητα μεταξύ τους. Για να εξετασθεί βέβαια η κανονικότητα των δεδομένων, μπορούν να συγκριθούν γραφικά τα ποσοτικά σημεία της κανονικής κατανομής με τα αντίστοιχα ποσοτικά σημεία των εν λόγω δεδομένων (να γίνει δηλαδή το q-q plot). Εάν η μορφή του διαγράμματος είναι γραμμική τα δεδομένα μπορούν να θεωρηθούν κανονικά. Η διαδικασία αυτή μπορεί να γίνει απλά και με την βοήθεια λογιστικών φύλλων στο Excel. Να διευκρινισθεί απλά εδώ πως ως *q-ποσοτικό σημείο* ενός συνόλου τιμών, ορίζεται η τιμή εκείνη που έχει την ιδιότητα ότι το πολύ $(100 \cdot q/n) \%$ των τιμών είναι μικρότερες από την τιμή αυτή και το πολύ $[100 \cdot (n-q)/n] \%$ είναι μεγαλύτερες από την τιμή αυτή.

Με βάση τις πιο πάνω υποθέσεις, οι οποίες έχουν ισχύ για τις περισσότερες περιπτώσεις προσομοιώσεων έργων κατασκευής, έστω ότι υπολογίζονται τόσο η εν λόγω παράμετρος (που στην περίπτωση της Διοίκησης Έργου θα μπορούσε να είναι η χρονική διάρκεια μιας δραστηριότητας) $X_i (i = 1 - n) \sim N(\mu, \sigma^2)$ όσο και η μέση τιμή και η διακύμανση του δείγματος από τις εξισώσεις (9.12) και (9.13). Από βασική θεωρία στατιστικής είναι γνωστό πως το t -statistic $= (X - \mu) / (S/n^{1/2})$ ακολουθεί την κατανομή t με $n - 1$ βαθμούς ελευθερίας. Το t -statistic που υπολογίζεται από την προηγούμενη σχέση μπορεί να περιορισθεί μεταξύ δύο κρίσιμων τιμών $(-c1 = c2 = t_{n-1, \alpha/2})$. Με λίγα λόγια ισχύει :

$$Pr \left\{ -t_{n-1, \alpha/2} < \frac{\bar{X} - m}{S / \sqrt{n}} < t_{n-1, \alpha/2} \right\} = 1 - \alpha \quad (9.14)$$

όπου $Pr \{ \}$ η πιθανότητα εμφάνισης.

Η προηγούμενη σχέση (9.14) μπορεί τώρα να χρησιμοποιηθεί για να προκύψει ένα διάστημα εμπιστοσύνης για την μέση τιμή μ . Το $100(1-\alpha)$ % διάστημα εμπιστοσύνης για την μέση τιμή μ του πληθυσμού προκύπτει από την πιο κάτω σχέση :

$$(\bar{X}) - t_{n-1,\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq (\bar{X}) + t_{n-1,\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (9.15)$$

όπου η πιθανότητα το μ να βρίσκεται μέσα στο πιο πάνω διάστημα είναι $(1-\alpha)$. Το διάστημα εμπιστοσύνης για την διακύμανση του πληθυσμού προκύπτει με ανάλογο τρόπο. Στην περίπτωση αυτή βέβαια το στατιστικό $(n-1)S^2/\sigma^2$ ακολουθεί μια κατανομή χ^2 με $n-1$ βαθμούς ελευθερίας. Το προκύπτον $100*(1-\alpha)$ % διάστημα εμπιστοσύνης για το σ^2 δίνεται από την πιο κάτω σχέση :

$$\frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{n-1,\alpha/2}} \leq \sigma^2 \leq \frac{(n-1)S^2}{\chi^2_{n-1,1-\alpha/2}} \quad (9.16)$$

Εκτίμηση Πιθανοτήτων

Όπως είδαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο , όπου αναλύθηκε η στατιστική προσέγγιση PERT , είναι πολλές φορές ιδιαίτερα χρήσιμο στην Διοίκηση Έργου να υπολογισθεί η πιθανότητα ολοκλήρωσης του έργου σε κάποια ορισμένη ημερομηνία ή και πριν από αυτή. Γενικά δηλαδή είναι απαραίτητη πολλές φορές η εύρεση της πιθανότητας η παράμετρος εξόδου X να μην ξεπερνά μια καθορισμένη σταθερή τιμή χ [$Pr \{X \leq \chi\} = F(\chi)$]. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιείται η εκτιμήτρια $\Phi(\chi - \bar{X}/S)$ όπου $\Phi(Z)$ η Σ. Κ. Π. για μια τυποποιημένη κανονική κατανομή και \bar{X} , S είναι η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση του δείγματος. Φυσικά η υπόθεση που γίνεται εδώ είναι πως τα αποτελέσματα της προσομοίωσης ακολουθούν έστω και προσεγγιστικά την κανονική κατανομή. Έστω , για παράδειγμα, πως πρέπει να υπολογισθεί η πιθανότητα ολοκλήρωσης μιας δραστηριότητας (με μέση τιμή $\bar{X} = 40$ ημέρες και τυπική απόκλιση $S = 2$ ημέρες) το πολύ σε 41 ημέρες. Σύμφωνα με όσα είπαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο θα έχουμε :

$$\left(\frac{x - \bar{X}}{S}\right) = \left(\frac{41 - 40}{2}\right) = 0,5$$

δ

$$\Phi(0,5) = 0,6915 = 69,15 \%$$

Εκτίμηση Ποσοτικών Σημείων

Στην εύρεση των διαστημάτων εμπιστοσύνης αναφέρθηκε πως *q-ποσοτικό σημείο* ενός συνόλου τιμών, ορίζεται η τιμή εκείνη που έχει την ιδιότητα ότι το πολύ $(100 \cdot q/n)$ % των τιμών είναι μικρότερες από την τιμή αυτή και το πολύ $[100 \cdot (n-q)/n]$ % είναι μεγαλύτερες από την τιμή αυτή. Πιο απλά μπορούμε να πούμε πως *q-ποσοτικό σημείο* μιας τυχαίας μεταβλητής X ορίζεται ως $X_q = H$ ελάχιστη τιμή του x για την οποία θα ισχύει $F(x) \geq q$. Για να λάβουμε μια εκτίμηση για το X_q από το συλλεχθέν δείγμα χρησιμοποιούμε την προσέγγιση της διωνυμικής κατανομής από την τυποποιημένη κανονική κατανομή για μεγάλα μεγέθη δειγμάτων (Welch, 1983). Τότε η εκτίμηση για το X_q δίνεται από την σχέση :

$$X_q = \bar{X} + z_q \cdot S \quad (9.17)$$

όπου \bar{X} και S είναι η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση του δείγματος αντίστοιχα , υπολογισμένες με την βοήθεια των σχέσεων (9.12) και (9.13) , ενώ το z_q είναι η κρίσιμη τιμή της τυποποιημένης κανονικής κατανομής στο σημείο q . Από την επόμενη σχέση μπορεί επίσης να υπολογισθεί και ένα διάστημα εμπιστοσύνης για το X_q :

$$X_q \pm z_{1-\alpha/2} \left(\sqrt{1 + \frac{z_q^2}{2}} \right) \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (9.18)$$

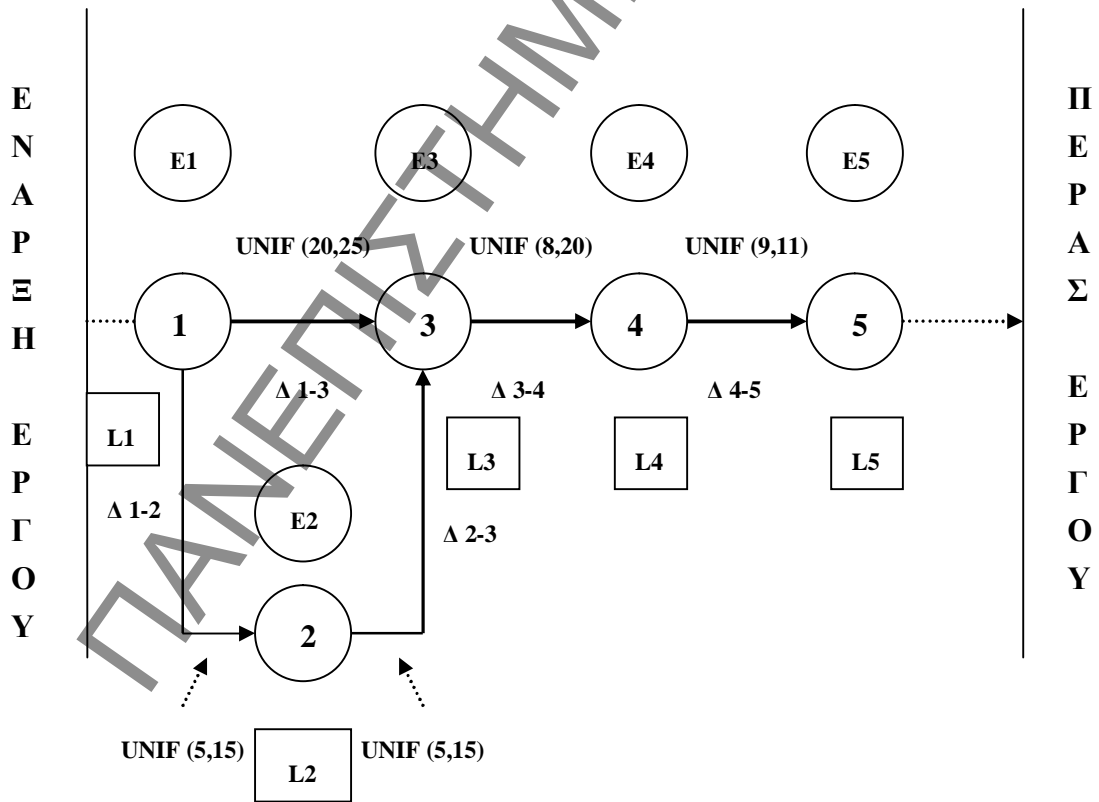
9.5.3 Προσομοίωση Monte Carlo σε Δίκτυο PERT

Στο σημείο αυτό θα αναλυθεί η διαδικασία προσομοίωσης των Δικτύων PERT που περιγράφηκαν εκτενώς στο προηγούμενο κεφάλαιο. Ουσιαστικά θα δούμε πως εφαρμόζεται η θεωρία της προσομοίωσης και ο αλγόριθμος Monte Carlo που είδαμε στην διάρκεια του κεφαλαίου στην περίπτωση της Διοίκησης Έργου, δηλαδή σε ένα Δίκτυο PERT. Οι μεταβλητές μας εδώ θα είναι οι χρονικές διάρκειες των δραστηριοτήτων που αντιπροσωπεύονται από στατιστικές κατανομές. Οι παράμετροι εξόδου είναι ουσιαστικά η χρονική διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου και οι χρονικές διάρκειες όλων των δραστηριοτήτων. Φυσικά η μέθοδος υπολογισμού των χρονικών διαρκειών αλλά και των ενωρίτερων και βραδύτερων χρόνων είναι η κλασσική μέθοδος CPM που αναλύθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, όμως εδώ θα προσδιορισθούν πρώτα οι κατανομές για τις χρονικές διάρκειες των δραστηριοτήτων και στην συνέχεια θα εφαρμοσθεί ο αλγόριθμος Monte Carlo.

Για ευκολότερη κατανόηση θα επιστρέψουμε και πάλι στο παράδειγμα του προηγούμενου κεφαλαίου (σχήματα 8.1α, 8.1β, 8.6 και πίνακες 8.1, 8.3). Οι χρονικές διάρκειες καθώς και οι ενωρίτεροι και βραδύτεροι χρόνοι είναι πλέον μεταβλητές. Συγκεκριμένα με E_i συμβολίζεται η μέση τιμή του ενωρίτερου χρόνου έναρξης με την αντίστοιχη διακύμανση που την συνοδεύει, ενώ με L_i συμβολίζεται ο βραδύτερος χρόνος έναρξης της κάθε δραστηριότητας (σχήμα 9.10). Στο συγκεκριμένο παράδειγμα θεωρούμε πως οι χρονικές διάρκειες προέρχονται από μια *ομοιόμορφη κατανομή* με οριακές τιμές L , U ίσες με τις αντίστοιχες αισιόδοξες και απαισιόδοξες τιμές a , b της μεθόδου PERT (πίνακας 8.3).

Πριν ξεκινήσουμε τον υπολογισμό των χρονικών διαρκειών των δραστηριοτήτων καθώς και των ενωρίτερων και βραδύτερων χρόνων αυτών θα πρέπει φυσικά παράγουμε κάποιους τυχαίους αριθμούς. Εδώ για λόγους ευκολίας θα παράγουμε 50 τυχαίους αριθμούς ενώ το πείραμα της προσομοίωσης θα <<τρέξει>> 10 φορές. Μέσω του Excel (παράγραφος 9.5.1) παράγουμε τους αριθμούς του πίνακα 9.2.

| Πίνακας 9.2 : Παραγωγή τυχαίων αριθμών στο εύρος (0,1) | | | | |
|--|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| 0,1008332 | 0,6649068 | 0,0137028 | 0,65623951 | 0,59215064 |
| 0,2508927 | 0,2017579 | 0,4139836 | 0,06024354 | 0,95468001 |
| 0,8193915 | 0,6597491 | 0,8770409 | 0,1670278 | 0,46012757 |
| 0,4284188 | 0,9624012 | 0,8591266 | 0,45200964 | 0,39463485 |
| 0,0460524 | 0,8778344 | 0,2106998 | 0,5950499 | 0,04855495 |
| 0,1943113 | 0,6024354 | 0,527604 | 0,23029267 | 0,78429518 |
| 0,2397534 | 0,6931974 | 0,1666616 | 0,4570452 | 0,77513962 |
| 0,6519364 | 0,0953703 | 0,86639 | 0,90243233 | 0,83690909 |
| 0,212653 | 0,9606006 | 0,2578204 | 0,12057863 | 0,16345714 |
| 0,3100681 | 0,3639637 | 0,0878628 | 0,50962859 | 0,30396435 |



Σχήμα 9.10 : Προσομοίωση Monte Carlo σε δίκτυο PERT

Όπως είναι λογικό ο ενωρίτερος χρόνος έναρξης των δραστηριοτήτων 1-2 και 1-3 είναι το 0 (Η αρχή εκτέλεσης του έργου). Για να βρούμε τον ενωρίτερο χρόνο έναρξης της Δραστηριότητας 2-3 ακολουθούμε την λογική των σχέσεων που παρατέθηκαν στην παράγραφο 8.4.3 του προηγούμενου κεφαλαίου. Έτσι προκύπτει :

$$EXE2 = EXE1 + UNIF(5,15) \quad (9.19)$$

όπου η μεταβλητή “UNIF(5,15)” μεταβάλλεται σε κάθε διαφορετική επανάληψη και βρίσκεται με την βοήθεια της σχέσης $UNIF(L,U) = L + Y_i(U-L)$ που αναφέρθηκε στην παράγραφο 9.5.1. Με την βοήθεια της πιο πάνω σχέσης και χρησιμοποιώντας παράλληλα με την σειρά τους τυχαίους αριθμούς του πίνακα 9.2 κάνουμε τους πιο κάτω υπολογισμούς για κάθε επανάληψη.

Επανάληψη 1 : Αρχικά υπολογίζουμε τις Χρονικές Διάρκειες όλων των δραστηριοτήτων :

$$X.A_{.1-2} = UNIF(5,15) = 5 + 0.1008332 * (15 - 5) = 6.008 = 6$$

$$X.A_{.2-3} = UNIF(5,15) = 5 + 0.2508927 * (15 - 5) = 7.509 = 7.5$$

$$X.A_{.1-3} = UNIF(20,25) = 20 + 0.8193915 * (25 - 20) = 24.096 = 24.1$$

$$X.A_{.3-4} = UNIF(8,20) = 8 + 0.4284188 * (20 - 8) = 13.141 = 13.1$$

$$X.A_{.4-5} = UNIF(9,11) = 9 + 0.0460524 * (11 - 9) = 9.092 = 9.1$$

Κατά συνέπεια ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης της δραστηριότητας 2-3 θα είναι :

$$EXE2 = EXE1 + X.A_{.1-2} = 0 + 6 = 6$$

Ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης της δραστηριότητας 3-4 θα δίνεται από την σχέση :

$$EXE3 = MAX \{(EXE1 + X.A_{.1-3}), (EXE2 + X.A_{.2-3})\} = MAX \{(0 + 24.1), (6 + 7.5)\} =$$

$$= \text{MAX} (24.1 , 13.5)$$

$$= 24.1$$

Ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης της δραστηριότητας 4-5 θα δίνεται από την σχέση :

$$EXE4 = EXE3 + X.A_{.3.4} = 24.1 + 13.1 = 37.2$$

Τέλος, ο προβλεπόμενος χρόνος ολοκλήρωσης του έργου (5) προκύπτει :

$$EXE5 = EXE4 + X.A_{.4.5} = 37.2 + 9.1 = 46.3$$

Επανάληψη 2 : Υπολογίζουμε και πάλι τις Χρονικές Διάρκειες όλων των δραστηριοτήτων :

$$X.A_{.1.2} = UNIF(5,15) = 5 + 0.1943113 * (15 - 5) = 6.943 = 6.9$$

$$X.A_{.2.3} = UNIF(5,15) = 5 + 0.2397534 * (15 - 5) = 7.397 = 7.4$$

$$X.A_{.1.3} = UNIF(20,25) = 20 + 0.6519364 * (25 - 20) = 23.259 = 23.3$$

$$X.A_{.3.4} = UNIF(8,20) = 8 + 0.212653 * (20 - 8) = 10.551 = 10.6$$

$$X.A_{.4.5} = UNIF(9,11) = 9 + 0.3100681 * (11 - 9) = 9.620 = 9.6$$

Κατά συνέπεια ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης της δραστηριότητας 2-3 θα είναι :

$$EXE2 = EXE1 + X.A_{.1.2} = 0 + 6.9 = 6.9$$

Ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης της δραστηριότητας 3-4 θα δίνεται από την σχέση :

$$EXE3 = \text{MAX} \{ (EXE1 + X.A_{.1.3}), (EXE2 + X.A_{.2.3}) \} = \text{MAX} \{ (0 + 23.3), (6.9 + 7.4) \}$$

$$= \text{MAX} (23.3 , 14.3)$$

$$= 23.3$$

Ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης της δραστηριότητας 4-5 θα δίνεται από την σχέση :

$$EXE4 = EXE3 + X.A.3.4 = 23.3 + 10.6 = 33.9$$

Τέλος, ο προβλεπόμενος χρόνος ολοκλήρωσης του έργου (5) προκύπτει :

$$EXE5 = EXE4 + X.A.4.5 = 33.9 + 9.6 = 43.5$$

Επανάληψη 3 : Υπολογίζουμε και πάλι τις Χρονικές Διάρκειες όλων των δραστηριοτήτων :

$$X.A.1.2 = UNIF(5,15) = 5 + 0.6649068 * (15 - 5) = 11.649 = 11.6$$

$$X.A.2.3 = UNIF(5,15) = 5 + 0.2017579 * (15 - 5) = 7.017 = 7$$

$$X.A.1.3 = UNIF(20,25) = 20 + 0.6597491 * (25 - 20) = 23.298 = 23.3$$

$$X.A.3.4 = UNIF(8,20) = 8 + 0.9624012 * (20 - 8) = 19.548 = 19.5$$

$$X.A.4.5 = UNIF(9,11) = 9 + 0.8778344 * (11 - 9) = 10.755 = 10.8$$

Κατά συνέπεια ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης της δραστηριότητας 2-3 θα είναι :

$$EXE2 = EXE1 + X.A.1.2 = 0 + 11.6 = 11.6$$

Ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης της δραστηριότητας 3-4 θα δίνεται από την σχέση :

$$EXE3 = \text{MAX} \{ (EXE1 + X.A.1.3), (EXE2 + X.A.2.3) \} = \text{MAX} \{ (0 + 23.3), (11.6 + 7) \} =$$

$$= \text{MAX} (23.3 , 18.6)$$

$$= 23.3$$

Ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης της δραστηριότητας 4-5 θα δίνεται από την σχέση :

$$EXE4 = EXE3 + X.A_{.3-4} = 23.3 + 19.5 = 42.8$$

Τέλος, ο προβλεπόμενος χρόνος ολοκλήρωσης του έργου (5) προκύπτει :

$$EXE5 = EXE4 + X.A_{.4-5} = 42.8 + 10.8 = 53.6$$

Επανάληψη 4 : Υπολογίζουμε και πάλι τις Χρονικές Διάρκειες όλων των δραστηριοτήτων :

$$X.A_{.1-2} = UNIF(5,15) = 5 + 0.6024354 * (15 - 5) = 11.024 = 11$$

$$X.A_{.2-3} = UNIF(5,15) = 5 + 0.6931974 * (15 - 5) = 11.931 = 11.9$$

$$X.A_{.1-3} = UNIF(20,25) = 20 + 0.0953703 * (25 - 20) = 20.476 = 20.5$$

$$X.A_{.3-4} = UNIF(8,20) = 8 + 0.9606006 * (20 - 8) = 19.527 = 19.5$$

$$X.A_{.4-5} = UNIF(9,11) = 9 + 0.3639637 * (11 - 9) = 9.727 = 9.7$$

Κατά συνέπεια ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης της δραστηριότητας 2-3 θα είναι :

$$EXE2 = EXE1 + X.A_{.1-2} = 0 + 11 = 11$$

Ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης της δραστηριότητας 3-4 θα δίνεται από την σχέση :

$$EXE3 = \text{MAX} \{ (EXE1 + X.A_{.1-3}), (EXE2 + X.A_{.2-3}) \} = \text{MAX} \{ (0 + 20.5), (11 + 11.9) \}$$

$$= \text{MAX} (20.5 , 22.9)$$

$$= 22.9$$

Ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης της δραστηριότητας 4-5 θα δίνεται από την σχέση :

$$EXE4 = EXE3 + X.A_{.3.4} = 22.9 + 19.5 = 42.4$$

Τέλος, ο προβλεπόμενος χρόνος ολοκλήρωσης του έργου (5) προκύπτει :

$$EXE5 = EXE4 + X.A_{.4.5} = 42.4 + 9.7 = 52.1$$

Επανάληψη 5 : Υπολογίζουμε και πάλι τις Χρονικές Διάρκειες όλων των δραστηριοτήτων :

$$X.A_{.1.2} = UNIF(5,15) = 5 + 0.0137028 * (15 - 5) = 5.137 = 5.1$$

$$X.A_{.2.3} = UNIF(5,15) = 5 + 0.4139836 * (15 - 5) = 9.139 = 9.1$$

$$X.A_{.1.3} = UNIF(20,25) = 20 + 0.8770409 * (25 - 20) = 24.385 = 24.4$$

$$X.A_{.3.4} = UNIF(8,20) = 8 + 0.8591266 * (20 - 8) = 18.309 = 18.3$$

$$X.A_{.4.5} = UNIF(9,11) = 9 + 0.2106998 * (11 - 9) = 9.421 = 9.4$$

Κατά συνέπεια ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης της δραστηριότητας 2-3 θα είναι :

$$EXE2 = EXE1 + X.A_{.1.2} = 0 + 5.1 = 5.1$$

Ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης της δραστηριότητας 3-4 θα δίνεται από την σχέση :

$$EXE3 = \text{MAX} \{ (EXE1 + X.A_{.1.3}), (EXE2 + X.A_{.2.3}) \} = \text{MAX} \{ (0 + 24.4), (5.1 + 9.1) \}$$

$$= \text{MAX} (24.4 , 14.2)$$

$$= 24.4$$

Ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης της δραστηριότητας 4-5 θα δίνεται από την σχέση :

$$EXE4 = EXE3 + X.A_{.3.4} = 24.4 + 18.3 = 42.7$$

Τέλος, ο προβλεπόμενος χρόνος ολοκλήρωσης του έργου (5) προκύπτει :

$$EXE5 = EXE4 + X.A_{.4.5} = 42.7 + 9.4 = 52.1$$

Επανάληψη 6 : Υπολογίζουμε και πάλι τις Χρονικές Διάρκειες όλων των δραστηριοτήτων :

$$X.A_{.1.2} = UNIF(5,15) = 5 + 0.527604 * (15 - 5) = 10.276 = 10.3$$

$$X.A_{.2.3} = UNIF(5,15) = 5 + 0.1666616 * (15 - 5) = 6.666 = 6.7$$

$$X.A_{.1.3} = UNIF(20,25) = 20 + 0.86639 * (25 - 20) = 24.331 = 24.3$$

$$X.A_{.3.4} = UNIF(8,20) = 8 + 0.2578204 * (20 - 8) = 11.093 = 11.1$$

$$X.A_{.4.5} = UNIF(9,11) = 9 + 0.0878628 * (11 - 9) = 9.175 = 9.2$$

Κατά συνέπεια ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης της δραστηριότητας 2-3 θα είναι :

$$EXE2 = EXE1 + X.A_{.1.2} = 0 + 10.3 = 10.3$$

Ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης της δραστηριότητας 3-4 θα δίνεται από την σχέση :

$$EXE3 = \text{MAX} \{ (EXE1 + X.A_{.1.3}), (EXE2 + X.A_{.2.3}) \} = \text{MAX} \{ (0 + 24.3), (10.3 + 6.7) \}$$

$$= \text{MAX} (24.3 , 17)$$

$$= 24.3$$

Ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης της δραστηριότητας 4-5 θα δίνεται από την σχέση :

$$EXE4 = EXE3 + X.A_{.3.4} = 24.3 + 11.1 = 35.4$$

Τέλος, ο προβλεπόμενος χρόνος ολοκλήρωσης του έργου (5) προκύπτει :

$$EXE5 = EXE4 + X.A_{.4.5} = 35.4 + 9.2 = 44.6$$

Επανάληψη 7 : Υπολογίζουμε και πάλι τις Χρονικές Διάρκειες όλων των δραστηριοτήτων :

$$X.A_{.1.2} = UNIF(5,15) = 5 + 0.65623951 * (15 - 5) = 11.562 = 11.6$$

$$X.A_{.2.3} = UNIF(5,15) = 5 + 0.06024354 * (15 - 5) = 5.602 = 5.6$$

$$X.A_{.1.3} = UNIF(20,25) = 20 + 0.1670278 * (25 - 20) = 20.835 = 20.8$$

$$X.A_{.3.4} = UNIF(8,20) = 8 + 0.45200964 * (20 - 8) = 13.424 = 13.4$$

$$X.A_{.4.5} = UNIF(9,11) = 9 + 0.5950499 * (11 - 9) = 10.190 = 10.2$$

Κατά συνέπεια ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης της δραστηριότητας 2-3 θα είναι :

$$EXE2 = EXE1 + X.A_{.1.2} = 0 + 11.6 = 11.6$$

Ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης της δραστηριότητας 3-4 θα δίνεται από την σχέση :

$$EXE3 = \text{MAX} \{ (EXE1 + X.A_{.1.3}), (EXE2 + X.A_{.2.3}) \} = \text{MAX} \{ (0 + 20.8), (11.6 + 5.6) \}$$

$$= \text{MAX} (20.8 , 17.2)$$

$$= 20.8$$

Ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης της δραστηριότητας 4-5 θα δίνεται από την σχέση :

$$EXE4 = EXE3 + X.A_{.3-4} = 20.8 + 13.4 = 34.2$$

Τέλος, ο προβλεπόμενος χρόνος ολοκλήρωσης του έργου (5) προκύπτει :

$$EXE5 = EXE4 + X.A_{.4-5} = 34.2 + 10.2 = 44.4$$

Επανάληψη 8 : Υπολογίζουμε και πάλι τις Χρονικές Διάρκειες όλων των δραστηριοτήτων :

$$X.A_{.1-2} = UNIF(5,15) = 5 + 0.23029267 * (15 - 5) = 7.302 = 7.3$$

$$X.A_{.2-3} = UNIF(5,15) = 5 + 0.4570452 * (15 - 5) = 9.570 = 9.6$$

$$X.A_{.1-3} = UNIF(20,25) = 20 + 0.90243233 * (25 - 20) = 24.512 = 24.5$$

$$X.A_{.3-4} = UNIF(8,20) = 8 + 0.12057863 * (20 - 8) = 9.446 = 9.4$$

$$X.A_{.4-5} = UNIF(9,11) = 9 + 0.50962859 * (11 - 9) = 10.019 = 10$$

Κατά συνέπεια ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης της δραστηριότητας 2-3 θα είναι :

$$EXE2 = EXE1 + X.A_{.1-2} = 0 + 7.3 = 7.3$$

Ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης της δραστηριότητας 3-4 θα δίνεται από την σχέση :

$$EXE3 = \text{MAX} \{ (EXE1 + X.A_{.1-3}), (EXE2 + X.A_{.2-3}) \} = \text{MAX} \{ (0 + 24.5), (7.3 + 9.6) \}$$

$$= \text{MAX} (24.5 , 16.9)$$

$$= 24.5$$

Ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης της δραστηριότητας 4-5 θα δίνεται από την σχέση :

$$EXE4 = EXE3 + X.A.3-4 = 24.5 + 9,4 = 33.9$$

Τέλος, ο προβλεπόμενος χρόνος ολοκλήρωσης του έργου (5) προκύπτει :

$$EXE5 = EXE4 + X.A.4-5 = 33.9 + 10 = 43.9$$

Επανάληψη 9 : Υπολογίζουμε και πάλι τις Χρονικές Διάρκειες όλων των δραστηριοτήτων :

$$X.A.1-2 = UNIF(5,15) = 5 + 0.59215064 * (15 - 5) = 10.921 = 10.9$$

$$X.A.2-3 = UNIF(5,15) = 5 + 0.95468001 * (15 - 5) = 14.546 = 14.5$$

$$X.A.1-3 = UNIF(20,25) = 20 + 0.46012757 * (25 - 20) = 22.300 = 22.3$$

$$X.A.3-4 = UNIF(8,20) = 8 + 0.39463485 * (20 - 8) = 12.735 = 12.7$$

$$X.A.4-5 = UNIF(9,11) = 9 + 0.04855495 * (11 - 9) = 9.097 = 9.1$$

Κατά συνέπεια ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης της δραστηριότητας 2-3 θα είναι :

$$EXE2 = EXE1 + X.A.1-2 = 0 + 10.9 = 10.9$$

Ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης της δραστηριότητας 3-4 θα δίνεται από την σχέση :

$$EXE3 = \text{MAX} \{ (EXE1 + X.A.1-3), (EXE2 + X.A.2-3) \} = \text{MAX} \{ (0 + 22.3), (10.9 +$$

$$14.5) \} = \text{MAX} (22.3 , 25.4)$$

$$= 25.4$$

Ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης της δραστηριότητας 4-5 θα δίνεται από την σχέση :

$$EXE4 = EXE3 + X.A_{.3.4} = 25.4 + 12.7 = 38.1$$

Τέλος, ο προβλεπόμενος χρόνος ολοκλήρωσης του έργου (5) προκύπτει :

$$EXE5 = EXE4 + X.A_{.4.5} = 38.1 + 9.1 = 47.2$$

Επανάληψη 10 : Υπολογίζουμε και πάλι τις Χρονικές Διάρκειες όλων των δραστηριοτήτων :

$$X.A_{.1.2} = UNIF(5,15) = 5 + 0.78429518 * (15 - 5) = 12.842 = 12.8$$

$$X.A_{.2.3} = UNIF(5,15) = 5 + 0.77513962 * (15 - 5) = 12.751 = 12.8$$

$$X.A_{.1.3} = UNIF(20,25) = 20 + 0.83690909 * (25 - 20) = 24,104 = 24.1$$

$$X.A_{.3.4} = UNIF(8,20) = 8 + 0.16345714 * (20 - 8) = 9.961 = 10$$

$$X.A_{.4.5} = UNIF(9,11) = 9 + 0.30396435 * (11 - 9) = 9.607 = 9.6$$

Κατά συνέπεια ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης της δραστηριότητας 2-3 θα είναι :

$$EXE2 = EXE1 + X.A_{.1.2} = 0 + 12.8 = 12.8$$

Ο ενωρίτερος χρόνος έναρξης της δραστηριότητας 3-4 θα δίνεται από την σχέση :

$$EXE3 = \text{MAX} \{ (EXE1 + X.A_{.1.3}), (EXE2 + X.A_{.2.3}) \} = \text{MAX} \{ (0 + 24.1), (12.8 +$$

$$12.8) \} = \text{MAX} (24.1 , 25.6)$$

$$= 25.6$$

Ο ενωρίτερος χρόνος έναρξης της δραστηριότητας 4-5 θα δίνεται από την σχέση :

$$EXE4 = EXE3 + X.\Delta_{.3-4} = 25.6 + 10 = 35.6$$

Τέλος, ο προβλεπόμενος χρόνος ολοκλήρωσης του έργου (5) προκύπτει :

$$EXE5 = EXE4 + X.\Delta_{.4-5} = 35.6 + 9.6 = 45.2$$

Έχοντας <<τρέξει>> το μοντέλο της προσομοίωσης δέκα (10) φορές προέκυψαν δέκα (10) διαφορετικοί πιθανοί χρόνοι ολοκλήρωσης του έργου σε αντίθεση με τον ένα και μοναδικό εκτιμώμενο χρόνο ολοκλήρωσης του έργου που προκύπτει με την χρήση της πιθανολογικής μεθόδου PERT. Οι διαφορετικότητα στους χρόνους αυτούς οφείλεται στην χρησιμοποίηση διαφορετικών, σε κάθε επανάληψη, τυχαίων αριθμών με αποτέλεσμα κάθε φορά που <<τρέχουμε>> το μοντέλο να προκύπτουν διαφορετικά αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα αυτά θα εξακολουθούν να διαφοροποιούνται μέχρι την στιγμή όπου οι τυχαίοι αριθμοί θα αρχίσουν να αναπαράγονται από την αρχή.

Παρατηρούμε επίσης ότι με την μέθοδο της προσομοίωσης διαφοροποιείται επίσης και η κρίσιμη διαδρομή του έργου κάθε φορά που <<τρέχουμε>> το μοντέλο, κάτι το οποίο είναι λογικό καθώς μεταβάλλονται συνεχώς οι χρονικές διάρκειες εκτέλεσης των δραστηριοτήτων και κατά συνέπεια και οι ενωρίτεροι και βραδύτεροι χρόνοι έναρξης / λήξης των διαφόρων γεγονότων. Για παράδειγμα στις επαναλήψεις 4, 9 και 10 η κρίσιμη διαδρομή είναι η E1 – E2 – E3 - E4 – E5 ενώ στις υπόλοιπες επαναλήψεις κρίσιμη θεωρείται η διαδρομή E1 – E3 - E4 – E5. Αυτό είναι ένα πολύ σημαντικό όφελος που προκύπτει από την χρήση της προσομοίωσης Monte Carlo. Με την πιθανολογική μέθοδο PERT προέκυπτε τελικά μια μέση τιμή για τον χρόνο ολοκλήρωσης του έργου και κατά συνέπεια μια κρίσιμη διαδρομή. Εδώ παρατηρούμε ότι η κρίσιμη διαδρομή μπορεί να μεταβληθεί ανάλογα με τις διάρκειες των δραστηριοτήτων και μάλιστα εάν <<τρέξουμε>> το μοντέλο ένα πολλαπλάσιο αριθμό

φορών είναι δυνατόν να υπολογίσουμε ασφαλέστερα τις πιθανότητες εμφάνισης της κάθε δραστηριότητας στην κρίσιμη διαδρομή με βάση τις αντίστοιχες συχνότητες εμφάνισης αυτών στην κρίσιμη διαδρομή. Έτσι μπορούμε, βάση των πιθανοτήτων, να βρούμε την *κρίσιμη διαδρομή* αλλά και κάποιες *κρίσιμες δραστηριότητες* που, υπό συνθήκες, είναι ιδιαίτερα πιθανό να είναι στην κρίσιμη διαδρομή και κατά συνέπεια η εκτέλεση τους πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερα. Για παράδειγμα, στο προηγούμενο παράδειγμα θα μπορούσαμε να πούμε πως πιθανότητα εμφάνισης της Δ 1-2 στην κρίσιμη διαδρομή είναι : $p_{\Delta 1-2} = 3/10 = 30\%$, ομοίως της Δ 1-3 : $p_{\Delta 1-3} = 7/10 = 70\%$ κ.ο.κ. δημιουργώντας τελικά μια κατάταξη *κρσιμότητας των δραστηριοτήτων*.

Στους επόμενους πίνακες (9.3 και 9.4) παρουσιάζονται τόσο τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για τις δέκα (10) φορές που <<τρέξαμε>> το μοντέλο όσο και η επεξεργασία των αποτελεσμάτων αυτών (εύρεση μέσης τιμής – τυπικής απόκλισης).

| Πίνακας 9.3 : Αποτελέσματα Προσομοίωσης | | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| Επανάληψη | Γεγονός 1 | Γεγονός 2 | Γεγονός 3 | Γεγονός 4 | Γεγονός 5 |
| 1 | 0 | 6 | 24.1 | 37.2 | 46.3 |
| 2 | 0 | 6.9 | 23.3 | 33.9 | 43.5 |
| 3 | 0 | 11.6 | 23.3 | 42.8 | 53.6 |
| 4 | 0 | 11 | 22.9 | 42.4 | 52.1 |
| 5 | 0 | 5.1 | 24.4 | 42.7 | 52.1 |
| 6 | 0 | 10.3 | 24.3 | 35.4 | 44.6 |
| 7 | 0 | 11.6 | 20.8 | 34.2 | 44.4 |
| 8 | 0 | 7.3 | 24.5 | 33.9 | 43.9 |
| 9 | 0 | 10.9 | 25.4 | 38.1 | 47.2 |
| 10 | 0 | 12.8 | 25.6 | 35.6 | 45.2 |

* Στα έντονα γράμματα αντιστοιχούν οι επαναλήψεις με κρίσιμη διαδρομή την E1 – E2 – E3
E4 – E5.

| Πίνακας 9.4 : Επεξεργασία Αποτελεσμάτων Προσομοίωσης | |
|---|---|
| Επανάληψη | Χρόνος ολοκλήρωσης του έργου (σε ημέρες) |
| 1 | 46.3 |
| 2 | 43.5 |
| 3 | 53.6 |
| 4 | 52.1 |
| 5 | 52.1 |
| 6 | 44.6 |
| 7 | 44.4 |
| 8 | 43.9 |
| 9 | 47.2 |
| 10 | 45.2 |
| Μέση τιμή | 47.29 |
| Τυπική απόκλιση | 3.65 |

Όπως βλέπουμε από τους πιο πάνω πίνακες τόσο όλες οι τιμές των χρόνων ολοκλήρωσης του έργου ξεχωριστά όσο και η μέση τιμή των χρόνων αυτών είναι σαφώς μεγαλύτερες τις αντίστοιχης μέσης τιμής που είχε προκύψει στο προηγούμενο κεφάλαιο με την μέθοδο PERT (43.5 ημέρες). Αυτό είναι αναμενόμενο δεδομένου ότι ήδη έχει αναφερθεί πως η μέθοδος Monte Carlo επιλύει ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα που εμφανίζεται με την χρήση της μεθόδου PERT, δηλαδή του *'merge event bias'* που συνίσταται, όπως έχουμε πει, στον υπολογισμό μιας αισιόδοξης εκτίμησης της μέσης διάρκειας του έργου σε σχέση με την πραγματική μέση διάρκεια.

Με την μέθοδο της προσομοίωσης Monte Carlo προκύπτουν, τελικά, τιμές για την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση μεγαλύτερες των αντίστοιχων που προέκυψαν με την πιθανολογική προσέγγιση PERT ($E' = 47.29 > E = 43.5$ και $(V_t)^{1/2} = 3.65 > (V_t)^{1/2} = 2.19$). Με βάση τώρα τις νέες αυτές τιμές της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης μπορούμε να κάνουμε τους αντίστοιχους υπολογισμούς του προηγούμενου κεφαλαίου. Για παράδειγμα, για να βρεθεί η πιθανότητα ολοκλήρωσης του έργου το πολύ σε $x = 44$ ημέρες, εφαρμόζουμε την σχέση :

$$Z = \frac{(x - E)}{(V_T)^{1/2}} = \frac{(44 - 47.29)}{3.65} = -0.901$$

Από τον πίνακα 8.4 / κεφ. 8, προκύπτει ότι για σταθερά Z της κανονικής κατανομής ίση με -0.901 η πιθανότητα ολοκλήρωσης του έργου στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα είναι περίπου $18,41\%$, η οποία είναι σαφώς μικρότερη του $58,8\%$ που είχε αρχικά υπολογισθεί με την μέθοδο PERT, αποτελεί όμως δε μια σαφώς πιο ρεαλιστική προσέγγιση. Φυσικά να τονισθεί εδώ πως από τις άνω τιμές δεν μπορεί να προκύψει ασφαλές συμπέρασμα καθώς ο αριθμός των επαναλήψεων κατά τον οποίο <<τρέξαμε>> το μοντέλο της προσομοίωσης είναι ιδιαίτερα μικρός. Ως εκ τούτου εάν το ίδιο μοντέλο <<τρέξει>> ένα πολλαπλάσιο αριθμό φορών θα δώσει πιο ακριβή αποτελέσματα που πιθανότατα θα βρίσκονται και πιο κοντά στα αποτελέσματα της στατιστικής προσέγγισης PERT. Στο σημείο αυτό κρίθηκε σκόπιμη η απλή παράθεση της μεθόδου με λίγες επαναλήψεις ώστε να γίνουν πιο κατανοητά τα βήματα που ακολουθούνται.

Τέλος να πούμε πως μπορούμε να εκτελέσουμε και ένα πλήθος άλλων υπολογισμών. Για παράδειγμα μπορεί να υπολογισθεί η χρονική διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου η οποία αντιστοιχεί σε πιθανότητα ολοκλήρωσης 95% , χρησιμοποιώντας τις πιο πάνω σχέσεις και λύνοντας ως προς x .

Σε $p = 95\%$ αντιστοιχεί $Z = 1.65$ (βλέπε πίνακα 8.4 / κεφ. 8). Άρα :

$$x = 3.65 * 1.65 + 47.29 = 53.3$$

Δηλαδή το έργο θα έχει ολοκληρωθεί , με πιθανότητα 95% , σε 53.3 ημέρες.

9.5.4 Συμπεράσματα από την εφαρμογή της Προσομοίωσης Monte Carlo στο Δίκτυο PERT

Στο προηγούμενο κεφάλαιο είδαμε πως η πιθανολογική προσέγγιση PERT παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με την παραδοσιακή μέθοδο CPM καθώς δεν χρησιμοποιεί μια απλή ντετερμινιστική τιμή για τις χρονικές διάρκειες των δραστηριοτήτων του έργου αλλά αντιθέτως χρησιμοποιώντας κάποια κατάλληλη κατανομή (συνήθως την κατανομή Βήτα) υπολογίζει την μέση τιμή και την διακύμανση για κάθε δραστηριότητα. Όμως χρησιμοποιώντας τις μέσες τιμές που προκύπτουν, και με την βοήθεια του Κ. Ο. Θ., καταλήγει στον υπολογισμό μιας ντετερμινιστικής τιμής για την αναμενόμενη μέση διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου. Ταυτόχρονα, τόσο στον υπολογισμό της αναμενόμενης διάρκειας ολοκλήρωσης του έργου όσο και στον καθορισμό της κρίσιμης διαδρομής δεν λαμβάνονται υπόψη οι διακυμάνσεις των χρονικών διαρκειών των δραστηριοτήτων. Ως εκ τούτου δραστηριότητες που θα μπορούσαν να χαρακτηρισθούν κρίσιμες λόγω της μεγάλης διακύμανσης που παρουσιάζουν στον χρόνο εκτέλεσης τους, δεν εμπεριέχονται στη κρίσιμη διαδρομή και έτσι δεν δίνεται σε αυτές η απαραίτητη προσοχή τόσο κατά τον προγραμματισμό όσο και κατά την εκτέλεση του έργου. Επιπλέον το γεγονός ότι κατά τους υπολογισμούς που πραγματοποιούνται στην μέθοδο PERT χρησιμοποιείται μόνο η μέση τιμή των δραστηριοτήτων για να φθάσουμε στην κρίσιμη διαδρομή, οδηγεί στον υπολογισμό μιας αισιόδοξης εκτίμησης της μέσης διάρκειας του έργου σε σχέση με την πραγματική μέση διάρκεια (πρόβλημα *'merge event bias'*).

Ένα άλλο ερώτημα που συχνά τίθεται είναι, όπως είδαμε, το κατά πόσο μπορούμε να υποθέσουμε πως οι δραστηριότητες είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους ενώ και όσον αφορά την εφαρμογή του Κ. Ο. Θ. τίθεται ένα ερώτημα σε σχέση με την ισχύ αυτού στις περιπτώσεις όπου ο αριθμός των δραστηριοτήτων της κρίσιμης διαδρομής είναι σχετικά μικρός.

Με την χρήση της προσομοίωσης Monte Carlo, όπως είδαμε, μπορούμε να φθάσουμε σε ασφαλή αποτελέσματα επιλύοντας κάποια προβλήματα που εμφανίζονται στις μεθόδους CPM και PERT και χωρίς να απαιτείται να καταφύγουμε σε υποθέσεις υποκείμενες σε αμφισβητήσεις. Είδαμε για παράδειγμα, πως

αντιμετωπίζεται το πρόβλημα *'merge event bias'* καθώς η εκτίμηση της διάρκειας ολοκλήρωσης του έργου δεν υπολογίζεται με βάση τις μέσες τιμές των χρονικών διαρκειών των δραστηριοτήτων με αποτέλεσμα να προκύπτει μια σαφώς πιο ρεαλιστική εκτίμηση σε σχέση με την αισιόδοξη εκτίμηση της μεθόδου PERT. Επιπλέον με την μέθοδο Monte Carlo εισήχθηκε και η έννοια της κρίσιμης δραστηριότητας καθώς είδαμε πως μπορούμε να υπολογίσουμε τις πιθανότητες εμφάνισης της κάθε δραστηριότητας στην κρίσιμη διαδρομή και ως εκ τούτου να καταρτίσουμε μια κατάταξη κρισιμότητας των δραστηριοτήτων ανεξάρτητα με το ποιες από αυτές βρίσκονται στην κρίσιμη διαδρομή. Ουσιαστικά δηλαδή καταρρίπτεται η άποψη ότι υπάρχει μια μόνο κρίσιμη διαδρομή, αφού όπως είδαμε μέσω της προσομοίωσης περισσότερα από ένα μονοπάτια μπορεί να είναι κρίσιμα ανάλογα με το τις χρονικές διάρκειες των δραστηριοτήτων που θα εμφανισθούν στην πράξη. Με τον τρόπο μπορεί ο κάθε Project Manager να δίνει ιδιαίτερη προσοχή και σε εκείνες τις δραστηριότητες που μπορεί να μην βρίσκονται στην βασική κρίσιμη διαδρομή αλλά εντούτοις έχουν υψηλό δείκτη κρισιμότητας (υψηλή πιθανότητα εμφάνισης στην κρίσιμη διαδρομή) και είναι ιδιαίτερα πιθανό να καθυστερήσουν την πορεία του έργου. Τέλος ιδιαίτερα σημαντικό είναι πως με την τεχνική της προσομοίωσης Monte Carlo δεν είναι απαραίτητο να καταφύγουμε σε υποθέσεις όπως η επιλογή της κατανομής Βήτα για τις μεταβλητές μας (χρονική διάρκεια δραστηριοτήτων), η εφαρμογή του Κ. Ο. Θ. ή η ανεξαρτησία των δραστηριοτήτων, που πολλές φορές ισχύουν μόνο προσεγγιστικά και οδηγούν σε αποτελέσματα που αποκλίνουν από τα πραγματικά.

Γ΄ ΜΕΡΟΣ : ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΕ ΑΝΕΓΕΡΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΓΙΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΠΟΘΗΚΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10^ο :

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ PERT ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ MONTE CARLO ΣΤΟΝ ΧΡΟΝΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΑΝΕΓΕΡΣΗΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΓΙΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΠΟΘΗΚΩΝ

10.1 Σκοπός της Μελέτης Περιπτώσεως

Στο τελευταίο αυτό κεφάλαιο θα γίνει μια εφαρμογή των μεθόδων που ανεπτύχθησαν στα κεφάλαια 8 και 9 (πιθανολογική μέθοδος PERT και προσομοίωση Monte Carlo) με σκοπό τον χρονοπρογραμματισμό ενός τεχνικού έργου που συναντάται συχνά στην πράξη. Τόσο ο χρονοπρογραμματισμός όσο και η εκτέλεση των διαφόρων υπολογισμών (π.χ. εύρεση μέσης διάρκειας ολοκλήρωσης του έργου, πιθανότητας έγκαιρης ολοκλήρωσης του έργου, πιθανότητες συμμετοχής των δραστηριοτήτων στην κρίσιμη διαδρομή κ.λ.π.) θα πραγματοποιηθούν και με τις δυο μεθόδους καθώς επίσης και με χρήση H/ Y (Excel OM_IE Add – in) που ειδικά στην περίπτωση της προσομοίωσης Monte Carlo θεωρείται απαραίτητη λόγω του μεγάλου αριθμού επαναλήψεων που απαιτούνται για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. Στο τέλος του κεφαλαίου τα αποτελέσματα των δυο διαφορετικών προσεγγίσεων θα συγκριθούν και θα δούμε εάν προκύπτουν συμπεράσματα ανάλογα με αυτά που προέκυψαν στα κεφάλαια 8 και 9 για τις δυο προσεγγίσεις.

10.2 Μορφή τεχνικού έργου – Δραστηριότητες έργου

Το τεχνικό έργο στο οποίο θα βασισθεί η μελέτη περιπτώσεως⁵ αφορά την ανέγερση μεταλλικής κατασκευής για δημιουργία αποθηκών μιας επιχείρησης Χ. Η επιχείρηση αυτή κατόπιν κατάλληλης οικονομοτεχνικής μελέτης κατέληξε στο συμπέρασμα πως η δημιουργία νέων ιδιόκτητων αποθηκών είναι ένα έργο που είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί και ως εκ τούτου έγινε η κατάλληλη εκτίμηση σχετικά με τις επιμέρους εργασίες (δραστηριότητες) που απαιτούνται για την ανέγερση της μεταλλικής κατασκευής, με αποτέλεσμα να προκύψει ο πίνακας 10.1. Στον πίνακα αυτό αναφέρονται όλες οι δραστηριότητες (Α έως Ν) του έργου ενώ για κάθε δραστηριότητα αναφέρονται επίσης και οι Προηγούμενες Εργασίες (Π.Ε.) που είναι απαραίτητο να έχουν ολοκληρωθεί ώστε να ξεκινήσει η εν λόγω δραστηριότητα.

| Πίνακας 10.1 : Επιμέρους Δραστηριότητες έργου | | |
|---|-----------------------------------|-------|
| | Εργασία | Π.Ε. |
| A | ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ | - |
| B | ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΠΕΡΓΟΛΑΒΟΥ | A |
| C | ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΣΚΕΛΕΤΟΥ | A |
| D | ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ | A |
| E | ΣΥΜΦΩΝΙΑ ΟΡΩΝ ΥΠΕΡΓΟΛΑΒΙΑΣ | B |
| F | ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ | C |
| G | ΥΠΟΔΟΧΕΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ | C,D |
| H | ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΡΟΣΒΑΣΕΩΝ | D |
| I | ΒΑΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ | G |
| J | ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ | F |
| K | ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ | J,I |
| L | ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΠΑΓΩΓΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ | I,H |
| M | ΠΛΗΡΩΜΗ ΥΠΕΡΓΟΛΑΒΟΥ | E,J |
| N | ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΣ ΑΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΡΓΟΥ | K,L,M |

Η επιχείρηση έχει εμπειρία από παρόμοια έργα, κάθε εργασία έχει εκτελεσθεί αρκετές φορές στο παρελθόν και από την μελέτη των αρχείων (ιστορικά δεδομένα) αλλά και με την βοήθεια του Υπευθύνου του Έργου (εμπειρία, αξιολόγηση διαθέσιμων μέσων και προσωπικού κ.λ.π.) δημιουργήθηκε ο πίνακας 10.2 της επόμενης σελίδας. Στην πρώτη στήλη καταγράφεται, για κάθε δραστηριότητα, η διάρκεια που παρατηρήθηκε όταν οι συνθήκες εκτέλεσης της εργασίας ήταν ευνοϊκές ($a =$ *αισιόδοξος χρόνος εκτέλεσης της δραστηριότητας*). Στην δεύτερη στήλη καταγράφονται η διάρκειες των εργασιών που παρατηρήθηκαν τις περισσότερες φορές κατά την εκτέλεση αυτών ($m =$ *πλέον πιθανός χρόνος εκτέλεσης της δραστηριότητας*). Τέλος στην τρίτη στήλη καταγράφονται η διάρκειες που παρατηρήθηκαν όταν οι συνθήκες εκτέλεσης των δραστηριοτήτων ήταν δυσμενείς ($b =$ *απαισιόδοξος χρόνος εκτέλεσης της δραστηριότητας*).

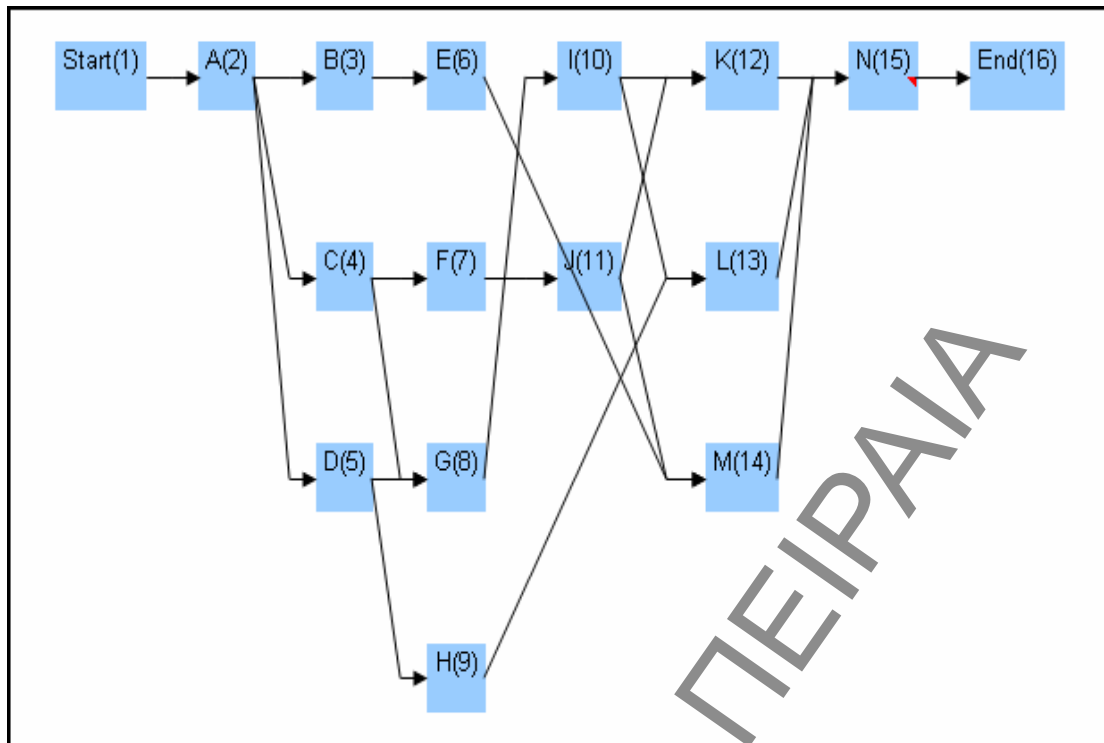
| Πίνακας 10.2 : Χρονικές Διάρκειες a, m, b των δραστηριοτήτων | | | |
|--|---|--|---|
| | Αισιόδοξος χρόνος a | Πλέον πιθανός χρόνος m | Απαισιόδοξος χρόνος b |
| A | 10 | 12 | 14 |
| B | 9 | 11 | 15 |
| C | 8 | 13 | 24 |
| D | 9 | 10 | 23 |
| E | 2 | 3 | 10 |
| F | 10 | 11 | 18 |
| G | 8 | 11 | 26 |
| H | 3 | 4 | 5 |
| I | 4 | 6 | 20 |
| J | 8 | 10 | 18 |
| K | 5 | 7 | 15 |
| L | 1 | 2 | 3 |
| M | 1 | 2 | 9 |
| N | 1 | 2 | 3 |

10.3 Χρονοπρογραμματισμός έργου μέσω πιθανολογικής μεθόδου PERT

Για να πραγματοποιηθεί ο χρονοπρογραμματισμός του έργου μέσω της μεθόδου PERT θα ακολουθήσουμε τα βασικά βήματα που αναλύθηκαν εκτενώς στο κεφάλαιο 8. Αρχικά με βάση τον πίνακα 10.1 θα γίνει μια αναπαράσταση του δικτύου του έργου στο οποίο θα φαίνονται η τόσο η αλληλουχία όσο και οι συσχετίσεις μεταξύ των δραστηριοτήτων. Δεδομένου ότι ήδη έχουν καθορισθεί οι αισιόδοξοι, απαισιόδοξοι και πλέον πιθανοί χρόνοι για τις δραστηριότητες, στην συνέχεια πρέπει να υπολογισθούν τόσο η μέση τιμή όσο και η τυπική απόκλιση που αντιστοιχεί στην χρονική διάρκεια κάθε δραστηριότητας. Έπειτα, με την βοήθεια βασικών σχέσεων που ανεπτύχθησαν στην παράγραφο 8.4.3, θα υπολογισθούν οι ενωρίτεροι και βραδύτεροι χρόνοι έναρξης και λήξης για όλες τις δραστηριότητες. Έπειτα θα καθορισθεί η κρίσιμη διαδρομή και, με την βοήθεια και του Κ.Ο.Θ., θα προσδιορισθεί η μέση προβλεπόμενη διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου καθώς και η διακύμανση που αντιστοιχεί σε αυτή. Τέλος θα ακολουθήσουν διάφοροι υπολογισμοί όπως η πιθανότητα της έγκαιρης ολοκλήρωσης του έργου ενώ θα επιλυθεί το δίκτυο και μέσω χρήσης Η/Υ όπως αναφέρθηκε ήδη πιο πάνω.

10.3.1 Αναπαράσταση δικτύου έργου

Όπως είπαμε θα ξεκινήσουμε με την αναπαράσταση του δικτύου του ως προς κατασκευή έργου. Δεδομένου ότι το συγκεκριμένο έργο αποτελείται από αρκετές δραστηριότητες, για την απεικόνιση του δικτύου θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος των κομβικών διαγραμμάτων (AON) μιας και η μέθοδος των τοξοτών διαγραμμάτων μπορεί να γίνει ιδιαίτερα δύσχρηστη σε περιπτώσεις πολύπλοκων δικτύων. Με την βοήθεια του πίνακα 10.1 δημιουργείται το σχήμα 10.1 στο οποίο παρουσιάζεται το δίκτυο του έργου, η αλληλουχία αλλά και η συσχέτιση των δραστηριοτήτων (π.χ. οι δραστηριότητες A – B, A – C και A – D είναι Finish to Start κ.ο.κ.).



Σχήμα 10. 1 : Δίκτυο έργου (μέθοδος AON)

Στις επόμενες παραγράφους , και έπειτα από τους απαραίτητους υπολογισμούς , το άνω δίκτυο θα εμπλουτισθεί με τις με τις μέσες προβλεπόμενες διάρκειες των δραστηριοτήτων, τους ενωρίτερους και βραδύτερους χρόνους έναρξης των δραστηριοτήτων, το συνολικό περιθώριο χρόνου των δραστηριοτήτων, την κρίσιμη διαδρομή κ.λ.π.

10.3.2 Υπολογισμός μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης δραστηριοτήτων

Στην πιθανολογική προσέγγιση PERT χρησιμοποιούμε μια κατάλληλη κατανομή με την βοήθεια της οποίας θα υπολογίσουμε για κάθε δραστηριότητα την μέση τιμή και την τυπική απόκλιση της χρονικής διάρκειας. Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 8, στην Διοίκηση Έργου , η κατανομή που συχνά χρησιμοποιείται είναι η κατανομή Βήτα. Ως εκ τούτου με την βοήθεια των σχέσεων 8.29 και 8.30 του κεφ. 8 ($\mu = t_e =$

$\frac{(a+4m+b)}{6}$ και $\sigma = (V_i)^{1/2} = \frac{(b-a)}{6}$) υπολογίζονται και εδώ οι μέσες τιμές

αλλά και οι τυπικές αποκλίσεις που χρειαζόμαστε. Με την βοήθεια των άνω σχέσεων και του πίνακα 10.2, προκύπτει ο πίνακας 10.3 που παρατίθεται στην συνέχεια.

| Πίνακας 10.3 : Μέση τιμή και τυπική απόκλιση δραστηριοτήτων | | | | | |
|---|---------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------|-------------------------|
| | Αισιόδοξος χρόνος a | Πλέον πιθανός χρόνος m | Απαισιόδοξος χρόνος b | Μέση τιμή μ | Τυπική απόκλιση σ |
| A | 10 | 12 | 14 | 12 | 0.66 |
| B | 9 | 11 | 25 | 13 | 2.66 |
| C | 8 | 13 | 24 | 14 | 2.66 |
| D | 9 | 10 | 23 | 12 | 2.33 |
| E | 2 | 3 | 10 | 4 | 1.33 |
| F | 10 | 11 | 18 | 12 | 1.33 |
| G | 8 | 11 | 26 | 13 | 3 |
| H | 3 | 4 | 5 | 4 | 0.66 |
| I | 4 | 6 | 20 | 8 | 2.66 |
| J | 8 | 10 | 18 | 11 | 1.66 |
| K | 5 | 7 | 15 | 8 | 1.66 |
| L | 1 | 2 | 3 | 2 | 0.66 |
| M | 1 | 2 | 9 | 3 | 1.33 |
| N | 1 | 2 | 3 | 2 | 0.33 |

10.3.3 Υπολογισμός ενωρίτερων και βραδύτερων χρόνων έναρξης και λήξης των δραστηριοτήτων

Ενωρίτεροι Χρόνοι

A) Ενωρίτεροι Χρόνοι Έναρξης :

Η πρώτη δραστηριότητα του έργου, η οποία δεν έχει κάποια προαπαιτούμενη, είναι η δραστηριότητα A. Ως εκ τούτου ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης αυτής είναι η χρονική στιγμή 0. Με δεδομένο λοιπόν ότι $E.X.E_A = 0$ και με την βοήθεια των σχέσεων που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 8.4.3 του κεφαλαίου 8 θα έχουμε για τις δραστηριότητες A έως N :

$$\underline{\text{Δραστηριότητα A}} : E.X.E_A = 0$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα B}} : E.X.E_B = E.X.E_A + X.\Delta_A = 0 + 12 = 12$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα C}} : E.X.E_C = E.X.E_A + X.\Delta_A = 0 + 12 = 12$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα D}} : E.X.E_D = E.X.E_A + X.\Delta_A = 0 + 12 = 12$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα E}} : E.X.E_E = E.X.E_B + X.\Delta_B = 12 + 13 = 25$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα F}} : E.X.E_F = E.X.E_C + X.\Delta_C = 12 + 14 = 26$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα G}} : E.X.E_G = \max \{ (E.X.E_C + X.\Delta_C), (E.X.E_D + X.\Delta_D) \} = \max \{ (12 + 14), (12 + 12) \} = \max \{ 26, 24 \} = 26$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα H}} : E.X.E_H = E.X.E_D + X.\Delta_D = 12 + 12 = 24$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα I}} : E.X.E_I = E.X.E_G + X.\Delta_G = 26 + 13 = 39$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα J}} : E.X.E_J = E.X.E_F + X.\Delta_F = 26 + 12 = 38$$

Δραστηριότητα K: $E.X.E_K = \max \{ (E.X.E_J + X.\Delta_J), (E.X.E_I + X.\Delta_I) \} = \max \{ (38 + 11), (39 + 8) \} = \max \{ 49, 47 \} = 49$

Δραστηριότητα L: $E.X.E_L = \max \{ (E.X.E_H + X.\Delta_H), (E.X.E_I + X.\Delta_I) \} = \max \{ (24 + 4), (39 + 8) \} = \max \{ 28, 47 \} = 47$

Δραστηριότητα M: $E.X.E_G = \max \{ (E.X.E_E + X.\Delta_E), (E.X.E_J + X.\Delta_J) \} = \max \{ (25 + 4), (38 + 11) \} = \max \{ 29, 49 \} = 49$

Δραστηριότητα N: $E.X.E_G = \max \{ (E.X.E_K + X.\Delta_K), (E.X.E_L + X.\Delta_L), (E.X.E_M + X.\Delta_M) \} = \max \{ (49 + 8), (47 + 2), (49 + 3) \} = \max \{ 57, 49, 52 \} = 57$

B) Ενωρίτεροι Χρόνοι Λήξης :

Δραστηριότητα A : $E.X.\Lambda_A = E.X.E_A + X.\Delta_A = 0 + 12 = 12$

Δραστηριότητα B : $E.X.\Lambda_B = E.X.E_B + X.\Delta_B = 12 + 13 = 25$

Δραστηριότητα C : $E.X.\Lambda_C = E.X.E_C + X.\Delta_C = 12 + 14 = 26$

Δραστηριότητα D : $E.X.\Lambda_D = E.X.E_D + X.\Delta_D = 12 + 12 = 24$

Δραστηριότητα E : $E.X.\Lambda_E = E.X.E_E + X.\Delta_E = 25 + 4 = 29$

Δραστηριότητα F : $E.X.\Lambda_F = E.X.E_F + X.\Delta_F = 26 + 12 = 38$

Δραστηριότητα G : $E.X.\Lambda_G = E.X.E_G + X.\Delta_G = 26 + 13 = 39$

Δραστηριότητα H : $E.X.\Lambda_H = E.X.E_H + X.\Delta_H = 24 + 4 = 28$

Δραστηριότητα I : $E.X.\Lambda_I = E.X.E_I + X.\Delta_I = 39 + 8 = 47$

Δραστηριότητα J : $E.X.\Lambda_J = E.X.E_J + X.\Delta_J = 38 + 11 = 49$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα K}} : E.X.A_K = E.X.E_K + X.A_K = 49 + 8 = 57$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα L}} : E.X.A_L = E.X.E_L + X.A_L = 47 + 2 = 49$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα M}} : E.X.A_M = E.X.E_M + X.A_M = 49 + 3 = 52$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα N}} : E.X.A_N = E.X.E_N + X.A_N = 57 + 2 = 59$$

Ο Ενωρίτερος Χρόνος Λήξης της δραστηριότητας N σηματοδοτεί και το πέρας του έργου. Δηλαδή εάν όλες οι δραστηριότητες ξεκινήσουν και ολοκληρωθούν έγκαιρα τότε το έργο προβλέπεται να ολοκληρωθεί σε 59 ημέρες.

Βραδύτεροι Χρόνοι

A) Βραδύτεροι Χρόνοι Έναρξης :

Για να γίνουν ορθά οι υπολογισμοί των Βραδύτερων Χρόνων Λήξης των δραστηριοτήτων ξεκινάμε από την τελευταία δραστηριότητα N και πηγαίνουμε προς τα πίσω (N, M, L, K κ.ο.κ.).

$$\underline{\text{Δραστηριότητα N}} : B.X.E_N = E.X.A_N - X.A_N = 59 - 2 = 57$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα M}} : B.X.E_M = B.X.E_N - X.A_M = 57 - 3 = 54$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα L}} : B.X.E_L = B.X.E_M - X.A_L = 54 - 2 = 52$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα K}} : B.X.E_K = B.X.E_L - X.A_K = 52 - 8 = 44$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα J}} : B.X.E_J = \min\{(B.X.E_K - X.A_J), (B.X.E_M - X.A_J)\} = \min\{(44 - 11), (54 - 11)\} = \min\{33, 43\} = 33$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα I}} : B.X.E_I = \min\{(B.X.E_K - X.A_I), (B.X.E_L - X.A_I)\} = \min\{(44 - 8), (52 - 8)\} = \min\{36, 44\} = 36$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα H}} : B.X.E._H = B.X.E._L - X.Δ._H = 55 - 4 = 51$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα G}} : B.X.E._G = B.X.E._I - X.Δ._G = 41 - 13 = 28$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα F}} : B.X.E._F = B.X.E._J - X.Δ._F = 38 - 12 = 26$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα E}} : B.X.E._E = B.X.E._M - X.Δ._E = 54 - 4 = 50$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα D}} : B.X.E._D = \min\{(B.X.E._G - X.Δ._D), (B.X.E._H - X.Δ._D)\} = \min\{(28 - 12), (51 - 12)\} = \min\{16, 39\} = 16$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα C}} : B.X.E._C = \min\{(B.X.E._F - X.Δ._C), (B.X.E._G - X.Δ._C)\} = \min\{(26 - 14), (28 - 14)\} = \min\{12, 14\} = 12$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα B}} : B.X.E._B = B.X.E._E - X.Δ._B = 50 - 13 = 37$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα A}} : B.X.E._A = \min\{(B.X.E._B - X.Δ._A), (B.X.E._C - X.Δ._A), (B.X.E._D - X.Δ._A)\} = \min\{(37 - 12), (12 - 12), (16 - 12)\} = \min\{25, 0, 14\} = 0$$

B) Βραδύτεροι Χρόνοι Αήξης :

$$\underline{\text{Δραστηριότητα N}} : B.X.Δ._N = B.X.E._N + X.Δ._N = 57 + 2 = 59$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα M}} : B.X.Δ._M = B.X.E._M + X.Δ._M = 54 + 3 = 57$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα L}} : B.X.Δ._L = B.X.E._L + X.Δ._L = 55 + 2 = 57$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα K}} : B.X.Δ._K = B.X.E._K + X.Δ._K = 49 + 8 = 57$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα J}} : B.X.Δ._J = B.X.E._J + X.Δ._J = 38 + 11 = 49$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα I}} : B.X.Δ._I = B.X.E._I + X.Δ._I = 41 + 8 = 49$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα H}} : B.X.L_H = B.X.E_H + X.L_H = 51 + 4 = 55$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα G}} : B.X.L_G = B.X.E_G + X.L_G = 28 + 13 = 41$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα F}} : B.X.L_F = B.X.E_F + X.L_F = 26 + 12 = 38$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα E}} : B.X.L_E = B.X.E_E + X.L_E = 50 + 4 = 54$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα D}} : B.X.L_D = B.X.E_D + X.L_D = 16 + 12 = 28$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα C}} : B.X.L_C = B.X.E_C + X.L_C = 12 + 14 = 26$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα B}} : B.X.L_B = B.X.E_B + X.L_B = 37 + 13 = 50$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα A}} : B.X.L_A = B.X.E_A + X.L_A = 0 + 12 = 12$$

Συνολικά Περιθώρια Χρόνου

Το Συνολικό Περιθώριο Χρόνου για κάθε δραστηριότητα i , δίνεται από την σχέση :

$$\Sigma\Pi X_i = BXL_i - EXL_i = BXE_i - EXE_i$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα A}} : \Sigma\Pi X_A = B.X.L_A - E.X.L_A = 12 - 12 = \mathbf{0}$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα B}} : \Sigma\Pi X_B = B.X.L_B - E.X.L_B = 50 - 25 = 25$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα C}} : \Sigma\Pi X_C = B.X.L_C - E.X.L_C = 26 - 26 = \mathbf{0}$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα D}} : \Sigma\Pi X_D = B.X.L_D - E.X.L_D = 28 - 24 = 4$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα E}} : \Sigma\Pi X_E = B.X.L_E - E.X.L_E = 54 - 29 = 25$$

Δραστηριότητα F : $\Sigma.Π.Χ._F = Β.Χ.Λ._F - Ε.Χ.Λ._F = 38 - 38 = 0$

Δραστηριότητα G : $\Sigma.Π.Χ._G = Β.Χ.Λ._G - Ε.Χ.Λ._G = 41 - 39 = 2$

Δραστηριότητα H : $\Sigma.Π.Χ._H = Β.Χ.Λ._H - Ε.Χ.Λ._H = 55 - 28 = 27$

Δραστηριότητα I : $\Sigma.Π.Χ._I = Β.Χ.Λ._I - Ε.Χ.Λ._I = 49 - 47 = 2$

Δραστηριότητα J : $\Sigma.Π.Χ._J = Β.Χ.Λ._J - Ε.Χ.Λ._J = 49 - 49 = 0$

Δραστηριότητα K : $\Sigma.Π.Χ._K = Β.Χ.Λ._K - Ε.Χ.Λ._K = 57 - 57 = 0$

Δραστηριότητα L : $\Sigma.Π.Χ._L = Β.Χ.Λ._L - Ε.Χ.Λ._L = 57 - 49 = 8$

Δραστηριότητα M : $\Sigma.Π.Χ._M = Β.Χ.Λ._M - Ε.Χ.Λ._M = 57 - 52 = 5$

Δραστηριότητα N : $\Sigma.Π.Χ._N = Β.Χ.Λ._N - Ε.Χ.Λ._N = 59 - 59 = 0$

Πίνακας 10.4 : Ενωρίτεροι και βραδύτεροι χρόνοι δραστηριοτήτων

| Δραστηριότητα | Ε.Χ.Ε. | Ε.Χ.Λ. | Β.Χ.Ε. | Β.Χ.Λ. | Σ.Π.Χ. | Κρίσιμη Δραστηριότητα |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------------|
| A | 0 | 12 | 0 | 12 | 0 | ΝΑΙ |
| B | 12 | 25 | 37 | 50 | 25 | ΌΧΙ |
| C | 12 | 26 | 12 | 26 | 0 | ΝΑΙ |
| D | 12 | 24 | 16 | 28 | 4 | ΌΧΙ |
| E | 25 | 29 | 50 | 54 | 25 | ΌΧΙ |
| F | 26 | 38 | 26 | 38 | 0 | ΝΑΙ |
| G | 26 | 39 | 28 | 41 | 2 | ΌΧΙ |
| H | 24 | 28 | 51 | 55 | 27 | ΌΧΙ |
| I | 39 | 47 | 41 | 49 | 2 | ΌΧΙ |
| J | 38 | 49 | 38 | 49 | 0 | ΝΑΙ |
| K | 49 | 57 | 49 | 57 | 0 | ΝΑΙ |
| L | 47 | 49 | 55 | 57 | 8 | ΌΧΙ |
| M | 49 | 52 | 54 | 57 | 5 | ΌΧΙ |
| N | 57 | 59 | 57 | 59 | 0 | ΝΑΙ |

Στον προηγούμενο πίνακα (10.4) παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι ενωρίτεροι και βραδύτεροι χρόνοι έναρξης και λήξης καθώς και τα συνολικά περιθώριο χρόνου για όλες τις δραστηριότητες. Όπως έχουμε αναφέρει και προώτερα, οι δραστηριότητες με $\Sigma.P.X. = 0$ ανήκουν στην κρίσιμη διαδρομή. Έτσι σύμφωνα με την πιθανολογική μέθοδο PERT η κρίσιμη διαδρομή του δικτύου θα αποτελείται από τις δραστηριότητες A, C, F, J, K και N. Όπως θα δούμε στην επόμενη παράγραφο η οι δραστηριότητες της κρίσιμης διαδρομής είναι αυτές που καθορίζουν και την μέση προβλεπόμενη χρονική διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου καθώς και την αντίστοιχη τυπική απόκλιση του χρόνου του έργου.

10.3.4 Υπολογισμός μέσης χρονικής διάρκειας ολοκλήρωσης του έργου και διακύμανσης του χρόνου του έργου

Όπως είπαμε στην προηγούμενη παράγραφο, η τελική διάρκεια του έργου καθορίζεται από τις χρονικές διάρκειες των δραστηριοτήτων που βρίσκονται στην κρίσιμη διαδρομή. Στην περίπτωση μας οι κρίσιμες δραστηριότητες είναι οι A, C, F, J, K και N. Ως εκ τούτου, τόσο η μέση διάρκεια του έργου όσο και η διακύμανση του χρόνου του έργου θα δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις όπως προέκυψαν και από την εφαρμογή του Κεντρικού Οριακού Θεωρήματος (παρ. 8.3.7) :

$$E = t_{eA} + t_{eC} + t_{eF} + t_{eJ} + t_{eK} + t_{eN} = \mu_A + \mu_C + \mu_F + \mu_J + \mu_K + \mu_N =$$

$$12 + 14 + 12 + 11 + 8 + 2 = 59$$

$$V_T = V_{IA} + V_{IC} + V_{IF} + V_{IJ} + V_{IK} + V_{IN} = \sigma_A^2 + \sigma_C^2 + \sigma_F^2 + \sigma_J^2 + \sigma_K^2 + \sigma_N^2 =$$

$$(0.66)^2 + (2.66)^2 + (1.33)^2 + (1.66)^2 + (1.66)^2 + (0.33)^2 = 14.96 \approx 15$$

$$\hat{\eta} (V_T)^{1/2} = \sqrt{14.96} = 3.87$$

Με λίγα λόγια με βάση την στατιστική προσέγγιση PERT, όμως αυτή περιγράφηκε αναλυτικά, το έργο έχει προβλεπόμενη διάρκεια ολοκλήρωσης 59 ημέρες παρουσιάζοντας ταυτόχρονα μια διακύμανση $V_T = 15$ ή μια αντίστοιχη τυπική απόκλιση $(V_T)^{1/2} = 3.87$.

10.3.5 Υπολογισμός πιθανότητας έγκαιρης ολοκλήρωσης του έργου

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο η προβλεπόμενη διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου είναι 59 ημέρες. Όμως η διάρκεια αυτή είναι μια μέση διάρκεια ενώ στον χρόνο αυτό αντιστοιχεί και μια τυπική απόκλιση. Αυτό σημαίνει πως η μεταβλητότητα στις χρονικές διάρκειες των δραστηριοτήτων μπορεί, υπό συνθήκες, να οδηγήσει πρακτικά στην υπέρβαση της τιμής της προβλεπόμενης διάρκειας που υπολογίστηκε. Αν υποθέσουμε πως το έργο είναι απαραίτητο να είναι έτοιμο π.χ. σε 62 ημέρες (λόγω ύπαρξης ρήτρας κ.λ.π.), τότε είναι δυνατό να χρησιμοποιήσουμε την θεωρία της παραγράφου 8.4.6. ώστε να υπολογίσουμε την πιθανότητα της έγκαιρης ολοκλήρωσης του έργου. Για να βρεθεί η πιθανότητα ολοκλήρωσης του έργου το πολύ σε $x = 62$ ημέρες, έχουμε:

$$Z = \frac{(x - E)}{(V_T)^{1/2}} = \frac{(62 - 59)}{3.87} = 0.777$$

Από τον πίνακα 8.4, προκύπτει, μέσω γραμμικής παρεμβολής, ότι για σταθερά Z της κανονικής κατανομής ίση με 0.777 η πιθανότητα ολοκλήρωσης του έργου στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα είναι περίπου 78,1 %.

Εάν εναλλακτικά θέλουμε να βρούμε το χρονικό διάστημα εκείνο μέσα στο οποίο το έργο θα έχει ολοκληρωθεί με πιθανότητα π.χ. 95 %, εργαζόμαστε αντίστροφα. Αρχικά υπολογίζουμε την σταθερά Z η οποία αντιστοιχεί σε πιθανότητα ολοκλήρωσης 95 % (πίνακας 8.4) και στην συνέχεια χρησιμοποιούμε την πιο πάνω σχέση λύνοντας ως προς x . Για πιθανότητα ολοκλήρωσης 95 % προκύπτει $Z = 1.65$. Οπότε :

$$x = Z*(V_T)^{1/2} + E$$

ή

$$x = 1.65*3.87 + 59 \text{ } \mathbf{\textcircled{O}}$$

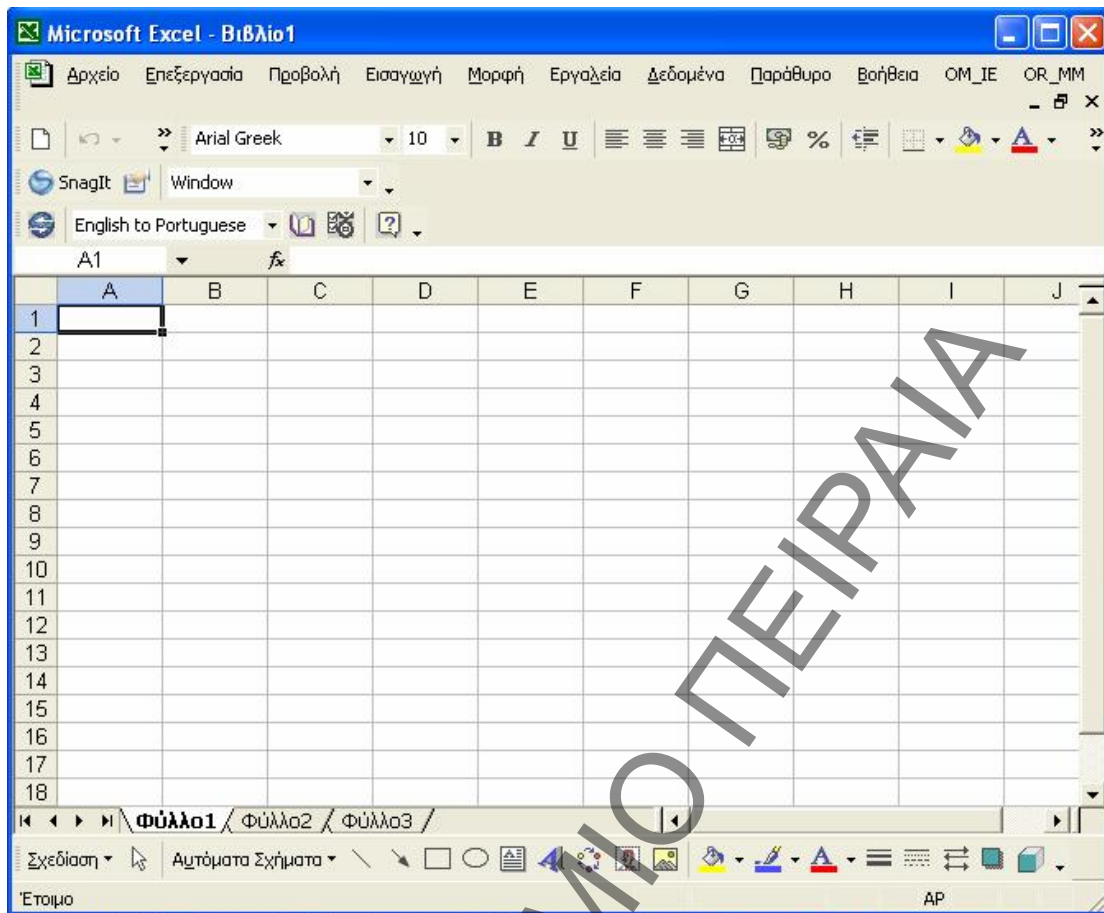
$$x = 65,38$$

Με λίγα λόγια, μπορούμε να είμαστε 95 % σίγουροι πως σε 65,4 περίπου ημέρες το έργο θα έχει ολοκληρωθεί. Η πληροφορία αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική για κάθε Project Manager καθώς με βάση το επίπεδο εμπιστοσύνης που θέλει να έχει καθώς και τα χρονικά περιθώρια που υπάρχουν μπορεί να λάβει σημαντικές αποφάσεις για την κατανομή του φόρτου εργασίας, το προσωπικό που θα χρησιμοποιηθεί, τις χρηματοροές κ.λ.π. Στην συνέχεια θα δούμε πως με την βοήθεια του H/Y (Excel OM_IE Add – in) υπολογισμοί όπως οι προηγούμενοι μπορεί να γίνουν πολύ πιο απλά και ως εκ τούτου να προκύψουν εύκολα ιδιαίτερα χρήσιμα συμπεράσματα.

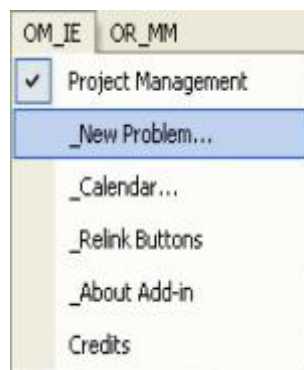
10.3.6 Μέθοδος PERT και χρήση H/Y

Στο τελευταίο μέρος του χρονοπρογραμματισμού , μέσω της πιθανολογικής μεθόδου PERT , θα δούμε πως μπορεί να εφαρμοσθεί η προσέγγιση αυτή με την βοήθεια H/Y. Συγκεκριμένα θα χρησιμοποιηθεί η εφαρμογή του Excel και κάποια πρόσθετα προγράμματα (Add-ins) που υποστηρίζονται από αυτό. Το Add – in που θα χρησιμοποιηθεί εδώ είναι το “Excel Add – in for Operations Management – Industrial Engineering (OM_IE Add – in)”⁵² το οποίο υποστηρίζει τόσο την μέθοδο PERT όσο και την προσομοίωση Monte Carlo που θα εφαρμοσθεί στην συνέχεια για στο συγκεκριμένο δίκτυο. Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν και άλλες αντίστοιχες εφαρμογές που υποστηρίζονται από ιδιαίτερα γνωστά προγράμματα (π.χ. MS Project, SPSS), η συγκεκριμένη εφαρμογή επιλέγεται κυρίως λόγω της απλότητας στην χρήση της. Με την βοήθεια του OM_IE Add – in θα επαληθευτούν και τα αποτελέσματα που προέκυψαν πιο πριν με την μέθοδο PERT.

Για να ξεκινήσει η εφαρμογή ανοίγουμε ένα νέο φύλλο στο Excel και (αφού έχει εγκατασταθεί προηγουμένως κατάλληλα το OM_IE Add – in) επιλέγουμε OM_IE (σχήμα 10.2) και στην συνέχεια _New Problem (Νέο Πρόβλημα) όπως φαίνεται στο σχήμα 10.3.

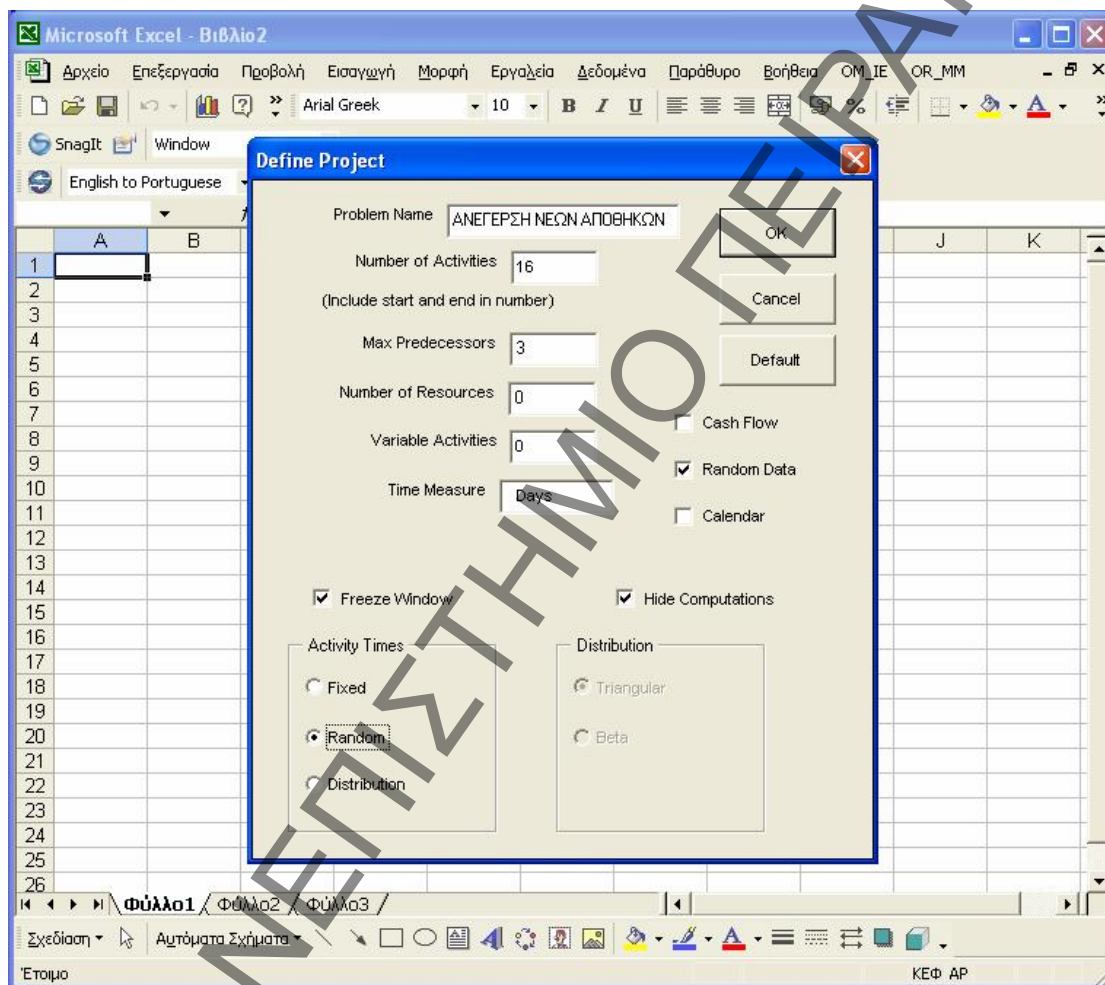


Σχήμα 10.2 : Η εφαρμογή OM_IE Add – in



Σχήμα 10.3 : Δημιουργία νέας εφαρμογής

Στην συνέχεια , στην καρτέλα που εμφανίζεται (Define Project) , πρέπει να δοθούν κάποια στοιχεία που αφορούν το έργο (σχήμα 10.4). Τα πιο σημαντικά , όσον αφορά τον χρονοπρογραμματισμό , είναι ο αριθμός των δραστηριοτήτων (Number of Activities), ο μέγιστος αριθμός προκατόχων δραστηριοτήτων (Max Predecessors) , οι μονάδες μέτρησης του χρόνου (Time Measure) καθώς και μια επιλογή που αφορά τους χρόνους των δραστηριοτήτων (Activity Times).



Σχήμα 10.4 : Καθορισμός παραμέτρων του έργου

Ο αριθμός των δραστηριοτήτων είναι στην πραγματικότητα 14 (Α έως Ν) όμως στην καρτέλα γράφουμε 16 καθώς δημιουργούνται και δυο δραστηριότητες αρχής και πέρατος του έργου με μηδενική όμως διάρκεια (δραστηριότητες ορόσημα). Ο

μέγιστος αριθμός προαπαιτούμενων δραστηριοτήτων είναι τρεις (3) στην περίπτωση μας καθώς για ξεκινήσει η δραστηριότητα N πρέπει να έχουν ολοκληρωθεί οι τρεις (3) προηγούμενες δραστηριότητες K, L, M. όπως φαίνεται από το σχήμα 10.1 και τον πίνακα 10.1. Οι μονάδες μέτρησης του χρόνου είναι φυσικά ημέρες (days). Τέλος στην επιλογή που αφορά τους χρόνους των δραστηριοτήτων έχουμε τρεις επιλογές :

α) Με την επιλογή Fixed επιλύεται το δίκτυο μέσω της ντετερμινιστικής μεθόδου CPM β) Με την επιλογή Random η επίλυση του δικτύου πραγματοποιείται με την πιθανολογική μέθοδο PERT και γ) Με την επιλογή Distribution η επίλυση του δικτύου γίνεται μέσω της προσομοίωσης Monte Carlo. Εμείς στην περίπτωση αυτή επιλέγουμε Random. Στην συνέχεια εμφανίζεται ο πίνακας του σχήματος 10.5.

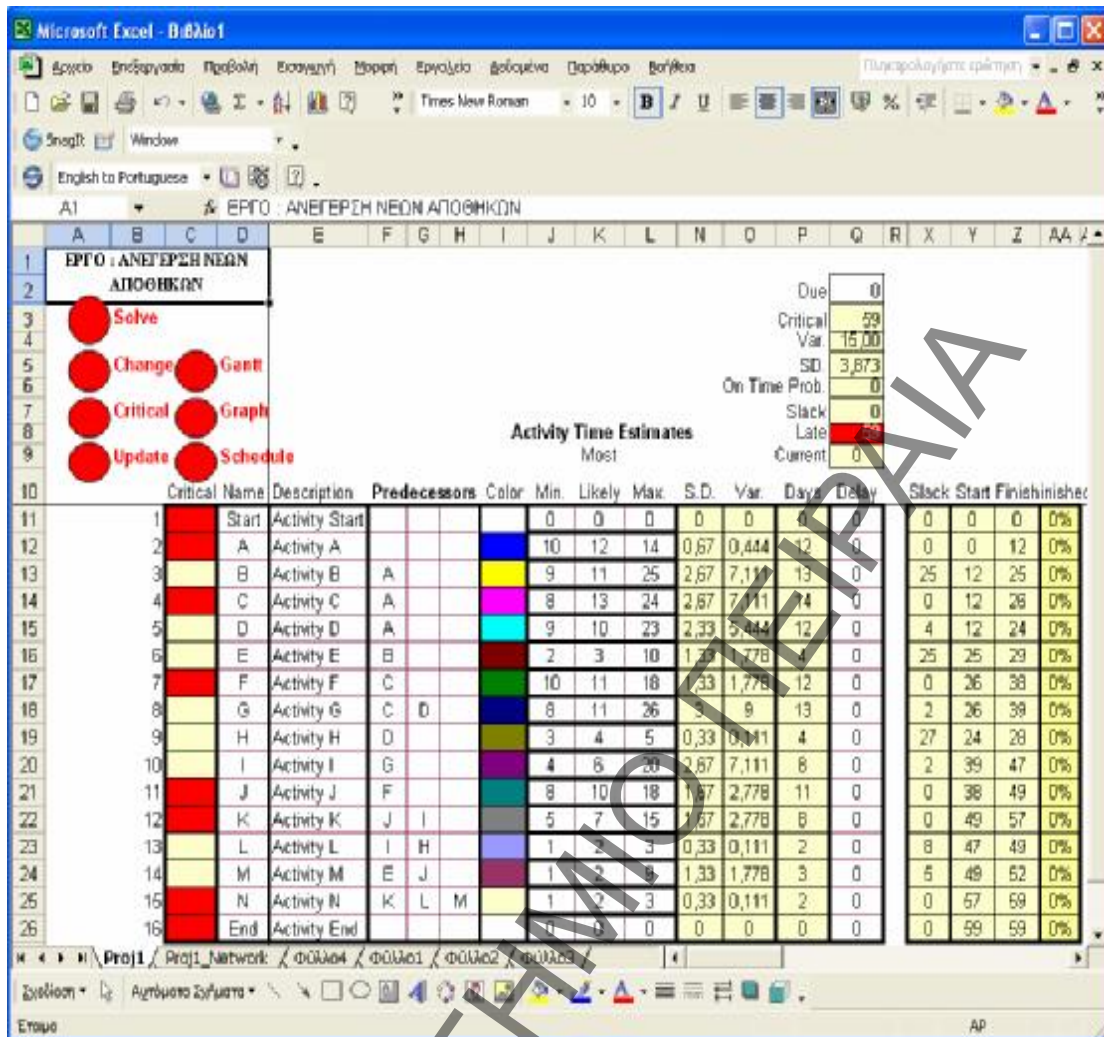
| Activity Data | | | | Activity Time Estimates | | | | | |
|---------------|-------|----------------|--------------|-------------------------|------|-------------|------|------|----------------|
| Critical | Name | Description | Predecessors | Color | Min. | Most Likely | Max. | Time | Activity Delay |
| 1 | Start | Activity Start | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | A | Activity A | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | B | Activity B | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | C | Activity C | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | D | Activity D | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | E | Activity E | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | F | Activity F | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | G | Activity G | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | H | Activity H | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | I | Activity I | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | J | Activity J | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | K | Activity K | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | L | Activity L | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | M | Activity M | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | N | Activity N | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | End | Activity End | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Σχήμα 10.5 : Στοιχεία δραστηριοτήτων έργου

Στον πίνακα του σχήματος 10.5 συμπληρώνουμε , με την βοήθεια του πίνακα 10.1 , τις προκατόχους κάθε δραστηριότητας καθώς επίσης και τους αισιόδοξους a (minimum), πλέον πιθανούς m (most likely) και απαισιόδοξους b (maximum) χρόνους για κάθε δραστηριότητα. Η εφαρμογή αναλαμβάνει να υπολογίσει τις προκύπτουσα μέση τιμή για την χρονική διάρκεια κάθε δραστηριότητας (time days). Έτσι προκύπτει ο πίνακας το σχήματος 10.6. Στον πίνακα αυτό επιλέγοντας πλέον επίλυση (Solve), πραγματοποιούνται οι κατάλληλοι υπολογισμοί και προκύπτουν τα αποτελέσματα του σχήματος 10.7.

| Activity Data | | | | Activity Time Estimates | | | | | |
|---------------|-------|----------------|--------------|-------------------------|------|-------------|------|-----------|----------------|
| Critical | Name | Description | Predecessors | Color | Min. | Most Likely | Max. | Time Days | Activity Delay |
| 1 | Start | Activity Start | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | A | Activity A | | | 10 | 12 | 14 | 12 | 0 |
| 3 | B | Activity B | A | | 9 | 11 | 25 | 13 | 0 |
| 4 | C | Activity C | A | | 8 | 13 | 24 | 14 | 0 |
| 5 | D | Activity D | A | | 9 | 10 | 23 | 12 | 0 |
| 6 | E | Activity E | B | | 2 | 3 | 10 | 4 | 0 |
| 7 | F | Activity F | C | | 10 | 11 | 18 | 12 | 0 |
| 8 | G | Activity G | C D | | 8 | 11 | 26 | 13 | 0 |
| 9 | H | Activity H | D | | 3 | 4 | 5 | 4 | 0 |
| 10 | I | Activity I | G | | 4 | 6 | 20 | 8 | 0 |
| 11 | J | Activity J | F | | 8 | 10 | 18 | 11 | 0 |
| 12 | K | Activity K | J I | | 5 | 7 | 15 | 8 | 0 |
| 13 | L | Activity L | I H | | 1 | 2 | 3 | 2 | 0 |
| 14 | M | Activity M | E J | | 1 | 2 | 9 | 3 | 0 |
| 15 | N | Activity N | K L M | | 1 | 2 | 3 | 2 | 0 |
| 16 | End | Activity End | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

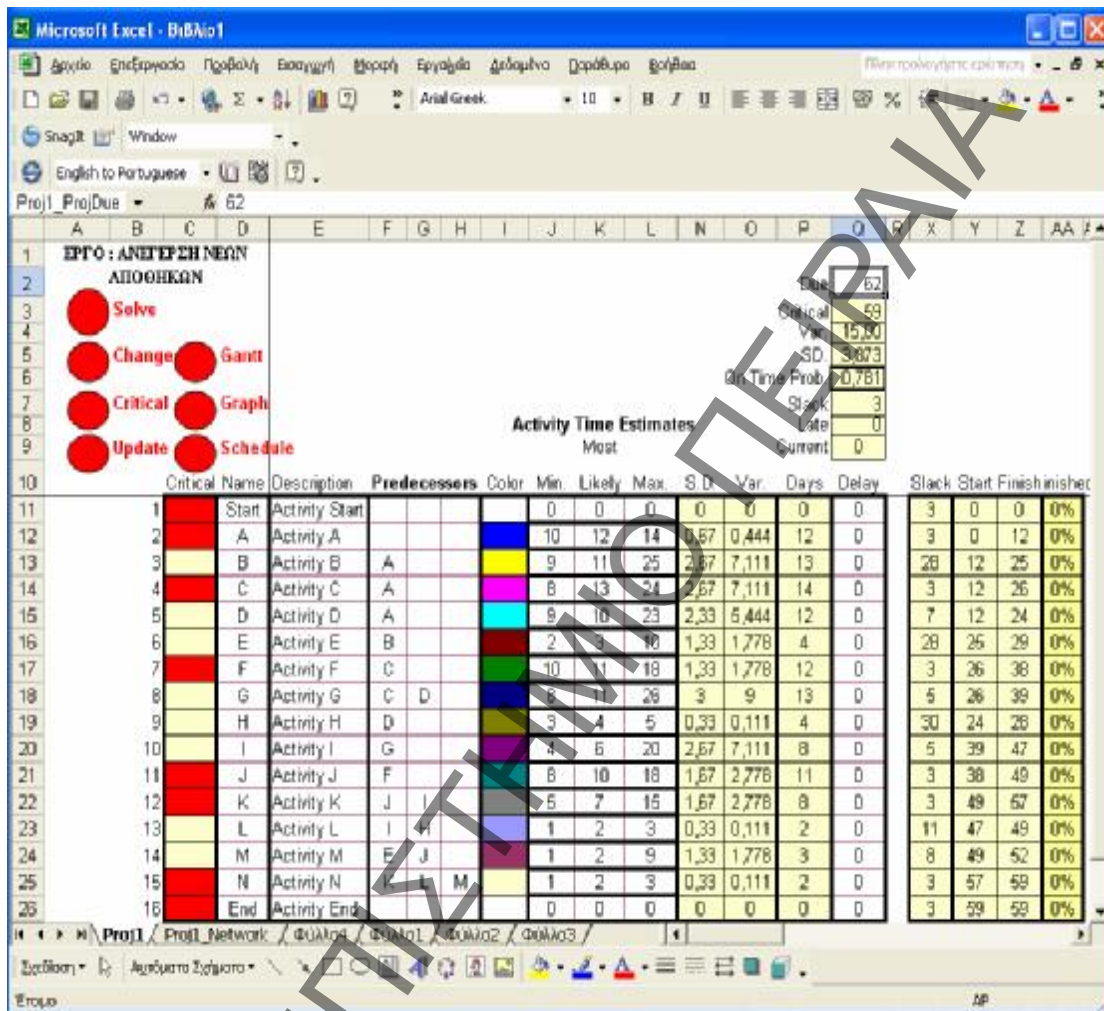
Σχήμα 10.6 : Συμπλήρωση στοιχείων δραστηριοτήτων έργου



Σχήμα 10.7 : Αποτελέσματα της μεθόδου PERT μέσω χρήσης H/Y

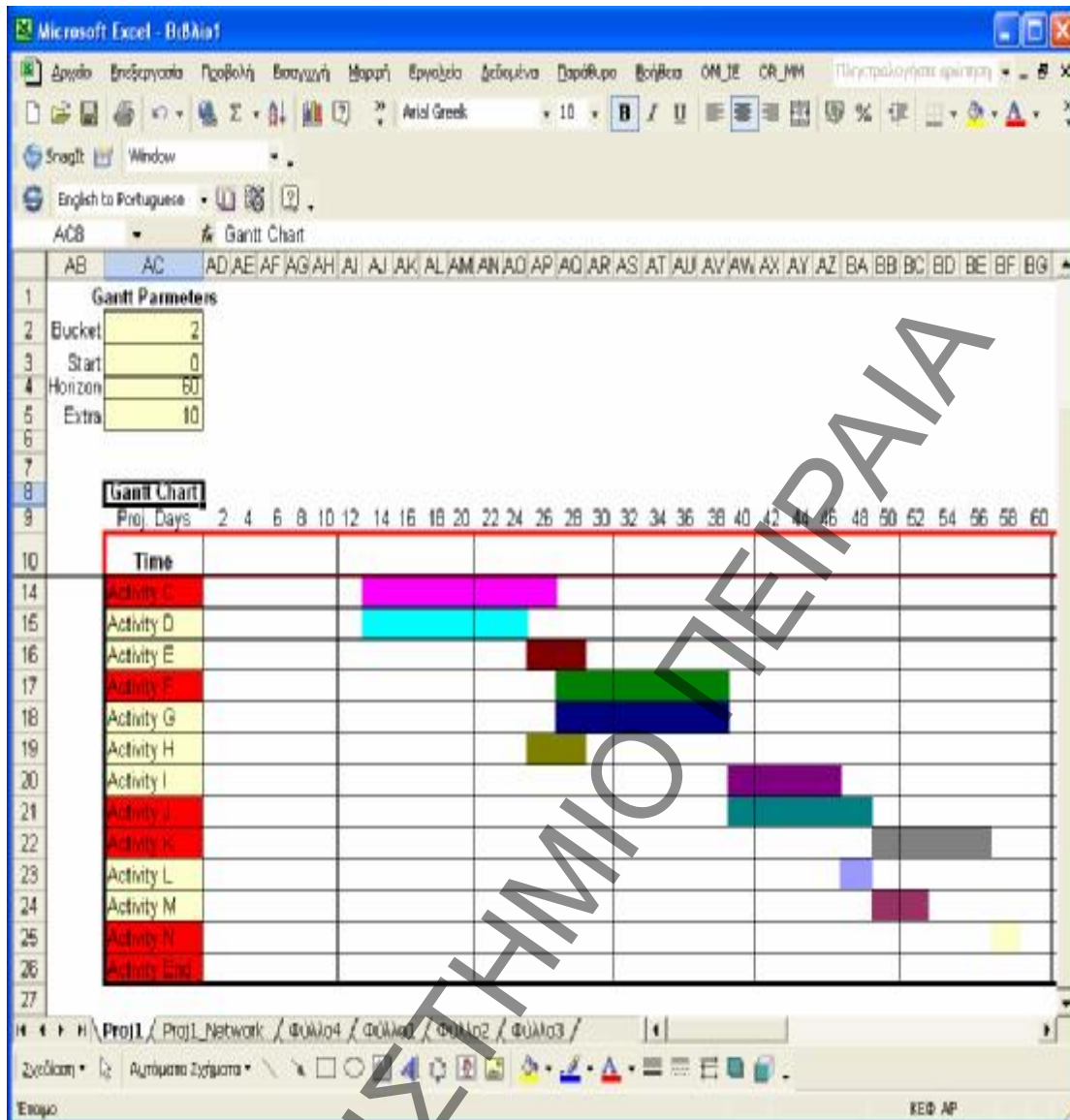
Στο σχήμα 10.7 μπορούμε να δούμε συνοπτικά όλα τα αποτελέσματα στα οποία καταλήξαμε με την μέθοδο PERT. Φαίνονται αναλυτικά η μέση τιμή (στήλη P), η τυπική απόκλιση (στήλη N) και η διακύμανση (στήλη O) κάθε δραστηριότητας, αλλά και το συνολικό περιθώριο χρόνου (στήλη X) καθώς και οι ενωρίτεροι χρόνοι έναρξης (στήλη Y) και λήξης (στήλη Z) κάθε δραστηριότητας. Στην στήλη C με κόκκινο φόντο παρουσιάζονται οι δραστηριότητες της κρίσιμης διαδρομής (A, C, F, J, K, N). Στο κελί Q3 παρουσιάζεται η μέση διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου (E = 59 ημέρες), ενώ στα κελιά Q4 και Q5 η διακύμανση ($V_T = 15$) και η τυπική απόκλιση ($V_T^{1/2} = 3.87$) που αντιστοιχούν στην χρονική διάρκεια αυτή. Τέλος με το κελί Q6 μπορούμε να υπολογίσουμε εύκολα την πιθανότητα ολοκλήρωσης του έργου σε δεδομένο χρονικό διάστημα απλά τοποθετώντας την χρονική αυτή τιμή στο κελί Q2.

Για παράδειγμα, για να βρεθεί η πιθανότητα ολοκλήρωσης του έργου το πολύ σε $x = 62$ ημέρες, αντικαθιστούμε στο κελί Q2 την τιμή $x = 62$ οπότε η πιθανότητα ολοκλήρωσης προκύπτει από το κελί Q6 και είναι $p = 0,781 = 78,1\%$ (σχήμα 10.8).



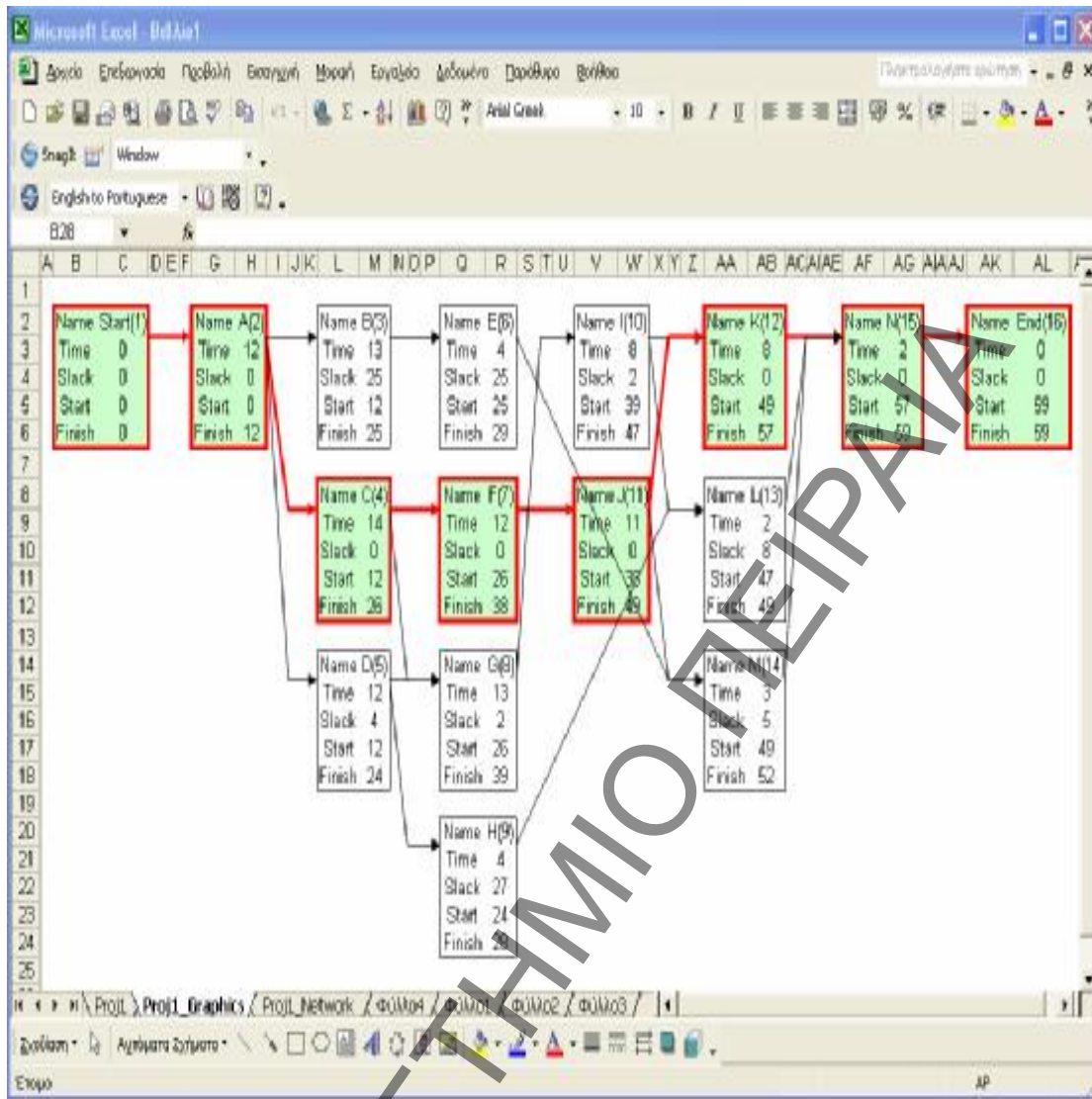
Σχήμα 10.8 : Υπολογισμός πιθανότητας έγκαιρης ολοκλήρωσης του έργου

Με την επιλογή Gantt που βρίσκεται στο επάνω και αριστερά μέρος του σχήματος 10.8 η εφαρμογή δημιουργεί το διάγραμμα Gantt του δικτύου (σχήμα 10.9) όπου και περιέχονται σημαντικές πληροφορίες για όλες τις δραστηριότητες του έργου όπως η μεταξύ τους συσχέτιση, οι προκάτοχες δραστηριότητες, αλλά και γενικές πληροφορίες όπως η κρίσιμη διαδρομή (δραστηριότητες με κόκκινο φόντο) και η μέση προβλεπόμενη διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου.



Σχήμα 10.9 : Διάγραμμα Gantt δικτύου

Τέλος με την επιλογή Graph (επάνω και αριστερά μέρος του σχήματος 10.8) δημιουργείται η τελική αναπαράσταση του δικτύου PERT (σχήμα 10.10) όπου και περιέχονται σημαντικές πληροφορίες για όλες τις δραστηριότητες του έργου όπως οι χρονικές διάρκειες αυτών (time), οι ενωρίτεροι χρόνοι έναρξης (start) και λήξης (finish), το συνολικό περιθώριο χρόνου (slack) αλλά και γενικές πληροφορίες όπως η κρίσιμη διαδρομή (κόκκινα βέλη) και η μέση προβλεπόμενη διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου.



Σχήμα 10.10 : Τελική αναπαράσταση δικτύου PERT μέσω χρήσης H/Y

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάστηκε η εφαρμογή της πιθανολογικής μεθόδου PERT μέσω χρήσης H/Y. Μέσω του Excel OM_IE Add – in επιλύθηκε ευκολότερα το δίκτυο του έργου και επιβεβαιώθηκαν τα αποτελέσματα των παραγράφων 10.3.1 έως 10.3.5. Σε επόμενη παράγραφο (10.4.3) η ίδια εφαρμογή θα χρησιμοποιηθεί για να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση Monte Carlo , που αναλύεται αμέσως μετά για το συγκεκριμένο τεχνικό έργο , καθώς στην περίπτωση της προσομοίωσης θεωρείται αναγκαία η χρήση H/Y για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.

10.4 Χρονοπρογραμματισμός έργου μέσω Προσομοίωσης Monte Carlo

Στο σημείο θα γίνει η επίλυση του δικτύου που αναλύθηκε πιο πάνω μέσω του αλγόριθμου Monte Carlo που αναπτύχθηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο 9. Οι μεταβλητές μας εδώ θα είναι οι χρονικές διάρκειες των δραστηριοτήτων που αντιπροσωπεύονται από στατιστικές κατανομές. Οι παράμετροι εξόδου είναι ουσιαστικά η χρονική διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου και οι χρονικές διάρκειες όλων των δραστηριοτήτων. Αρχικά θα παρουσιασθούν οι εξισώσεις στις οποίες στηρίζεται το μοντέλο της προσομοίωσης Monte Carlo ενώ στην συνέχεια θα καθορισθεί ο αριθμός των επαναλήψεων της προσομοίωσης καθώς και ο αριθμός των τυχαίων αριθμών που θα πρέπει να παραχθούν για το <<τρέξιμο>> του μοντέλου. Τέλος θα ακολουθήσει το τρέξιμο του μοντέλου μέσω χρήσης H/Y (Excel OM_IE και OR_MM add – ins) χρησιμοποιώντας διάφορες στατιστικές κατανομές για τις χρονικές διάρκειες των δραστηριοτήτων (ομοιόμορφη, τριγωνική και βήτα).

10.4.1 Δομή του μοντέλου Προσομοίωσης Monte Carlo.

Για να βρούμε τους ενωρίτερους και βραδύτερους χρόνους έναρξης και λήξης των δραστηριοτήτων του έργου ακολουθούμε την λογική των υπολογισμών που παρατέθηκαν στην παράγραφο 8.4.3 του κεφαλαίου 8. Για παράδειγμα εάν χρησιμοποιήσουμε την ομοιόμορφη κατανομή ως στατιστική κατανομή των χρονικών διαρκειών των δραστηριοτήτων, θα έχουμε για τον $E.X.E.B$:

$$EXE_B = EXE_A + X.A.A \text{ ή}$$

$$EXE_B = EXE_A + UNIF(10,14)$$

όπου η μεταβλητή “UNIF(10,14)” μεταβάλλεται σε κάθε διαφορετική επανάληψη και βρίσκεται με την βοήθεια της σχέσης $UNIF(L,U) = L + Y_i(U-L)$ που αναφέρθηκε στην παράγραφο 9.5.1, όπου L,U είναι οι αισιόδοξες και απαισιόδοξες χρονικές διάρκειες των δραστηριοτήτων A έως N. Να τονισθεί φυσικά πως η πιο πάνω σχέση χρησιμοποιείται μόνο για την περίπτωση της ομοιόμορφης κατανομής.

Αρχικά υπολογίζουμε τις Χρονικές Διάρκειες όλων των δραστηριοτήτων :

$$X.A.A = UNIF(10,14) = 10 + Y_1^* (14 - 10) = A$$

$$X.A.B = UNIF(9,25) = 9 + Y_2^* (25 - 9) = B$$

$$X.A.C = UNIF(8,24) = 8 + Y_3^* (24 - 8) = C$$

$$X.A.D = UNIF(9,23) = 9 + Y_4^* (23 - 9) = D$$

$$X.A.E = UNIF(2,10) = 2 + Y_5^* (10 - 2) = E$$

$$X.A.F = UNIF(10,18) = 10 + Y_6^* (18 - 10) = F$$

$$X.A.G = UNIF(8,26) = 8 + Y_7^* (26 - 8) = G$$

$$X.A.H = UNIF(3,5) = 3 + Y_8^* (5 - 3) = H$$

$$X.A.I = UNIF(4,20) = 4 + Y_9^* (20 - 4) = I$$

$$X.A.J = UNIF(8,18) = 8 + Y_{10}^* (18 - 8) = J$$

$$X.A.K = UNIF(5,15) = 5 + Y_{11}^* (15 - 5) = K$$

$$X.A.L = UNIF(1,3) = 1 + Y_{12}^* (3 - 1) = L$$

$$X.A.M = UNIF(1,9) = 1 + Y_{13}^* (9 - 1) = M$$

$$X.A.N = UNIF(1,3) = 1 + Y_{14}^* (3 - 1) = N$$

όπου Y_1, Y_2, \dots, Y_{14} είναι οι πρώτοι 14 τυχαίοι αριθμοί που θα παραχθούν από την γεννήτρια τυχαίων αριθμών ενώ με A, B, \dots, N συμβολίζονται οι $X.A.$ των δραστηριοτήτων Α έως Ν. Να σημειωθεί επίσης πως η πιο πάνω διαδικασία υπολογισμού των $X.A.$ επαναλαμβάνεται σε κάθε επανάληψη με διαφορετικά Y_i .

Με βάση τώρα τις χρονικές αυτές διάρκειες, οι οποίες θα είναι διαφορετικές σε κάθε επανάληψη καθώς θα παράγονται συνεχώς διαφορετικοί τυχαίοι αριθμοί Y_i , υπολογίζουμε τους ενωρίτερους και βραδύτερους χρόνους έναρξης και λήξης καθώς και το συνολικό περιθώριο χρόνου για κάθε δραστηριότητα με την βοήθεια των εξισώσεων της παραγράφου 10.3.3. Η μόνη διαφορά στους υπολογισμούς αυτούς είναι πως πλέον κάθε φορά που <<τρέχουμε>> το μοντέλο της προσομοίωσης θα μεταβάλλονται οι χρονικές διάρκειες των δραστηριοτήτων και κατά συνέπεια θα μεταβάλλονται και οι ενωρίτεροι και βραδύτεροι χρόνοι, τα συνολικά περιθώρια χρόνου, η κρίσιμη διαδρομή, η μέση διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου κ.λ.π. Για λόγους πληρότητας παραθέτονται αναλυτικά οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται.

Ενωρίτεροι Χρόνοι

A) Ενωρίτεροι Χρόνοι Έναρξης :

Η πρώτη δραστηριότητα του έργου, η οποία δεν έχει κάποια προαπαιτούμενη, είναι η δραστηριότητα A. Ως εκ τούτου ο Ενωρίτερος Χρόνος Έναρξης αυτής είναι η χρονική στιγμή 0. Με δεδομένο λοιπόν ότι $E.X.E_A = 0$ και ότι υπολογίζουμε, με τον τρόπο που αναφέρθηκε προηγουμένως, κάθε φορά που <<τρέχουμε>> το μοντέλο της προσομοίωσης τις χρονικές διάρκειες όλων των δραστηριοτήτων (δηλαδή $X_{\Delta A}$, $X_{\Delta B}$, ..., $X_{\Delta N}$ γνωστά), είναι δυνατόν να υπολογισθούν οι ενωρίτεροι χρόνοι έναρξης των δραστηριοτήτων ως εξής :

$$\underline{\text{Δραστηριότητα A}} : E.X.E_A = 0$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα B}} : E.X.E_B = E.X.E_A + X_{\Delta A}$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα C}} : E.X.E_C = E.X.E_A + X_{\Delta A}$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα D}} : E.X.E_D = E.X.E_A + X_{\Delta A}$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα E}} : E.X.E_E = E.X.E_B + X_{\Delta B}$$

Δραστηριότητα F : $E.X.E_F = E.X.E_C + X.\Delta_C$

Δραστηριότητα G : $E.X.E_G = \max \{ (E.X.E_C + X.\Delta_C), (E.X.E_D + X.\Delta_D) \}$

Δραστηριότητα H : $E.X.E_H = E.X.E_D + X.\Delta_D$

Δραστηριότητα I : $E.X.E_I = E.X.E_G + X.\Delta_G$

Δραστηριότητα J : $E.X.E_J = E.X.E_F + X.\Delta_F$

Δραστηριότητα K : $E.X.E_K = \max \{ (E.X.E_J + X.\Delta_J), (E.X.E_I + X.\Delta_I) \}$

Δραστηριότητα L : $E.X.E_L = \max \{ (E.X.E_H + X.\Delta_H), (E.X.E_I + X.\Delta_I) \}$

Δραστηριότητα M : $E.X.E_G = \max \{ (E.X.E_E + X.\Delta_E), (E.X.E_J + X.\Delta_J) \}$

Δραστηριότητα N : $E.X.E_G = \max \{ (E.X.E_K + X.\Delta_K), (E.X.E_L + X.\Delta_L), (E.X.E_M + X.\Delta_M) \}$

B) Ενωρίτεροι Χρόνοι Λήξης :

Δραστηριότητα A : $E.X.\Lambda_A = E.X.E_A + X.\Delta_A$

Δραστηριότητα B : $E.X.\Lambda_B = E.X.E_B + X.\Delta_B$

Δραστηριότητα C : $E.X.\Lambda_C = E.X.E_C + X.\Delta_C$

Δραστηριότητα D : $E.X.\Lambda_D = E.X.E_D + X.\Delta_D$

Δραστηριότητα E : $E.X.\Lambda_E = E.X.E_E + X.\Delta_E$

Δραστηριότητα F : $E.X.\Lambda_F = E.X.E_F + X.\Delta_F$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα G}} : E.X.A.G = E.X.E.G + X.A.G$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα H}} : E.X.A.H = E.X.E.H + X.A.H$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα I}} : E.X.A.I = E.X.E.I + X.A.I$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα J}} : E.X.A.J = E.X.E.J + X.A.J$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα K}} : E.X.A.K = E.X.E.K + X.A.K$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα L}} : E.X.A.L = E.X.E.L + X.A.L$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα M}} : E.X.A.M = E.X.E.M + X.A.M$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα N}} : E.X.A.N = E.X.E.N + X.A.N$$

Ο Ενωρίτερος Χρόνος Λήξης της δραστηριότητας N σηματοδοτεί και το πέρας του έργου. Δηλαδή εάν όλες οι δραστηριότητες ξεκινήσουν και ολοκληρωθούν έγκαιρα τότε το έργο προβλέπεται να ολοκληρωθεί σε $E.X.A.N$ ημέρες.

Βραδύτεροι Χρόνοι

A) Βραδύτεροι Χρόνοι Έναρξης :

Για να γίνουν ορθά οι υπολογισμοί των Βραδύτερων Χρόνων Λήξης των δραστηριοτήτων ξεκινάμε από την τελευταία δραστηριότητα N και πηγαίνουμε προς τα πίσω (N, M, L, M κ.ο.κ.).

$$\underline{\text{Δραστηριότητα N}} : B.X.E.N = E.X.A.N - X.A.N$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα M}} : B.X.E.M = B.X.E.N - X.A.M$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα L}} : B.X.E.L = B.X.E.N - X.A.L$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα K}} : B.X.E.K = B.X.E.N - X.Δ.K$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα J}} : B.X.E.J = \min\{(B.X.E.K - X.Δ.J), (B.X.E.M - X.Δ.J)\}$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα I}} : B.X.E.I = \min\{(B.X.E.K - X.Δ.I), (B.X.E.L - X.Δ.I)\}$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα H}} : B.X.E.H = B.X.E.L - X.Δ.H$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα G}} : B.X.E.G = B.X.E.I - X.Δ.G$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα F}} : B.X.E.F = B.X.E.J - X.Δ.F$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα E}} : B.X.E.E = B.X.E.M - X.Δ.E$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα D}} : B.X.E.D = \min\{(B.X.E.G - X.Δ.D), (B.X.E.H - X.Δ.D)\}$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα C}} : B.X.E.C = \min\{(B.X.E.F - X.Δ.C), (B.X.E.G - X.Δ.C)\}$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα B}} : B.X.E.B = B.X.E.E - X.Δ.B$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα A}} : B.X.E.A = \min\{(B.X.E.B - X.Δ.A), (B.X.E.C - X.Δ.A), (B.X.E.D - X.Δ.A)\}$$

B) Βραδύτεροι Χρόνοι Αήξης :

$$\underline{\text{Δραστηριότητα N}} : B.X.Λ.N = B.X.E.N + X.Δ.N$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα M}} : B.X.Λ.M = B.X.E.M + X.Δ.M$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα L}} : B.X.Λ.L = B.X.E.L + X.Δ.L$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα K}} : B.X.Λ.K = B.X.E.K + X.Δ.K$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα J}} : B.X.\Lambda_{.J} = B.X.E_{.J} + X.\Delta_{.J}$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα I}} : B.X.\Lambda_{.I} = B.X.E_{.I} + X.\Delta_{.I}$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα H}} : B.X.\Lambda_{.H} = B.X.E_{.H} + X.\Delta_{.H}$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα G}} : B.X.\Lambda_{.G} = B.X.E_{.G} + X.\Delta_{.G}$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα F}} : B.X.\Lambda_{.F} = B.X.E_{.F} + X.\Delta_{.F}$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα E}} : B.X.\Lambda_{.E} = B.X.E_{.E} + X.\Delta_{.E}$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα D}} : B.X.\Lambda_{.D} = B.X.E_{.D} + X.\Delta_{.D}$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα C}} : B.X.\Lambda_{.C} = B.X.E_{.C} + X.\Delta_{.C}$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα B}} : B.X.\Lambda_{.B} = B.X.E_{.B} + X.\Delta_{.B}$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα A}} : B.X.\Lambda_{.A} = B.X.E_{.A} + X.\Delta_{.A}$$

Συνολικά Περιθώρια Χρόνου

Το Συνολικό Περιθώριο Χρόνου για κάθε δραστηριότητα i , δίνεται από την σχέση :

$$\Sigma\Pi X_i = B X \Lambda_i - E X \Lambda_i = B X E_i - E X E_i$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα A}} : \Sigma.\Pi.X_{.A} = B.X.\Lambda_{.A} - E.X.\Lambda_{.A}$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα B}} : \Sigma.\Pi.X_{.B} = B.X.\Lambda_{.B} - E.X.\Lambda_{.B}$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα C}} : \Sigma.\Pi.X_{.C} = B.X.\Lambda_{.C} - E.X.\Lambda_{.C}$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα D}} : \Sigma.\Pi.X._D = B.X.\Lambda._D - E.X.\Lambda._D$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα E}} : \Sigma.\Pi.X._E = B.X.\Lambda._E - E.X.\Lambda._E$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα F}} : \Sigma.\Pi.X._F = B.X.\Lambda._F - E.X.\Lambda._F$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα G}} : \Sigma.\Pi.X._G = B.X.\Lambda._G - E.X.\Lambda._G$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα H}} : \Sigma.\Pi.X._H = B.X.\Lambda._H - E.X.\Lambda._H$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα I}} : \Sigma.\Pi.X._I = B.X.\Lambda._I - E.X.\Lambda._I$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα J}} : \Sigma.\Pi.X._J = B.X.\Lambda._J - E.X.\Lambda._J$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα K}} : \Sigma.\Pi.X._K = B.X.\Lambda._K - E.X.\Lambda._K$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα L}} : \Sigma.\Pi.X._L = B.X.\Lambda._L - E.X.\Lambda._L$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα M}} : \Sigma.\Pi.X._M = B.X.\Lambda._M - E.X.\Lambda._M$$

$$\underline{\text{Δραστηριότητα N}} : \Sigma.\Pi.X._N = B.X.\Lambda._N - E.X.\Lambda._N$$

Να τονισθεί εδώ πως όλοι οι προηγούμενοι υπολογισμοί επαναλαμβάνονται κάθε φορά που <<τρέχουμε>> το μοντέλο της προσομοίωσης με διαφορετικά αποτελέσματα κάθε φορά, τα οποία εξαρτώνται από τους παραγόμενους τυχαίους αριθμούς. Δεδομένου όμως του μεγάλου αριθμού των μεταβλητών στο συγκεκριμένο παράδειγμα αλλά και του μικρού στατιστικού σφάλματος που θέλουμε να επιτύχουμε, τόσο ο αριθμός των τυχαίων αριθμών που πρέπει να παραχθούν όσο και ο αριθμός των επαναλήψεων της προσομοίωσης είναι ιδιαίτερα μεγάλος. Ως εκ τούτου τα αποτελέσματα από την επίλυση του δικτύου του έργου μέσω της μεθόδου της προσομοίωσης Monte Carlo θα παρατεθούν σε επόμενη παράγραφο (10.4.3.), όπου υλοποιείται η μέθοδος με την βοήθεια H/Y που καθιστά την διαδικασία απλούστερη παρά τον μεγάλο αριθμό των αναγκαίων επαναλήψεων.

10.4.2. Προσδιορισμός αριθμού επαναλήψεων – Παραγωγή τυχαίων αριθμών

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 9.5.1, με βάση το S.E.M. που θέλουμε να επιτύχουμε, μπορούμε να υπολογίσουμε τον απαιτούμενο αριθμό των επαναλήψεων της διαδικασίας της προσομοίωσης χρησιμοποιώντας την επόμενη σχέση :

$$n = \frac{S^2}{(S.E.M.)^2}$$

όπου S (ή $V_T^{1/2}$) η τυπική απόκλιση της υπό εξέταση μεταβλητής και n ο αριθμός των επαναλήψεων της προσομοίωσης. Εάν υποθέσουμε πως μας ικανοποιεί ένα S.E.M του 1 % και χρησιμοποιήσουμε παράλληλα την τυπική απόκλιση ($V_T^{1/2} = 3.87$) που αντιστοιχεί στην μέση διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου, όπως αυτή προέκυψε με την μέθοδο PERT, μπορούμε να υπολογίσουμε προσεγγιστικά τον αριθμό των επαναλήψεων που πρέπει να πραγματοποιηθούν ώστε να έχουμε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Είναι :

$$n = \frac{(3.87)^2}{(0.01)^2}$$

ή

$$n = \frac{(3.87)^2}{(0.01)^2}$$

ή

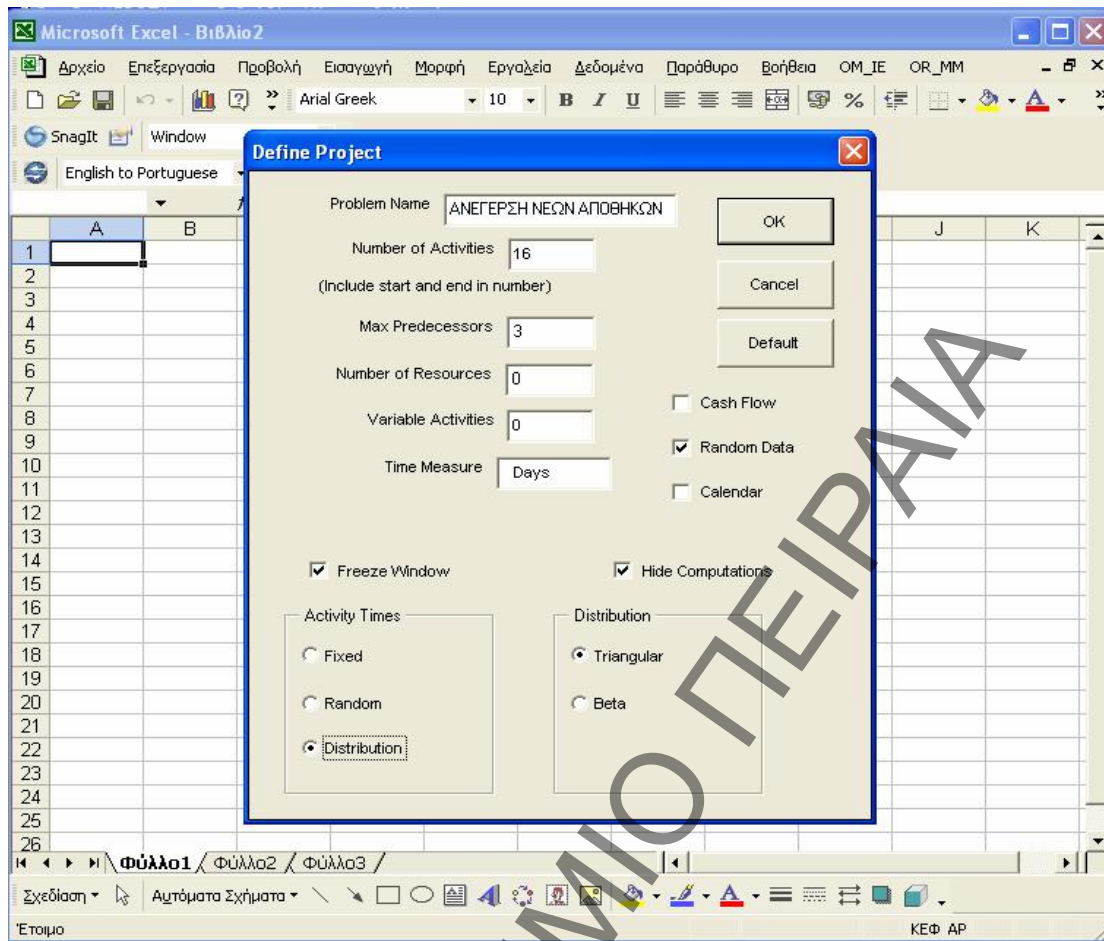
$$n = 149.769 \approx 150.000$$

Στην προηγούμενη παράγραφο είδαμε πως σε κάθε επανάληψη είναι απαραίτητο να παράγουμε 14 τυχαίους αριθμούς όσες δηλαδή και οι χρονικές διάρκειες των δραστηριοτήτων. Ως εκ τούτου για περίπου 150.000 επαναλήψεις, απαιτείται η παραγωγή $x = (150.000) * 14 = 2.100.000$ τυχαίων αριθμών. Είναι φανερό πως προκύπτει ένας τεράστιος αριθμός επαναλήψεων και τυχαίων αριθμών. Πρακτικά η προσομοίωση μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο μέσω χρήσης H/Y, όπως θα αναπτυχθεί στην επόμενη παράγραφο.

10.4.3. Προσομοίωση Monte Carlo και χρήση H/Y

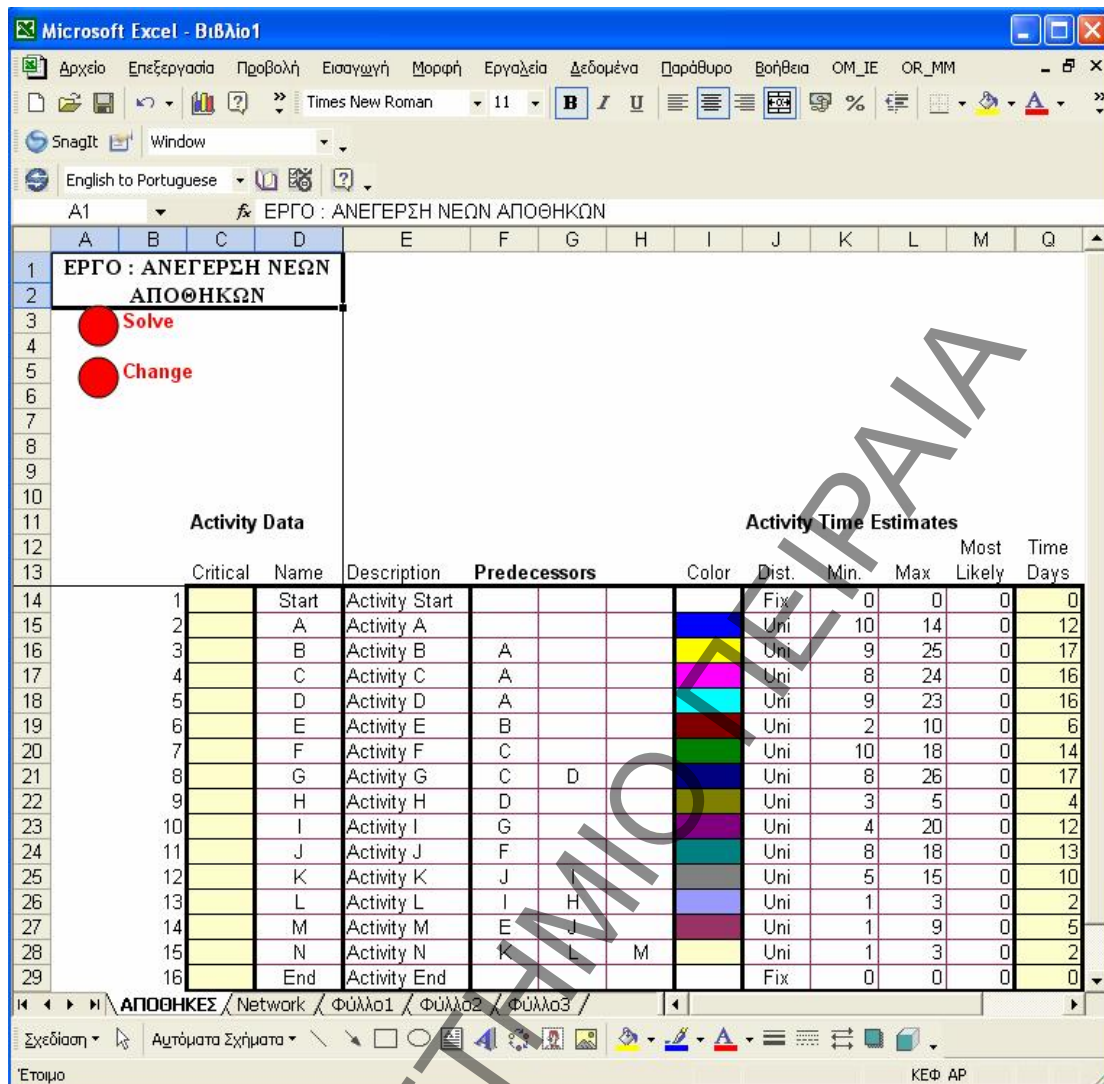
Όπως και κατά τον χρονοπρογραμματισμό του δικτύου με την πιθανολογική μέθοδο PERT , θα χρησιμοποιηθεί το “Excel Add – in for Operations Management – Industrial Engineering⁵² (OM_IE Add – in)” το οποίο υποστηρίζει και την προσομοίωση Monte Carlo. Όπως έχει τονισθεί, ο μεγάλος αριθμός των απαιτούμενων επαναλήψεων και των απαραίτητων τυχαίων αριθμών καθιστά επιτακτική την ανάγκη για χρήση H/Y στην περίπτωση της προσομοίωσης. Η διαδικασία που ακολουθείται εδώ είναι ανάλογη αυτής που αναλύεται στην παράγραφο 10.3.6. Για να ξεκινήσει η εφαρμογή ανοίγουμε ένα νέο φύλλο στο Excel και (αφού έχει εγκατασταθεί προηγουμένως κατάλληλα το OM_IE Add – in) επιλέγουμε OM_IE (σχήμα 10.2) και στην συνέχεια New Problem (Νέο Πρόβλημα) όπως φαίνεται στο σχήμα 10.3. Στην συνέχεια , στην καρτέλα που εμφανίζεται (Define Project) , δίνονται τα απαραίτητα στοιχεία που αφορούν το έργο (σχήμα 10.4), όπως ο αριθμός των δραστηριοτήτων (Number of Activities), ο μέγιστος αριθμός προκατόχων δραστηριοτήτων (Max Predecessors) , οι μονάδες μέτρησης του χρόνου (Time Measure) καθώς και μια επιλογή που αφορά τους χρόνους των δραστηριοτήτων (Activity Times).

Αυτή την φορά για να εκτελέσουμε την προσομοίωση Monte Carlo, στην επιλογή των Activity Times επιλέγουμε Distribution (Κατανομή). Έτσι η καρτέλα του σχήματος 10.4 αλλάζει και παίρνει την μορφή του σχήματος 10.11 που ακολουθεί στην επόμενη σελίδα. Στο σχήμα αυτό βλέπουμε πως έχει ενεργοποιηθεί πλέον η επιλογή Distribution, με αποτέλεσμα να ενεργοποιηθούν και οι δυο νέες επιλογές Triangular (Τριγωνική Κατανομή) και Beta (Κατανομή Βήτα). Η εφαρμογή έχει δηλαδή δυο προεπιλεγμένες τιμές οσον αφορά την κατανομή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει την κατανομή των μεταβλητών του προβλήματος (χρονικών διαρκειών). Παρόλα αυτά στην συνέχεια θα δούμε πως εάν θέλουμε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε έναν σαφώς μεγαλύτερο αριθμό κατανομών για να προσεγγίσουμε με ακρίβεια την εμπειρική κατανομή που ακολουθούν τα δεδομένα μας. Στην περίπτωση της Διοίκησης Έργου για την προσέγγιση της κατανομής των χρονικών διαρκειών χρησιμοποιούνται κυρίως η ομοιόμορφη και η τριγωνική κατανομή και με αυτές θα εργασθούμε στην συνέχεια.



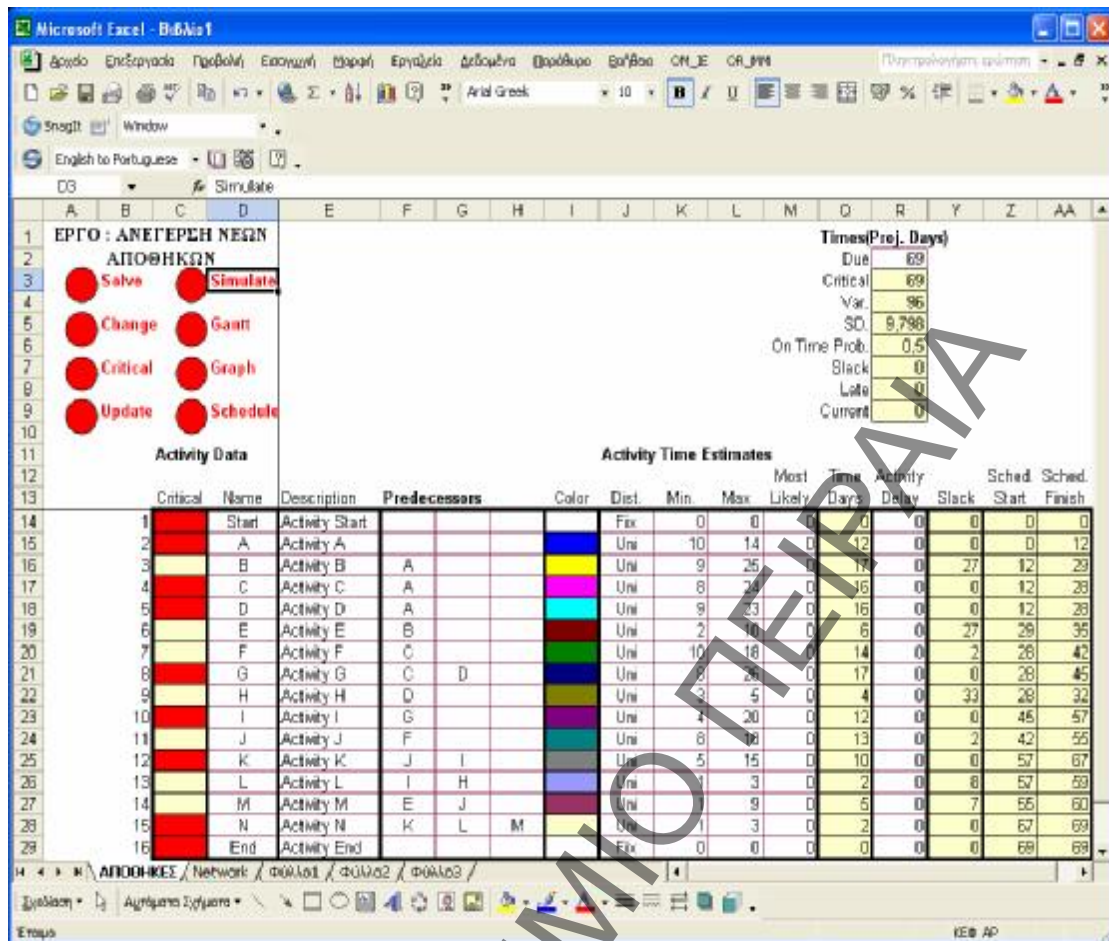
Σχήμα 10.11 : Καθορισμός παραμέτρων του έργου (Προσομοίωση Monte Carlo)

Στην άνω καρτέλα (Define Project) επιλέγουμε ως κατανομή την τριγωνική, την οποία, όπως θα δούμε, μπορούμε να αλλάξουμε στην συνέχεια. Αφού πατήσουμε OK η εφαρμογή δημιουργεί τον πίνακα του επόμενου σχήματος 10.12. Ο πίνακας αυτός είναι αντίστοιχος του πίνακα του σχήματος 10.5 που είχε δημιουργηθεί κατά την επίλυση του δικτύου μέσω της μεθόδου PERT. Στις στήλες F, G, H τοποθετούμε τις προκατόχους κάθε δραστηριότητας ενώ στην στήλη J την κατανομή την οποία θα επιλέξουμε ως κατάλληλη για να περιγράψει την κατανομή των μεταβλητών του προβλήματος. Η κατανομή με την οποία θα εργασθούμε στο παράδειγμα αυτό είναι η *ομοιόμορφη*, η οποία χρησιμοποιείται ευρύτατα στην πράξη, αν και όπως έχει αναφερθεί συχνά χρησιμοποιούνται επίσης τόσο η κατανομή Βήτα όσο και η τριγωνική κατανομή. Έτσι σε όλα τα κελιά της στήλης J επιλέγουμε *Uni* (Uniform Distribution). Τέλος στις στήλες K και L συμπληρώνουμε τις ελάχιστες (a) και μέγιστες (b) χρονικές διάρκειες του πίνακα 10.1, δηλαδή τις ακραίες τιμές L,U της ομοιόμορφης κατανομής, και τελικά προκύπτει ο πίνακας του σχήματος 10.12.



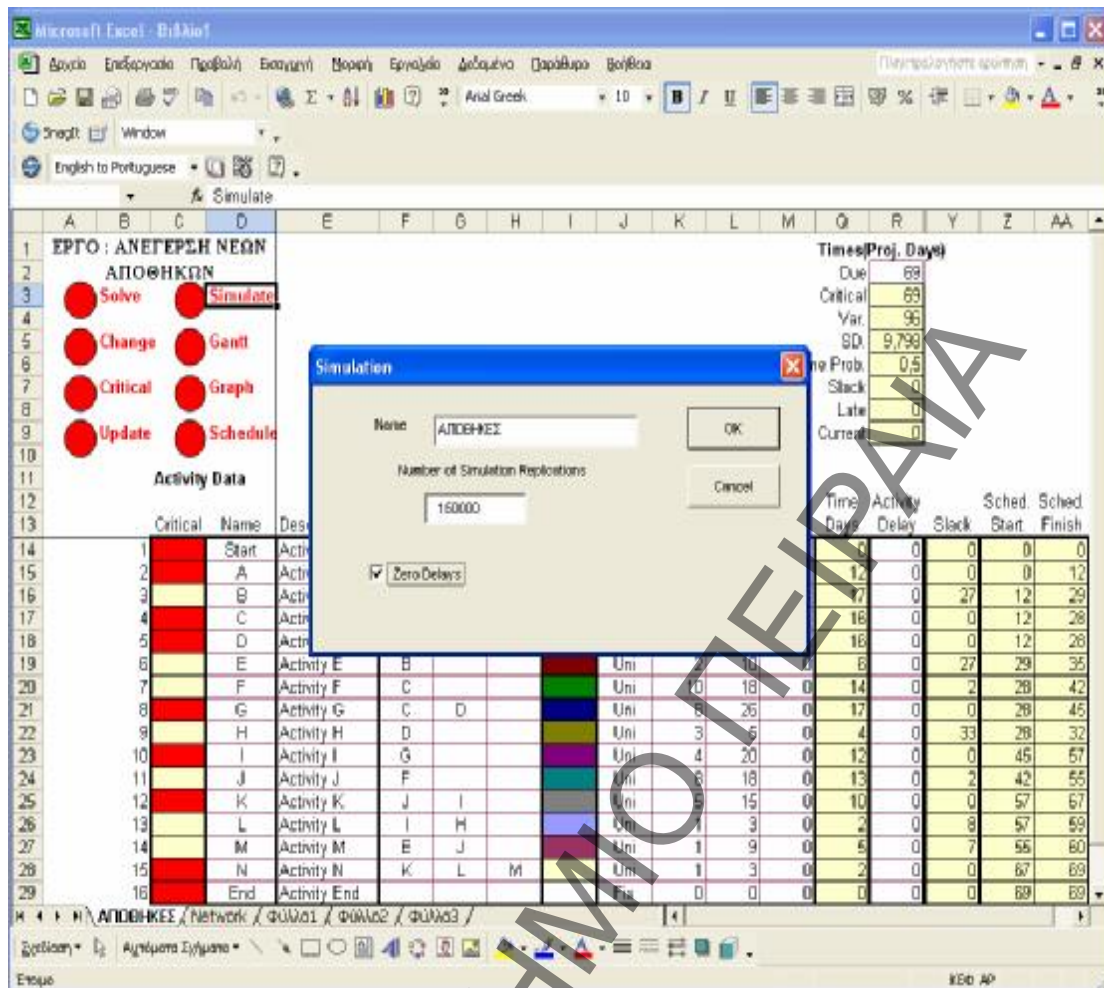
Σχήμα 10.12 : Στοιχεία δραστηριοτήτων έργου και χρησιμοποιούμενη κατανομή

Έχοντας συμπληρώσει τον άνω πίνακα, επιλέγουμε Solve (επίλυση). Με τον τρόπο αυτό γίνεται μια αρχική επίλυση του δικτύου με την εφαρμογή να χρησιμοποιεί ως χρονικές διάρκειες τις μέσες τιμές των δύο ακραίων τιμών a και b κάθε δραστηριότητας. Όμως εμφανίζεται επιπλέον η επιλογή Simulate (προσομοίωση) που αφορά την εκκίνηση της μεθόδου Monte Carlo (σχήμα 10.13). Μέσω της επιλογής αυτής η εφαρμογή θα παραγάγει τον αναγκαίο αριθμό τυχαίων αριθμών για τις μεταβλητές μας έτσι ώστε να τρέξει το μοντέλο της προσομοίωσης όσες φορές επιθυμούμε. Όπως είδαμε στην παράγραφο 10.4.2 για να έχει η προσομοίωση ικανοποιητικά αποτελέσματα, από πλευράς σφάλματος, πρέπει να παραχθούν συνολικά 2.100.000 τυχαίοι αριθμοί ώστε να «τρέξει» το μοντέλο της προσομοίωσης περίπου 150.000 φορές.



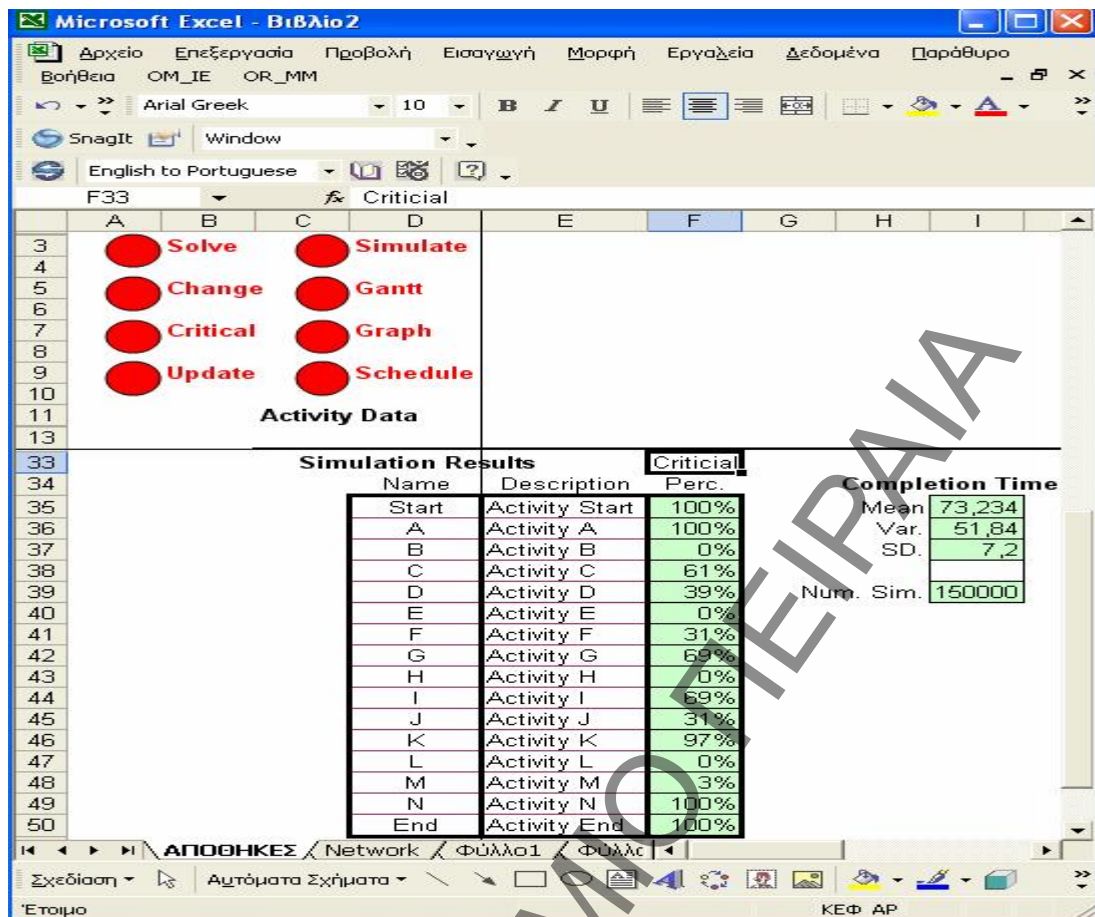
Σχήμα 10.13 : Επιλογή προσομοίωσης Monte Carlo

Στο σχήμα 10.13 επιλέγουμε Simulate ώστε να ξεκινήσει η διαδικασία της προσομοίωσης. Πριν όμως ξεκινήσει η διαδικασία αυτή θα πρέπει να καθορίσουμε κάποιες βασικές παραμέτρους (σχήμα 10.14) που αφορούν στην προσομοίωση. Στην νέα αυτή καρτέλα που εμφανίζεται (Simulation), πέρα από το όνομα που δίνουμε στην προσομοίωση (ΑΠΟΘΗΚΕΣ) καθορίζουμε τον αριθμό των επαναλήψεων της προσομοίωσης ενώ επιλέγουμε και zero delays (μηδενικές καθυστερήσεις). Ως εκ τούτου στην επιλογή Number of Simulation Replications (Αριθμός Επαναλήψεων Προσομοίωσης) τοποθετούμε τη τιμή 150.000 που υπολογίστηκε στην παράγραφο 10.4.2. Στην συνέχεια επιλέγοντας OK η εφαρμογή θα παραγάγει τον αναγκαίο αριθμό τυχαίων αριθμών ώστε να μπορέσει να <<τρέξει>> το μοντέλο της προσομοίωσης 150.000 φορές. Παρά το γεγονός ότι δεν γίνεται αντιληπτό από τον χρήστη πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί της παραγράφου 10.4.1 150.000 φορές και προκύπτουν κάθε φορά διαφορετικά αποτελέσματα.



Σχήμα 10.14 : Παράμετροι προσομοίωσης Monte Carlo

Κάθε φορά που «τρέχει» το μοντέλο μας χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τυχαίοι αριθμοί και κατά συνέπεια προκύπτουν διαφορετικές τιμές για την χρονική διάρκεια κάθε δραστηριότητας. Ως εκ τούτου προκύπτει και διαφορετική μέση διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου και αντίστοιχη τυπική απόκλιση αλλά και, υπό συνθήκες, διαφορετική κρίσιμη διαδρομή. Η εφαρμογή αναλαμβάνει να υπολογίσει, για το πλήθος των επαναλήψεων, την τελική μέση διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου και την τυπική απόκλιση που αντιστοιχεί σε αυτή, χρησιμοποιώντας τις επιμέρους μέσες διάρκειες ολοκλήρωσης του έργου που προκύπτουν κάθε φορά που «τρέχουμε» το μοντέλο. Επιπλέον η εφαρμογή δημιουργεί και έναν πίνακα κρίσιμων δραστηριοτήτων, όπου αναφέρεται η πιθανότητα κάθε δραστηριότητας να βρεθεί στην κρίσιμη διαδρομή, η οποία καθορίζεται από την συχνότητα εμφάνισης της εκάστοτε δραστηριότητας στην κρίσιμη διαδρομή στις 150.000 φορές που «έτρεξε» το μοντέλο. Όλα αυτά παρουσιάζονται στο σχήμα 10.15.



Σχήμα 10.15 : Αποτελέσματα προσομοίωσης Monte Carlo

Στο σημείο αυτό φαίνεται ξεκάθαρα η διαφορετικότητα των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης Monte Carlo σε σχέση με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της πιθανολογικής μεθόδου PERT. Έχει αναφερθεί επανειλημμένα πως η μέθοδος PERT είναι από τις πλέον κατάλληλες μεθόδους για την Διοίκηση Έργου αλλά οδηγεί στον υπολογισμό μιας αισιόδοξης εκτίμησης της μέσης διάρκειας του έργου σε σχέση με την πραγματική μέση διάρκεια (*'merge event bias' problem*). Εδώ αυτό φαίνεται ξεκάθαρα. Ενώ με την μέθοδο PERT είχε προβλεφθεί μια μέση διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου $E = 59$ ημέρες εδώ βλέπουμε πως η μέση διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου προκύπτει $E' \approx 73$ ημέρες, ενώ και η τυπική απόκλιση προκύπτει σαφώς μεγαλύτερη ($V_T^{1/2}$)' = 7,2 ημέρες (έναντι $V_T^{1/2} = 3,87$ ημέρες). Δηλαδή μέσω της προσομοίωσης Monte Carlo έχουμε αποτελέσματα που είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα. Ταυτόχρονα οι δραστηριότητες που εμφανίζουν υψηλότερη πιθανότητα συμμετοχής στην κρίσιμη διαδρομή είναι πλέον οι : A ($p_A = 100\%$), C ($p_C = 61\%$), G ($p_G = 69\%$), I ($p_I = 69\%$), K ($p_K = 97\%$), και N ($p_N = 100\%$).

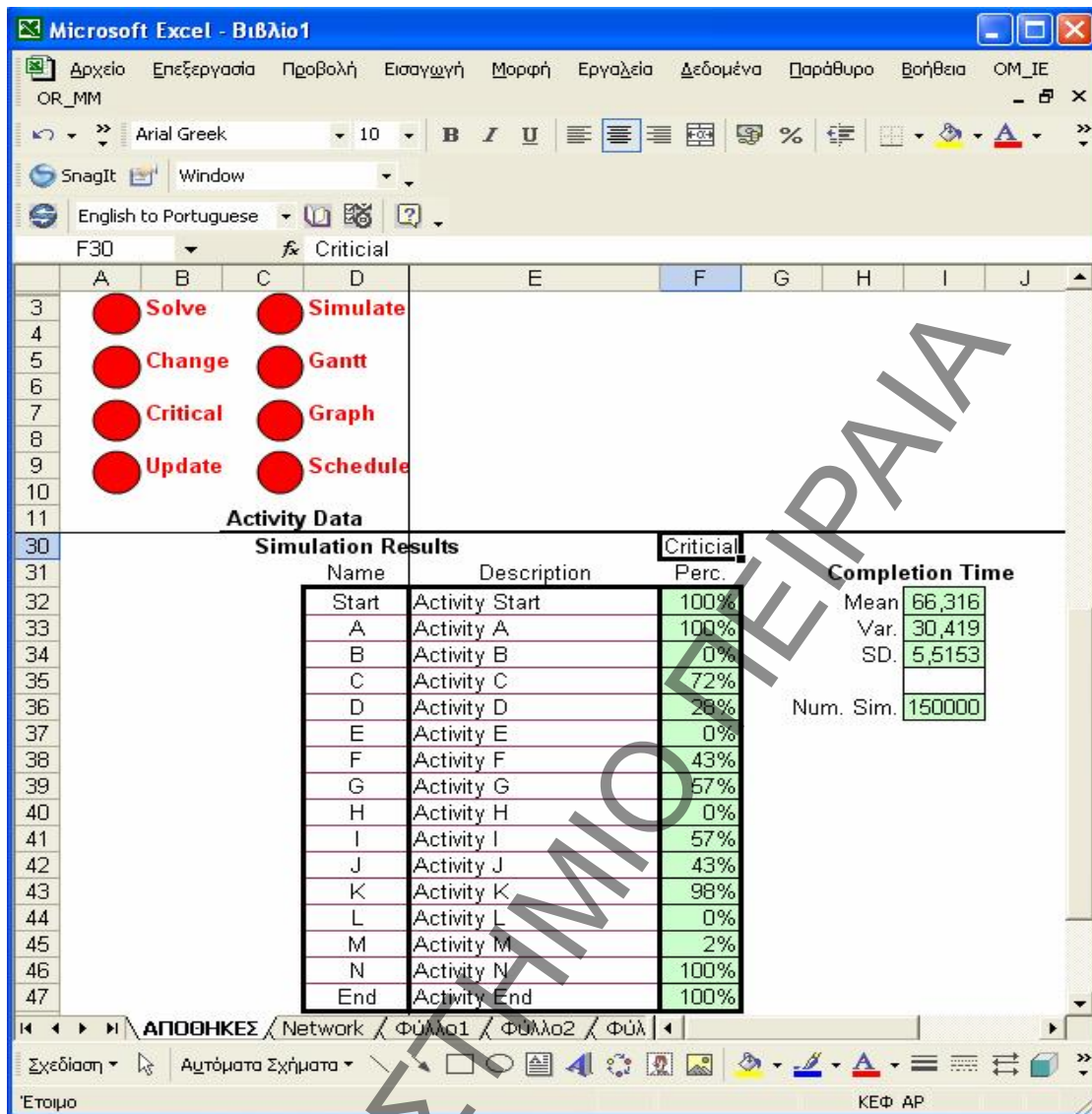
%) ενώ η μέθοδος PERT λάμβανε ως κρίσιμη διαδρομή την A, C, F, J, K, N αψηφώντας την κρισιμότητα άλλων δραστηριοτήτων που μπορεί να είχαν μεν μη μηδενικά συνολικά περιθώρια χρόνου αλλά ταυτόχρονα είχαν και ιδιαίτερα υψηλές διακυμάνσεις όσον αφορά τις χρονικές διάρκειες τους. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι οι δραστηριότητες G και I οι οποίες παρουσίαζαν Σ.Π.Χ. = 2 όμως όπως είδαμε με την μέθοδο Monte Carlo, στο 69 % των περιπτώσεων εμφανίσθηκαν στην κρίσιμη διαδρομή λόγω υψηλότερης διακύμανσης που παρουσίαζαν οι χρονικές διάρκειες αυτών από τις αντίστοιχες χρονικές διάρκειες των δραστηριοτήτων F, J. Οπότε, υπό μια έννοια, οι G και I θεωρούνται πιο κρίσιμες δραστηριότητες από τις F, J.

Εάν θέλουμε επιπλέον, να υπολογίσουμε την πιθανότητα ολοκλήρωσης του έργου σε $x = 62$ ημέρες όπως έγινε και με την μέθοδο PERT μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε

και πάλι την γνωστή σχέση $Z = \frac{(x - E)}{(V_T)^{1/2}}$ και τον πίνακα 8.4. Με τις νέες τιμές που

έχουν προκύψει θα έχουμε μια πιθανότητα ολοκλήρωσης του έργου σε 62 ημέρες μόνο 6,7 % έναντι 78,1 % που προέκυψε με την μέθοδο PERT. Αντίστοιχα εάν θέλουμε να βρούμε το χρονικό διάστημα εκείνο μέσα στο οποίο το έργο θα έχει ολοκληρωθεί με πιθανότητα π.χ. 95 %, εργαζόμαστε ως εξής. Αρχικά υπολογίζουμε την σταθερά Z η οποία αντιστοιχεί σε πιθανότητα ολοκλήρωσης 95 % (πίνακας 8.4) και στην συνέχεια χρησιμοποιούμε την πιο πάνω σχέση λύνοντας ως προς x. Για πιθανότητα ολοκλήρωσης 95 % προκύπτει $Z = 1.65$. Οπότε μέσω της σχέσης $x = Z \cdot (V_T)^{1/2} + E$, προκύπτει τελικά $x = 85$ ημέρες (έναντι 65,4 ημερών που είχε προκύψει με την μέθοδο PERT).

Τέλος, να αναφερθεί πως πέρα από την ομοιόμορφη κατανομή που χρησιμοποιήθηκε για την συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλες κατανομές. Εάν επαναλάβουμε την διαδικασία της προσομοίωσης χρησιμοποιώντας αυτή την φορά κάποια άλλη κατανομή οι τιμές που θα προκύψουν θα διαφέρουν μεν από τις προηγούμενες αλλά θα είναι σαφώς μεγαλύτερες των αισιόδοξων τιμών που προέκυψαν με την παραδοσιακή μέθοδο PERT. Για παράδειγμα εάν <<τρέξουμε>> το μοντέλο μας χρησιμοποιώντας την *τριγωνική* κατανομή, η οποία λαμβάνει υπόψη και την πλέον πιθανή τιμή m των χρονικών διαρκειών των δραστηριοτήτων, προκύπτει το αποτέλεσμα του σχήματος 10.16.



Σχήμα 10.16 : Αποτελέσματα προσομοίωσης Monte Carlo (Τριγωνική κατανομή)

Βλέπουμε πως εδώ προκύπτει μέση διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου $E' \approx 66$ ημέρες και αντίστοιχη τυπική απόκλιση $V_T^{1/2} = 5,5$ ημέρες, τιμές και πάλι μεγαλύτερες των αντίστοιχων της μεθόδου PERT. Ταυτόχρονα οι δραστηριότητες που εμφανίζουν υψηλότερη πιθανότητα συμμετοχής στην κρίσιμη διαδρομή είναι πλέον οι : A ($p_A = 100\%$), C ($p_C = 72\%$), G ($p_G = 57\%$), I ($p_I = 57\%$), K ($p_K = 98\%$), και N ($p_N = 100\%$), τιμές που προσεγγίζουν τις τιμές που προέκυψαν με χρήση της ομοιόμορφης κατανομής κατά την προσομοίωση Monte Carlo. Τέλος η πιθανότητα έγκαιρης ολοκλήρωσης (σε $x = 62$ ημέρες) του έργου προκύπτει μόλις $p'' = 23,5\%$

Να πούμε τέλος πως η κατανομή που θα χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει την κατανομή των μεταβλητών του προβλήματος εξαρτάται από διάφορους παράγοντες , όπως για παράδειγμα η προηγούμενη εμπειρία σε πρακτικά προβλήματα, η φύση του ως προς προσομοίωση συστήματος και του προβλήματος που καλούμαστε να επιλύσουμε ή ακόμη και η μορφή των εκάστοτε μεταβλητών (για παράδειγμα το γεγονός ότι η χρονική διάρκεια μιας δραστηριότητας δεν μπορεί να πάρει αρνητική τιμή ή την τιμή μηδέν αποκλείει την χρήση κάποιων κατανομών κ.λπ.). Γενικά ο καταλληλότερος τρόπος για να επιλέξουμε την κατάλληλη κατανομή που περιγράφει ιδανικά την κατανομή των δεδομένων μας είναι να γίνει μια συσχέτιση του ληφθέντος δείγματος (της μορφής δηλαδή του ιστογράμματος των παρατηρήσεων του δείγματος) με την μορφή κάποιας γνωστής θεωρητικής κατανομής. Παρόλα αυτά η ανάπτυξη συγκεκριμένων τεχνικών που να περιγράφουν με συνέπεια την συγκεκριμένη διαδικασία είναι πέρα από τους σκοπούς της εργασίας αυτής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11° :

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ PERT ΚΑΙ MONTE CARLO SIMULATION ΣΤΗΝ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΡΓΟΥ

11.1 Διαφορές των μεθόδων PERT / Monte Carlo Simulation

Όπως είδαμε και στα προηγούμενα κεφάλαια τόσο η πιθανολογική μέθοδος PERT όσο και η μέθοδος της προσομοίωσης Monte Carlo αποτελούν δύο σημαντικά εργαλεία για την Διοίκηση Έργου. Και οι δύο μέθοδοι βασίζονται στην θεωρία των πιθανοτήτων και της στατιστικής και έχουν ως σκοπό να οδηγήσουν στον σωστό χρονοπρογραμματισμό των έργων που έχει υπό την επίβλεψη του ο Project Manager. Μέσω των δύο αυτών μη ντετερμινιστικών μεθόδων μπορεί ουσιαστικά να εκτελεσθεί μια εκτενής ανάλυση αβεβαιότητας για το έργο που έχει αναλάβει να φέρει εις πέρας μια επιχείρηση, ώστε τελικά να είναι διαθέσιμα για λήψη σωστών αποφάσεων όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικά στοιχεία για την πορεία του έργου. Όπως αναφέρθηκε στην πορεία της εργασίας, οι δυο μέθοδοι έχουν αρκετά μη κοινά χαρακτηριστικά και αποτελούν ουσιαστικά δυο διαφορετικές προσεγγίσεις, με αποτέλεσμα να δίνουν συχνά διαφορετικά αποτελέσματα. Στην συνέχεια θα γίνει μια προσπάθεια σύγκρισης των μεθόδων σε θεωρητικό επίπεδο, ενώ στην επόμενη παράγραφο θα συγκριθούν τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων όπως αυτά προέκυψαν από την μελέτη περίπτωσης του κεφαλαίου 10.

Πιθανολογική μέθοδος PERT : Στα προηγούμενα κεφάλαια είδαμε πως η πιθανολογική προσέγγιση PERT παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με την ντετερμινιστική μέθοδο CPM καθώς χρησιμοποιεί κάποια κατάλληλη κατανομή (συνήθως την κατανομή Βήτα) και υπολογίζει την μέση τιμή και την διακύμανση για κάθε δραστηριότητα, λαμβάνοντας ουσιαστικά υπόψη την πιθανή μεταβλητότητα στην οποία υπόκεινται συχνά οι χρονικές διάρκειες των διαφόρων δραστηριοτήτων.

Όμως χρησιμοποιώντας τις μέσες τιμές που προκύπτουν , και με την βοήθεια του Κ. Ο. Θ. , καταλήγει στον υπολογισμό μιας ντετερμινιστικής τιμής για την αναμενόμενη μέση διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου. Παράλληλα, τόσο στον υπολογισμό της αναμενόμενης διάρκειας ολοκλήρωσης του έργου όσο και στον καθορισμό της κρίσιμης διαδρομής δεν λαμβάνονται υπόψη οι διακυμάνσεις των χρονικών διαρκειών των δραστηριοτήτων. Συγκεκριμένα στην κρίσιμη διαδρομή ανήκουν μόνο οι δραστηριότητες εκείνες που παρουσιάζουν μηδενικό Συνολικό Περιθώριο Χρόνου. Ως εκ τούτου δραστηριότητες που θα μπορούσαν να χαρακτηρισθούν κρίσιμες λόγω της μεγάλης διακύμανσης που παρουσιάζουν στον χρόνο εκτέλεσης τους ή λόγω χαμηλού Σ.Π.Χ., δεν εμπεριέχονται στην κρίσιμη διαδρομή και έτσι δεν δίνεται σε αυτές η απαραίτητη προσοχή τόσο κατά τον προγραμματισμό όσο και κατά την εκτέλεση του έργου.

Επιπλέον το γεγονός ότι κατά τους υπολογισμούς που πραγματοποιούνται στην μέθοδο PERT χρησιμοποιείται μόνο η μέση τιμή των δραστηριοτήτων για να φθάσουμε στην κρίσιμη διαδρομή, οδηγεί στον υπολογισμό μιας *αισιόδοξης* εκτίμησης της μέσης διάρκειας του έργου σε σχέση με την πραγματική μέση διάρκεια (πρόβλημα *'merge event bias'*).

Όσον αφορά στην μέθοδο PERT, ένα ερωτηματικό αποτελεί και το κατά πόσο μπορούμε να υποθέσουμε πως οι δραστηριότητες από τις οποίες απαρτίζεται το έργο είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Τέλος όσον αφορά την εφαρμογή του Κ. Ο. Θ. τίθεται ένα ερώτημα σε σχέση με την ισχύ αυτού στις περιπτώσεις όπου ο αριθμός των δραστηριοτήτων της κρίσιμης διαδρομής είναι σχετικά μικρός.

Προσομοίωση Monte Carlo : Με την χρήση της προσομοίωσης Monte Carlo , όπως είδαμε , μπορούμε να φθάσουμε σε ασφαλή αποτελέσματα επιλύοντας κάποια προβλήματα που εμφανίζονται στις μεθόδους CPM και PERT και χωρίς να απαιτείται να καταφύγουμε σε υποθέσεις υποκείμενες σε αμφισβητήσεις. Είδαμε για παράδειγμα, πως αντιμετωπίζεται το πρόβλημα *'merge event bias'* καθώς η εκτίμηση της διάρκειας ολοκλήρωσης του έργου δεν υπολογίζεται με βάση τις μέσες τιμές των χρονικών διαρκειών των δραστηριοτήτων. Με τον τρόπο αυτό προκύπτει τελικά μια πιο ρεαλιστική εκτίμηση σε σχέση με την *αισιόδοξη* εκτίμηση της μεθόδου PERT.

Επιπλέον με την μέθοδο Monte Carlo εισήχθηκε και η έννοια της κρίσιμης δραστηριότητας καθώς είδαμε πως είναι δυνατόν να υπολογισθούν οι πιθανότητες εμφάνισης της κάθε δραστηριότητας στην κρίσιμη διαδρομή και ως εκ τούτου να καταρτίσουμε μια κατάταξη κρισιμότητας των δραστηριοτήτων ανεξάρτητα με το ποιες από αυτές βρίσκονται στην κρίσιμη διαδρομή. Ουσιαστικά δηλαδή καταρρίπτεται η άποψη ότι υπάρχει μόνο μια κρίσιμη διαδρομή, αφού όπως είδαμε μέσω της προσομοίωσης περισσότερα από ένα μονοπάτια μπορεί να είναι κρίσιμα ανάλογα με τις χρονικές διάρκειες των δραστηριοτήτων που θα εμφανισθούν στην πράξη. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα και σε εκείνες τις δραστηριότητες που μπορεί να μην βρίσκονται μεν στην βασική κρίσιμη διαδρομή αλλά , έχοντας υψηλό δείκτη κρισιμότητας (υψηλή πιθανότητα εμφάνισης στην κρίσιμη διαδρομή) , να είναι ιδιαίτερα πιθανό να καθυστερήσουν την πορεία του έργου. Τέλος ιδιαίτερα σημαντικό είναι πως με την τεχνική της προσομοίωσης Monte Carlo δεν είναι απαραίτητο να καταφύγουμε σε υποθέσεις όπως της εφαρμογής του Κ. Ο. Θ. ή της ανεξαρτησίας των δραστηριοτήτων, που πολλές φορές ισχύουν μόνο προσεγγιστικά και οδηγούν σε αποτελέσματα που αποκλίνουν από τα πραγματικά.

11.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων των δυο μεθόδων

Στο κεφάλαιο 10 πραγματοποιήθηκε μια μελέτη περίπτωσης χρονοπρογραμματισμού ενός τεχνικού έργου στο οποίο εφαρμόστηκαν και οι δυο διαφορετικές προσεγγίσεις. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν επιβεβαιώνουν τα όσα αναφέρονται στην προηγούμενη παράγραφο καθώς όντως η μέθοδος PERT φαίνεται να καταλήγει σε αρκετά πιο αισιόδοξα αποτελέσματα από την προσομοίωση Monte Carlo, ενώ ακόμη και η εκτιμώμενη κρίσιμη διαδρομή του δικτύου είναι διαφορετική στις δύο περιπτώσεις. Δραστηριότητες , δηλαδή , οι οποίες παρουσιάζουν υψηλή διακύμανση στην χρονική τους διάρκεια δεν θεωρούνται κρίσιμες με βάση την μέθοδο PERT, ενώ αντίθετα η μέθοδος της προσομοίωσης Monte Carlo τις λαμβάνει ως κρίσιμες δραστηριότητες. Αμέσως μετά γίνεται παράθεση των αποτελεσμάτων των δυο μεθόδων και πραγματοποιείται μια προσπάθεια σύγκρισης αυτών.

Εκτιμώμενη μέση διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου

Στις παραγράφους 10.3.4 και 10.3.6 μέσω της μεθόδου PERT είχε προβλεφθεί μια μέση διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου $E = 59$ ημέρες με μια αντίστοιχη τυπική απόκλιση $V_T^{1/2} = 3,87$ ημέρες. Αντίθετα από την παράγραφο 10.4.3 προκύπτει ότι η προσομοίωση Monte Carlo , με χρησιμοποίηση της ομοιόμορφης κατανομής , δίνει μια εκτιμώμενη μέση διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου $E' \approx 73$ ημέρες, ενώ και η τυπική απόκλιση προκύπτει σαφώς μεγαλύτερη : $(V_T^{1/2})' = 7,2$ ημέρες. Ακόμη και στην περίπτωση που χρησιμοποιήσουμε την τριγωνική κατανομή αντί της ομοιόμορφης, τα προκύπτοντα αποτελέσματα είναι : $E'' \approx 66$ ημέρες και $(V_T^{1/2})'' = 5,5$ ημέρες, δηλαδή τιμές και πάλι μεγαλύτερες των αντίστοιχων της μεθόδου PERT. Τα αποτελέσματα αυτά παρατίθενται αναλυτικά στον επόμενο πίνακα.

| Πίνακας 11.1 : Εκτιμώμενος χρόνος ολοκλήρωσης του έργου | | | |
|--|---------------------|--|---|
| | Μέθοδος PERT | Προσομοίωση Monte Carlo (Ομοιόμορφη Κατανομή) | Προσομοίωση Monte Carlo (Τριγωνική Κατανομή) |
| Μέση Τιμή E (ημέρες) | 59 | 73 | 66 |
| Τυπική Απόκλιση V_t (ημέρες) | 3,87 | 7,2 | 5,5 |

Πιθανότητα έγκαιρης ολοκλήρωσης του έργου

Από την εφαρμογή της πιθανολογικής μεθόδου PERT (παράγραφοι 10.3.4 και 10.3.6) προκύπτει ότι η πιθανότητα ολοκλήρωσης και παράδοσης του έργου χωρίς καθυστέρηση (σε $x = 62$ ημέρες) προκύπτει ίση με $p = 78,1\%$. Αντίθετα , μέσω της προσομοίωσης Monte Carlo , οι αντίστοιχες προκύπτουσες πιθανότητες (παράγραφος 10.4.3) είναι μόλις $p' = 6,7 \%$ και $p'' = 23,5 \%$. Η μεγάλη απόκλιση μεταξύ των τιμών αυτών παρουσιάζεται και στον πίνακα 11.2.

| Πίνακας 11.2 : Πιθανότητα έγκαιρης ολοκλήρωσης του έργου | | | |
|---|---------------------|--|---|
| | Μέθοδος PERT | Προσομοίωση Monte Carlo (Ομοιόμορφη Κατανομή) | Προσομοίωση Monte Carlo (Τριγωνική Κατανομή) |
| Πιθανότητα έγκαιρης ολοκλήρωσης του έργου | 78,10% | 6,70% | 23,50% |

Είναι φανερό δηλαδή και από τον προηγούμενο πίνακα ότι και όσον αφορά την πιθανότητα έγκαιρης ολοκλήρωσης του έργου, η πιθανολογική μέθοδος PERT δίνει σαφώς πιο αισιόδοξα αποτελέσματα σε σχέση τουλάχιστον με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά την προσομοίωση. Φυσικά αυτό είναι κάτι αναμενόμενο καθώς έχει ήδη αναφερθεί σε θεωρητικό επίπεδο πως συχνά η μέθοδος PERT , κυρίως λόγω των αρκετών υποθέσεων στις οποίες στηρίζεται , δίνει προσεγγιστικά αποτελέσματα. Το πρόβλημα αυτό φαίνεται να λύνει η μέθοδος της προσομοίωσης Monte Carlo.

Κρίσιμη Διαδρομή

Τέλος , όσον αφορά στην κρίσιμη διαδρομή , η μέθοδος PERT καταλήγει σε μια κρίσιμη διαδρομή, για τον καθορισμό της οποίας δεν λαμβάνονται υπόψη οι διακυμάνσεις των χρονικών διαρκειών και τα Συνολικά Περιθώρια Χρόνου των επιμέρους δραστηριοτήτων του έργου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα δραστηριότητες που θα μπορούσαν να χαρακτηρισθούν κρίσιμες λόγω της μεγάλης διακύμανσης που παρουσιάζουν στον χρόνο εκτέλεσης τους, να μην συμπεριλαμβάνονται στην κρίσιμη διαδρομή. Πιο συγκεκριμένα με την μέθοδο PERT προκύπτει ως κρίσιμη η διαδρομή A, C, E, J, K, N, ενώ δεν θεωρούνται κρίσιμες δραστηριότητες όπως οι G και I οι οποίες παρουσίαζαν $\Sigma.Π.Χ. = 2$ και ταυτόχρονα υψηλές συγκριτικά διακυμάνσεις ($\sigma_G = 3$ ημέρες και $\sigma_I = 2,66$ ημέρες). Αντίθετα οι μέθοδος της προσομοίωσης , εισάγοντας την έννοια της κρίσιμης δραστηριότητας , θεωρεί και στις δυο περιπτώσεις τις δραστηριότητες αυτές κρίσιμες και τις συμπεριλαμβάνει στην κρίσιμη διαδρομή. Στον πίνακα 11.3 παρουσιάζονται οι εκτιμώμενες κρίσιμες διαδρομές των δυο μεθόδων.

| Πίνακας 11.3 : Εκτιμώμενη κρίσιμη διαδρομή | | | |
|---|---------------------|--|---|
| | Μέθοδος PERT | Προσομοίωση Monte Carlo (Ομοιόμορφη Κατανομή) | Προσομοίωση Monte Carlo (Τριγωνική Κατανομή) |
| Κρίσιμη Διαδρομή | A, C, F, J, K, N | A, C, G, I, K, N | A, C, G, I, K, N |

Να τονισθεί εδώ πως στην περίπτωση της επίλυσης του δικτύου μέσω προσομοίωσης ουσιαστικά δεν υπάρχει μόνο μια κρίσιμη διαδρομή, αλλά η κρισιμότητα κάθε διαδρομής καθορίζεται από το πόσο κρίσιμες είναι οι δραστηριότητες που την απαρτίζουν. Έτσι στον πίνακα 11.3 απλά παρατίθεται εκείνη η διαδρομή που εμπεριέχει τις πιο κρίσιμες δραστηριότητες. Η δε κρισιμότητα κάθε δραστηριότητας καθορίζεται από την συχνότητα εμφάνισης της κάθε δραστηριότητας στην κρίσιμη διαδρομή, κάθε φορά που <<τρέχουμε>> το μοντέλο της προσομοίωσης. Οι πιθανότητες εμφάνισης κάθε δραστηριότητας στην κρίσιμη διαδρομή έχουν υπολογισθεί (σχήματα 10.15 και 10.16) ενώ παρατίθενται συγκεντρωτικά και στον επόμενο πίνακα.

| Πίνακας 11.4 : Πιθανότητα εμφάνισης δραστηριοτήτων στην κρίσιμη διαδρομή (Προσομοίωση Monte Carlo) | | |
|---|----------------------------|---------------------------|
| Δραστηριότητα | Ομοιόμορφη Κατανομή | Τριγωνική Κατανομή |
| A | 100% | 100% |
| B | 0% | 0% |
| C | 61% | 72% |
| D | 39% | 28% |
| E | 0% | 0% |
| F | 31% | 43% |
| G | 69% | 57% |
| H | 0% | 0% |
| I | 69% | 57% |
| J | 31% | 43% |
| K | 97% | 98% |
| L | 0% | 0% |
| M | 3% | 2% |
| N | 100% | 100% |

11.3 Συμπεράσματα από την σύγκριση των αποτελεσμάτων

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω αποτελέσματα πρέπει να τονισθεί η διαφορετικότητα των αποτελεσμάτων των δυο προσεγγίσεων τόσο όσον αφορά την εκτιμώμενη μέση διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου, όσο την πιθανότητα έγκαιρης ολοκλήρωσης και παράδοσης του έργου αλλά και την εκτιμώμενη κρίσιμη διαδρομή. Είναι φανερό πως τα αποτελέσματα της μεθόδου PERT είναι αρκετά πιο αισιόδοξα από τα αντίστοιχα της μεθόδου προσομοίωσης Monte Carlo. Τόσο η διοίκηση μιας επιχείρησης όσο και ο Project Manager θα προτιμούσαν τα αποτελέσματα της προσέγγισης PERT. Τα αποτελέσματα των δυο μεθόδων δεν διαφέρουν στην πράξη όσο αρχικά κανείς υποθέτει με βάση τους πιο πάνω πίνακες. Όμως είναι αναγκαίο σε μια επιχείρηση να υπάρχουν όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικά και συγκεκριμένα στοιχεία ώστε να είναι καθίσταται αποδοτικότερη η διαδικασία της λήψης αποφάσεων.

Ως εκ τούτου το ερώτημα που πρέπει να απαντηθεί είναι το ποια από τις δύο μεθόδους προσεγγίζει περισσότερο την πραγματικότητα. Στο ερώτημα αυτό δεν μπορεί να δοθεί μια συγκεκριμένη απάντηση, όμως παρόλα αυτά φαίνεται πως η μέθοδος της προσομοίωσης Monte Carlo είναι πιο κοντά σε αυτή. Η πιθανολογική προσέγγιση PERT αποτελεί μια παραδοσιακή μέθοδο χρονοπρογραμματισμού, όμως δεν είναι λίγες οι έρευνες που αποκαλύπτουν ότι ένα μεγάλο ποσοστό (μεγαλύτερο του 75 %) των έργων που αναλαμβάνουν οι επιχειρήσεις, και διαχειρίζονται με παραδοσιακές μεθόδους, ολοκληρώνεται εκτός των αρχικά συμφωνηθέντων χρονικών ορίων. Επιπλέον η μέθοδος PERT όπως αναφέραμε τόσο στην αρχή του κεφαλαίου όσο και στην παράγραφο 8.5 στηρίζεται σε ένα πλήθος υποθέσεων που πρέπει να ισχύουν ώστε να είναι εφαρμόσιμη σε όλες τις περιπτώσεις. Όπως είναι φυσικό συχνά κάποια από τις προϋποθέσεις εφαρμογής της μεθόδου ισχύει μόνο προσεγγιστικά με αποτέλεσμα και τα αποτελέσματα που προκύπτουν να μην προσεγγίζουν πλήρως την πραγματικότητα. Η μέθοδος Monte Carlo Simulation δεν στηρίζεται σε παρόμοιες υποθέσεις και ως εκ τούτου τα αποτελέσματα αυτής δείχνουν να είναι πιο ρεαλιστικά και δεν φαίνεται να αποκλίνουν από την πραγματικότητα

Μπορούμε , τέλος , να αναφέρουμε συγκεντρωτικά ορισμένα από τα πλεονεκτήματα που φαίνεται να έχει η προσομοίωση Monte Carlo σε σχέση με την πιθανολογική μέθοδο PERT. Η προσομοίωση Monte Carlo :

- § Εξετάζει περισσότερες από μια κρίσιμες διαδρομές
- § Εισάγει την έννοια της κρίσιμης δραστηριότητας, δίνοντας την δυνατότητα δημιουργίας μιας κατάταξης κρισιμότητας των επιμέρους δραστηριοτήτων.
- § Δεν στηρίζεται σε υποθέσεις, η ισχύς των οποίων να τίθεται υπό αμφισβήτηση.
- § Δύναται να χρησιμοποιήσει διάφορες κατανομές για τις χρονικές διάρκειες των δραστηριοτήτων σε αντίθεση με την μέθοδο PERT που χρησιμοποιεί αποκλειστικά την Κατανομή Βήτα.
- § Είναι δυνατόν πέρα του χρονοπρογραμματισμού να πραγματοποιηθεί και τόσο προγραμματισμός ανθρωπίνων πόρων όσο και κόστους του έργου.
- § Δίνει την δυνατότητα εκτέλεσης ανάλυσης ευαισθησίας.

11.4 Ερευνητικές περιοχές για τις δυο μεθόδους

Όπως είδαμε αναφέρθησαν στην προηγούμενη παράγραφο τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την σύγκριση των αποτελεσμάτων των δυο μεθόδων καθώς και οι λόγοι για τους οποίους η Monte Carlo Simulation δείχνει να είναι πιο αξιόπιστη ως μέθοδος. Παρόλα αυτά δεν μπορεί κανείς με απόλυτη σιγουριά να αποφανθεί για την χρησιμότητα των δυο προσεγγίσεων συγκρίνοντας τα αποτελέσματα μιας και μόνο μελέτης περίπτωσης. Για να υπάρξουν πιο ουσιαστικά συμπεράσματα για την ακρίβεια, την χρησιμότητα αλλά και το εύρος εφαρμογής των δυο προσεγγίσεων είναι απαραίτητο να γίνουν μελέτες σε ερευνητικό επίπεδο προς δυο κατευθύνσεις :

- 1) Να πραγματοποιηθούν πολλαπλές ανάλογες μελέτες περιπτώσεων χρονοπρογραμματισμού και διαχείρισης έργων όπου τα πραγματικά αποτελέσματα που θα προκύψουν , μετά την ολοκλήρωση των έργων ,

θα συγκριθούν με τις εκτιμήσεις των δυο μεθόδων (PERT / Monte Carlo Simulation) με αποτέλεσμα από τις αποκλίσεις των εκτιμώμενων από τις πραγματικές τιμές να προκύψει ένα μέτρο της αποδοτικότητας και της ακρίβειας των δυο μεθόδων. Φυσικά για να υπάρξουν σφαιρικά αποτελέσματα είναι απαραίτητο τα έργα που θα μελετηθούν να αφορούν διάφορους τομείς ή κλάδους (π.χ. κατασκευαστικά / τεχνικά έργα, έργα πληροφορικής, έργα στον τομέα των υπηρεσιών κ.λ.π.).

- 2) Να πραγματοποιηθεί έρευνα σε βάθος όσον αφορά στις προϋποθέσεις εφαρμογής αλλά και στα υπό αμφισβήτηση σημεία της μεθόδου PERT, ώστε να είναι ξεκάθαρο το εύρος εφαρμογής αυτής. Βέβαια , μέχρι σήμερα , δεν είναι λίγοι οι συγγραφείς που έχουν ασχοληθεί με το θέμα αυτό (π.χ. ‘merge event bias’ problem – Clark²⁸, Moder⁴¹ κ.λ.π.) όμως δεν έχει καθορισθεί ένα συγκεκριμένο πεδίο εφαρμογής της μεθόδου καθώς και μια δομημένη μεθοδολογία επίλυσης των περιπτώσεων όπου η μέθοδος δεν μπορεί να εφαρμοσθεί. Να τονισθεί φυσικά πως όλα τα παραπάνω αποτελούν καθαρά ερευνητικό έργο και ξεφεύγουν από τον σκοπό της συγκεκριμένης εργασίας.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Δημητριάδης Α. , "Διοίκηση / Διαχείριση Έργου – Μεθοδολογία και Τεχνικές Εφαρμογές με το MS-Project 98" , Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, 1999
2. ΕΛΟΤ EN ISO 8402, "Διαχείριση της ποιότητας και Διασφάλιση της ποιότητας - Λεξιλόγιο", ΕΛΟΤ, 1996
3. Κέφης Β., "Ολοκληρωμένο Μάνατζμεντ : Βασικές Αρχές Για Σύγχρονες Οικονομικές Μονάδες", Εκδόσεις Κριτική, 2005
4. Κοκολάκης Γ. & Σπηλιώτης Ι., "Εισαγωγή στην Θεωρία Πιθανοτήτων και Στατιστική", Εκδόσεις Συμεών, 1999
5. Λεώπουλος Β., Ασκήσεις Μαθήματος "Προγραμματισμός και Έλεγχος Παραγωγής Ι", Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο , 2000
6. Μιχιώτης Α. & Πάππης Κ., Σημειώσεις Μαθήματος "Διοίκηση Έργων", Πανεπιστήμιο Πειραιά, 2003, (www.tex.unipi.gr/master/env/notes/3rd_semester/Dioikisi_ergon/PM_Methods)
7. Ξηρόκωστας Δ. Σημειώσεις Μαθήματος "Επιχειρησιακή Έρευνα", Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2000
8. Παναγιωτακόπουλος Δ., "Εφαρμογές Πιθανοτήτων και Στατιστικής στη Μελέτη και Προγραμματισμό Τεχνικών Έργων", Εκδόσεις Κυριακίδη Αφοί ΑΕ, 2003
9. Πολύζος Σ., "Διοίκηση και Διαχείριση των Έργων", Εκδόσεις Κριτική, 2004
10. Σφακιανάκης Μ., "Προσομοίωση και Εφαρμογές", Εκδόσεις Πατάκη, 2001
11. Χυτήρης Λ., "Οργανωσιακή Συμπεριφορά – Η ανθρώπινη Συμπεριφορά σε Οργανισμούς και Επιχειρήσεις", Εκδοτικός Οίκος Interbooks, 2001

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

12. Aczel A. D. & Sounderpandian J., "Complete Business Statistics", 5th Edition, McGraw – Hill, 2002
13. Ahuja H. N., Dozzi S.P. and Abourizk S. M., "Project Management – Techniques in Planning and Controlling Construction Projects", John Wiley & Sons, 2nd Edition, 1994

14. Ahuja H. N. & Nanadakumar V., "Simulation Model To Forecast Project Completion Time", *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 111, 1995, pp. 325-342
15. Arsham H., "Techniques for Monte Carlo Optimizing ", *Monte Carlo Methods and Applications*, vol. 4, 1998, pp. 181–229.
16. Badiru A. B., "A Simulation Approach to PERT Network Analysis", *Simulation*, vol. 57, 1991, pp. 245-255
17. Baker B. N. et al., "Factors That Affecting Project Success", Cieland DI, King WR, editors, *Project management handbook*, 2nd Edition, New York; Van Nostrand Reinhold, 1988
18. Barney J. B. & Griffin R. W., "The Management of Organisations", Houghton Mifflin Co. Boston, 1992
19. Bates W., "Improving Project Management", *HE Solutions*, Vol. 30, No. 10, 1998, pp. 42-43
20. Bedford T & Cooke R., "Probabilistic Risk Analysis : Foundations and Methods", Cambridge University Press, 2001
21. Bremaud P., "Markov Chains, Gibbs Fields, Monte Carlo Simulation and queues", Springer-Verlag, 2001
22. Burke R., "Project Management", John Wiley and Sons, Chichester, 1993
23. Burke R., "Project Management – Planning and Controlling Techniques", John Wiley & Sons, 3rd Edition, 1999
24. Casella G. & Robert C., "Monte Carlo Statistical Methods", Springer-Verlag, 1999
25. Chapman C. and Ward S., "Project Risk Management : Processes, Techniques and Insights", John Wiley & Sons, 2nd Edition, 2003
26. Chinneck J. W., Notes on "PERT for Project Planning and Scheduling", *Systems and Computer Engineering*, Carleton University, Canada, 2004, (<http://www.sce.carleton.ca/faculty/chinneck/po.html>)
27. Cismil S. J. K., "Critical Factors of Effective Project Management", *The TQM Magazine*. Vol. 9, No 6, 1997, pp. 390 - 396
28. Clark C. E., "The PERT Model for the Distribution of an Activity Time", *Operations Research*, Vol. 10, No 3, May – June, 1982, pp 405 – 406

29. Davidson F. J., "Managing Projects in Organisations : How to make the Best Use of Time, Techniques and People", Jossey-Bass Publishers, 1995
30. Evans J. R. & Lindsay W. M., "The Management and Control of Quality", 6th Edition, 2005
31. Fishman G. S., "Monte Carlo Concepts, Algorithms and Applications", Springer-Verlag, 1995
32. Hulett D. T., "Project Schedule Risk Assessment", Project Management Journal, March 1995, pp. 21-31
33. Hulett D. T., "Project Schedule Risk Analysis", Project Management Journal, February 2000, pp. 18-32
34. ISO 10006 : "Quality Management – Guidelines to Quality in Project Management", 1997
35. Kelton A.M. & W.D., "Simulation Modeling and Analysis", McGraw – Hill, 2000
36. Kerzner H., "The Growth of Modern Project Management", Project Management Journal, Vol. 25, No 2, 1994, pp. 6 – 8
37. Lanza R. B., "Getting to Realistic Estimates and Project Plans – A Monte Carlo Approach", Information Strategy : The Executive's Journal, vol. 19, 2003, pp. 26 - 29
38. Leach P., "Modeling Uncertainty in Project Scheduling", Decision Strategies Inc, 2005, pp. 1-3
39. Loo R., "Training Project Management : a Powerful Tool for Improving Individual Team Performance", Team performance management: An international journal, Vol. 2, No. 3, 1996, pp. 6-14
40. Mantel S. J., "Project Management – A Managerial Approach", John Wiley & Sons, 3rd Edition, 1995
41. Moder J. J. and Phillips C. R., "Project Management with CPM and PERT", Van Nostrand Reinhold Company, 1970
42. Naik B. M., "Project Management : Scheduling and monitoring by PERT/CPM", Stosius Inc / Advent Books Division, 1984
43. Oisen R. P., "Can Project Management be Defined?", Project Management Quarterly . Vol 2. No1, 1971, pp. 12 – 14

44. Pfister H., Notes on "The PERT Method", Research Engineering and Education Facility – University of Florida, 2002, (www.gerc.eng.ufl.edu)
45. PMI Standards Committee, "A guide to the Project Management Body of Knowledge", PMI, 2000, (www.pmimg.org.br)
46. PMI book, "Risk and Decision Analysis in Projects", 2nd Edition, 2001.
47. Regnier E., Notes on "Activity Completion Times in PERT and Scheduling Network Simulation", Defense Resources Management Institute, Naval Postgraduate School, Monterey, California, 2005 (www.nps.navy.mil/drmi)
48. Rubinstein R., "Simulation and The Monte Carlo Method", John Wiley & Sons, 1981
49. Spall J., Notes on " Simulation and Monte Carlo", Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland, 2004, (www.jhuapl.edu)
50. Turner J. R., "The Handbook of Project Based Management", McGraw – Hill International Editions, 1993
51. Wendling R. V. & Lorance R. B., "Basic Techniques for Analysis and Presentation of Schedule Risk Analysis", AACE International, January 1999, pp. 2-16

ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ

52. Excel Add – in for Operations Management – Industrial Engineering, Mechanical Engineering Department , University of Texas at Austin , United States of America ([http :
www.me.utexas.edu/~jensen/ORMM/omie/computation/unit/project/data.html](http://www.me.utexas.edu/~jensen/ORMM/omie/computation/unit/project/data.html))