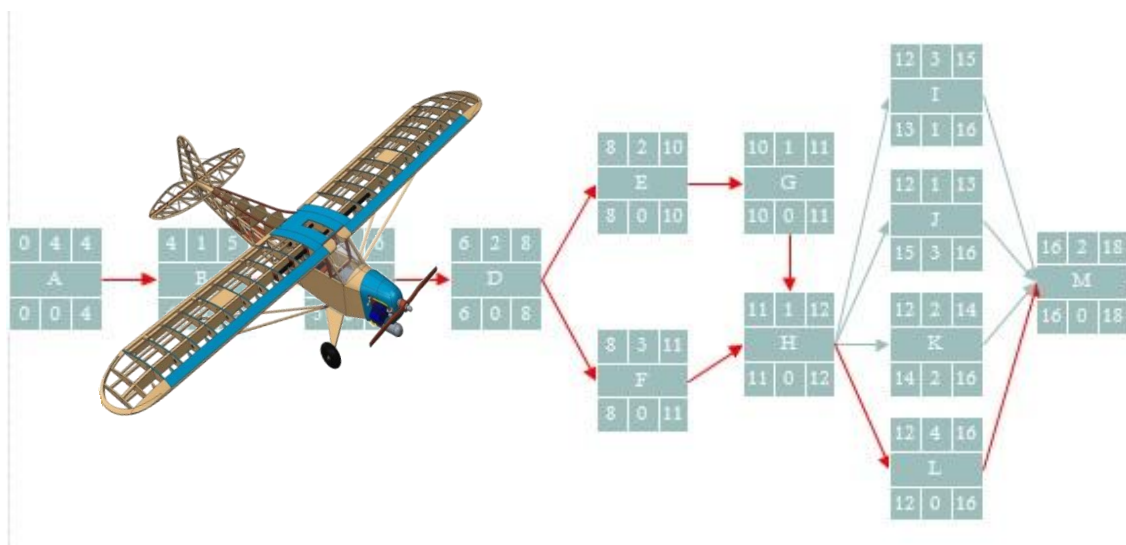




ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΚΑΙ
ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥΣ



**ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΣΕ ΕΡΓΟ
ΑΕΡΟΜΟΝΤΕΛΙΣΜΟΥ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΓΙΑΠΕΝΤΖΑΚΗ ΓΕΩΡΓΙΟΥ

ΕΠΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΜΑΡΚΑΚΗ ΜΑΡΙΑ

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2020

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική μεταπτυχιακή εργασία αποτέλεσε προαπαιτούμενο στο 3^ο εξάμηνο σπουδών για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης Διοίκηση Επιχειρήσεων για Μηχανικούς που λαμβάνει χώρα στο Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο (ΕΛ.ΜΕ.ΠΑ.) στο Ηράκλειο Κρήτης.

Αρχικά, θα ήθελα θερμά να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου κα. Μαρκάκη Μαρία η οποία με κατεύθυνε τόσο θεωρητικά όσο και πρακτικά για την επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας. Αντιμετώπισε όλες τις απορίες και τα ερωτήματά μου σε πολύ άμεσους χρόνους και υπήρξε ακριβής ως προς τις απαντήσεις για την καλύτερη κατανόηση από πλευράς μου.

Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ, στον σχεδιαστή του Τηλέμαχου και συγκεκριμένα τον κ. Γιάννη Κωνσταντακάτο. Με βοήθησε αρκετά με τις απορίες μου γύρω από την κατασκευή του Τηλέμαχου καθώς και με τις σημειώσεις του που αφορούν τα στάδια κατασκευής του.

Γιαπεντζάκης Γεώργιος

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	5
Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή	6
1.1 Γραμμή παραγωγής και έργο.....	7
1.2 Τύποι έργων	10
1.3 Διαστάσεις έργων.....	12
1.4 Διαχείριση έργου.....	12
1.5 Βασικές έννοιες διαχείρισης έργου.....	13
1.6 Ιστορικά ορόσημα στη διαχείριση έργων.....	14
1.7 Το τρίπτυχο της διαχείρισης έργων.....	15
1.8 Οργανόγραμμα.....	16
1.9 Διευθυντής έργου.....	16
1.10 Βασικές μεθοδολογίες διαχείρισης έργων	17
1.11 Δομή ανάλυσης εργασιών	17
Κεφάλαιο 2 – Κύκλος ζωής έργου.....	22
2.1 Φάσεις κύκλου ζωής έργου	22
2.2 Διεργασίες διοίκησης έργου	24
2.2.1 Διεργασίες έναρξης	25
2.2.2 Διεργασία σχεδιασμού	27
2.2.3 Διεργασία εκτέλεσης, παρακολούθησης και ελέγχου	27
2.2.4 Διεργασία ολοκλήρωσης.....	28
Κεφάλαιο 3 – Χρονοπρογραμματισμός έργου και μεθοδολογίες.....	29
3.1 Δικτυωτή ανάλυση	33
3.2 Τεχνική Κρίσιμης Διαδρομής	37
3.3 Μέθοδος PERT.....	39
3.4 Γραμμικό Χρονοδιάγραμμα	41
3.5 Γραμμικός προγραμματισμός	44
3.6 Μοντέλα Προσομοίωσης	46
Κεφάλαιο 4 – Εφαρμογή σε έργο Αερομοντελισμού	50
4.1 Αερομοντελισμός	50
4.2 Τηλέμαχος.....	52
4.3 Δομή Ανάλυσης Εργασιών Έργου.....	53
4.4 Δραστηριότητες έργου	55
4.5 Δίκτυο CPM	58

4.6	Διαγράμματα Gantt	61
4.7	Χρονική Αβεβαιότητα Δραστηριοτήτων	64
4.8	Δίκτυο PERT.....	65
4.9	Προσομοίωση έργου	68
4.10	Υλικοί πόροι κατασκευής έργου	72
4.11	Συμπεράσματα	75
	Παράρτημα 1	79
	Παράρτημα 2	81
	Βιβλιογραφία.....	82

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση των βασικών εννοιών και ορισμών της Διαχείρισης Έργων αλλά και η κατανόησή τους με μια μελέτη περίπτωσης που αφορά την βέλτιστη διαχείριση χρόνου σε έργο αερομοντελισμού. Αρχικά, το πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται στην έννοια του έργου και της διαχείρισής του και γίνεται μια μικρή αναφορά στις βασικότερες τεχνικές. Έπειτα, το δεύτερο κεφάλαιο αφορά το κύκλο ζωής έργου αλλά και τις διεργασίες του όπως εκείνες της διοίκησης έργων. Εν συνεχεία, το τρίτο κεφάλαιο διεισδύει στην διαχείριση έργων αναλύοντας τις σημαντικότερες τεχνικές μέχρι και τα μοντέλα προσομοίωσης. Παράλληλα, το τέταρτο κεφάλαιο αποτελεί την μελέτη περίπτωσης. Σε αυτό το σημείο γίνονται πράξη οι μέθοδοι που αναλύονται στο τρίτο κεφάλαιο σε έργο αερομοντελισμού και δίνονται ποικίλες εκτιμήσεις ως προς την διάρκεια ολοκλήρωσής του. Συγκεκριμένα, η τεχνική CPM αποδίδει 66 ώρες εργασίας στο έργο εκεί που η τεχνική PERT με 5 δραστηριότητες σε αβεβαιότητα θέλει 71,6 ώρες. Τέλος, ξανά η τεχνική PERT με όλες τις δραστηριότητες σε αβεβαιότητα υπολογίζει 75,8 ώρες και η προσομοίωση Monte Carlo με 500 επαναλήψεις θεωρεί πως είναι πιο πιθανό να διαρκέσει το έργο 77,5 ώρες εργασίας.

Abstract

The purpose of this study is not only the analysis of the basic principles and definitions of Project Management but also their understanding with a case study concerning the optimal time management in aeromodelling construction. Initially, the first chapter refers to the meaning of project and its management and makes a brief reference to the most basic techniques. Also, the second chapter deals with project life cycle and its processes such as those of project management. In addition, the third chapter penetrates the project management by analyzing the most important techniques and the simulation models. Furthermore, the fourth chapter is consisting of the case study in aeromodelling construction. At this point, the methods analyzed in previous chapter are put into practice and various estimates are given as duration of completing the project. Particularly, the CPM technique gives 66 hours of work for completing the project since it requires 71,6 hours thanks to PERT technique with five activities in uncertainty. Finally, the PERT technique with all activities in uncertainty calculates 75,8 hours and Monte Carlo simulation with 500 repetitions considers that the project is most likely to last 77,5 working hours.

Key words: Time management, aeromodelling, project management techniques.

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή

Επεξηγώντας τον ορισμό του έργου γίνονται αντιληπτές οι διαφορετικές έννοιες μεταξύ της διοίκησης έργου αλλά και του οποιοδήποτε είδους μανάτζμεντ. Αυτό συμβαίνει διότι ο ορισμός του έργου περιλαμβάνει την στόχευση και την απόδοση επιχειρηματικά σε όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη του έργου.

Το Ινστιτούτο Διαχείρισης Έργου, αποδίδει το έργο ως ένα «προσωρινό εγχείρημα που σκοπεύει στην υλοποίηση ενός μοναδικού προϊόντος ή αποτελέσματος» (Project Management Institute, PMI). Προσωρινό με την έννοια πως οποιοδήποτε έργο έχει ορισμένη διάρκεια. Μοναδικό με την έννοια ότι το ίδιο το προϊόν ή η προσδοκώμενη υπηρεσία που προσφέρει έχει εμφανής διαφορές απ' όλα τα παρόμοια προϊόντα (PMBOK, 1996).

Ο ορισμός του Turner θέλει το έργο ως το «εγχείρημα όπου διάφοροι οικονομικοί και ανθρωπίνι πόροι οργανώνονται με καινοτόμο τρόπο, στοχεύοντας στην ανάληψη συγκεκριμένων πακέτων εργασίας με ορισμένους κοστολογικούς και χρονικούς περιορισμούς και προδιαγραφές, ούτως ώστε να παραχθεί μια συμφέρουσα μεταβολή η οποία διακατέχεται μέσω ποσοτικών και ποιοτικών στόχων» (Turner R, 1993).

Γενικά, τα έργα διαφέρουν ως προς το μέγεθος, το αντικείμενο εργασιών, το κόστος και το χρόνο κατασκευής. Μπορούν να θεωρηθούν ακόμα από διεθνή μεγάλα έργα δισεκατομμυρίων ευρώ με μεγάλη διάρκεια μέχρι και τοπικά μικρά έργα με χαμηλό προϋπολογισμό μικρής διάρκειας που χρειάζονται ελάχιστης ώρας δουλειάς. Ενδεικτικά παραδείγματα είναι:

- Μελέτη και κατασκευή οικήματος ή οχήματος
- Ο σχεδιασμός και ο έλεγχος κάποιου νέου μοντέλου αυτοκινήτου ή οικιακής συσκευής
- Έργα πληροφορικής όπως αναβάθμιση ενός λογισμικού
- Έργα ψυχαγωγίας όπως γάμους, εκδηλώσεις, πάρτι κ.α.
- Έργα ανθρωπίνων πόρων.

Πιο συγκεκριμένα έργο νοείται μια αλληλουχία δραστηριοτήτων οι οποίες έχουν άμεσες σχέσεις μεταξύ τους με ορισμένα χαρακτηριστικά όπως:

- Ημερομηνίες έναρξης και λήξης
- Στόχους

- Απόδοση αποτελεσμάτων
- Δεν επαναλαμβάνεται η ίδια σειρά δραστηριοτήτων
- Απαιτούν ποικίλους πόρους όπως χρήματα, χρόνο και ανθρώπινη δραστηριότητα

Παράλληλα, τα βασικά χαρακτηριστικά ενός έργου είναι:

- Αρχή και τέλος, δεν χρειάζεται αυτά τα δύο να είναι εμφανής αλλά να αποκαλύπτονται σταδιακά.
- Κύκλος ζωής, η χρονική διάρκεια του έργου στην οποία περιλαμβάνονται διακριτές φάσεις.
- Προϋπολογισμό, με τις αντίστοιχες χρηματικές ροές.
- Στοιχεία επιχειρηματικού κινδύνου περιλαμβάνονται.
- Κύριος φορέας ευθύνης

Συνεχίζοντας την επεξήγηση και άλλων ορισμών, το πρόγραμμα φαίνεται να περιλαμβάνει πολλά αλληλοεξαρτώμενα έργα και αποβλέπει στην επίτευξη συγκεκριμένων στόχων. Ένα έργο αναλύθηκε παραπάνω τι αποτελεί ενώ περιλαμβάνει ορισμούς όπως το υποέργο, την εργασία και την δραστηριότητα. Υπόέργο είναι η απλούστευση ουσιαστικά του έργου σε μικρότερες μονάδες το οποίο περιλαμβάνει όλα τα χαρακτηριστικά του και αφορά λειτουργικές ή οργανωτικές ανάγκες. Επίσης, η εργασία έχει να κάνει με την ημερήσια απασχόληση του ανθρώπου και εμπεριέχει στοιχεία επανάληψης αλλά και διευκόλυνσης ως προς την εκτέλεσή της. Τέλος, η δραστηριότητα αφορά την εργασία η οποία αποδίδει συγκεκριμένο και μετρήσιμο αποτέλεσμα βασίζοντάς το σε προδιαγραφές και συνδέεται με χρήματα, χρόνο και αποτελεί κυρίαρχος λίθος στο έργο. Χαρακτηρίζεται από μοναδικότητα και πολυπλοκότητα.

1.1 Γραμμή παραγωγής και έργο

Η γραμμή παραγωγής είναι μια παραγωγική διαδικασία που εμπεριέχει όλα τα μέρη τα οποία συμβάλλουν με έμμεσο ή άμεσο τρόπο στην ολοκλήρωση της επιθυμίας του πελάτη. Συγκεκριμένα, μπορεί να περιλαμβάνονται κατασκευαστές και προμηθευτές αλλά και αποθήκες εμπορευμάτων, μεταφορές, πωλητές λιανικού εμπορίου και εννοείται πελάτες. Σε κάθε τμήμα της γραμμής παραγωγής όπως για παράδειγμα ο κατασκευαστής, περιλαμβάνονται όλες οι λειτουργίες που έχουν σχέση με την λήψη, επεξεργασία και παράδοση μιας απαίτησης ενός πελάτη. Οι εν λόγω λειτουργίες όχι μόνο δεν εμποδίζονται

αλλά είναι υπεύθυνες για την ανάπτυξη νέων προϊόντων, το μάρκετινγκ, την διανομή, την οικονομική κατάσταση και την εξυπηρέτηση πελατών (Chopra, Meindl, 2004).

Για την καλύτερη κατανόηση των ορισμών της γραμμής παραγωγής και του έργου αναφέρονται κάποια κοινά χαρακτηριστικά:

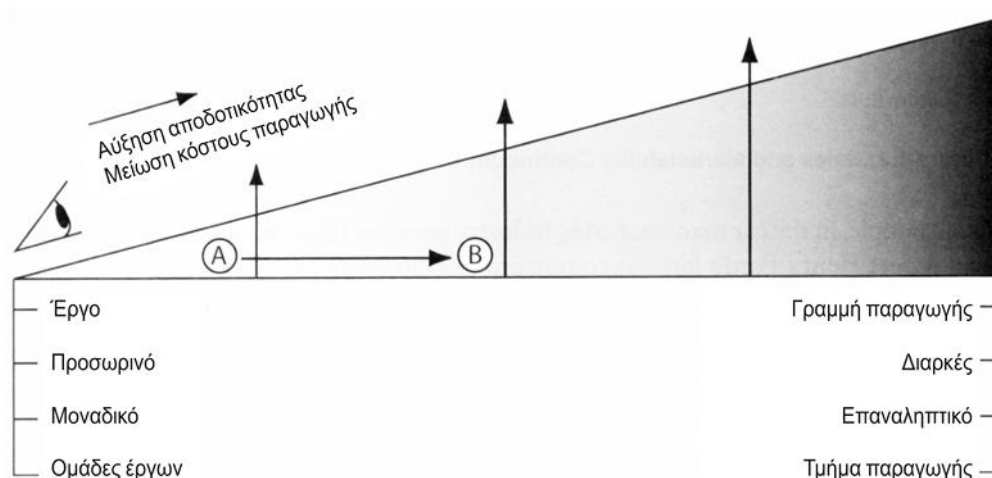
- Πραγματοποιούνται από ανθρώπινους και μηχανικούς πόρους
- Κατέχουν ορισμένους και συγκεκριμένους πόρους
- Περνούν από στάδια σχεδίασης, εκτέλεσης και ελέγχου

Ενώ κάποιες από τις διαφορές τους είναι:

- Το έργο πραγματοποιείται μια φορά με αρχή και λήξη
- Η γραμμή παραγωγής χαρακτηρίζεται από επαναληψιμότητα
- Στο έργο ο επικρατέστερος παράγοντας είναι οι άνθρωποι

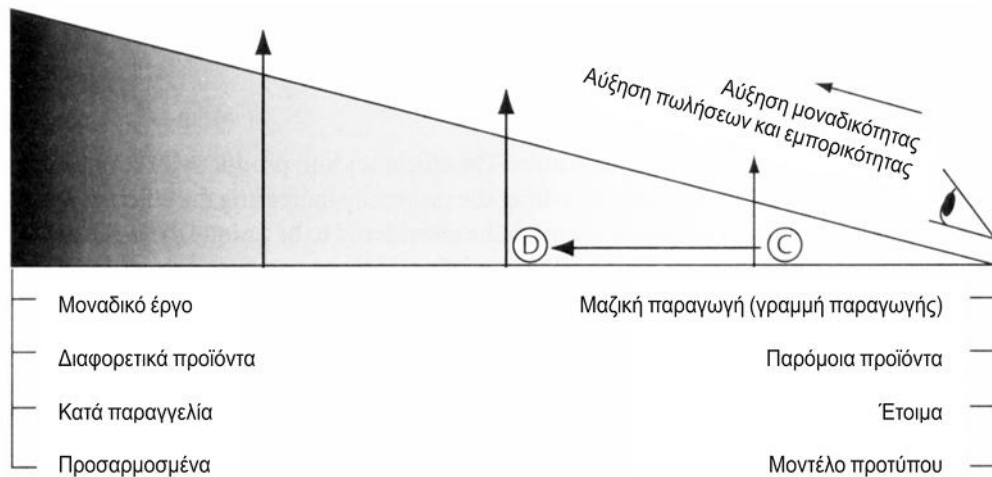
Στην πραγματικότητα, υπάρχουν περιπτώσεις όπου δεν μπορεί να ειπωθεί με σαφήνεια σε ποιον από τους δυο ορισμούς ανήκει το περιστατικό διότι εμπεριέχει χαρακτηριστικά και του έργου αλλά και της παραγωγικής διαδικασίας. Για την καλύτερη κατάταξη όμως έχουν δημιουργηθεί τρία διαφορετικά κριτήρια που επεξηγούνται παρακάτω

1. Αποδοτικότητα και κόστος παραγωγής. Στην εικόνα 1.1 διακρίνεται πως όταν ένα σημείο A μεταβαίνει στο σημείο B από το έργο στη γραμμή παραγωγής τότε αντίστοιχα αυξάνεται η αποδοτικότητα αλλά μειώνεται το κόστος παραγωγής. Ανάποδα όταν ένα σημείο οδηγείται από τη γραμμή παραγωγής στο έργο τότε μειώνεται η απόδοση και αυξάνεται το κόστος παραγωγής.



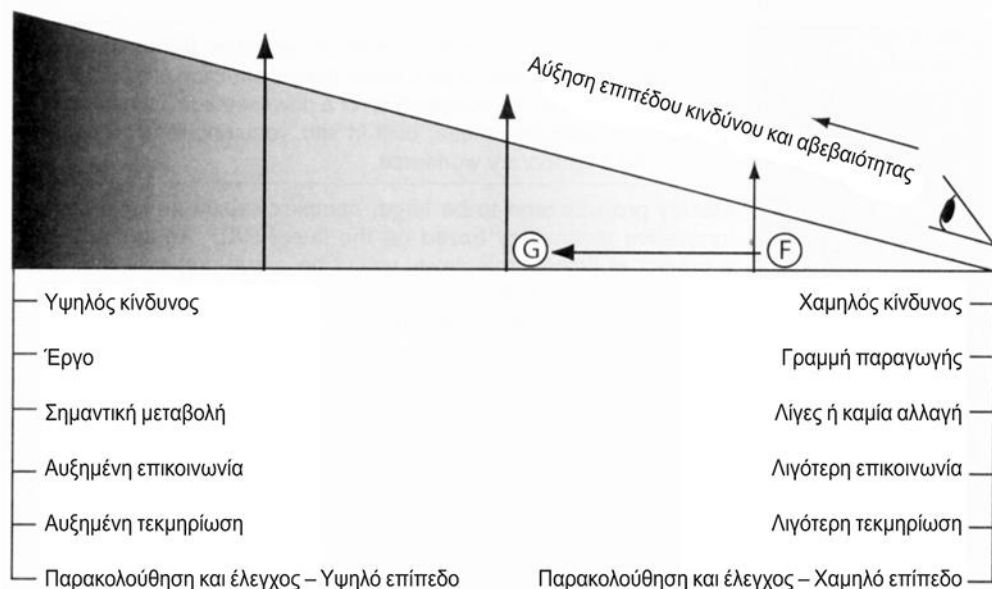
Εικόνα 1.1: Συνεχές παραγωγικότητας και αποδοτικότητας (Burke,2014)

2. Πωλήσεις και εμπορικότητα. Στην εικόνα 1.2 γίνεται αντιληπτό πως όταν ένα σημείο κινείται από την μαζική παραγωγή πιο κοντά στο έργο τότε αυξάνεται η μοναδικότητα, οι πωλήσεις ή η εμπορικότητα του έργου. Διαφορετικά όσο πιο κοντά βρίσκεται ένα εγχείρημα στη μαζική παραγωγή τόσο μειώνονται οι πωλήσεις και η μοναδικότητα του τελικού προϊόντος.



Εικόνα 1.2: Συνεχές μοναδικότητας, πωλήσεων και εμπορικότητας (Burke, 2014)

3. Σχέσεις κινδύνου και αβεβαιότητας. Στην εικόνα 1.3 είναι εμφανές πως ο κίνδυνος και η αβεβαιότητα αυξάνονται σε ένα μοναδικό έργο ενώ μειώνονται σε μια γραμμή παραγωγής. Αυτό συμβαίνει διότι η παρακολούθηση και ο έλεγχος μπορούν να συμβούν πολύ πιο εύκολα στην μαζική παραγωγή παρά σε ένα έργο.



Εικόνα 1.3: Συνεχές κινδύνου και αβεβαιότητας (Burke, 2014)

1.2 Τύποι έργων

Παραπάνω ειπώθηκαν τόσο οι ορισμοί του έργου και της γραμμής παραγωγής όσο και τα κριτήρια αναγνώρισης και κατάταξης εγχειρημάτων. Ωστόσο στα έργα υπάρχουν πολλές και διαφορετικές κατηγορίες στις οποίες υπάγονται τα εγχειρήματα. Αυτά είναι:

- Κατασκευαστικά έργα. Ένα τέτοιο έργο μπορεί να είναι το χτίσιμο μιας γέφυρας μεγάλης πολυπλοκότητας μέχρι μια κατοικίας μικρής πολυπλοκότητας. Χαρακτηριστικά τους είναι η μοναδικότητα ενώ χρησιμοποιούν μη μόνιμο προσωπικό για την κατασκευή τους.
- Αμυντικά έργα. Είναι συνήθως στρατιωτικά έργα μεγάλης και σύνθετης κλίμακας όπου κάνουν χρήση νέου υλικού έρευνας και ανάπτυξης. Ένα τέτοιο έργο είναι η ανάπτυξη ενός πυραυλικού συστήματος. Πολλές τεχνικές που θα αναλυθούν στα υπόλοιπα κομμάτια της διπλωματικής οφείλουν την ύπαρξή τους σε αυτά τα έργα.
- Πετροχημικά έργα. Εδώ περιλαμβάνονται έργα που σχετίζονται με την εύρεση πετρελαίου και φυσικού ορυκτού πλούτου αλλά και την εν συνεχεία επεξεργασία αυτών. Τέτοια έργα λαμβάνουν χώρα σε δυσπρόσιτες περιοχές αυξάνοντας έτσι τη δυσκολία του ελέγχου και της επικοινωνίας οδηγώντας σε υψηλό βαθμό κινδύνου και αβεβαιότητας.
- Έργα πληροφορικής. Τέτοια έργα μπορεί να είναι μικρής κλίμακας όπως η σχεδίαση ενός e-shop καταστήματος μέχρι μεγάλη κλίμακας όπως η μηχανογράφηση του ιατρικού προφίλ κάθε πολίτη σε πανελλαδικό επίπεδο. Τα έργα αυτά συνήθως χαρακτηρίζονται από δυσκολία καθορισμού του κύριου στόχου του έργου και καταλήγουν σε παράβαση του ορίου του προϋπολογισμού αλλά και του χρονοπρογραμματισμού.
- Έργα ανάπτυξης προϊόντων. Πρόκειται για προϊόντα που είτε αναβαθμίζονται σχεδιαστικά ή λειτουργικά είτε αναπτύσσονται για πρώτη φορά. Εδώ απαιτούνται άριστες σχέσεις και λειτουργικότητας μεταξύ των τμημάτων έρευνας και ανάπτυξης (R&D) και μάρκετινγκ. Παραδείγματα αποτελούν τα AirPods της Apple και διάφορα υβριδικά αμάξια.
- Έργα διαφήμισης και ανάπτυξης. Τα νέα προϊόντα σε κάθε κλάδο συνοδεύονται από διαφημίσεις μάρκετινγκ. Ακόμα και αυτές οι διαφημίσεις αποτελούν έργο διότι πρέπει να συμβαδίσουν μαζί με την κυκλοφορία του προϊόντος έτσι ώστε να ολοκληρώσουν το σκοπό τους όντας εμπρόθεσμες.

- Τραπεζικό έργο. Οι τράπεζες διαθέτουν αρκετά χρηματοοικονομικά προϊόντα. Εάν για παράδειγμα κυκλοφορήσει ένα νέο καταναλωτικό δάνειο, για να λειτουργήσει αυτό θα πρέπει να υπάρξει ένας τέλειος συντονισμός ως προς την εκπαίδευση του προσωπικού, την αναβάθμιση των πληροφοριακών συστημάτων αλλά και την διαφήμισή του. Και όλα αυτά σε ολόκληρο τον τραπεζικό όμιλο σε πλήρη εναρμόνιση με την ημερομηνία έναρξης της υλοποίησης του έργου αυτού.
- Έργο αναβάθμισης. Η αναβάθμιση των κειμενογράφων ενός λειτουργικού συστήματος σε υπολογιστές αλλά και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ως πηγές ηλεκτρικού ρεύματος στην ΔΕΗ ανήκουν σε αυτό τον τύπο. Είναι απαραίτητα στις περισσότερες εταιρείες καθώς προσφέρουν ανταγωνιστικότητα και έχουν όλα τα χαρακτηριστικά ενός έργου.
- Διαχείριση εκδηλώσεων. Κοινωνικές εκδηλώσεις όπως γάμοι και βαφτίσια, συνέδρια αλλά και θεατρικές παραστάσεις αποτελούν έργα καθότι συμβαίνουν μόνο μία φορά και σε συγκεκριμένο χώρο και χρόνο. Έτσι λοιπόν, υπάρχει μια μεγάλη διαδικασία προετοιμασίας και ένα πολύ μικρό χρονικό περιθώριο που είναι το εύρος υλοποίησης, δημιουργώντας διαφορετικές απαιτήσεις στην εκάστοτε περίπτωση.
- Αθλητικές εκδηλώσεις. Μπορεί να είναι ένα φιλικό, τοπικό παιχνίδι ποδοσφαίρου μέχρι και ένα παιχνίδι παγκόσμιας εμβέλειας. Αυτά τα έργα περιλαμβάνουν μεγάλα στάδια, συνωστισμένους φιλάθλους αλλά και μαζικά δίκτυα επικοινωνίας οδηγώντας έτσι σε μια άριστη προετοιμασία και συνδυασμό τόπου, χώρου και χρόνου.
- Συναυλίες. Όταν πρόκειται για παγκόσμια περιοδεία ενός διεθνούς φήμης καλλιτέχνη τότε υπάρχουν πολλών χιλιομετρικών αποστάσεων μεταφορές του εξοπλισμού και όλα αυτά μέσα σε ένα άριστο προγραμματισμό χώρο και χρόνου.
- Επίδειξη μόδας. Εδώ τα μοντέλα πρέπει να αλλάζουν τα ρούχα των σχεδιαστών σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα ούτως ώστε να τα επιδείξουν σε υποψήφιους αγοραστές.
- Έργο αποκατάστασης. Τα έργα αποκατάστασης από καταστροφή αφορούν κυρίως μεγάλες εταιρείες που κινδυνεύει να σταματήσει η παραγωγή τους από φυσικές ή τεχνητές καταστροφές όπως σεισμό ή πυρκαγιά αντίστοιχα. Εδώ μια εταιρεία πρέπει να έχει ένα σχέδιο αποκατάστασης ώστε να συνεχίσει την παραγωγή ή να βρει τρόπους για να μη χάσει το πελατειακό κοινό της από τους ανταγωνιστές.

1.3 Διαστάσεις έργων



Εικόνα 1.4: Η αβεβαιότητα και πολυπλοκότητα ως διαστάσεις έργου (Slack, Chambers & Johnston, 2010)

Το μέγεθος των έργων εξαρτάται από δύο βασικές διαστάσεις, εκείνη της πολυπλοκότητας και της αβεβαιότητας. Στην παραπάνω εικόνα 1.4 γίνεται αντιληπτό με κάποια παραδείγματα έργων. Για παράδειγμα, όταν πρόκειται να κατασκευαστεί ένας αυτοκινητόδρομος η πολυπλοκότητα είναι σχετικά υψηλή γιατί οι τελικοί αποδέκτες του έργου είναι ένα ολόκληρο έθνος που αυτό συνεπάγεται σε αρκετό αριθμό χρηστών αλλά και διαφορετικών χρήσεων. Παράλληλα, το ποσοστό ολοκλήρωσης τέτοιων παρόμοιων έργων στατιστικά είναι υψηλό άρα και ο κίνδυνος μη ολοκλήρωσης που οδηγεί στην αβεβαιότητα είναι εξαιρετικά χαμηλός.

1.4 Διαχείριση έργου

Έναν ορισμό που δίνει το εγχειρίδιο PMBOK (Project Management Book of Knowledge) για την διαχείριση έργου είναι «η εφαρμογή όλων των διαθέσιμων γνώσεων, δεξιοτήτων, εργαλείων και τεχνικών για την πραγματοποίηση δραστηριοτήτων του έργου, στοχεύοντας στην ικανοποίηση τόσο των απαιτήσεων αλλά και όσο των προσδοκιών των συμμετεχόντων». Είναι αυτονόητο πως για να πραγματοποιηθεί αυτό, ο διευθυντής του έργου πρέπει να καθορίσει τους συμμετέχοντες πέρα από το πελάτη και να αναλύσει τις ανάγκες αλλά και τις προσδοκίες τους. Με αυτό τον τρόπο θα ορισθεί εξ αρχής το αντικείμενο των εργασιών και οι αντίστοιχοι στόχοι τους.

Επίσης, η διαχείριση έργου θα μπορούσε να ορισθεί ως μια «διαδικασία συμπερίληψης όσων πρέπει να πραγματοποιηθούν ενώ το έργο διανύει τον κύκλο ζωής του ώστε να πραγματοποιηθούν οι στόχοι του (Morris, 1997). Για τη διεκπεραίωση των έργων, καλό είναι να υποδιαιρούνται σε φάσεις ή στάδια για την επίτευξη διοικητικού ελέγχου. Οι φάσεις αυτές αποτελούν τον κύκλο ζωής του έργου.

1.5 Βασικές έννοιες διαχείρισης έργου

Παρακάτω εξηγούνται ορισμένες έννοιες που έχουν άμεση σχέση με τη διαχείριση έργου:

- Πελάτης: Τα περισσότερα έργα έχουν πελάτες, συνεπώς πρέπει να υπάρχει διασφάλιση πως το έργο παράγει οφέλη για εκείνους.
- Ενδιαφερόμενα μέρη: Αποτελούνται από ανθρώπους οι οποίοι επηρεάζονται από το έργο ή το επηρεάζουν. Σε αυτούς τους ανθρώπους θα πρέπει να ορίζονται οι ανάγκες και συνεπώς να αναλύονται και οι προσδοκίες τους.
- Κύκλος ζωής έργου: Αυτός ο κύκλος αποτελείται από μια σειρά καθορισμένων φάσεων οι οποίες μπορεί να είναι με τη σειρά, φάση σκοπιμότητας, σχεδίασης, εκτέλεσης και ελέγχου.
- Καταστατικό του έργου: Είναι ένα επίσημο έγγραφο που αναφέρει την εκκίνηση του έργου αναφέροντας τί πρέπει να γίνει και πως. Αυτό το έγγραφο ανήκει στο χορηγό.
- Διευθυντής έργου: Είναι εκείνος που έχει την πλήρη ευθύνη για το έργο καθώς ορίζεται από το χορηγό. Είναι υπεύθυνος για την παράδοση του έργου με βάση της ημερομηνίες και τον προϋπολογισμό που έχει καθοριστεί.
- Μη επαναληπτικό: Το έργο είναι διαφορετικό από τα προηγούμενα καθώς η διαφορά μπορεί να εντοπιστεί σε οποιοδήποτε σημείο του κύκλου ζωής.
- Εύρος έργου: Το έργο αυτό αποτελείται από ένα συγκεκριμένο αριθμό εργασιών ο οποίος θα πραγματοποιηθεί από το έργο ενώ φαίνεται και τι είναι έξω από αυτό.
- Δομή ανάλυσης εργασιών: Η τεχνική αυτή (Work Breakdown Structure, WBS) προσφέρει καλύτερη διαχείριση διότι γίνεται κατανομή των εργασιών σε πακέτα εργασιών.
- Χρονοδιάγραμμα: Το έργο πέρα από τη γενική ημερομηνία αρχής – τέλους έχει και σε κάθε δραστηριότητα ημερομηνία αρχής – τέλους καθώς και ημερομηνίες για ορόσημα σημεία αυτού.

- Χρονοδιάγραμμα προμηθειών: Για να εκτελεσθεί ένα οποιοδήποτε έργο θα πρέπει να προμηθευτεί αγαθά που βρίσκονται έξω από αυτό. Αυτά τα αγαθά αναγράφονται σε μια λίστα μαζί με το χρονοδιάγραμμα.
- Προγραμματισμός πόρων: Η ανάθεση των διαθέσιμων πόρων πρέπει να λειτουργήσει για να δώσει στο έργο αυτά που χρειάζεται για να εκτελεστεί.
- Προϋπολογισμός: Ένα χρηματικό ποσό που δίδεται για την υλοποίηση του έργου.
- Έκθεση ταμειακής ροής: Η έκθεση αυτή παράγεται με το συνδυασμό του χρονοδιαγράμματος του έργου.
- Κίνδυνος: Πρέπει να αναγνωριστούν και να αποτιμηθούν οι κίνδυνοι για να δημιουργηθεί μια πορεία αποφυγής αυτών.
- Ποιότητα: Η ποιότητα πρέπει να είναι σε θέση να προσδιορισθεί να σχεδιαστεί και να υποβληθεί σε έλεγχο.
- Επικοινωνία: Ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία του έργου καθώς χάρις αυτήν έγκειται η επιτυχία του. Οι απαιτήσεις εδώ προσδιορίζονται, σχεδιάζονται και ελέγχονται.

1.6 Ιστορικά ορόσημα στη διαχείριση έργων

Όταν γίνεται λόγος για την διαχείριση έργων, αυτομάτως έρχονται στο προσκήνιο η πιο γνωστή μέθοδος που είναι το διάγραμμα Gantt και οι διάφορες τεχνικές που αναπτύχθηκαν σε στρατιωτικά έργα όπως PERT και CPM. Πιο αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα 1.1 διακρίνονται τα πιο βασικά γεγονότα:

Α' Παγκόσμιο Πόλεμο 1914-1918	Επινόηση διαγράμματος Gantt
1950	Ανάπτυξη μεθόδων PERT και CPM
1950	Εισαγωγή φορέα ευθύνης για ολόκληρο το έργο από την αρχή μέχρι το τέλος
1960	Πειραματισμός της NASA με δομές οργάνωσης τύπου μητρώου
1962	Η NASA υιοθετεί την μέθοδο PERT και την WBS
1963	Η αεροπορία των ΗΠΑ υιοθετεί τον κύκλο ζωής έργου
1963	Το Polaris ήταν το πρώτο έργο όπου όλα τα μέλη έπρεπε να χρησιμοποιήσουν προηγμένο σύστημα διαχείρισης
1965	Αύξηση αριθμών έργων όπου χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές διαχείρισης
1969	Ίδρυση του PMI – Project Management Institute

Πίνακας 1.1: Ιστορικά γεγονότα διαχείρισης έργου

Μετέπειτα, κατά την εξέλιξη της τεχνολογίας και των υπολογιστών, ανακαλύφθηκαν διάφορα προγράμματα που σε συνδυασμό με τις διάσημες μεθόδους έκαναν την διαχείριση έργων πιο δημοφιλής. Στο πίνακα 1.2 παρουσιάζονται μερικά από αυτά.

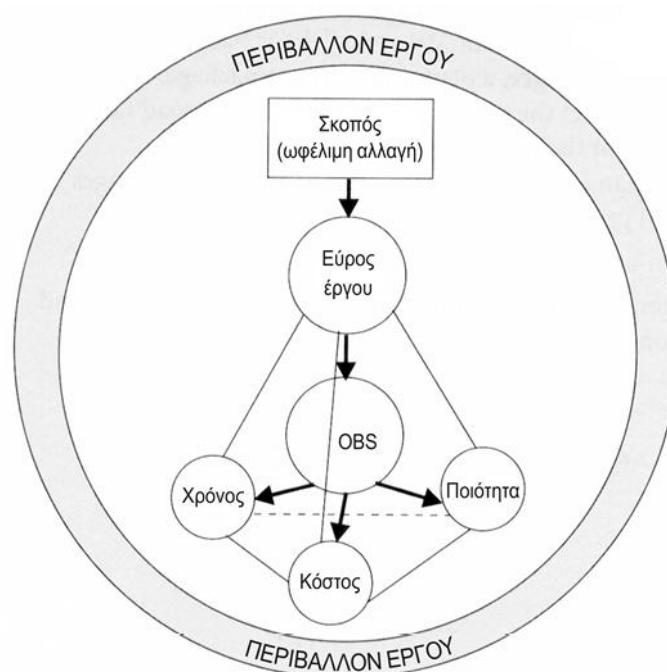
1977	Κατασκευάζεται το πρώτο PC – Apple II
1979	Παρουσιάζεται το πρώτο πρόγραμμα υπολογιστικών φύλλων - VisiCalc
1981	Υπολογιστές σε αγοραστικό κοινό – IBM PC
1983	Πρώτο λογισμικό της διαχείρισης έργων – Harvard Project Manager
1990	Εφαρμογές σε Windows, δίκτυα και διαδίκτυο
2000	Ευρυζωνικότητα, κινητή επικοινωνία

Πίνακας 1.2: Εισαγωγή υπολογιστών στη διαχείριση έργων

1.7 Το τρίπτυχο της διαχείρισης έργων

Η επιτυχής ολοκλήρωση ενός έργου έχει σχέση με το τελικό προϊόν σε συνάρτηση με το ζητούμενο, το κόστος του έργου ανάλογα με το διαθέσιμο προϋπολογισμό και το χρόνο που απαιτήθηκε για την υλοποίησή του σε σχέση με τον εναπομείναντα. Συνεπώς, η επιτυχία είναι ένας συνδυασμός τριών παραγόντων και για αυτό κάθε εφαρμογή που τους ικανοποιεί είναι επιτυχής (Φιτσιλής, 2015). Αυτοί οι τρεις παράγοντες είναι οι παρακάτω και αποτελούν την βάση της πυραμίδας στην εικόνα 1.5.

1. Χρόνος. Τήρηση των χρονικών περιθωρίων.
2. Κόστος. Τήρηση του κόστους κάτω του διαθέσιμου προϋπολογισμού.
3. Ποιότητα. Τήρηση των προδιαγραφών ποιότητας.



Εικόνα 1.5: Μοντέλο περιβάλλοντος έργου (Burke, 2014)

Αργότερα, το τρίπτυχο μοντέλο ενημερώθηκε και προστέθηκε το αντικείμενο εργασιών και η δομή της οργανωτικής κατάτμησης (OBS) για να δηλωθεί πως όλο αυτό εκτελείται μέσα στα πλαίσια μιας συγκεκριμένης οργανωτικής δομής. Παράλληλα, οι παράγοντες του εξωτερικού περιβάλλοντος επηρεάζουν αρκετά το έργο ώστε να προστεθεί και η διαχείριση περιβάλλοντος. Γενικά, το μοντέλο αυτό ενθαρρύνει τους διευθυντές έργων να λαμβάνουν υπόψη τους τα ευρύτερα ζητήματα που σχετίζονται με το έργο.

1.8 Οργανόγραμμα

Το οργανόγραμμα αποτελεί ένα βασικό και ολοκληρωτικό εργαλείο κάθε οργανωτικής προσπάθειας. Χάρης αυτό, γίνεται επιτυχής η επισκόπηση κάθε οργανωτικής δομής σε μια επιχείρηση. Επίσης, το οργανόγραμμα συμμετέχει στην συμπλήρωση του σχεδίου δράσης του έργο σε σχέση με το χώρο, χρόνο και την κατανομή δραστηριοτήτων οδηγώντας έτσι στην συγκεκριμενοποίηση κάθε αφηρημένης οργανωτικής δομής (Τζωρτζάκης, 2007). Οι βασικότεροι λόγοι που κρίνουν απαραίτητο το οργανόγραμμα είναι οι εξής:

- Δεν υποστηρίζεται η σύγχυση της θέσης μεταξύ των εργαζομένων ή των ενδιαφερόμενων μερών.
- Πραγματοποιείται ομαλή συνεργασία ανάμεσα στα στελέχη, προϊστάμενους και υφιστάμενους, αφού δεν εμφανίζεται η σύγχυση των αρμοδιοτήτων.
- Διόρθωση πιθανών οργανωτικών σφαλμάτων.
- Προκειμένου να ολοκληρωθεί οτιδήποτε επιτυχώς, μέσα από το οργανόγραμμα γίνονται αντιληπτές οι βαθμίδες που πρέπει να διανυθούν.
- Ευκολία στην προσαρμογή σε οποιαδήποτε περιβαλλοντική μεταβολή.

Ένα άλλος ορισμός θέλει το οργανόγραμμα ως ένα στατικό διάγραμμα κατά το οποίο αποδίδονται οι εργασίες αλλά και οι σχέσεις εξουσίας μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών μιας οργανωτικής δομής. Η κατανομή αυτή γίνεται με σχήματα τετράγωνης μορφής και γραμμές που τα αλληλοσυνδέουν.

1.9 Διευθυντής έργου

Ο διευθυντής έργου πρέπει να αποτελεί κυρίαρχος του σχεδίου διαχείρισης έργου και να περιλαμβάνει υπευθυνότητα για την παράδοση του έργου τηρώντας τους συμφωνημένους όρους του τρίπτυχου κόστους – χρόνου – ποιότητας. Ο ρόλος του διευθυντή πρέπει να

υπάρχει αναλυτικά στο καταστατικό του έργου εμπεριέχοντας πληροφορίες του τρόπου διαχείρισης έργου.

Πιο αναλυτικά, τα βασικά καθήκοντα του διευθυντή έργου παρουσιάζονται παρακάτω:

Δημιουργία ομάδας	Ευχέρεια δημιουργίας ομάδας από την αρχή του έργου
Ηγεσία	Ευχέρεια καθοδήγησης, παρακίνησης και διαχείρισης όλων των συμβαλλόμενων μερών του έργου
Επίλυση προβλημάτων	Ευχέρεια πρόβλεψης, επίλυσης προβλημάτων και λήψης αποφάσεων
Ενδιαφερόμενα μέρη	Ευχέρεια ενοποίησης και εκπλήρωσης των αναγκών των ενδιαφερόμενων μερών έργου
Ευελιξία	Ευχέρεια προσαρμογής σε μεταβαλλόμενες καταστάσεις και πλήρης αξιολόγηση των ευκαιριών
Επίσπευση	Ευχέρεια σχεδιασμού, επίσπευσης και ολοκλήρωσης εργασιών
Διαπραγμάτευση	Ευχέρεια επιρροής και διαπραγμάτευσης των συμβαλλόμενων μερών
Περιβάλλον	Ευχέρεια αντίληψης του περιβάλλοντος έργου
Έλεγχος	Ευχέρεια εφαρμογής ελέγχου για αποφυγή παρεκκλίσεων
Συμβόλαιο	Ευχέρεια τήρησης των συμφωνηθέντων ορών
Έλεγχος αντικειμένου εργασιών	Ευχέρεια διαχείρισης αλλαγών στο αντικείμενο εργασιών
Ολοκλήρωση	Ευχέρεια κατανόησης των αναθεωρήσεων και εκθέσεων ολοκλήρωσης του έργου
Πελάτης	Ευχέρεια της διατήρησης ικανοποίησης του πελάτη

Πίνακας 1.3: Ικανότητες διευθυντή έργου

1.10 Βασικές μεθοδολογίες διαχείρισης έργων

Για την καλύτερη λειτουργία της διαχείρισης έργων, υπάρχουν διάφορες μεθοδολογίες και τεχνικές, οι οποίες εντάσσονται στις αντίστοιχες διαδικασίες. Τέτοιες είναι:

- Η Δομή Ανάλυσης Εργασιών (WBS)
- Η Μέθοδο Κρίσιμης Διαδρομής (CPM)
- Το διάγραμμα Gantt
- Εργαλεία Διαχείρισης Ποιότητας και κινδύνων

1.11 Δομή ανάλυσης εργασιών

Η δομή ανάλυσης εργασιών (WBS) μπορεί να σχεδιαστεί με δύο τρόπους:

- Με την μορφή ενός διαγράμματος που περιέχει τετραγωνάκια
- Με την μορφή μικρών κειμένων διαφορετικής στοίχισης

Ουσιαστικά, η WBS πρόκειται για μια τεχνική ιεραρχικής δομής η οποία χωρίζει το εύρος του σύνθετου έργου σε μικρότερα εύρη ή μονάδες έργων και καθιστά την συνολική διοίκηση έργου πιο εύκολα διαχειρίσιμη. Αυτές οι μονάδες ονομάζονται πακέτα εργασίας.

Η λογική της υποδιαίρεσης των μεγάλων μονάδων έργου σε μικρότερες μονάδες βοηθάει αποτελεσματικά τόσο στην εκτίμηση, τον προγραμματισμό όσο στην ανάθεση της εργασίας σε ένα άτομο αλλά και στο τελικό στάδιο του ελέγχου. Έτσι, ολόκληρη η ομάδα διαχείρισης έργου αποκτά το ρόλο του προγραμματισμού και του ελέγχου του έργου με πιο αποδοτικό και εύκολο τρόπο. Για να γίνουν όμως όλα τα παραπάνω, ο διευθυντής του έργου πρέπει αρχικά να βρίσκει τρόπους ούτως ώστε να διευκολύνει την λειτουργία του WBS, ενώ παράλληλα η υπόλοιπη ομάδα πρέπει να διαθέτει τον καλύτερο υλικό και άυλο εξοπλισμό για την κατάτμηση του έργου σε μικρότερα και ευκολότερα διαχειρίσιμα πακέτα εργασίας.

Η ανάλυση των εργασιών στα τελικά πακέτα εργασίας περιλαμβάνει κάποιες σημαντικές δραστηριότητες όπως:

- Εντοπισμό παραδοτέων και δραστηριοτήτων.
- Οργάνωση και δόμηση των εργασιών.
- Κατάτμηση υψηλότερων επιπέδων της WBS σε χαμηλότερα επίπεδα αλλά με μεγαλύτερη λεπτομέρεια.
- Κωδικοποίηση των στοιχείων της WBS.
- Πιστοποίηση ότι η ανάλυση σε επιμέρους στοιχεία είναι επαρκής.
- Δημιουργία λεξικού – WBS dictionary.

Ενώ γίνεται λόγος για τις εργασίες πρέπει να υπάρχει ιδιαίτερη προσοχή σε αυτές καθώς κάθε εργασία πρέπει να εμφανίζεται μόνο μια φορά στη WBS. Επίσης, οι εργασίες που τοποθετούνται σε χαμηλότερο επίπεδο είναι αυτόνομες με την έννοια πως αν ξεκινήσουν οδηγούν σε συγκεκριμένο αποτέλεσμα, ολοκληρώνονται χωρίς διακοπή και μπορούν να έχουν έναν υπεύθυνο. Τέλος, όταν πρόκειται για απαρίθμηση των εργασιών αυτό πρέπει να γίνεται ανεξάρτητα από εξαρτήσεις χρόνο έναρξης και λήξης, κόστη, έλεγχοι, ορόσημα κ.α.

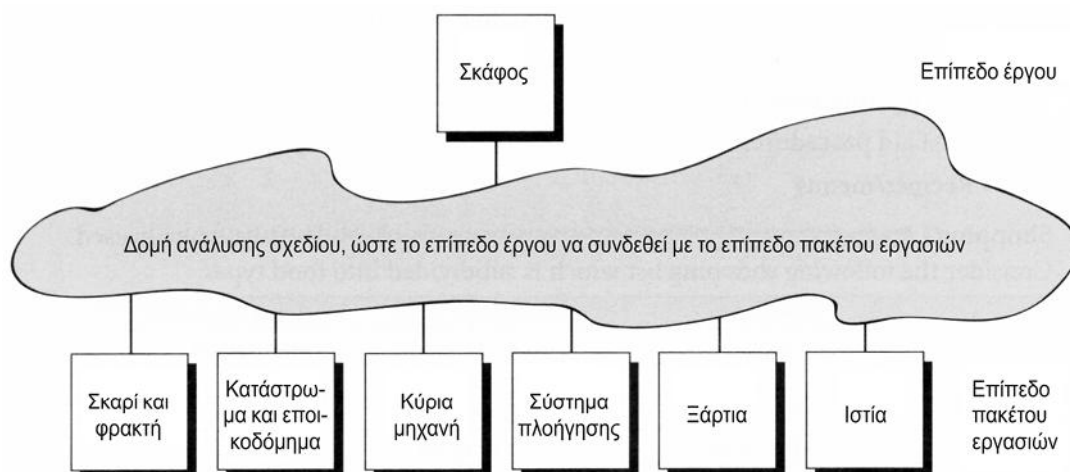
Η δομή ανάλυσης εργασιών γενικά καθιστά το έργο ευκολότερα διαχειρίσιμο. Πιο συγκεκριμένα όμως προσφέρει βελτιωμένες αναλύσεις και εκτιμήσεις ως προς τους πόρους, την διάρκεια των εργασιών και του κόστους. Επίσης, η επικεντρωμένη εργασία της ομάδας έργου λειτουργεί ως λίστα ελέγχου για τα μέλη της, ενώ η ανάθεση εργασιών γίνεται πιο εύκολη διότι ο επικεφαλής μπορεί άμεσα να αντιληφθεί ποιος είναι υπεύθυνος

και που αλλά και το κάθε μέλος που συμμετέχει να είναι ενήμερος για τη δική του υπευθυνότητα. Επιπλέον, προσφέρει παρακολούθηση των εργασιών σε μικρά τμήματα εργασίας που με τη σειρά τους αποδίδουν πολλά σημεία ελέγχου για την παρακολούθηση του κόστους ή και των ορόσημων.

Όσον αφορά τα πακέτα εργασίας, ο αριθμός τους πρέπει να είναι ο κατάλληλος ανάλογα το έργο καθώς δεν πρέπει να είναι πολύ μικρός ή πολύ μεγάλος. Εάν ο αριθμός είναι μεγάλος ελλοχεύει ο κίνδυνος το έργο να μην είναι διαχειρίσιμο και να μην παρακολουθείται επαρκώς από την ομάδα του έργου. Σε αντίθεση, ο μικρός αριθμός των πακέτων εργασίας οδηγεί σε μικροδιαχείριση του έργου καθώς θα υπάρχουν πολλές πληροφορίες, αχρείαστες επικοινωνίες, εκτενείς αναφορές αλλά και το σημαντικότερο χαμηλή παραγωγικότητα.

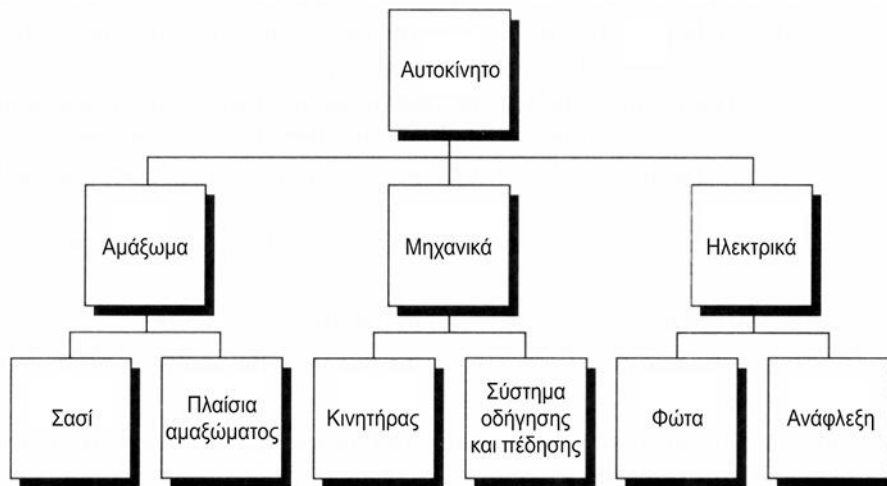
Κάθε πακέτο εργασίας πρέπει να περιλαμβάνει σημαντικά στοιχεία όπως:

- Στόχους – τι πρέπει να επιτύχει ένα πακέτο.
- Παραδοτέα – τι δημιουργεί το πακέτο.
- Αρμοδιότητα – ποιος είναι υπεύθυνος για το πακέτο.
- Πόρους – τι χρειάζεται για να ολοκληρωθεί.
- Διάρκεια – πόσο χρόνο θέλει για να ολοκληρωθεί.
- Προϋπολογισμό – πόσα χρήματα χρειάζεται για να ολοκληρωθεί.



Εικόνα 1.6: Μετάβαση από το επίπεδο έργου στο επίπεδο πακέτου εργασιών (Burke, 2014)

Τα πακέτα εργασίας αποτελούν το κατώτερο επίπεδο της WBS (εικόνα 1.6) και συνδέονται πάντα με κάποιο παραδοτέο. Η ανάθεση του εκάστοτε πακέτου σε υπεύθυνο είναι υποχρεωτική ενώ αυτός ονομάζεται κύριος του πακέτου και μπορεί να ορίζει το πακέτο σαν ένα έργο.



Εικόνα 1.7: Δομή ανάλυσης προϊόντος που καταλήγει σε παραδοτέα (Burke, 2014)

Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι όπως την WBS για την ανάλυση του εύρους του έργου. Μια μέθοδος δεν αποτελεί αναγκαστικά σωστή ή λάθος διαδρομή ανάλυσης καθώς μια λύση που θα μπορούσε να είναι άριστη για ένα τμήμα θα μπορούσε να ήταν άχρηστη για κάποιο άλλο. Μερικές από τις δομές ακολουθούν παρακάτω:

- Δομική ανάλυση προϊόντος – Product Breakdown Structure (PBS): Για τον προσδιορισμό απαιτούμενων για την κατασκευή ενός προϊόντος (εικόνα 1.7).
- Δομή της οργανωτικής κατάτμησης – Organization Breakdown Structure (OBS): Για τον προσδιορισμό των ανθρώπων που είναι υπεύθυνοι για τη παραγωγή των παραδοτέων.
- Δομική ανάλυση της κατανομής κόστους – Cost Breakdown Structure (CBS): Για τον προσδιορισμό των προϋπολογισμών των διαφόρων πακέτων εργασίας.
- Δομική ανάλυση της κατανομής συμβάσεων – Contract Breakdown Structure (CBS): Για τον προσδιορισμό των σχέσεων ανάμεσα στον πελάτη και τον ανάδοχο του έργου.
- Δομική ανάλυση της χωρικής κατανομής του έργου – Location Breakdown Structure (LBS): Για τον προσδιορισμό των πακέτων εργασίας ανάμεσα σε πολλές διαφορετικές τοποθεσίες.

Συνοψίζοντας, η δομή ανάλυσης εργασιών που θα επιλεγεί πρέπει να είναι πλήρης με την έννοια ότι θα περιλαμβάνει όλες τις εργασίες που πρέπει να εκτελεστούν καθ' όλη τη διάρκεια του έργου. Πρέπει να είναι αναλυτική, με την έννοια ότι στα κατώτερα επίπεδα της, τα πακέτα εργασίας εκτελούνται με συγκεκριμένους στόχους, πόρους και διάρκειες. Επιπλέον, πρέπει να είναι ακριβής ως προς τον τρόπο με τον οποίο η διοίκηση θα αναλύσει

Κεφάλαιο 2 – Κύκλος ζωής έργου

Τα έργα από την στιγμή της σύλληψης μέχρι και τη στιγμή ολοκλήρωσης και παράδοσής τους διέρχονται από πολλές ευδιάκριτες φάσεις. Αυτές οι φάσεις είναι αλληλοσυνδεδεμένες και αλληλοεξαρτώμενες μεταξύ τους εφαρμόζοντας έτσι περισσότερο τον όρο κύκλο ζωής έργου.

Για να ολοκληρωθεί επιτυχώς αυτός ο κύκλος ζωής έργου θα πρέπει να ικανοποιούνται τέσσερις παράγοντες επιτυχίας οι οποίοι είναι (εικόνα 2.1):

1. Παράδοση εντός χρονοπρογραμματισμού
2. Παράδοση εντός προϋπολογισμού
3. Παράδοση σύμφωνα με τις απαιτήσεις ποιότητας
4. Ικανοποίηση και αποδοχή από τον πελάτη



Εικόνα 2.1: Τέσσερις παράγοντες επιτυχούς κύκλου ζωής έργου

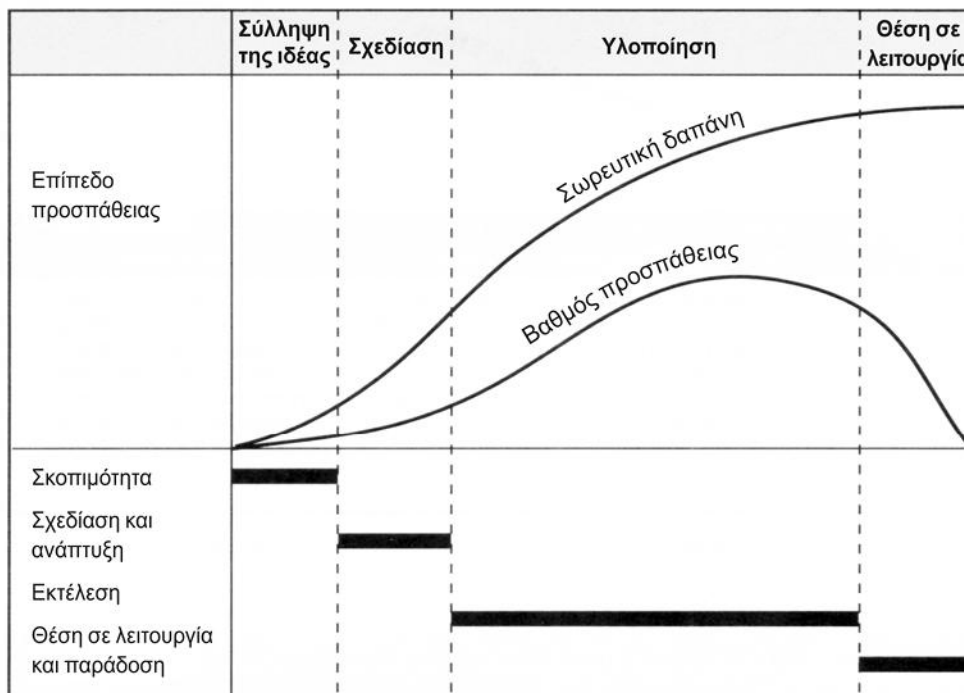
2.1 Φάσεις κύκλου ζωής έργου

Στα περισσότερα έργα ο κύκλος ζωής αποτελείται από 4 φάσεις (Burke, 2014) όπως την εικόνα 2.2:



Εικόνα 2.2: 4 φάσεις κύκλου ζωής έργου

1. Φάση σκοπιμότητας. Στην πρώτη φάση, αρχίζει το έργο με την διαπίστωση κάποιας ανάγκης είτε για την προώθηση κάποιου νέου προϊόντος είτε για την κατασκευή νέων εγκαταστάσεων. Εδώ, μελετάται η σκοπιμότητα του έργου και αν αυτή γίνει δεκτή τότε συνεχίζει στην επόμενη φάση.
2. Φάση σχεδιασμού και ανάπτυξης. Στη δεύτερη φάση, τα αποτελέσματα από τη μελέτη σκοπιμότητας αποτελούν κανόνα για τον σχεδιασμό του έργου και την ανάπτυξη προγραμμάτων και σχεδίων κατά τα οποία θα υλοποιηθεί το έργο.
3. Φάση εκτέλεσης. Στην τρίτη φάση, το έργο υλοποιείται σύμφωνα με τα σχέδια που αναπτύχθηκαν στην προηγούμενη φάση.
4. Φάση θέσης λειτουργίας και παράδοσης. Κατά την τέταρτη φάση, ολοκληρώνεται η υλοποίηση της κατασκευής, ελέγχεται και εγκρίνεται από τον πελάτη. Το κάθε έργο εδώ, συνοδεύεται από μία έκθεση ολοκλήρωσης όπου αναφέρονται τα κύρια στοιχεία του.



Εικόνα 2.3: Τυπική απεικόνιση που περιλαμβάνει το γραμμικό διάγραμμα εξέλιξης των 4 φάσεων μαζί με το επίπεδο προσπάθειας (Burke, 2014)

Στην εικόνα 2.3, αρχικά παρατηρείται το επίπεδο προσπάθειας ανάλογα με την κάθε φάση του κύκλου ζωής έργου. Η πρώτη καμπύλη παρουσιάζει ένα έργο ολοκληρωμένο σωστά στους χρόνους που έχουν οριστεί ενώ στην πάνω καμπύλη παρουσιάζεται ένα έργο που έχει βγει εκτός προγραμματισμού και δεν έχει ολοκληρωθεί. Αυτό που δηλώνεται είναι πως όταν η καμπύλη είναι κοίλη υπάρχει αργή έναρξη και ανάπτυξη έργου άρα και ταχεία ολοκλήρωση. Αντίστοιχα όταν υπάρχει κυρτότητα τότε το έργο χαρακτηρίζεται από ταχεία έναρξη και ανάπτυξη συνεπάγοντας σε αργή ολοκλήρωση και εκτός χρόνου.

Παράλληλα, κάτω από τις καμπύλες διακρίνεται ένα διάγραμμα ράβδων (Gantt). Αυτό παρουσιάζει ουσιαστικά την χρονική διάρκεια των τεσσάρων φάσεων με την μεγαλύτερη διάρκεια να κατέχει η φάση της υλοποίησης. Επίσης, αυτό που είναι σημαντικής σημασίας είναι πως για να αρχίσει κάποια φάση πρέπει αποκλειστικά να τελειώσει η προηγούμενη και αυτό φαίνεται παραπάνω.

2.2 Διεργασίες διοίκησης έργου

Οι διεργασίες ενός οργανισμού για την διεξαγωγή διοίκησης έργου περιλαμβάνει τα εξής (PMBOK 6ED):

1. Διεργασία έναρξης. Αποτελεί τη διαδικασία έναρξης του έργου και εμπεριέχει το καταστατικό του έργου και τη μελέτη σκοπιμότητας.
2. Διεργασία σχεδιασμού. Είναι η διαδικασία που γίνεται εκλογή και ανάπτυξη της βέλτιστης σειράς ενεργειών που πρέπει να πραγματοποιηθούν για να ολοκληρωθούν οι σκοποί που έχουν ειπωθεί στη μελέτη σκοπιμότητας. Εδώ γίνεται χρήση του σχεδίου διαχείρισης έργου.
3. Διεργασία εκτέλεσης. Εδώ συγκεντρώνονται οι ανθρώπινοι και υλικοί πόροι ώστε να εναρμονιστούν και να εφαρμόσουν το σχέδιο διαχείρισης έργου.
4. Διεργασία ελέγχου. Η διαδικασία αυτή εξασφαλίζει πως ικανοποιούνται οι σκοποί και οι στόχοι του έργου αξιολογώντας την πρόοδο. Με αυτό τον τρόπο, γίνονται πιο εμφανής οι τυχόν αποκλίσεις από το σχέδιο διαχείρισης ούτως ώστε να αποφασιστεί αν χρήζει διορθωτικής κίνησης ή όχι. Εδώ μπορεί να αλλαχθεί και το εύρος του έργου αν κριθεί απαραίτητο.
5. Διεργασία ολοκλήρωσης. Στην τελευταία διεργασία γίνεται αποδοχή του έργου και συνοδεύεται προς το τελειώμά του. Παράλληλα, το έργο διοχετεύεται σε θέση λειτουργίας και γίνεται επιβεβαίωση ότι ικανοποιούνται οι στόχοι σύμφωνα με τις

απαιτήσεις του πελάτη και του σχεδίου διαχείρισης έργου. Έπειτα, γίνεται παράδοση προς το πελάτη μαζί με μια έκθεση τεκμηρίωσης στην οποία αναγράφεται πως το έργο πληροί συγκεκριμένα κριτήρια.

2.2.1 Διεργασίες έναρξης

Η διεργασία έναρξης αποτελείται από το καταστατικό, την μελέτη σκοπιμότητας και την ανάλυση ενδιαφερόμενων μερών. Πιο αναλυτικά το καταστατικό του έργου αποτελεί ένα επίσημο έγγραφο που αναφέρει την έναρξη ολόκληρου του έργου αλλά και κάθε φάσης ξεχωριστά. Το έγγραφο αυτό μπορεί να είναι πολύ απλό αναφέροντας μόνο τα βασικά σημεία του έργου αλλά μπορεί να είναι και ένα μεγάλο έκτασης έγγραφο αναφέροντας ακριβώς με λεπτομέρεια τι χρειάζεται και πως θα κατασκευαστεί το έργο. Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας 2.1 με τα κυρίαρχα σημεία ενός καταστατικού.

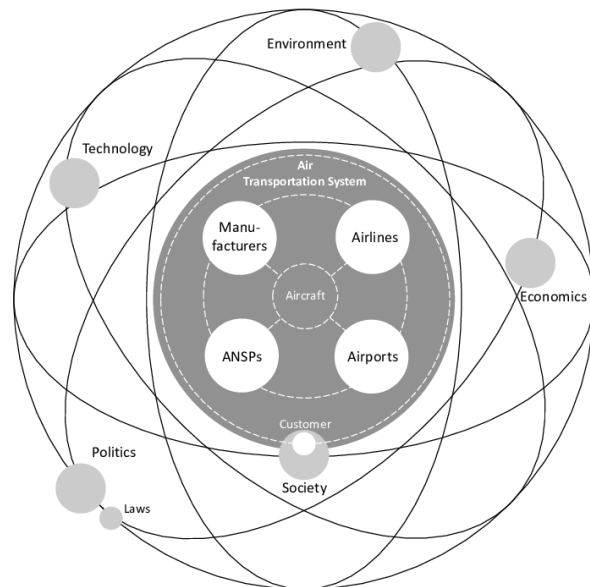
Όνομασία	Δίνει ένα ευνόητο όνομα στο έργο
Αριθμός	Ταυτοποιεί το έργο
Σκοπός	Επεξηγεί τον λόγο ύπαρξης του έργου
Πελάτης	Ορίζει τον πελάτη
Ανώτατος επισπεύδων έργου	Ορίζει το άτομο που εγκρίνει και πληρώνει το έργο
Διευθυντής έργου	Ορίζει τον υπεύθυνο του έργου
Υπόβαθρο έργου	Αναφέρει τα κύρια σημεία κατασκευής έργου
Έκθεση απαιτήσεων	Περιγράφει τα κύρια προβλήματα, ανάγκες και ευκαιρίες τα οποία θα απασχολήσουν το έργο
Έκθεση επιχειρηματικής σκοπιμότητας έργου	Εξηγεί την εμπορική σημασία του έργου
Εύρος έργου	Επεξηγεί τα παραδοτέα
Μελέτη σκοπιμότητας	Κάνει σίγουρο ότι το έργο είναι υλοποιήσιμο και θα χρησιμοποιεί όσα παρέχει η εταιρεία
Ανάλυση ενδιαφερόμενων μερών	Ορίζει τα ενδιαφερόμενα μέρη αναλύοντας τις ανάγκες και προσδοκίες τους
Περιορισμοί έργου	Περιγράφει τους εσωτερικούς – εξωτερικούς περιορισμούς
Υποθέσεις έργου	Αναφέρει τις υποθέσεις για τις οποίες λαμβάνονται αποφάσεις
Προϋπολογισμός έργου	Αναφέρει τα κύρια σημεία κόστους
Χρονοδιάγραμμα έργου	Αναφέρει τις ημερομηνίες έναρξης – λήξης των δραστηριοτήτων
Στρατηγική εκτέλεσης	Επεξηγεί την απόφαση μεταξύ αγοράς – κατασκευής δηλαδή απαιτήσεις πόρων
Ποιότητα	Επεξηγεί το επίπεδο της ποιότητας αλλά και τα μέσα ελέγχου
Μεθοδολογία	Περιγράφει τα κύρια συστήματα διαχείρισης έργων που θα χρησιμοποιηθούν
Οργανωτική δομή	Αναφέρει τα κύρια σημεία του οργανογράμματος

Πίνακας 2.1: Βασικά στοιχεία καταστατικού έργου

Η μελέτη σκοπιμότητας αποτελεί μια ανάλυση κατά την οποία ελέγχεται αν είναι εφικτή η πραγματοποίηση μια σειρά ενεργειών σύμφωνα με τους όρους αναφοράς του έργου. Με λίγα λόγια αναλύονται οι εργασίες για το εν λόγω έργο ή οι εναλλακτικές επιλογές, ώστε να παραχθούν κάποια αποτελέσματα τα οποία θα ορίσουν αν μπορεί να εκτελεστεί το έργο ή όχι (APM BoK, 5ed). Τα αποτελέσματα καλούνται να δώσουν απαντήσεις σε ερωτήματα που σχετίζονται με τις λειτουργικές, οικονομικές, τεχνικές πτυχές του έργου.

Τα ενδιαφερόμενα μέρη του έργου είναι εκείνα που δρουν ενεργά στο έργο. Τα μέλη των οποίων τα συμφέροντα επηρεάζονται από το νέο εγχείρημα κατά την διάρκεια της εκτέλεσής του ή θα επηρεαστούν μετά το πέρας της εκτέλεσης. Επίσης, οι ομάδες υποστήριξης του περιβάλλοντος είναι στα ενδιαφερόμενα μέλη του έργου καθώς μπορούν να επηρεάσουν το νέο εγχείρημα (παράδειγμα εικόνα 2.4). Πιο αναλυτικά ενδιαφερόμενα μέρη αποτελούν:

- Πατέρας της ιδέας, ο οποίος είναι ικανός να ανακαλύψει την ευκαιρία και να σκεφτεί κάτι πρωτότυπο και καινοτόμο.
- Κύριος του έργου, μπορεί να είναι οτιδήποτε που κατέχει το στρατηγικό πλάνο δημιουργώντας την ανάγκη για το έργο.
- Ανώτατος επισπεύδων, με βάση τον οποίο γίνεται η έγκριση της δαπάνης του έργου ή μπορεί να είναι και ο ίδιος ο πελάτης που επιθυμεί το τελικό προϊόν.
- Λειτουργικοί διευθυντές, οι οποίοι κάνουν διαχείριση όλων των πόρων ανθρώπινων και μη για την εκτέλεση του έργου.
- Ανάδοχοι, που αποτελείται από εργατικό δυναμικό που βρίσκεται εκτός εταιρίας αλλά ασχολείται πάνω στο έργο.
- Προμηθευτές, προμηθεύουν όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό για την εκτέλεση του έργου.
- Εταιρείες υποστήριξης, που παρέχουν αγαθά προσθέτοντας θετικά στην εκτέλεση του έργου.



Εικόνα 2.2: Ενδιαφερόμενα μέρη του έργου (Ghosh, 2014)

- Χρήστες, οι άνθρωποι που κάνουν χρήση του έργου χωρίς κόστος.
- Καταναλωτές, οι άνθρωποι που κάνουν χρήση του έργου αλλά καταβάλλοντας χρήματα.

2.2.2 Διεργασία σχεδιασμού

Στην διεργασία σχεδιασμού του έργου αυτό που αποτελεί κυρίαρχος στόχος είναι η ανάπτυξη σχεδίου διαχείρισης έργου. Το σχέδιο αυτό αποτελεί ένα περιληπτικό έγγραφο στο οποίο εμπεριέχονται όλα τα μεμονωμένα σχέδια που απαρτίζουν το βασικό σχέδιο αναφοράς. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα σχέδιο που συγκεντρώνει όλα τα σχέδια για ένα έργο (APM BoK, 5ed). Για να δημιουργηθεί το σχέδιο αυτό πρέπει να ληφθούν υπόψη τα εξής σχέδια (Bourke,2014):

- Σχέδιο εύρους έργου
- Σχέδιο χρόνου
- Σχέδιο κόστους
- Σχέδιο ποιότητας
- Σχέδιο προμηθειών
- Σχέδιο πόρων
- Σχέδιο ανθρώπινων πόρων
- Σχέδιο επικοινωνιών
- Σχέδιο κινδύνου

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω αλλά και επεξεργάζοντάς τα λαμβάνεται το σχέδιο διαχείρισης έργου.

2.2.3 Διεργασία εκτέλεσης, παρακολούθησης και ελέγχου

Σε αυτή τη διεργασία οι εκροές που λαμβάνονται υπόψη είναι πράγματα που έχουν ευρεθεί σε προηγούμενα στάδια όπως το καταστατικό και το σχέδιο διαχείρισης έργου αλλά και εγκρίσεις αλλαγών εύρους έργου. Η επεξεργασία αυτών οδηγεί στην

1. Έκδοση οδηγιών
2. Διεκπεραίωση προμηθειών
3. Επιθεώρηση ποιότητας κατά τη διεργασία
4. Παρακολούθηση προόδου

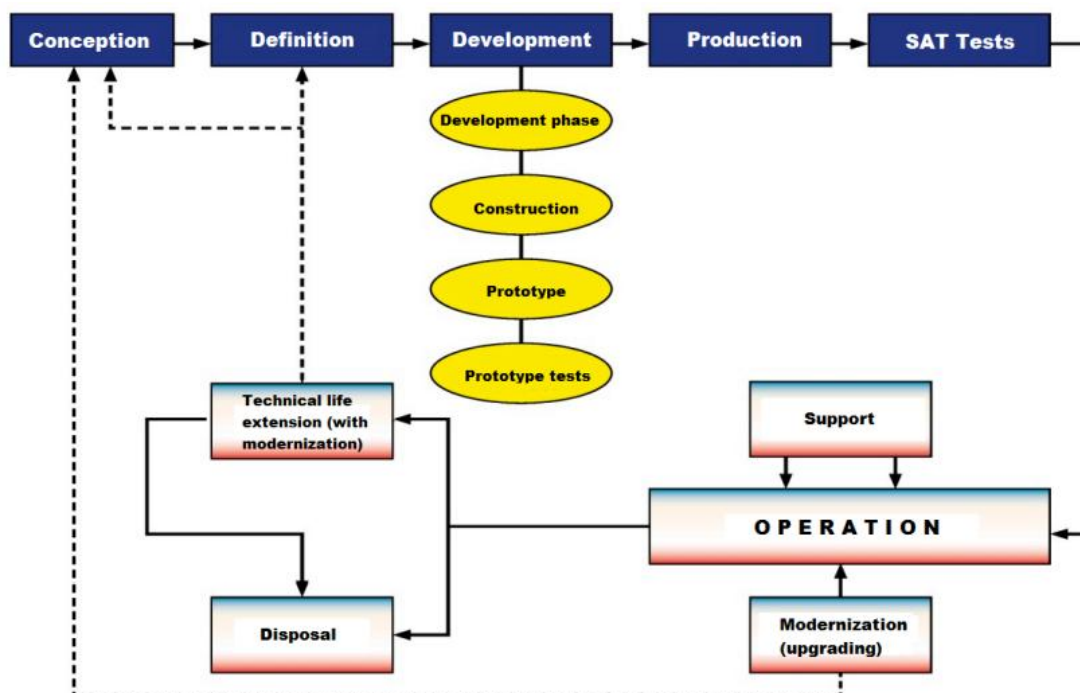
5. Ανασχεδιασμός για ενσωμάτωση αλλαγών

όπου και τα πέντε αυτά μαζί συντάσσουν την έκθεση προόδου έργου

2.2.4 Διεργασία ολοκλήρωσης

Στην τελική διεργασία του έργου, αρχικά δημιουργούνται τα πιστοποιητικά ολοκλήρωσης και τα εγχειρίδια του έργου και των χειριστών. Αυτά εκδίδονται έπειτα από επεξεργασία του σχεδίου διαχείρισης έργου και των κριτηρίων αποδοχής και επικύρωσης αυτού. Τέλος, εκδίδεται και η έκθεση ολοκλήρωσης του έργου με τα διδάγματα εφόσον προηγηθεί αντίστοιχη επεξεργασία πάλι του σχεδίου διαχείρισης έργου και των πιστοποιητικών θέσης λειτουργίας και αποδοχής.

Στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 2.3), διακρίνεται ο κύκλος ζωής μιας αεροπορικής τεχνολογίας όπως ενός αεροπλάνου. Ο συγκεκριμένος κύκλος περιλαμβάνει στάδια από την κατασκευή του αεροπλάνου, την λειτουργία του αλλά και την τελική απόσυρσή του. Επίσης, περιλαμβάνει απαιτήσεις ασφάλειας πτήσεων και αξιοπιστίας της τεχνολογίας, η οποία αντικατοπτρίζεται κυρίως στις ειδικές δοκιμές πτήσης, αξιοπλοΐα αεροσκάφους, πιστοποίηση αεροναυτικών προϊόντων και λειτουργία (Szabo, Koblen, Vajdova, 2015).



Εικόνα 2.3: Στάδια κύκλου έργου ζωής αεροπορικής τεχνολογίας (Szabo, Koblen, Vajdova, 2015)

Κεφάλαιο 3 – Χρονοπρογραμματισμός έργου και μεθοδολογίες

Η διαχείριση χρόνου έργου αφορά όλες εκείνες τις εργασίες που είναι απαραίτητες για την έγκαιρη ολοκλήρωση του έργου (PMBOK 4ed). Διαφορετικά θα μπορούσε να είναι η διεργασία που πραγματοποιείται ούτως ώστε να προσδιορισθεί η συνολική διάρκεια του έργου αλλά και το πότε θα προγραμματιστούν να γίνουν οι δραστηριότητες και τα γεγονότα. Κάτι τέτοιο περιλαμβάνει την αναγνώριση των τελευταίων, των λογικών τους εξαρτήσεων και την εκτιμώμενη διάρκειά τους, συνυπολογίζοντας τις απαιτήσεις και τους διαθέσιμους πόρους (PMBOK 5ed).

Ο χρονοπρογραμματισμός έργου εφόσον ολοκληρωθεί και σχεδιαστεί κατάλληλα καλείται να δώσει απαντήσεις σε σημαντικά ζητήματα που αφορούν το ίδιο το έργο. Αρχικά, μέσα από αυτή τη διαδικασία δίνεται απάντηση ως προς το χρόνο ολοκλήρωσης του έργου με δεδομένο πως κάθε δραστηριότητα θα εκτελεσθεί σύμφωνα με τον προγραμματισμό. Παράλληλα, ευρίσκονται ποιες δραστηριότητες είναι κρίσιμες προκειμένου να διασφαλισθεί η έγκαιρη ολοκλήρωση του έργου και ποιες από αυτές μπορούν να καθυστερήσουν χωρίς όμως να επιβραδύνεται η ολοκλήρωση του έργου και αν επιβραδύνεται πόσο θα είναι το διάστημα αυτό. Πιο λεπτομερώς, για κάθε δραστηριότητα βρίσκεται ο χρόνος που πρέπει να ξεκινήσει και να τελειώσει αλλά και πόσα χρήματα θα πρέπει να έχουν καταβληθεί σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή του έργου. Τέλος, ανακαλύπτεται αν είναι δυνατή η επένδυση σε συγκεκριμένες δραστηριότητες για την επιτάχυνσή τους αλλά και ποιες είναι αυτές.

Για την απόκτηση όλων των παραπάνω απαντήσεων υπάρχουν διάφορες μεθοδολογίες, μερικές εκ των οποίων είναι:

- Μέθοδος CPM (Critical Path Method), Μέθοδος Κρίσιμης Διαδρομής ή Μέθοδος των κατά Βέλος Προσανατολισμένων Δικτυωτών Γραφημάτων.
- Μέθοδος MPM (Metra Potential Method), Μέθοδος των κατά Κόμβο Προσανατολισμένων Δικτυωτών Γραφημάτων.
- Μέθοδος PERT (Program Evaluation and Review Technique), Τεχνική Αξιολόγησης και Αναθεώρησης Προγράμματος.
- Μέθοδος VERT (Venture Evaluation and Review Technique), Τεχνική Αξιολόγησης και Αναθεώρησης Διακύβευσης.
- Μέθοδος GERT (Graphical Evaluation and Review Technique), Τεχνική Αξιολόγησης και Αναθεώρησης Γραφήματος.

- Διαγράμματα Gantt, εργαλείο ελέγχου οριζόντιων διαγραμμάτων.

Για να γίνει σωστά η χρήση όλων των παραπάνω μεθόδων αλλά και γενικά η διαδικασία του χρονοπρογραμματισμού πρέπει να κατανοηθεί η σημασία της δραστηριότητας. Έτσι λοιπόν, δραστηριότητα είναι μια εργασία ή λειτουργία που είναι αναγκαία η εκτέλεσή της ως προς την ολοκλήρωση του πακέτου εργασιών ή του έργου συνολικά. Άρα, ένα πακέτο εργασίας μπορεί να αποτελείται από μία και μόνο ή περισσότερες δραστηριότητες.

Όλες οι δραστηριότητες διέπονται από συγκεκριμένα χαρακτηριστικά όπως:

1. Αριθμό – μοναδικό κωδικό αριθμό ή αριθμό δραστηριότητας
2. Περιγραφή – ενημερωτική και σαφής ώστε να ξεχωρίζει τις δραστηριότητες μεταξύ τους
3. Λογική – διαδοχική αλληλουχία μεταξύ δραστηριοτήτων σε σειριακές ή παράλληλες σχέσεις
4. Υστέρηση – καθυστερήσεις ως προς τον χρόνο
5. Διάρκεια – διάρκεια ολοκλήρωσης
6. Ημερολόγιο – πότε θα πραγματοποιηθεί η κάθε δραστηριότητα
7. Στοχαστικές ημερομηνίες – έναρξη και λήξη
8. Προμήθειες – υλικών και υπηρεσιών με μορφή χρονοδιαγράμματος
9. Απαιτήσεις πόρων – ιστόγραμμα
10. Έκθεση ταμειακής ροής – αν επιφορτιστεί με κόστος
11. Καμπύλη S – κόστους και πόρων

Σχηματικά μια δραστηριότητα μπορεί να παρουσιαστεί σαν ένα κουτί δραστηριοτήτων (πίνακας 3.1):

ΝΩΡΙΤΕΡΗ ΕΝΑΡΞΗ		ΝΩΡΙΤΕΡΗ ΕΝΑΡΞΗ
ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ
ΑΡΓΟΤΕΡΗ ΕΝΑΡΞΗ		ΑΡΓΟΤΕΡΗ ΛΗΞΗ

Πίνακας 3.1: Κουτί δραστηριότητας

- Νωρίτερη έναρξη – Earliest start (ES)
- Αργότερη έναρξη – Latest start (LS)
- Νωρίτερη λήξη – Earliest finish (EF)

- Αργότερη λήξη – Latest finish (LF)
- Περιθώριο δραστηριότητας – Slack time (ST)

Μέσα στις δραστηριότητες υπάρχουν κάποιες που κατέχουν μηδενική διάρκεια και είναι σημαντικές στον κύκλο ζωής του έργου. Αυτές ονομάζονται ορόσημα. Ως ορόσημο λοιπόν θα μπορούσε να είναι η έναρξη ή το τέλος του έργου. Η ύπαρξή τους είναι σημαντική στο χρονοπρογραμματισμό γιατί απλοποιείται και επικεντρώνεται το ενδιαφέρον σε ενδιάμεσους στόχους. Επίσης, διευκολύνεται η ανάθεση των εργασιών καθώς το ενδιαφέρον εστιάζει σε ακόμα πιο μικρούς στόχους που μπορούν να επιτευχθούν ενώ γίνεται πιο εύκολη η εποπτεία και ο έλεγχος στη μέτρηση της προόδου.

Με όλα τα παραπάνω γίνεται κατανοητό πως η διάρκεια της δραστηριότητας είναι καίρια και για αυτό απαιτούνται πληροφορίες για την εκτίμησή της. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να αντληθούν από:

- Λίστα δραστηριοτήτων περιέχοντας όλες τις εργασίες που πρέπει να πραγματοποιηθούν για να ολοκληρωθούν οι στόχοι του έργου αλλά και το ίδιο το έργο.
- Βάση δεδομένων εκτιμήσεων περιγράφοντας γενικά στοιχεία όπως πόσο χρεώθηκε η εταιρεία για αγαθά ή υπηρεσίες και τι αποδοτικότητα και παραγωγικότητα επιτεύχθηκε σε προηγούμενα έργα.
- Εύρος έργου υπολογίζοντας τον όγκο των εργασιών που πρέπει να πραγματοποιήσει μια δραστηριότητα για να ολοκληρωθεί.
- Επίπεδο προσπάθειας μετατρέποντας το εύρος του έργου σε επίπεδο προσπάθειας εκφράζοντάς το σε ανθρωπόωρες, εργατοώρες κ.α.
- Επίπεδο πόρων ποσοτικοποιώντας τον αριθμό των πόρων που είναι διαθέσιμοι για την εκτέλεση του έργου. Ο αριθμός των πόρων συμβαδίζει με την διάρκεια μιας δραστηριότητας.

Συνολικά, ένα πακέτο εργασίας διαιρείται σε δραστηριότητες και αυτές υποδιαιρούνται σε υποδραστηριότητες εντείνοντας έτσι την προσοχή για την επίτευξη της κατάλληλης ισορροπίας μεταξύ μεγέθους και διάρκειας. Η κάθε διάρκεια θα ήταν καλό να κυμαίνεται μεταξύ 0,5 – 2 % της συνολικής διάρκειας του έργου ενώ πρέπει να ληφθεί υπόψη πως οι κρίσιμες δραστηριότητες έχουν διάρκεια μικρότερη του χαμηλότερου ορίου του φάσματος. Συγκεκριμένα εάν ένα έργο έχει υπεράριθμες δραστηριότητες τότε το έργο πρέπει να

διαιρεθεί σε υποέργα και αντίστοιχα να δημιουργηθούν χρονοδιαγράμματα για καθένα υποέργο ξεχωριστά.

Οι εκτιμήσεις της διάρκειας των δραστηριοτήτων μπορούν να υπολογισθούν με δύο τρόπους:

1. Στοχαστική προσέγγιση, όπου εξετάζονται όλα τα πιθανολογικά στοιχεία του έργου και κάνει μια εκτίμηση ως προς την προσδοκώμενη διάρκεια κάθε δραστηριότητας και την διακύμανσή της.
2. Αιτιοκρατική προσέγγιση, όπου θεωρείται ότι κάθε δραστηριότητα έχει συγκεκριμένη διάρκεια.

Εξετάζοντας την στοχαστική προσέγγιση γίνεται αντιληπτό πως αναφέρεται σε δραστηριότητες όπου η ακριβής τους διάρκεια δεν είναι γνωστή. Για να εκτιμηθεί η διάρκεια αυτή αναλύονται παλιότερα δεδομένα και διατυπώνονται διαγράμματα κατανομής συχνότητας της διάρκειας των δραστηριοτήτων. Αυτό μπορεί να γίνει με την κανονική κατανομή και την κατανομή βήτα.

Η κατανομή Βήτα μοιάζει με την κανονική κατανομή αλλά δέχεται μόνο θετικές τιμές στο διάστημα $[0,1]$ και καθορίζεται από δυο παραμέτρους α και β . Για την ύπαρξη συμμετρίας ή και όχι, καθορίζεται από τις παραμέτρους α και β ενώ τα άκρα της κατανομής Βήτα τέμνουν τον άξονα x στο 0 και 1 και δεν τον πλησιάζουν ασυμπτωματικά. Για τον υπολογισμό της μέσης τιμής και της διακύμανσης δίδονται οι σχέσεις

$$E(X) = \frac{\alpha}{\alpha+\beta} \quad \text{και} \quad Var(X) = \frac{\alpha\beta}{(\alpha+\beta)^2 \times (\alpha+\beta+1)}.$$

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την διάρκεια ενσωματώνονται στον χρονοπρογραμματισμού του έργου υποθέτοντας ότι η εκτίμηση της διάρκειας της δραστηριότητας μπορεί να υπολογισθεί από τρεις διαφορετικές τιμές οι οποίες είναι:

- a = αισιόδοξος χρόνος, ο οποίος δηλώνει ότι η εκτέλεση της δραστηριότητας θα είναι εξαιρετικά καλή
- m = πιθανότερος χρόνος, ο οποίος δηλώνει ότι η εκτέλεση της δραστηριότητας θα είναι κανονική
- b = απαισιόδοξος χρόνος, ο οποίος δηλώνει ότι η εκτέλεση της δραστηριότητας θα είναι εξαιρετικά άσχημη

Για να εκτιμηθεί η προσδοκώμενη τιμή d πρέπει πρώτα να υπολογισθεί η τυπική απόκλιση $s = \frac{b-a}{6}$ και έπειτα χρησιμοποιώντας των τύπο $d = \frac{1}{2} \left(2m + \frac{1}{2}(a+b) \right) = \frac{a+4m+b}{6}$.

Η αιτιοκρατική προσέγγιση αφορά την διάρκεια για την οποία υπάρχουν παρελθοντικά δεδομένα για μια δραστηριότητα παρόμοια της τωρινής και η διαφοροποίηση στο χρόνο είναι αμελητέα. Η εκτίμησης της διάρκειας υπολογίζεται από τη μέση τιμή όλων των χρόνων που απαιτήθηκε για την εκτέλεσή της στο παρελθόν.

3.1 Δικτυωτή ανάλυση

Η δικτυωτή ανάλυση αποτελεί μέθοδος χρονοπρογραμματισμού κατά την οποία σχεδιάζεται το δίκτυο του έργου και πραγματοποιούνται αλγεβρικοί υπολογισμοί για την εύρεση των χρονικών παραμέτρων των δραστηριοτήτων που το απαρτίζουν. Η ανάλυση περιλαμβάνει ένα γράφημα στο οποίο παρουσιάζονται όλες οι δραστηριότητες που πρέπει να ολοκληρωθούν ενώ παράλληλα σχηματίζονται οι σχέσεις αλληλουχίας μεταξύ τους. Πρόκειται δηλαδή για ένα γράφημα που εμπεριέχει κόμβους (δραστηριότητες) που παρουσιάζονται με διάφορα σχήματα όπως κύκλους, ελλείψεις ή παραλληλόγραμμα και από διανυσματικά βέλη που συνδέουν τους κόμβους.

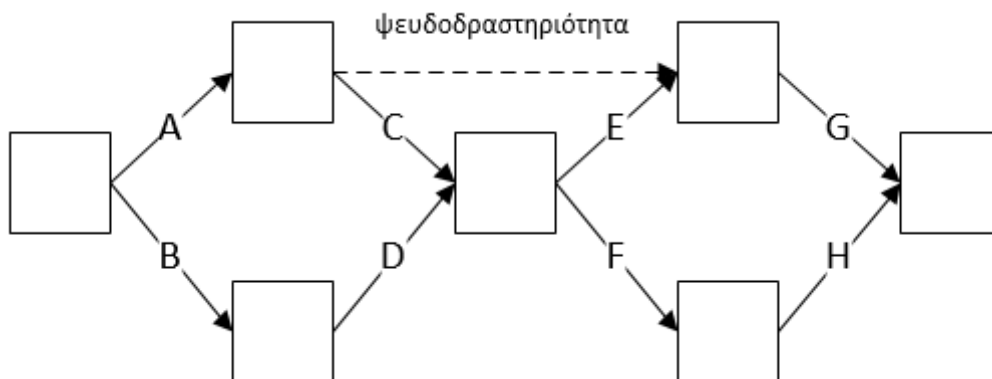
Η δικτυωτή ανάλυση για να πραγματοποιηθεί σωστά πρέπει να ακολουθήσει κάποια στάδια. Αυτά είναι:

1. Επιμερισμός του έργου σε μοναδικές δραστηριότητες
2. Καθορισμός των σχέσεων αλληλουχίας δραστηριοτήτων
3. Προσδιορισμός της μεθόδου εκτέλεσης κάθε δραστηριότητας
4. Υπολογισμός της διάρκειας κάθε δραστηριότητας
5. Εκλογή μεθόδου δικτυωτής ανάλυσης
6. Σχεδίαση δικτυωτού γραφήματος ανάλογα με την μέθοδο
7. Επίλυση του δικτυωτού γραφήματος
8. Σχεδίαση διαγράμματος Gantt.

Για την εν λόγω ανάλυση υπάρχουν δύο τύποι δικτύων:

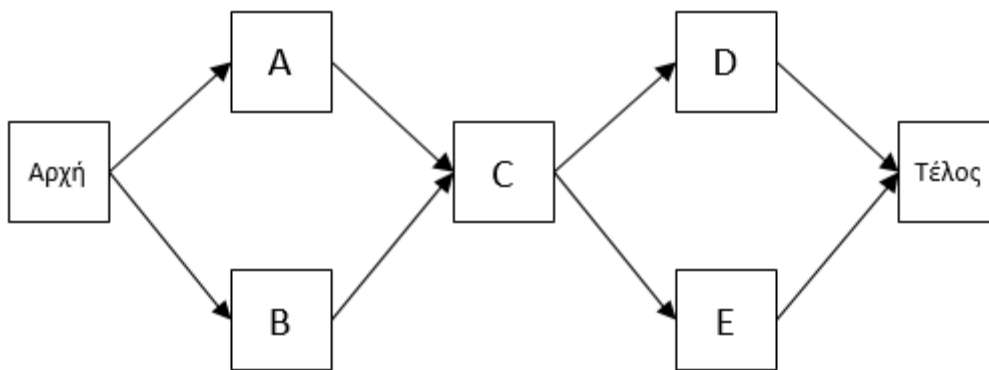
- Τοξωτά Δίκτυα (Activity On Arrow Network AOA) εικόνα 3.1, όπου οι δραστηριότητες παρουσιάζονται ως βέλη και

- Κομβικά Δίκτυα (Activity On Node Network AON) εικόνα 3.2, στα οποία οι δραστηριότητες παρουσιάζονται με ένα κόμβο δικτύου.



Εικόνα 3.1: Δίκτυο AOA όπου η περιγραφή είναι πάνω στα βέλη

Αναλύοντας τα τοξωτά δίκτυα, γίνεται αντιληπτό πως μια δραστηριότητα αποτελεί μια λειτουργία η οποία καταναλώνει χρόνο. Αυτή ή ενέργεια απεικονίζεται με βέλη (\rightarrow), το μήκος των οποίων δεν δηλώνει κάποιο φυσικό μέγεθος. Γεγονός αποτελούν σημαντικές χρονικές στιγμές του έργου όπως η έναρξη ή το τέλος μιας δραστηριότητας ενώ συμβολίζονται σαν κόμβοι με σχήματα όπως κύκλος, έλλειψη ή παραλληλόγραμμο τα οποία δεν προσδίδουν καμία παραπάνω πληροφορία.



Εικόνα 3.2: Δίκτυο AON όπου η περιγραφή είναι μέσα στα κουτιά

Έτσι λοιπόν σχηματικά παρουσιάζονται:

- Δραστηριότητα με βέλος.
- Γεγονός έναρξης δραστηριότητας με κόμβο στο αριστερό άκρο του βέλους.
- Γεγονός ολοκλήρωσης δραστηριότητας με κόμβο στο δεξί άκρο του βέλους.
- Όλες οι δραστηριότητες έχουν αρχή και τέλος οπότε και κάθε βέλος ξεκινά και καταλήγει σε κόμβο.

- Υπάρχουν μοναδικοί κόμβοι που είναι ο αρχικός κόμβος (αρχή του έργου) και ο τελικός κόμβος (τέλος του έργου).
- Μια δραστηριότητα A προηγείται μιας δραστηριότητας B και συνεπώς η δραστηριότητα B έπεται της A. Αυτό ουσιαστικά μεταφράζεται πως για να ξεκινήσει η B πρέπει να έχει αρχίσει και τελειώσει η δραστηριότητα A.
- Δύο γεγονότα επιτρέπεται να συνδέονται με μία δραστηριότητα, ουσιαστικά παράλληλες δραστηριότητες μεταξύ τους απαγορεύονται.
- Μια δραστηριότητα θα ξεκινήσει μόνο όταν έχουν ολοκληρωθεί όλες οι δραστηριότητες που προηγούνται π.χ. για να γίνει η Δ πρέπει να τελειώσουν οι Α, Β, Γ.
- Δύο οι περισσότερες δραστηριότητες αρχίζουν από ένα κόμβο, όπου εδώ ότι προηγείται από τον κόμβο αυτό πρέπει να έχει ολοκληρωθεί και μετά ξεκινούν οι νέες δραστηριότητες ακόμα και ταυτόχρονα.

Με λίγα λόγια για την κατασκευή ενός δικτύου ΑΟΑ πρέπει να τηρηθούν δύο όροι. Ο πρώτος είναι η κάθε δραστηριότητα να παρουσιάζεται μόνο με ένα βέλος στο δίκτυο. Ο δεύτερος είναι να μην υπάρχουν δύο δραστηριότητες που να ξεκινούν από ένα ίδιο γεγονός και να καταλήγουν σε ένα άλλο ίδιο γεγονός. Αυτή η κατάσταση μπορεί πολύ εύκολα να προκύψει όταν δύο δραστηριότητες μπορούν να εκτελεστούν παράλληλα οπότε για την αποφυγή του μπορεί να δημιουργηθεί μια πλασματική δραστηριότητα. Οι πλασματικές δραστηριότητες δεν είναι χρονοβόρες και δεν απαιτούν πόρους ενώ παρουσιάζονται με διακεκομμένες γραμμές στο δίκτυο.

Επιπλέον, σε ένα οποιοδήποτε δικτυωτό γράφημα δεν επιτρέπεται η ύπαρξη κλειστών δικτύων (βρόχων) ενώ παράλληλα δεν είναι εφικτή η ύπαρξη ανεξάρτητων γεγονότων που να μην συνδέονται με κάποια δραστηριότητα σε άλλα γεγονότα ή κόμβους. Επίσης, μια χρήσιμη συμβουλή θα ήταν η αποφυγή πολλών γεγονότων αρχής ή τέλους και η δημιουργία πλασματικών και πάλι κόμβων αρχής και τέλους.

Το μοντέλο των κομβικών δικτύων (ΑΟΝ) αποτελεί μια εναλλακτική προσέγγιση για την παρουσίαση των δραστηριοτήτων ενός έργου αλλά και των επιμέρους σχέσεων. Σε αυτό το μοντέλο τα βέλη χρησιμοποιούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να εμφανίζονται οι σχέσεις προτεραιότητας μεταξύ των δραστηριοτήτων ενώ δεν απαιτούνται πλασματικά βέλη και είναι εύκολο εργαλείο ως προς την σχεδιάσή του.

Ορισμένα χαρακτηριστικά του μοντέλου είναι:

- Όλοι οι κόμβοι πρέπει να έχουν τουλάχιστον έναν επόμενο κόμβο, εξαιρείται βέβαια ο κόμβος τέλους.
- Όλοι οι κόμβοι πρέπει να έχουν τουλάχιστον έναν προηγούμενο κόμβο, εξαιρείται ο κόμβος αρχής.
- Όπως στα τοξωτά δίκτυα έτσι και στα κομβικά δίκτυα πρέπει να υπάρχει μόνο ένας κόμβος αρχής και ένας τέλους.
- Δεν πρέπει να υπάρχουν βέλη που να μην αρχίζουν και να καταλήγουν σε κάποια δραστηριότητα.
- Όπως ειπώθηκε και παραπάνω τα βέλη υποδηλώνουν τις διαδοχικές σχέσεις των δραστηριοτήτων και το μήκος τους δεν σημαίνει απολύτως κάτι.
- Βρόχοι και κλειστές διαδρομές του δικτύου δεν πρέπει να υπάρχουν διότι η κάθε δραστηριότητα είναι η επόμενη μιας άλλης και εξαρτάται άμεσα από την προηγούμενή της.
- Σε ένα κόμβο μπορούν να καταλήγουν πάνω από μια δραστηριότητες, ενώ η αρχή της επόμενης δραστηριότητας προϋποθέτει την ολοκλήρωση όλων των προηγούμενων της.
- Αντίθετα, από ένα κόμβο μπορούν να ξεκινούν πάνω από μία συνδέσεις σε επόμενες δραστηριότητες με προϋπόθεση τη λήξη της δραστηριότητας που προηγείται για την έναρξη των επόμενων.

Για την καλύτερη κατανόηση των δύο παραπάνω μεθόδων γίνεται αναφορά σε πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αυτών (πίνακας 3.2):

Πλεονεκτήματα	
Τοξωτά Δίκτυα	Κομβικά Δίκτυα
Διακρίνονται με μεγάλη ευκολία οι διαδοχικές σχέσεις των δραστηριοτήτων	Εύκολη η κατασκευή τους
Εύκολη αποτύπωση των ορόσημων	Οι δραστηριότητες είναι το επίκεντρο
Όσο περίπλοκο και να είναι το δίκτυο είναι εύκολη η κατασκευή τους	Δεν γίνεται χρήση ψευδογεγονότων
	Εύκολο χρονικός προγραμματισμός όταν αυτός υπάγεται σε περιορισμούς
Μειονεκτήματα	
Τοξωτά Δίκτυα	Κομβικά Δίκτυα
Όσο μεγαλύτερης κλίμακας είναι το έργο τόσο πιο δύσκολα είναι τα δίκτυα στην επεξεργασία τους	Οι σχέσεις των δραστηριοτήτων παρουσιάζονται με λογική αλληλουχία και όχι χρονική
Γίνεται χρήση ψευδοδραστηριοτήτων	Απαιτούν σημαντική επεξεργασία ως προς την χρονική αλληλουχία
Περιέχονται μόνο σχέσεις τέλους – έναρξης	

Πίνακας 3.2: Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα AOA και AON δικτύων

3.2 Τεχνική Κρίσιμης Διαδρομής

Η Τεχνική Κρίσιμης Διαδρομής (Critical Path Method, CPM), είναι μια αλληλουχία δραστηριοτήτων που έχει σαν αφετηρία ένα κόμβο αρχής και σαν τέλος ένα κόμβο τέλους ο οποίος έχει την μεγαλύτερη χρονική διάρκεια από όλες τις διαδρομές που συνδέουν στο δίκτυο τους κόμβους αρχής και τέλους. Η διάρκεια αυτή αποτελεί την διάρκεια της κρίσιμης διαδρομής και είναι ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση του έργου. Η κρίσιμη διαδρομή όπως είναι λογικό αποτελείται από κρίσιμες δραστηριότητες οπότε και η οποιαδήποτε αλλαγή στην χρονική διάρκεια μιας κρίσιμης δραστηριότητας θα έχει άμεσο αντίκτυπο και στη συνολική χρονική διάρκεια της κρίσιμης διαδρομής ολοκλήρωσης του έργου.

Βασικοί ορισμοί θέλουν την τεχνική CPM να ανήκει στη γνωστική περιοχή της διαχείρισης χρόνου και περιλαμβάνει βήματα ανάπτυξης της ακολουθίας δραστηριοτήτων και ανάπτυξης χρονοδιαγράμματος (PMBOK 4ed). Πιο συγκεκριμένα γίνεται ένας χρονοπρογραμματισμός ο οποίος καθορίζει τη συνολική διάρκεια του έργου, τότε θα συμβούν οι δραστηριότητες και τις λογικές εξαρτήσεις (PMBOK 5ed).

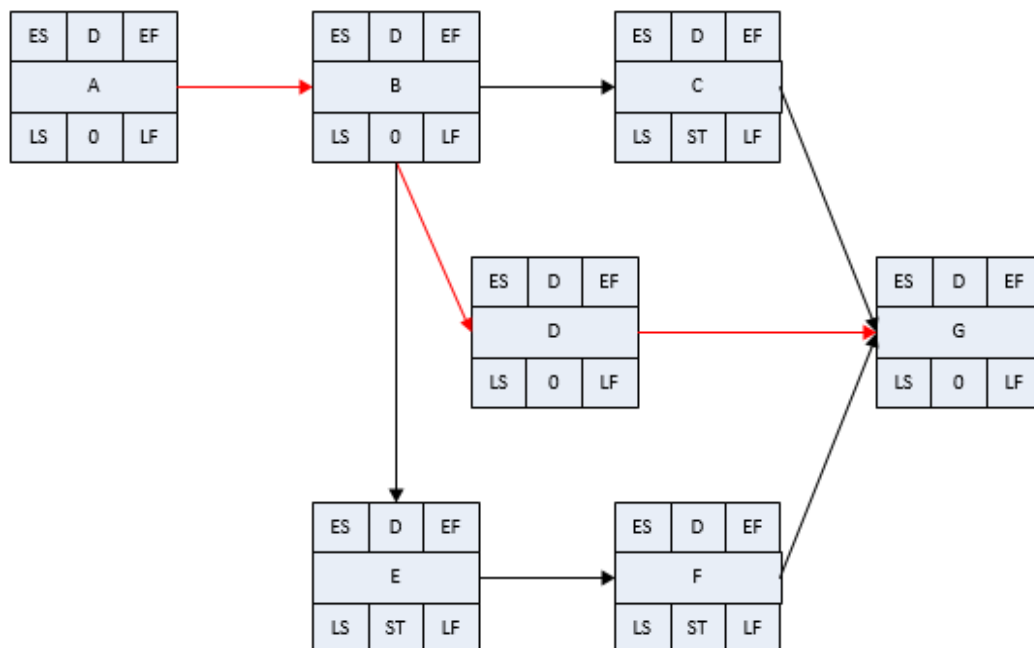
Η τεχνική CPM σε δίκτυα ΑΟΑ περιλαμβάνει νωρίτερους και αργότερους χρόνους. Νωρίτερος χρόνος γεγονότος είναι η ελάχιστη διάρκεια που απαιτείται για να ολοκληρωθεί η εκτέλεση της δραστηριότητας που προηγείται του γεγονότος. Ο αργότερος χρόνος γεγονότος είναι ο ελάχιστος χρόνος ολοκλήρωσης των δραστηριοτήτων που έπονται του γεγονότος. Πιο αναλυτικά όταν πρόκειται για την ευθεία επίλυση του δικτύου (αρχή – τέλος) υπολογίζονται όλοι οι νωρίτεροι χρόνοι των γεγονότων, της έναρξης κάθε δραστηριότητας αλλά και του πέρατος κάθε δραστηριότητας. Αντίθετα κατά το αντίστροφο πέρασμα του δικτύου (τέλος – αρχή) υπολογίζονται οι αργότεροι χρόνοι των γεγονότων, της έναρξης κάθε δραστηριότητας αλλά και του πέρατος κάθε δραστηριότητας.

Τέλος, το περιθώριο της δραστηριότητας δηλώνει το χρόνο που περισσεύει ή που διαθέτει η δραστηριότητα, δίνοντάς της το δικαίωμα να καθυστερήσει η έναρξη σε σχέση με το νωρίτερο χρόνο ή να επιμηκυνθεί ο χρόνος εκτέλεσής της χωρίς όμως να επηρεαστεί ο συνολικός χρόνος ολοκλήρωσης του έργου. Ο χρόνος αυτός δείχνει το πόσο μακριά είναι η δραστηριότητα από τα να γίνει κρίσιμη ή και όχι με βασική προϋπόθεση την μη καθυστέρηση έναρξης ή ολοκλήρωσης άλλης δραστηριότητας.

Στα δίκτυα AON η τεχνική της CPM (εικόνα 3.3) κατά το ευθύ πέρασμα δηλαδή από την ημερομηνία έναρξης έως την ημερομηνία τέλους του έργου υπολογίζει του νωρίτερους χρόνους έναρξης (ES) και λήξης (EF) κάθε δραστηριότητας. Αναλυτικότερα, ο νωρίτερος χρόνος έναρξης είναι ο μεγαλύτερος χρόνος ολοκλήρωσης των δραστηριοτήτων που προηγούνται ενώ ο νωρίτερος χρόνος λήξης είναι ο νωρίτερος χρόνος έναρξης προσθέτοντας την διάρκεια της δραστηριότητας. Συνεπώς, ο ελάχιστος χρόνος ολοκλήρωσης του έργου ισούται με το μεγαλύτερο εκ των νωρίτερων χρόνων ολοκλήρωσης των δραστηριοτήτων και οδηγούν στον κόμβο τέλους.

Όσον αφορά το αντίστροφο πέρασμα, αποτελεί την ημερομηνία λήξης του έργου μέχρι την ημερομηνία έναρξής του και υπολογίζει τους αργότερους χρόνους έναρξης (LS) και λήξης (LF). Ο αργότερος χρόνος λήξης είναι ο μικρότερος χρόνος έναρξης των δραστηριοτήτων των οποίων είναι άμεσα προαπαιτούμενος ενώ ο αργότερος χρόνος έναρξης βρίσκεται αφαιρώντας τη διάρκεια της δραστηριότητας από τον αργότερο χρόνο λήξης.

Τέλος, το περιθώριο (ST) είναι ίδιο όπως της CPM σε AOA δίκτυα. Όταν το $ST=0$ μιας δραστηριότητας τότε αυτή η δραστηριότητα είναι κρίσιμη και αποτελεί μέρος της κρίσιμης διαδρομής. Αντίστοιχα, η κρίσιμη διαδρομή ξεκινάει από το κόμβο έναρξης (A-B-D-G) περιλαμβάνοντας όλες τις κρίσιμες δραστηριότητες και φτάνει στο κόμβο λήξης όπου σε όλους αυτούς τους κόμβους το περιθώριο είναι μηδέν.



Εικόνα 3.3: Δίκτυο AON με τεχνική CPM

Σε μία μελέτη που έγινε στην Ινδονησία (Wulandari, Dachyar & Farizal, 2018) χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος CPM. Ο στόχος ήταν η βέλτιστη διαχείριση προγραμματισμού πολυετών κατασκευαστικών δομών σχεδιασμού των Ινδονησιακών αεροσκαφών με περιορισμένους πόρους και πραγματοποιήθηκε σε τρεις φάσεις. Η πρώτη φάση έδειξε πως η διάρκεια του έργου θα είναι 400 εργάσιμες μέρες περιλαμβάνοντας μόνο δεδομένα δραστηριοτήτων στο έργο. Η δεύτερη φάση συνδυάζοντας δραστηριότητες με ανθρώπινους πόρους κατέληξε σε 1023,75 εργάσιμες μέρες. Έπειτα, μετά από μια ανακατανομή των δραστηριοτήτων με τους ανθρώπινους πόρους η τρίτη φάση υπολόγισε πως το έργο ολοκληρώνεται σε 955 εργάσιμες μέρες. Για την δεύτερη και τρίτη φάση του έργου ίσχυε ο περιορισμός κόστους της εταιρίας που είναι η πληρωμή του ανθρώπινου δυναμικού για 64,290 ημέρες εργασίας.

3.3 Μέθοδος PERT

Η Τεχνική Αξιολόγησης και Αναθεώρησης Προγράμματος (Project Evaluation and Review Technique – PERT) αποτελεί μια στοχαστική ανάλυση των χρόνων σε ένα γράφημα δικτύου. Αυτή η μέθοδος ανακαλύφθηκε το 1958 (Wikipedia) όταν κατά την κατασκευή του πυραυλικού συστήματος Polaris στις ΗΠΑ υπήρξε ανάγκη μείωσης τόσο του κόστους όσο και του χρόνου κατασκευής του. Πιο συγκεκριμένα καλείται να δώσει απαντήσεις σε δύο προβλήματα. Το ένα αφορά τον υπολογισμό της πιθανότητας ολοκλήρωσης σε συγκεκριμένο χρόνο ενός έργου και το δεύτερο έχει να κάνει με υπολογισμό του χρόνου ολοκλήρωσης ενός έργου με δεδομένη τη πιθανότητα.

Αναλυτικότερα, η μέθοδος PERT λαμβάνεται υπόψη σαν μια στατιστική προσέγγιση που εμπεριέχει την μεταβλητότητα των χρόνων εκτέλεσης δραστηριοτήτων κατά τη διάρκεια του χρονοπρογραμματισμού και την χρησιμοποιεί για να εκτιμήσει τις πιθανότητες να περατωθεί το έργο σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Συγκρίνοντας την μέθοδο CPM με την μέθοδο PERT γίνεται αντιληπτό, πως η CPM πρόκειται για μια καθοριστική μέθοδο ενώ η PERT για μια στοχαστική. Έτσι λοιπόν, με την ύπαρξη κάποιων δεδομένων ημερομηνιών μπορεί να εκτιμηθεί η αβεβαιότητα ως προς το χρόνο ολοκλήρωσης.

Στην μέθοδο PERT η διάρκεια κάθε δραστηριότητας εκφράζεται στοχαστικά άρα και η συνολική διάρκεια του έργου υπολογίζεται στοχαστικά. Όπως ειπώθηκε προηγουμένως για τις απαντήσεις που μπορεί να δώσει η μέθοδος αυτή, επιλέγονται κατανομές οι οποίες είναι συνεχής, με μια κορυφή και πεπερασμένα όρια και μπορούν να εξηγήσουν

συμμετρικές και ασύμμετρες κατανομές των δεδομένων. Οι κατανομές Βήτα, η Κανονική κατανομή και η Τριγωνομετρική κατανομή είναι αυτές που έχουν μεγάλη γκάμα εφαρμογών στον χρονοπρογραμματισμό έργων.

Χρησιμοποιώντας την κατανομή Βήτα έχουμε τα εξής στάδια για την επίλυση του δικτύου έργου με την μέθοδο PERT:

1. Εκτίμηση των χρόνων των δραστηριοτήτων a (αισιόδοξος), b (απαισιόδοξος), m (πιθανότερος).
2. Υπολογισμός d δηλαδή της αναμενόμενης διάρκειας κάθε δραστηριότητας και της τυπικής απόκλισης αναφέροντας ξανά τους τύπους $d = \frac{1}{2} \left(2m + \frac{1}{2}(a + b) \right) = \frac{\alpha + 4m + b}{6}$ και $s = \frac{b - a}{6}$.
3. Επίλυση δικτύου αλλά αυτή τη φορά με τους νέους χρόνους d .
4. Εύρεση κρίσιμης διαδρομής ή διαδρομών. Η νέα αναμενόμενη διάρκεια του έργου είναι T_E και υπολογίζεται ως το άθροισμα της αναμενόμενης διάρκειας d από τις δραστηριότητες που αποτελούν την κρίσιμη διαδρομή. Επίσης, η απόκλιση του έργου σ^2 αποτελεί το άθροισμα των τυπικών αποκλίσεων των δραστηριοτήτων που είναι στην κρίσιμη διαδρομή, δηλαδή $s^2 = \left(\frac{b - a}{6} \right)^2$.

Υποθέτοντας ότι το κρίσιμο μονοπάτι απαρτίζεται από n δραστηριότητες. Θεωρούμε ότι η διάρκεια του έργου είναι μια συνεχής τυχαία μεταβλητή που ακολουθεί κατά προσέγγιση την κανονική κατανομή με μέση τιμή $T = \sum_{i=1}^n d_i$ και

$$\text{τυπική απόκλιση } \sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}$$

5. Εφαρμογή του ΚΟΘ (Κεντρικό Οριακό Θεώρημα) για τον υπολογισμό της πιθανότητας ολοκλήρωσης του έργου σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα

Το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα περιλαμβάνει κάποιες ανεξάρτητες τυχαίες μεταβλητές $\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_n$ που ακολουθούν την ίδια κατανομή με μέσες τιμές μ_i και διασπορά σ_i^2 . Το άθροισμα αυτών των μεταβλητών αποτελεί επίσης τυχαία μεταβλητή και ακολουθεί κανονική κατανομή $N(\mu, \sigma^2)$ όπου $\mu = \mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_n$ και $\sigma^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2$. Αφού λοιπόν η μεταβλητή X ακολουθεί κανονική κατανομή με $N(\mu, \sigma^2)$ τότε η τυχαία μεταβλητή $z = \frac{X - \mu}{\sigma}$ ακολουθεί την τυπική κανονική κατανομή $N(0, 1)$.

Η μέθοδος PERT εφαρμόζεται σε αρκετά γνωστικά αντικείμενα αλλά και πεδία εφαρμογών. Για παράδειγμα, έχει χρησιμοποιηθεί σε επιστημονικά άρθρα σαν μέθοδο ανάλυσης σε

στρατηγικές οπτικής σάρωσης των πιλότων αεροσκαφών. Πιο συγκεκριμένα, διερευνούνται οι πιθανότητες των ατομικών διαφορών που παρατηρούνται στους δείκτες του πλησιέστερου γείτονα (Nearest Neighbor Index – NNI) υπολογισμένοι πάνω στις αρθρώσεις των ματιών να οφείλονται στα αποτελέσματα δύο χωριστών διαδικασιών. Η μια διαδικασία περιλαμβάνει την οφθαλμική στρατηγική που σχετίζεται με τις χρονικές απαιτήσεις και η δεύτερη με τις οπτικές και χωρικές απαιτήσεις της δραστηριότητας (Nocera, Bolia, 2007).

Μια πιο απλή εφαρμογή της μεθόδου PERT μπορεί να είναι η συντήρηση ενός αεροσκάφους. Αναλυτικότερα, αφορά τον βέλτιστο προγραμματισμό λεπτομερής εξέτασης και συντήρησης ενός ινδονησιακού αεροσκάφους της πολεμικής αεροπορίας, Hawk MK-209 (Nursanti, Avief, Handoko, 2017). Σε γενικές γραμμές μια τέτοια συντήρηση διαρκεί 283 μέρες ή 14 μήνες αν υποθεθεί πως ο ένας μήνας έχει 20 εργάσιμες μέρες. Μετά την ολοκλήρωση του χρονοπρογραμματισμού το έργο ολοκληρώνεται σε 81 ημέρες ή 4 μήνες οδηγώντας έτσι σε πολύ μεγάλη εξοικονόμηση πόρων.

3.4 Γραμμικό Χρονοδιάγραμμα

Το γραμμικό χρονοδιάγραμμα αποτελεί έναν τρόπο προγραμματισμού και ελέγχου του έργου και είναι αυτό που βρίσκεται σε ευρεία χρήση για την κοινοποίηση διαφόρων πληροφοριών του. Ο πρώτος σχεδιασμός του έγινε πριν από τον Πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο από τον αμερικανό Henry Gantt ενώ έγινε εφαρμογή του σε ναυπηγικά έργα σαν μέσο εποπτείας (Burke, 2014). Έτσι, σαν φόρος τιμής τα περισσότερα γραμμικά χρονοδιαγράμματα ονομάζονται διαγράμματα Gantt.

Το διάγραμμα Gantt, είναι ένα χρονοδιάγραμμα που περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της συνολικής διάρκειας του έργου ως προς τον χρόνο πραγματοποίησης κάθε δραστηριότητας (PMBOK 5ED). Ένας άλλος ορισμός θέλει το διάγραμμα Gantt να ασχολείται με την διαχείριση χρόνου του έργου περιλαμβάνοντας όμως την ανάπτυξη και τον έλεγχο του χρονοδιαγράμματος (PMBOK 5ED).

Για τον σχεδιασμό ενός διαγράμματος θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα εξής:

- 1) Η πρώτη στήλη αναφέρεται στον αριθμό ή την ονομασία κάθε δραστηριότητας
- 2) Η πρώτη γραμμή αναφέρεται στην κλίμακα χρόνου είτε είναι ώρες, μέρες, εβδομάδες ή μήνες κ.α.

- 3) Κάθε δραστηριότητα παρουσιάζεται σε μια οριζόντια ράβδο από την ημερομηνία έναρξης μέχρι εκείνη της λήξης
- 4) Εδώ το μήκος της ράβδου είναι ανάλογο της εκτιμώμενης διάρκειας κάθε δραστηριότητας

Για την καλύτερη εφαρμογή και κατανόηση του διαγράμματος η κατάταξη των δεδομένων παίζει σημαντικό ρόλο ανάλογα με τους εκάστοτε στόχους, οπότε έχουμε τις εξής:

- Αριθμητική κατάταξη όπου οι αριθμοί που θα χρησιμοποιηθούν θα είναι κατ' αύξουσα ή φθίνουσα σειρά και αντιστοιχούν στην WBS, στη διάρκεια των δραστηριοτήτων ή στα περιθώρια τους. Το κόστος θα μπορούσε να είναι και αυτός ένας λόγος κατάταξης εφόσον υπάρχει ενδιαφέρον ως προς την ελαχιστοποίηση του κόστους.
- Αλφαβητική ή αριθμητική κατάταξη αλλά αυτή τη φορά γίνονται χρήση ονόματα υπευθύνων, τμημάτων ή θέσεις όπου πραγματοποιούνται εργασίες.
- Ημερολογιακή κατάταξη, όπου εδώ γίνεται κατάταξη με βάση τη νωρίτερη ή αργότερη έναρξη στο έργο όπου διακρίνονται οι δραστηριότητες με βάση τη σειρά που πρέπει να ξεκινήσουν αντίστοιχα. Στην κατάταξη αυτή η πρώτη ράβδος θα ξεκινήσει από πάνω αριστερά και θα καταλήξει με την τελευταία ράβδο κάτω δεξιά σχηματίζοντας μια μορφή καταρράκτη.

Σε κάθε διάγραμμα πρέπει να περιλαμβάνεται και να παρουσιάζεται το περιθώριο της δραστηριότητας. Αυτό μπορεί να γίνει σχεδιάζοντας μια διακεκομμένη γραμμή και στο τέλος της να τοποθετείται ένα τρίγωνο ή ένας ρόμβος. Ένας άλλος τρόπος θα μπορούσε να είναι ένα μια ράβδος διαφορετικού χρώματος από την διάρκεια της δραστηριότητας ώστε να ξεχωρίζει και να είναι πιο ευδιάκριτο στο μάτι (εικόνα 3.4).

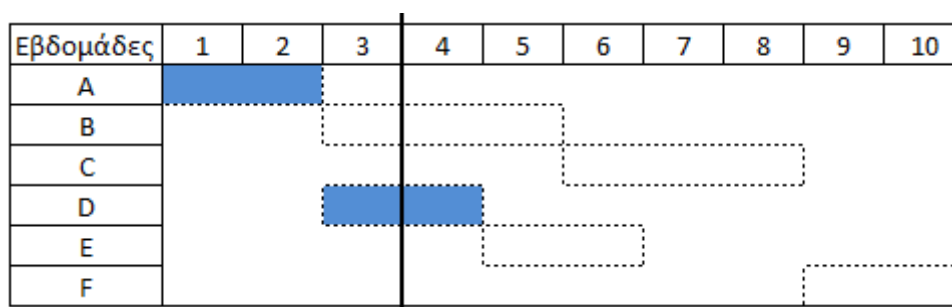


Εικόνα 3.4: Παράδειγμα διαγράμματος Gantt με περιθώριο

Επίσης, η σύμπτυξη δραστηριοτήτων ομαδοποιεί διάφορες υποδραστηριότητες σε μια κύρια δραστηριότητα. Αυτό πραγματοποιείται όταν κάποια ανώτατα μέλη του έργου θέλουν να δουν λιγότερες δραστηριότητες καθώς τους ενδιαφέρει η συνολική εικόνα του έργου η κρίσιμες διαδρομές και τα περιθώρια κάθε δραστηριότητας. Αντίστοιχα, η υπόλοιπη ομάδα του έργου πρέπει να είναι ενήμερη με περισσότερες λεπτομέρειες, οπότε η κατάλληλη σχεδίαση του διαγράμματος συμβαδίζει μαζί με τις εκάστοτε ανάγκες.

Η προσθήκη ορόσημων μπορεί να αποτελέσει μια χρήσιμη επιπρόσθετη πληροφορία στο έργο μέσα σε ένα διάγραμμα Gantt. Ορόσημο (milestone) αποτελεί ένα γεγονός που έχει μηδενική διάρκεια, είναι ένα σημείο στο χρόνο και διαφέρει από τη δραστηριότητα που έχει διάρκεια. Ένα γεγονός, μπορεί να ορισθεί σαν μια ημερομηνία κλειδί ή μια ενδιαμέση προθεσμία και αφορά κάτι που πρόκειται να συμβεί σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Παραδείγματα ορόσημων είναι η αποστολή παραγγελίας, η παραλαβή των εμπορευμάτων ή οι χρονικές στιγμές έναρξης και λήξης των δραστηριοτήτων.

Τέλος, το αναθεωρημένο διάγραμμα Gantt (εικόνα 3.5), εμπεριέχει ράβδους στις οποίες η εξέλιξη κάθε δραστηριότητας αποτυπώνεται με χρώμα είτε μέσα, είτε πάνω ή κάτω από την αρχική. Με αυτό τον τρόπο, είναι πολύ εύκολα αναγνωρίσιμο για τον διευθυντή του έργου η εξέλιξη όχι μόνο μιας δραστηριότητας αλλά όλου του συνόλου του έργου. Σαν αποτέλεσμα της μεθόδου αυτής είναι η εφαρμογή κατάλληλου ελέγχου και καθοδήγησης προς την ολοκλήρωση του έργου.

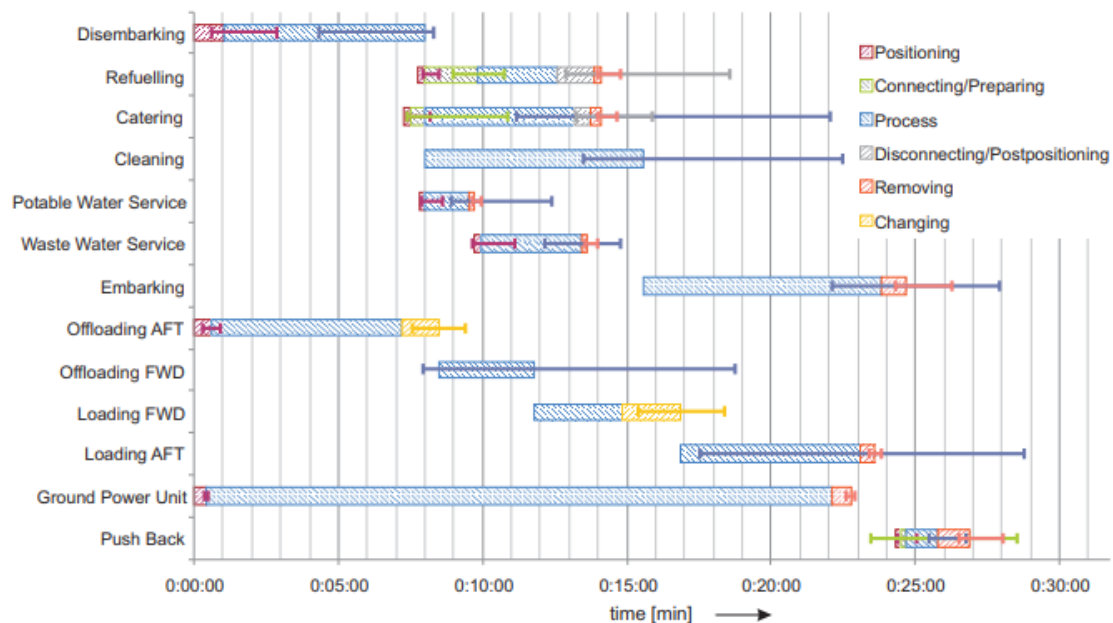


Εικόνα 3.5: Εξέλιξη δραστηριοτήτων σε αναθεωρημένο διάγραμμα Gantt

Μερικά από τα πλεονεκτήματα του διαγράμματος Gantt είναι τα εξής:

- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο παρουσίασης και είναι εύκολα κατανοήσιμο.
- Μπορεί να αποτυπώσει την εξέλιξη των δραστηριοτήτων με σαφήνεια.
- Το περιθώριο της κάθε δραστηριότητας είναι εμφανές και απλό.
- Ευκολία ως προς την προώθηση σημαντικών πληροφοριών ως προς το χρονοδιάγραμμα.

- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα ανώτερα στελέχη ως έγγραφο κλειδί για την διαδικασία λήψης αποφάσεων.
- Το αναθεωρημένο διάγραμμα λογίζεται ως ένα χρήσιμο εργαλείο προγραμματισμού και ελέγχου.



Εικόνα 3.6: Αναθεωρημένο διάγραμμα Gantt (Krammer, Junker, Scholz, 27th International Congress of the Aeronautical Sciences)

Στην παραπάνω εικόνα (εικόνα 3.6) διακρίνεται ένα επαναλαμβανόμενο διάγραμμα Gantt που αφορά κάποιο σενάριο συγκεκριμένων προδιαγραφών, για ένα κοινό αεροσκάφος στους χειρισμούς εδάφους όπου ουσιαστικά πρόκειται για ένα σενάριο ανεφοδιασμού. Η κλιμάκωση των γραμμών επεξεργασίας έχουν πραγματοποιηθεί σύμφωνα με αναλύσεις παλινδρόμησης ενώ οι γραμμές αντιπροσωπεύουν τυπικές αποκλίσεις από τις στατιστικές αξιολογήσεις (Krammer, Junker, Scholz, 27th International Congress of the Aeronautical Sciences).

3.5 Γραμμικός προγραμματισμός

Ο Γραμμικός Προγραμματισμός ή διαφορετικά Γραμμική Βελτιστοποίηση αποτελεί μια μέθοδος που στόχο έχει την πραγματοποίηση του καλύτερου δυνατού αποτελέσματος π.χ. ελάχιστο κόστος με την βοήθεια ενός μαθηματικού μοντέλου. Οι προϋποθέσεις του μοντέλου αυτού είναι ένα σύνολο γραμμικών σχέσεων των μεταβλητών του (Wikipedia). Οι άγνωστες αυτές μεταβλητές όπως είναι λογικό μοντελοποιούν το αντικείμενο που προσδιορίζει την απόφαση του προβλήματος και ονομάζονται μεταβλητές απόφασης.

Με μια ματιά στο παρελθόν, στις αρχές τις δεκαετίας του 1970 ο γραμμικός προγραμματισμός αναπτύχθηκε ως μέθοδος βελτιστοποίησης ικανοποιώντας όμως ένα μοναδικό κριτήριο απόφασης ή αλλιώς αντικειμενική συνάρτηση. Αργότερα, καθώς η αγορά εξελισσόταν και ο ανταγωνισμός βρισκόταν στο απόγειο, οι αποφάσεις δεν αρκούσαν σε ένα και μόνο κριτήριο απόφασης αλλά σε πολλαπλά κριτήρια απόφασης. Έτσι, αναπτύχθηκε η θεωρία του γραμμικού προγραμματισμού με πολλαπλά κριτήρια απόφασης (πολυκριτήριος).

Η μαθηματική διατύπωση του γραμμικού προγραμματισμού μπορεί να ορισθεί ως εξής:

$$f(X) = z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

Όπου x_1, x_2, \dots, x_n είναι οι τιμές των μεταβλητών που βελτιστοποιούν τη γραμμική αντικειμενική συνάρτηση που βρίσκεται παραπάνω

υπό του γραμμικούς περιορισμούς:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

.....

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$$

Οι παραλλαγές του μοντέλου είναι οι εξής:

- Ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης
- Για ορισμένους περιορισμούς μπορεί να έχουμε $>$ ή \geq ή $<$ ή \leq
- Κάποιες από τις μεταβλητές μπορεί να αρνητικές
- Σε όλες τις εφαρμογές είναι απαραίτητο να βρεθεί μαθηματικό μοντέλο όμοιο του πρότυπου μοντέλου στη θεωρία του γραμμικού προγραμματισμού

Το μοντέλο του γραμμικού προγραμματισμού έχει 4 βασικές παραδοχές και οι οποίες είναι:

1. Αναλογικότητα, με την έννοια πως η αντικειμενική συνάρτηση και οι περιορισμοί πρέπει να είναι γραμμικές συναρτήσεις και οι τιμές τους να είναι ανάλογες ως προς τις ποσότητες κάθε μιας δραστηριότητας

2. Προσθετικότητα ως προς τις ποσότητες που χρησιμοποιούνται από τις δραστηριότητες κατά την διαδικασία εκτέλεσης έργου
3. Διαιρετότητα με την έννοια ότι οι μεταβλητές αποφάσεις διακατέχονται από συνεχείς τιμές
4. Προσδιορισμένοι συντελεστές όπου όλοι οι παράμετροι του γραμμικού προγραμματισμού λογίζονται ως γνωστές σταθερές

3.6 Μοντέλα Προσομοίωσης

Πριν γίνει εκτενής αναφορά στα μοντέλα προσομοίωσης καλό θα ήταν να γίνει μια μικρή ανάλυση στη λέξη προσομοίωση. Η προσομοίωση, λοιπόν, αποτελεί μια αναπαράσταση ενός πραγματικού ή αφηρημένου συστήματος ή προβλήματος επιτρέποντας την κατανόησή του. Με την αντιγραφή της συμπεριφοράς του συστήματος ή προβλήματος αποκτούνται γνώσεις για τα χαρακτηριστικά αλλά και αντιλαμβάνονται οι λειτουργίες του. Σήμερα, το μοντέλο αυτό ακολουθεί κάποιους αλγορίθμους ώστε να μπορεί να διεξαχθεί σε ένα υπολογιστικό σύστημα.

Η προσομοίωση έλαβε χώρο αρχικά στο πεδίο της επιστημονικής έρευνας ως μια τεχνική έκθεση των αποτελεσμάτων μια εφαρμογής πάνω σε ένα θέμα χωρίς όμως αυτό το θέμα να χρήζει ανάμιξης. Μέχρι σήμερα, οι προσομοιώσεις έχουν ευρεία χρήση σε πολλές φυσικές, βιολογικές, τεχνικές ακόμα και κοινωνικές διαδικασίες ενώ παράλληλα δρουν και σαν αντικείμενο επιχειρησιακής έρευνας αποδίδοντας κατανόηση και μοντελοποιώντας τις αρχές λειτουργίας τους αντίστοιχα. Τέλος, όλα τα παραπάνω έχουν σαν κοινό σκοπό την εκδίωξη διακοπής λειτουργίας ή καταστροφής του πραγματικού συστήματος.

Η τεχνική της μοντελοποίησης θεωρείται η καταλληλότερη μέθοδος προσομοίωσης ενός συστήματος για τις εξής περιπτώσεις:

- Όταν το σύστημα αρκετά δύσκολο στην επίλυσή του και η παρουσίασή του σε με μοντέλα του χρονοπρογραμματισμού δεν είναι εφικτή. Μεγάλη προσοχή πρέπει να αποδοθεί στις απλοποιήσεις που γίνονται για την διευκόλυνση του έργου και στην ουσία παραμορφώνουν το μοντέλο σε σύγκριση με την πραγματικότητα
- Όταν οι μετρήσεις που πρέπει να γίνουν είναι πολλές ή κοστίζουν ακριβά
- Όταν το σύστημα διακατέχεται από μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας οδηγώντας σε αρκετές επαναλήψεις για την εκτέλεση μεταβλητών καταστάσεων ώστε να μελετηθούν και να συνοψιστούν επιβεβαιωμένα στατιστικά συμπεράσματα.

Η μελέτη προσομοίωσης με την μέθοδο Monte Carlo πρόκειται για μια στοχαστική διαδικασία όπου εφαρμόζοντας τυχαίους αριθμούς και με τη στατιστική γίνεται προσπάθεια επίλυσης ενός προβλήματος. Οι τυχαίοι αριθμοί προέρχονται από γεννήτριες όπου σε συνδυασμό με τον αντίστοιχο αλγόριθμο επιλύεται το σύστημα. Ένα παράδειγμα της μεθόδου αυτής είναι η τοποθέτηση δύο υπολογιστών (εικονική παίκτες) να παίζουν ρουλέτα. Επαναλαμβάνοντας το παιχνίδι αυτό αρκετές φορές και εξάγοντας τα στατιστικά συμπεράσματα θα μπορεί να ευρεθούν ποιες είναι οι καλύτερες κινήσεις για να κερδίσει το παιχνίδι ένας άνθρωπος. Πληροφοριακά η μέθοδος αυτή δημιουργήθηκε γύρω από το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο για την κατασκευή ατομικής βόμβας.

Οι τυχαίοι αριθμοί αποτελούν μια σειρά αριθμών με το χαρακτηριστικό πως ο καθένας αριθμός έχει την ίδια πιθανότητα εμφάνισης με τον οποιοδήποτε άλλον από αυτή. Η πιθανότητα εμφάνισης δεν έχει σχέση με την συχνότητα των προηγούμενων εμφανίσεων του ίδιου του αριθμού έχοντας έτσι ομοιόμορφη κατανομή. Η εντολής χρήσης στο Excel (RAND) αποδίδει ένα τυχαίο αριθμό μεγαλύτερο ή ίσο του 0 και μικρότερο του 1, ομοιόμορφα κατανεμημένο. Κάθε φορά που πραγματοποιείται αυτός ο υπολογισμός αποδίδεται ένας νέος τυχαίος αριθμός. Επιπλέον, η εντολή (RANDBETWEEN) αποδίδει ένα τυχαίο αριθμό μεταξύ των αριθμών που έχουν καθοριστεί. Πιο συγκεκριμένα, ορίζεται ένας μικρότερος αριθμός και ένας μεγαλύτερος που μπορεί να επιστρέψει η συνάρτηση. Ανάμεσα σε αυτούς του δύο ακέραιους αριθμούς δουλεύει η συνάρτηση.

Για την κατανομή Β ισχύει η εντολή στο EXCEL BETADIST (x;άλφα;βήτα;αθροιστική;[A];[B]) όπου όλες οι μεταβλητές της συνάρτησης πρέπει να οριστούν

- Χ όπου πρέπει να οριστεί η τιμή μεταξύ Α και Β για την οποία θα γίνει ο υπολογισμός της συνάρτησης
- Άλφα όπου πρέπει να οριστεί μια παράμετρος της κατανομής
- Βήτα όπου επίσης πρέπει να οριστεί μια παράμετρος της κατανομής
- Αθροιστική όπου πρέπει να οριστεί μια λογική τιμή που αποφασίζει για το είδος της συνάρτησης. Εάν το όρισμα της αθροιστικής είναι TRUE τότε η συνάρτηση BETADIST επιστρέφει τη συνάρτηση αθροιστικής κατανομής και αν είναι FALSE παρουσιάζεται η πυκνότητα πιθανότητας
- Α όπου θα μπορούσε να είναι ένα κατώτατο όριο για το διάστημα του x
- Β όπου θα μπορούσε να είναι ένα ανώτατο όριο για το διάστημα του x

Συνεχίζοντας, η συνάρτηση BETAINV αποδίδει το αντίστροφο της συνάρτησης αθροιστικής πυκνότητας πιθανότητας βήτα (BETADIST). Εάν το όρισμα της αθροιστικής είναι TRUE τότε $BETAINV(\text{πιθανότητα}) = x$. Πιο αναλυτικά η σύνταξη της τελευταίας εντολής είναι $BETAINV(\text{πιθανότητα};\alpha;\beta;\text{A};\text{B})$ και πρέπει να ορισθούν τα εξής:

- Πιθανότητα όπου αναφέρεται στην κατανομή β
- Άλφα όπου αποτελεί μια παράμετρος της κατανομής
- Βήτα όπου επίσης αποτελεί μια παράμετρος της κατανομής
- A όπου θα μπορούσε να είναι ένα κατώτατο όριο για το διάστημα του x
- B όπου θα μπορούσε να είναι ένα ανώτατο όριο για το διάστημα του x

Τέλος, όπως ειπώθηκε προηγουμένως στην συνάρτηση BETAINV υπάρχουν τέσσερις παράμετροι που πρέπει να υπολογισθούν. Οι A και B είναι οικείοι αλλά όχι οι α και β, οι οποίοι ουσιαστικά καθορίζουν την μορφολογία της καμπύλης και υπολογίζονται με τους εξής τύπους:

$$a = \frac{d-a}{B-a} \cdot \left(36 \cdot \frac{d-A}{B-A} \cdot \left(1 - \frac{d-A}{B-A} \right) - 1 \right)$$

$$b = \left(1 - \frac{d-A}{B-A} \right) \cdot \left(36 \cdot \frac{d-A}{B-A} \cdot \left(1 - \frac{d-A}{B-A} \right) - 1 \right)$$

Υπενθυμίζεται όπου d αναμενόμενη διάρκεια της δραστηριότητας $d = \frac{A+4M+B}{6}$ όπου

- A είναι ο αισιόδοξος χρόνος εκτέλεσης της δραστηριότητας
- B είναι ο απαισιόδοξος χρόνος εκτέλεσης της δραστηριότητας
- M ο πιθανότερος χρόνος εκτέλεσης της δραστηριότητας και
- O χρόνος εκτέλεσης πρέπει να είναι $A \leq t \leq B$.

Ένα επιστημονικό άρθρο παρουσίασε μια προσεγγιστική πηγή πολλαπλών πληροφοριών της μεθόδου προσομοίωσης Monte Carlo. Αφορούσε την επίλυση ενός προβλήματος εννοιολογικού σχεδιασμού αεροσκαφών με αβεβαιότητα στις προβλέψεις των τεχνολογικών βελτιώσεων. Έτσι, λαμβάνοντας υπόψη τις παραδοχές μοντελοποίησης και εκτίμησης των αβεβαιοτήτων, η αναμενόμενη καύση για κάποιο καύσιμο μειώθηκε από 2,69 σε 2,43 kJ/kg · km. Παράλληλα η πιθανότητα ικανοποίησης των απαιτήσεων απόδοσης αυξήθηκε από 22 σε 84% λαμβάνοντας υπόψη τις αβεβαιότητες στη διαδικασία σχεδιασμού. Το γεγονός αυτό διευκολύνει τον εκτιμητή επαναχρησιμοποίησης πληροφοριών ότι μειώνει το υπολογιστικό κόστος σε σχέση με το κανονικό της Monte Carlo

κατά 90%. Με λίγα λόγια, γίνεται χρήση της συσχέτισης μεταξύ της τυχαίας εξόδου του μοντέλου αεροσκάφους που προκαλείται από τις παραμέτρους αβεβαιότητας του αεροσκάφους σε διαφορετικά σημεία στο χώρο σχεδιασμού του (Ng & Willcox, 2015).

Κεφάλαιο 4 – Εφαρμογή σε έργο Αερομοντελισμού

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται εφαρμογή των σημαντικότερων μεθόδων που αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια της παρούσας εργασίας. Αυτές οι μέθοδοι λαμβάνουν χώρα στον κόσμο του αερομοντελισμού. Αρχικά, αναλύεται η δομή εργασιών του αερομοντέλου ενώ παράλληλα παρουσιάζονται και οι δραστηριότητές του. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται ο χρονοπρογραμματισμός του έργου ενώ παρουσιάζονται τα διαγράμματα (Gantt) χρόνων έναρξης. Επίσης, διακρίνεται η χρονική αβεβαιότητα των δραστηριοτήτων και σχεδιάζεται εκ νέου το δίκτυο PERT. Τέλος, αναφέρονται και τα υλικά κατασκευής για τον υπολογισμό του συνολικού κόστους.

4.1 Αερομοντελισμός

Ο αερομοντελισμός αποτελεί την κατασκευή από την αρχή μέχρι το τέλος αερομοντέλων ή ακόμα και με την πτήση αυτών. Τα αερομοντέλα είναι εξαιρετικά μικρά μη επιτρέποντας την μεταφορά ανθρώπων λόγω μεγέθους. Η εξέλιξη της τεχνολογίας υλικών σε απόλυτη συνάφεια με την αεροναυπηγική επιστήμη συντέλεσαν στην δημιουργία ανθεκτικότερων κατασκευών αερομοντέλων. Η αυξανόμενη χρήση των αεροσκαφών είχε σαν συνέπεια τις συνεχόμενες βελτιώσεις που αυτές με τη σειρά τους οδήγησαν από την ερασιτεχνική έρευνα και ανάπτυξη στο επίπεδο της βιομηχανικής έρευνας και παραγωγής. Η μηχανολογία και η αεροναυπηγική ήταν μερικές από τις επιστήμες που ασχολήθηκαν μελετώντας τις αεροπορικές κατασκευές και αντιμετώπισαν σχετικά καινούργια φαινόμενα όπως την ολίσθηση, την απώλεια στήριξης τον δυναμικό φόρτο κ.α.

Όλα τα αερομοντέλα κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Αερομοντέλα με κινητήρες βενζίνης και ηλεκτροκίνητους που προορίζονται για πτήσεις.
- Μοντέλα στατικά που είναι ακατάλληλα για πτήσεις και προορίζονται για επίδειξη ή για το ράφι.

Ο κατασκευαστής των αερομοντέλων αυτών ονομάζεται αερομοντελιστής. Προαπαιτούμενα για τον κατασκευαστή είναι οι γνώσεις πολλών επιστημών όπως φυσική, χημεία, μηχανική και αεροδυναμική ενώ παράλληλα πρέπει να διακατέχεται από κατασκευαστική δεξιότητα καθώς τα αερομοντέλα γίνονται οι πρώτοι δέκτες ως προς τις καινούργιες ιδέες που γεννιούνται στην αεροναυπηγική. Επιπλέον, η ικανότητα να πετάει

κάποιος αερομοντέλα σύμφωνα με την νομοθεσία απαιτεί ειδική άδεια που χορηγείται έπειτα από εξετάσεις.

Η εξέλιξη του αερομοντελισμού στην Ελλάδα ακολούθησε τα εξής γεγονότα με χρονική κατάταξη:

- 1952, ιδρύθηκε η Ένωσης Αερομοντελιστών Αθηνών – Ε.Α.Α.
- 1960, ο Αλέξανδρος Αυδής και ο Πλάτων Κουρουβακάλης συντέλεσαν σημαντικά στην προβολή του αερομοντελισμού ως άθλημα.
- 1974, η Υ.Π.Α. με δικά της έξοδα έκδωσε το βιβλίο του Παντελή Καλογεράκου που είχε σχέση με τον αερομοντελισμό.
- 1976, ιδρύθηκε η Αερολέσχη Πειραιώς – ΑΛ.Π.
- 1976, δημοσιεύτηκαν τα σχέδια για την κατασκευή του «Τηλέμαχου» από τον Γιάννη Κωνσταντακάτο και αποτέλεσε βάση για την εκπαίδευση αρκετών αερομοντελιστών.
- 1979, 1980 και 1981 η ΑΛ.Π. διοργάνωσε τους Πανελλήνιους διαγωνισμούς πλαστικού μοντέλου.
- 1980, έκδοση του βιβλίου «Αεροπορικά Σπορ» από τους Παντελή Καλογεράκο και Κωνσταντίνο Πικρό.
- 1980, κυκλοφορία του πρώτου βιβλίου στην Ελλάδα «Αερομοντελισμός» που αφορά τον αερομοντελισμό από τον Αχιλλέα Φακατσέλη
- 1982, μετεξέλιξη του παραπάνω διαγωνισμού σε διαγωνισμούς της Διεθνούς Ένωσης Πλαστικομοντελιστών Ελλάδος – IPMS Hellas.
- 1986, η Ε.Α.Α. εκδίδει το περιοδικό «Ο αερομοντελιστής» με 19 συνολικά τεύχη έως το 1993.
- 1997, ίδρυση του www.aeromodelling.gr από τον Κώστα Κωστόπουλο όπου λειτουργεί ακόμα και σαν φόρουμ προς διαδικτυακών συναντήσεων διαφόρων αερομοντελιστών.

Σήμερα, η ύπαρξη της ιστοσελίδας www.aerodata.gr, θεωρείται ως η μεγαλύτερη αεροπορική βιβλιοθήκη καθώς περιέχει αρκετά βιβλία και περιοδικά από ξένες αλλά και ελληνικές πηγές σχετικά με τον αερομοντελισμό. Οι επίσημοι Αερομοντελιστικοί Αγώνες στην Ελλάδα διεξάγονται από την Ελληνική Αεραθλητική Ομοσπονδία καθώς όποιος θέλει να συμμετέχει στους αγώνες πρέπει να είναι και μέλος αυτής. Τέλος, στον Ελλαδικό χώρο

υπάρχουν 26 σύλλογοι που ασχολούνται επίσημα με τον αερομοντελισμό διοργανώνοντας ποικίλες εκδηλώσεις αλλά και συναντήσεις με άλλους αντίστοιχους ξένους συλλόγους.

4.2 Τηλέμαχος

Την δεκαετία του 1970 που ο αερομοντελισμός στην Ελλάδα γινόταν όλο και περισσότερο δημοφιλής υπήρξαν αρκετές άκαρπες προσπάθειες κατασκευής αερομοντέλων. Η έλλειψη γνώσεων αλλά και εκπαίδευσης ήταν σημαντικές αιτίες των περισσότερων αποτυχιών δημιουργώντας έτσι ένα μεγάλο κενό πάνω στο θέμα της κατασκευής. Με λίγα λόγια έπρεπε να υπάρξει ένα σχέδιο πάνω στο οποίο οι μελλοντικοί αερομοντελιστές θα εκπαιδεύονταν ως προς την κατασκευή και την εφαρμογή αερομοντελιστικών μεθόδων ενώ παράλληλα θα αποκτούσαν θεωρητικές γνώσεις απαιτώντας την μικρότερη δυνατή συμμετοχή ενός εκπαιδευτή.

Το προσχέδιο του Τηλέμαχου ήρθε στο φως το 1974 συνοδευόμενο από την πρωτότυπη κατασκευή του για την επαλήθευση των χαρακτηριστικών του. Πάνω σε αυτό εκπαιδεύτηκαν αρκετοί αερομοντελιστές ενώ το 1977 στην πρώτη Σχολή Εκπαίδευσης Στελεχών Αερομοντελισμού ολοκλήρωσε επιτυχώς την αποστολή του. Το όνομα «Τηλέμαχος» δόθηκε από τον Παντελή Καλογεράκο συνδυάζοντας τα τηλεκατευθυνόμενα μοντέλα αλλά και την προσπάθεια – μάχη που δίνει κάποιος ως προς την κατασκευή του. Το 1976 δημοσιεύθηκαν τα οριστικά σχέδια του Τηλέμαχου από τον σχεδιαστή του Γιάννη Κωνσταντακάτο (Παράρτημα 1) καθώς αγαπήθηκε αμέσως απ' όλους τους αερομοντελιστές και αρκετοί όχι μόνο τον κατασκεύασαν αλλά και τον μεγέθυναν σε 110% και 125%.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα ως προς την κατασκευή και την λειτουργία του Τηλέμαχου είναι τα εξής:

- Σχετικά απλή και εύκολη κατασκευή συγκρίνοντας το με άλλα αερομοντέλα.
- Οικονομία υλικών προσφέροντας ταχύτητα κατασκευής και μικρό βάρος.
- Αντοχή σε καταπονήσεις και εύκολες μετατροπές.
- Αυξημένος χρόνος ζωής.
- Ήδη σχεδιαστικά ενισχυμένα σημεία καταπόνησης.
- Η δεξαμενή καυσίμου τοποθετείται έξω από την άτρακτο αποκλείοντας την υπερχειλίση και βλέποντας άμεσα την στάθμη καυσίμου.
- Το σύστημα προσγείωσης στερεώνεται στην άτρακτος με τέτοιο τρόπο ώστε να υποχωρεί χωρίς να σπάει το σημείο στήριξής του.

- Η βάση του κινητήρα είναι ένα απλό φύλλο κόντρα πλακέ που βιδώνεται σε δύο δοκούς λειτουργώντας σαν «εξιλαστήριο θύμα» αποτρέποντας το σπάσιμο του κινητήρα ή της ατράκτου.

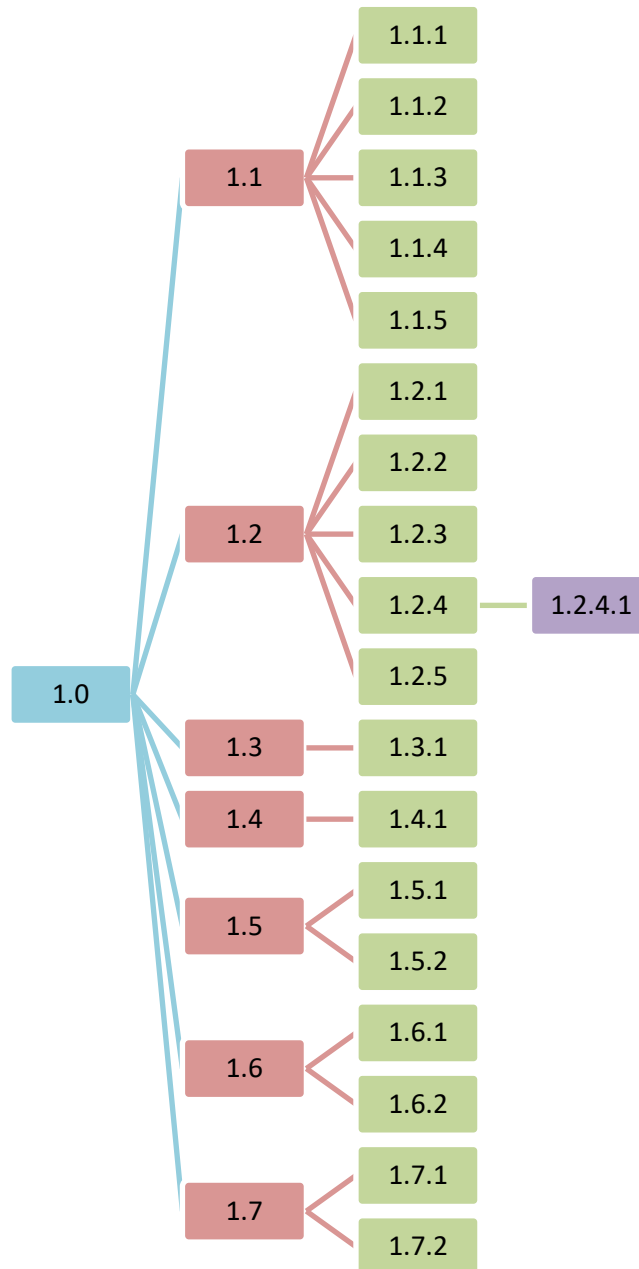
Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά επιτρέπουν στους αερομοντελιστές την δημιουργία εσφαλμένων αστοχιών κατασκευής αλλά και την περαιτέρω διόρθωσή τους. Άλλωστε από τα λάθη γίνεται κάποιος καλύτερος ενώ η κατασκευή δίνει και περιθώρια λανθασμένων χειρισμών ως προς το πέταγμά του αλλά και του αντίστοιχου χρόνου για την εφαρμογή των σωστών.

4.3 Δομή Ανάλυσης Εργασιών Έργου

Επίπεδο 1	Επίπεδο 2	Επίπεδο 3	Επίπεδο 4
1.0 Κατασκευή Τηλέμαχου	1.1 Φτερά	1.1.1 Προετοιμασία φτερών 1.1.2 Συναρμολόγηση αριστερής έδρας 1.1.3 Συναρμολόγηση δεξιάς έδρας 1.1.4 Ολοκλήρωση φτερού 1.1.5 Προετοιμασία πτερυγίων και πηδάλιων	
	1.2 Άτρακτος προετοιμασία	1.2.1 Πλαϊνών 1.2.2 Εσωτερικών ενισχύσεων 1.2.3 Κάτω φύλλου ατράκτου 1.2.4 Νομέων ατράκτου 1.2.5 Σκελών τροχών	1.2.4.1 Συναρμολόγηση πλαϊνών, ατράκτου, πηδαλίων και πτερυγίων
	1.3 Επικάλυψη μοντέλου	1.3.1 Επικαλυπτικό υλικό στα μέλη του μοντέλου	
	1.4 Άρθρωση πηδαλίων	1.4.1 Προσθήκη αρθρώσεων στα πηδάλια	
	1.5 Σκέλη τροχών	1.5.1 Τοποθέτηση τροχών 1.5.2 Τοποθέτηση βακτηρίας	
	1.6 Ηλεκτρονικά συστήματα	1.6.1 Μοτέρ 1.6.2 Κεραία	
	1.7 Ένωση φτερού ατράκτου	1.7.1 Συναρμολόγηση φτερού ατράκτου 1.7.2 Έλεγχος ισορροπίας	

Πίνακας 4.1 Πακέτα εργασίας της κατασκευής του αεροσκάφους

Η δομή ανάλυσης (WBS) της κατασκευής του έργου χωρίζεται σε 4 επίπεδα. Το πρώτο επίπεδο αναφέρεται γενικά στην κατασκευή και παράδοση του έργου ενώ ακολουθούν τα



Εικόνα 4.1: WBS έργου

επόμενα επίπεδα (πίνακας 4.1). Το δεύτερο επίπεδο μιλάει γενικά τόσο για το έργο (αερομοντέλο) όσο και για βασικά του χαρακτηριστικά όπως τα φτερά, την προετοιμασία της ατράκτου, την επικάλυψη του μοντέλου, την άρθρωση των πηδαλίων, τα μέρη των τροχών και τα ηλεκτρονικά συστήματα καθώς και για την ένωση φτερού με την άτρακτο.

Το επίπεδο 3 διεισδύει στο έργο ως προς την κατασκευή του σκελετού. Αναφέρεται επίσης στην κινητήριό δύναμή του που δεν είναι άλλη από το μοτέρ με τα ηλεκτρονικά του συστήματα ενώ κατασκευάζονται και ολοκληρώνονται τα φτερά, τα πλαϊνά και οι νομείς της ατράκτου. Επίσης, ολοκληρώνεται η επικάλυψη του έργου, τα πηδάκια και οι τροχοί.

Η περισσότερη λεπτομέρεια υπάρχει στο επίπεδο 4. Στο συγκεκριμένο επίπεδο αναλύεται αποκλειστικά η συναρμολόγηση σημαντικών μερών του έργου. Αφορά δηλαδή την συναρμολόγηση των πλαϊνών με την άτρακτο αλλά και την άτρακτο με τα πηδάλια και τα πτερύγια. Παράλληλα, τελειοποιείται η συναρμολόγηση για να κουμπώσουν πάνω του όλα τα άλλα επίπεδα που περιγράφηκαν παραπάνω.

Για να γίνουν αντιληπτά και κατανοητά τα πακέτα εργασίας, γεννιέται η ανάγκη για τη δημιουργία ενός σαφή διαγράμματος. Στην εικόνα 4.1, διακρίνεται το διάγραμμα WBS του έργου όπου και το κάθε χρώμα αποτελεί και ένα διαφορετικό επίπεδο ξεχωριστά. Τα πακέτα εργασίας είναι τα κουτιά εκείνα τα οποία δεν έχουν από τα δεξιά τους κάποια άλλα κλαδιά που να τα ενώνουν με υπόλοιπα κλαδιά του διαγράμματος. Ουσιαστικά, τα πακέτα εργασίας αποτελούν τις δραστηριότητες του έργου που στη συγκεκριμένη περίπτωση ανέρχονται στον αριθμό 37.

4.4 Δραστηριότητες έργου

Οι δραστηριότητες που πρέπει να ακολουθηθούν για την ολοκλήρωση του έργου είναι οι παρακάτω κατηγοριοποιημένες ανά τμήμα του αερομοντέλου:

Φτερά

Προετοιμασία φτερών

1. Κόψιμο πλευριδίων και ενισχύσεων δίδρων
2. Κόψιμο (δοκούς) χείλων εκφυγής, πίσω δοκών, κυρίων δοκών και σύνθετα χείλη προσβολή και εσοχές στις δοκούς

Συναρμολόγηση αριστερής έδρας

3. Κόλληση των πλευριδίων στις δοκούς
4. Κόλληση τις πάνω δοκού με την ενίσχυση
5. Κόλληση των ενισχύσεων των δίδρων στους δοκούς της έδρας και τα υπόλοιπα πλευρίδια του κέντρου

Συναρμολόγηση δεξιάς έδρας

6. Κόλληση των πλευριδίων στις δοκούς
7. Κόλληση τις πάνω δοκού με την ενίσχυση

8. Κόλληση των ενισχύσεων των δίεδρων στους δοκούς της έδρας και τα υπόλοιπα πλευρίδια του κέντρου

Ολοκλήρωση του φτερού

9. Εφαρμογή κόλλησης των δύο εδρών
10. Προσθήκη υπόλοιπων πλευριδίων και ενισχύσεων
11. Κόψιμο κεντρικής επάνω επικάλυψης και κόλλησή της στο πάνω μέρος του χείλους εκφυγής εκατέρωθεν της ένωσης των εδρών
12. Προσθήκη τριγωνικών ενισχύσεων στα ακροπτερύγια
13. Μορφοποίηση χείλους προσβολής σε καμπύλη

Πτερύγια και πηδάλια

14. Κόψιμο και επεξεργασία των πτερυγίων ουράς και πηδάλιου

Ατράκτος προετοιμασία

Δύο πλαϊνά

15. Κόψιμο και επεξεργασία των δύο πλαϊνών φύλλων της ατράκτου

Εσωτερικές ενισχύσεις

16. Κόψιμο των εσωτερικών ενισχύσεων
17. Κόλληση των ενισχύσεων στα δυο πλαϊνά αντίστοιχα

Κάτω φύλλο ατράκτου (πάτος)

18. Κόψιμο του κάτω φύλλου της ατράκτου
19. Σχεδίαση των θέσεων κάθε νομέα

Νομείς

20. Κόψιμο των νομέων

Σκέλη τροχών

21. Επεξεργασία του σκέλους τροχών
22. Κόψιμο των υποδοχέων του σκέλους τροχών

Συναρμολόγηση ατράκτου

23. Κόλληση τον νομέων στο κάτω φύλλο της ατράκτου
24. Κόλληση των δύο πλαϊνών με τους νομείς και το κάτω φύλλο ατράκτου
25. Κόλληση εύκαμπτων φύλλων στο καμπύλο μέρος της μύτης
26. Κατασκευή και τοποθέτηση θήκης μπαταρίας
27. Διάτρηση νομέων και τοποθέτηση εξωτερικών σωληνακίων (οδηγών) των ντιζών
28. Κάλυψη του πάνω μέρους της ατράκτου με φύλλα μπάλας

Επικάλυψη με πλαστικό φιλμ

29. Επικάλυψη ολόκληρου του αερομοντέλου με υλικό πλαστικού φιλμ
30. Τοποθέτηση του οριζόντιου και καθέτου σταθερού ουραίου τμήματος στον υποδοχέα τους

Άρθρωση πηδαλίων

31. Τοποθέτηση μεντεσέδων στα πηδάλια ανόδου – καθόδου και στο πηδάλιο διεύθυνσης

Τοποθέτηση των σκελών των τροχών

32. Τοποθέτηση σκελών τροχών και βακτηρίας

Εγκατάσταση των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών εξαρτημάτων

33. Τοποθέτηση στήριξης μοτέρ και μοτέρ και έλικας
34. Τοποθέτηση του δέκτη σε βάση σέρβο και της κεραίας
35. Τοποθέτηση ρυθμιστή στροφών

Ένωση φτερού ατράκτου

36. Συναρμολόγηση φτερού με την άτρακτο
37. Έλεγχος ισορροπίας

Παράλληλα παρουσιάζεται και ο πίνακας δραστηριοτήτων με βάση τον οποίο εμφανίζονται οι δραστηριότητες με την ίδια σειρά που εμφανίστηκαν και παραπάνω. Η πρώτη στήλη αναφέρεται στην ονομασία της και αυτοί οι αριθμοί θα χρησιμοποιηθούν στα κουτιά δραστηριοτήτων στην δικτυωτή ανάλυση παρακάτω. Η δεύτερη στήλη αναφέρεται στην

πολύ συνοπτική περιγραφή των δραστηριοτήτων ενώ στην τρίτη στήλη διακρίνονται οι προηγούμενες δραστηριότητες για κάθε μία δραστηριότητα. Τέλος, η τέταρτη στήλη αναφέρεται στην διάρκεια κάθε δραστηριότητας όπου αυτή η διάρκεια είναι σε ώρες.

No	Περιγραφή	Προηγούμενες	Διάρκεια
1	Κόψιμο πλευριδίων	-	8
2	Κόψιμο δοκών	-	8
3	Κόλληση πλευριδίων	1,2	7
4	Κόλληση άνω δοκού	3	7
5	Κόλληση υπόλοιπων πλευριδίων	4	7
6	Κόλληση πλευριδίων	1,2	7
7	Κόλληση άνω δοκού	6	7
8	Κόλληση υπόλοιπων πλευριδίων	7	7
9	Κόλληση δύο εδρών	5,8	5
10	Κόλληση υπόλοιπων πλευριδίων	9	3
11	Κόλληση κεντρικής επικάλυψης	10	2
12	Προσθήκη ενισχύσεων	11	2
13	Μορφοποίηση χείλων προσβολής	12	2
14	Κόψιμο πτερυγίων και πηδαλίου	-	3
15	Κόψιμο πλαϊνών ατράκτου	-	5
16	Κόψιμο των εσωτερικών ενισχύσεων	15	4
17	Κόλληση των ενισχύσεων	16	5
18	Κόψιμο κάτω μέρους ατράκτου	-	2
19	Σχεδίαση θέσεων νομέων	18	2
20	Κόψιμο νομέων	19	4
21	Επεξεργασία του σκέλους τροχών	-	1
22	Κόψιμο υποδοχέων του σκέλους	21	1
23	Κόλληση νομέων στο κάτω μέρος	20	5
24	Κόλληση των δυο πλαϊνών	17, 23	5
25	Κόλληση εύκαμπτων φύλλων	24	5
26	Κατασκευή & εφαρμογή θήκης μπαταρίας	25	1
27	Τοποθέτηση οδηγών ντιζών	25	2
28	Κάλυψη άνω μέρους ατράκτου	26, 27	5
29	Επικάλυψη με πλαστικό φιλμ	13, 14, 28	8
30	Κόλληση οριζόντιου/κάθετου σταθερού	29	5
31	Τοποθέτηση μεντεσέδων στα πτερύγια	30	2
32	Τοποθέτηση τροχών και βακτηρίας	22, 31	1
33	Τοποθέτηση μοτέρ και έλικας	32	2
34	Τοποθέτηση δέκτη και κεραίας	33	2
35	Τοποθέτηση ρυθμιστή στροφών	33	2
36	Συναρμολόγηση φτερού με άτρακτο	34, 35	2
37	Έλεγχος ισορροπίας	36	1

Πίνακας 4.2: Πίνακας δραστηριοτήτων έργου

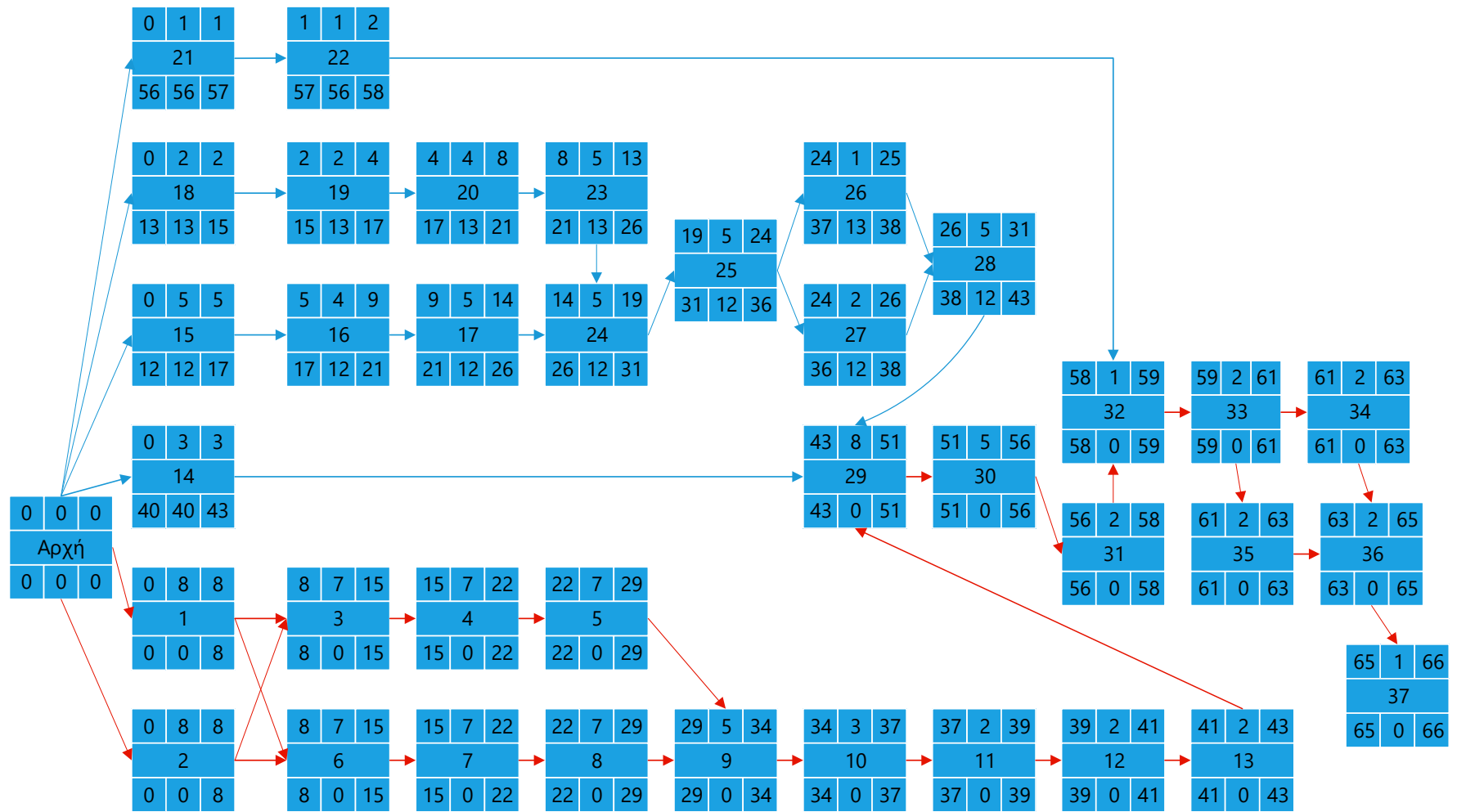
4.5 Δίκτυο CPM

Στην εικόνα 4.2 παρουσιάζεται η εκτίμηση της χρονικής διάρκειας του έργου με την μέθοδο της κρίσιμης διαδρομής δικτύου. Τα βήματα εκτίμησης ήταν πρώτα ο υπολογισμός του

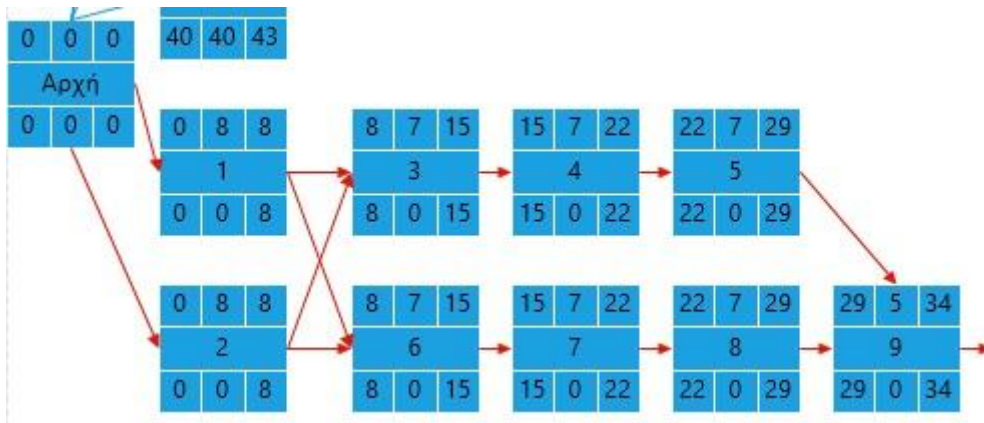
νωρίτερου χρόνου έναρξης και λήξης κάθε δραστηριότητας. Έπειτα, ο υπολογισμός του αργότερου χρόνου έναρξης και λήξης και τέλος, ο υπολογισμός του περιθωρίου επίσης κάθε δραστηριότητας. Μελετώντας το διάγραμμα λοιπόν συμπεραίνονται όχι μόνο η διάρκεια του έργου αλλά και οι κρίσιμες διαδρομές του. Οι κρίσιμες διαδρομές του σκιαγραφούνται από τα κόκκινα βέλη οπότε είναι οι:

- 1 → 3 → 4 → 5 → 9 → 10 → 11 → 12 → 13 → 29 → 30 → 31 → 32 → 33 → 34 → 36 → 37.
- 1 → 3 → 4 → 5 → 9 → 10 → 11 → 12 → 13 → 29 → 30 → 31 → 32 → 33 → 35 → 36 → 37.
- 1 → 6 → 7 → 8 → 9 → 10 → 11 → 12 → 13 → 29 → 30 → 31 → 32 → 33 → 34 → 36 → 37.
- 1 → 6 → 7 → 8 → 9 → 10 → 11 → 12 → 13 → 29 → 30 → 31 → 32 → 33 → 35 → 36 → 37.
- 2 → 3 → 4 → 5 → 9 → 10 → 11 → 12 → 13 → 29 → 30 → 31 → 32 → 33 → 34 → 36 → 37.
- 2 → 3 → 4 → 5 → 9 → 10 → 11 → 12 → 13 → 29 → 30 → 31 → 32 → 33 → 35 → 36 → 37.
- 2 → 6 → 7 → 8 → 9 → 10 → 11 → 12 → 13 → 29 → 30 → 31 → 32 → 33 → 34 → 36 → 37.
- 2 → 6 → 7 → 8 → 9 → 10 → 11 → 12 → 13 → 29 → 30 → 31 → 32 → 33 → 35 → 36 → 37.

Παρατηρώντας, λοιπόν τις κρίσιμες διαδρομές γίνεται αντιληπτό πως ανέρχονται στις 8. Παράλληλα, η συνολική διάρκεια εκτέλεσης του έργου υπολογίζεται στις 66 ώρες ενώ αυτό προκύπτει από οποιαδήποτε κρίσιμη διαδρομή ακολουθηθεί. Πιο συγκεκριμένα η κάθε μία κρίσιμη διαδρομή αποδίδει την ίδια εκτιμώμενη διάρκεια του έργου ξεχωριστά και όχι ακλουθώντας όλες τις δραστηριότητες όλων των κρίσιμων διαδρομών του δικτύου. Παραπάνω έχουν αποτυπωθεί με κόκκινο χρώμα οι δραστηριότητες που οφείλονται για την πληθώρα των κρίσιμων διαδρομών ενώ η ανάλυση αυτών ακολουθεί μετά το δίκτυο CPM που παρουσιάζεται στην επόμενη σελίδα.

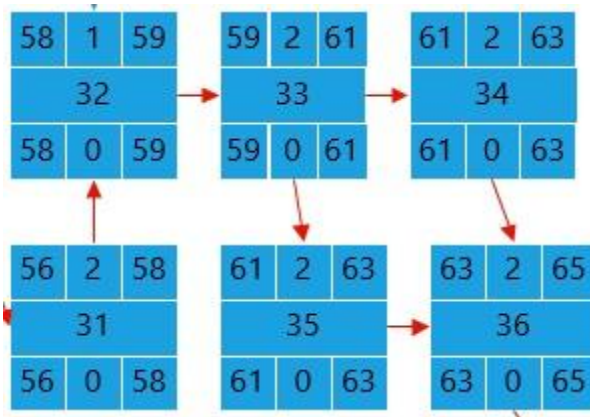


Εικόνα 4.2: Δίκτυο τεχνικής CPM



Εικόνα 4.3: Δραστηριότητες που αλλάζουν την κρίσιμη διαδρομή

Η εικόνα 4.3 παρουσιάζει την πλειοψηφία των δραστηριοτήτων οι οποίες είναι υπεύθυνες για τον αριθμό των κρίσιμων διαδρομών. Αρχικά, πρέπει να διευκρινιστεί πως οι δραστηριότητες $3 \rightarrow 4 \rightarrow 5$ είναι ιδίων χαρακτηριστικών με τις $6 \rightarrow 7 \rightarrow 8$ αντίστοιχα. Αυτό συμβαίνει διότι οι δραστηριότητες $3 \rightarrow 4 \rightarrow 5$ αφορούν την συναρμολόγηση της αριστερής έδρας του φτερού ενώ οι $6 \rightarrow 7 \rightarrow 8$ εκείνη της δεξιάς οδηγώντας στον διαχωρισμό της διαδρομής αλλά και της συμμετρίας των σχημάτων. Επιπλέον, για να ξεκινήσουν οι δραστηριότητες 3 και 6 πρέπει να έχουν ξεκινήσει και τελειώσει οι 1 και 2 σχηματίζοντας έτσι μια ιδιαίτερη αποτύπωση των κρίσιμων διαδρομών μεταξύ των δραστηριοτήτων 1, 2, 3 και 6.



Εικόνα 4.4: Δραστηριότητες που αλλάζουν την κρίσιμη διαδρομή

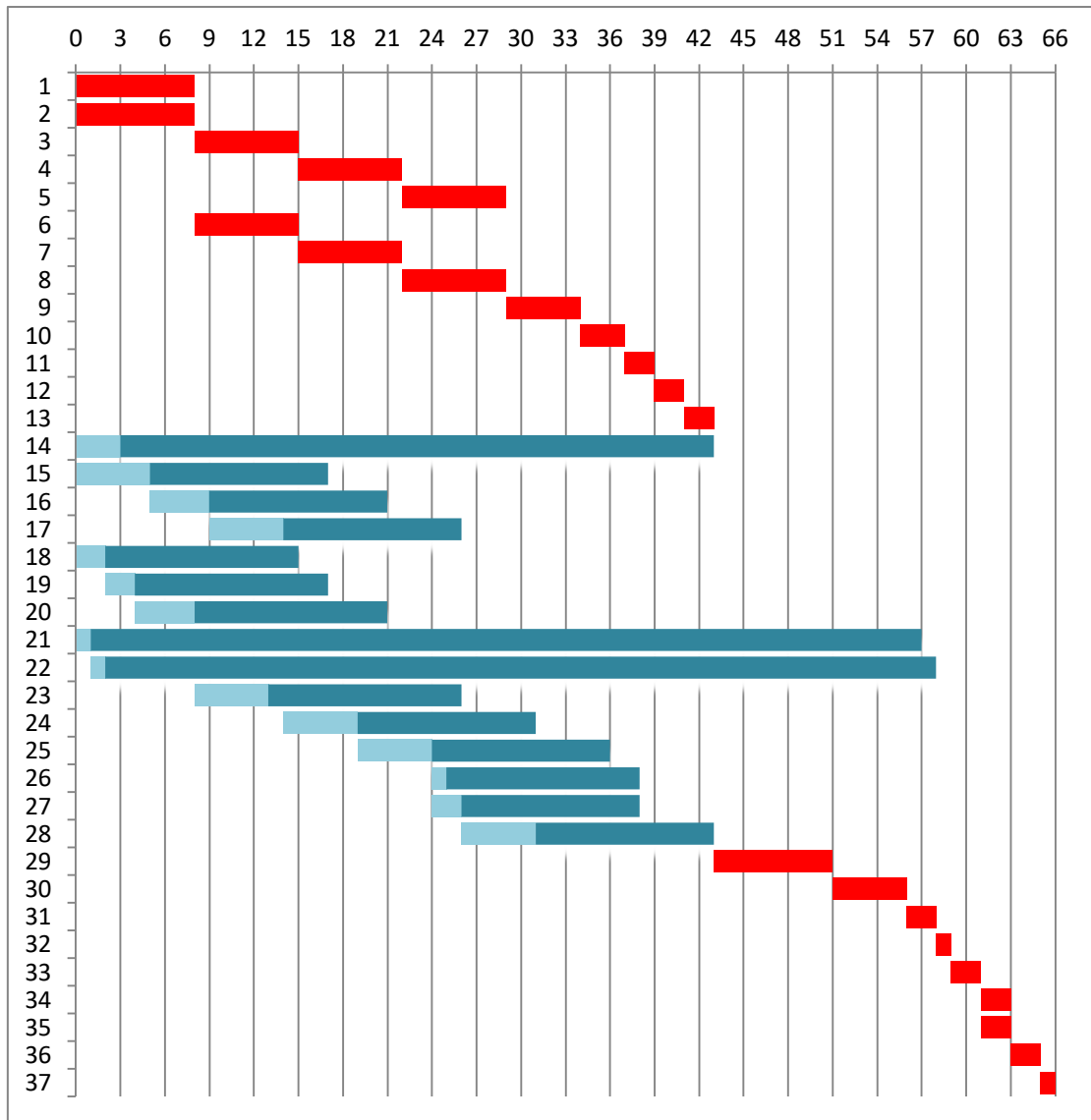
Αντίστοιχα, η εικόνα 4.4 παρουσιάζει μια περεταίρω διαφοροποίηση στις κρίσιμες διαδρομές. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως όταν το δίκτυο φτάσει στην δραστηριότητα 33 μπορεί να συνεχίσει είτε με την 34 ή 35. Επίσης, και οι δύο δραστηριότητες έχουν την ίδια διάρκεια αποτελώντας έτσι μέρη των κρίσιμων διαδρομών αλλά χωρίς να επηρεάζουν την συνολική διάρκεια

εκτέλεσης του έργου.

4.6 Διαγράμματα Gantt

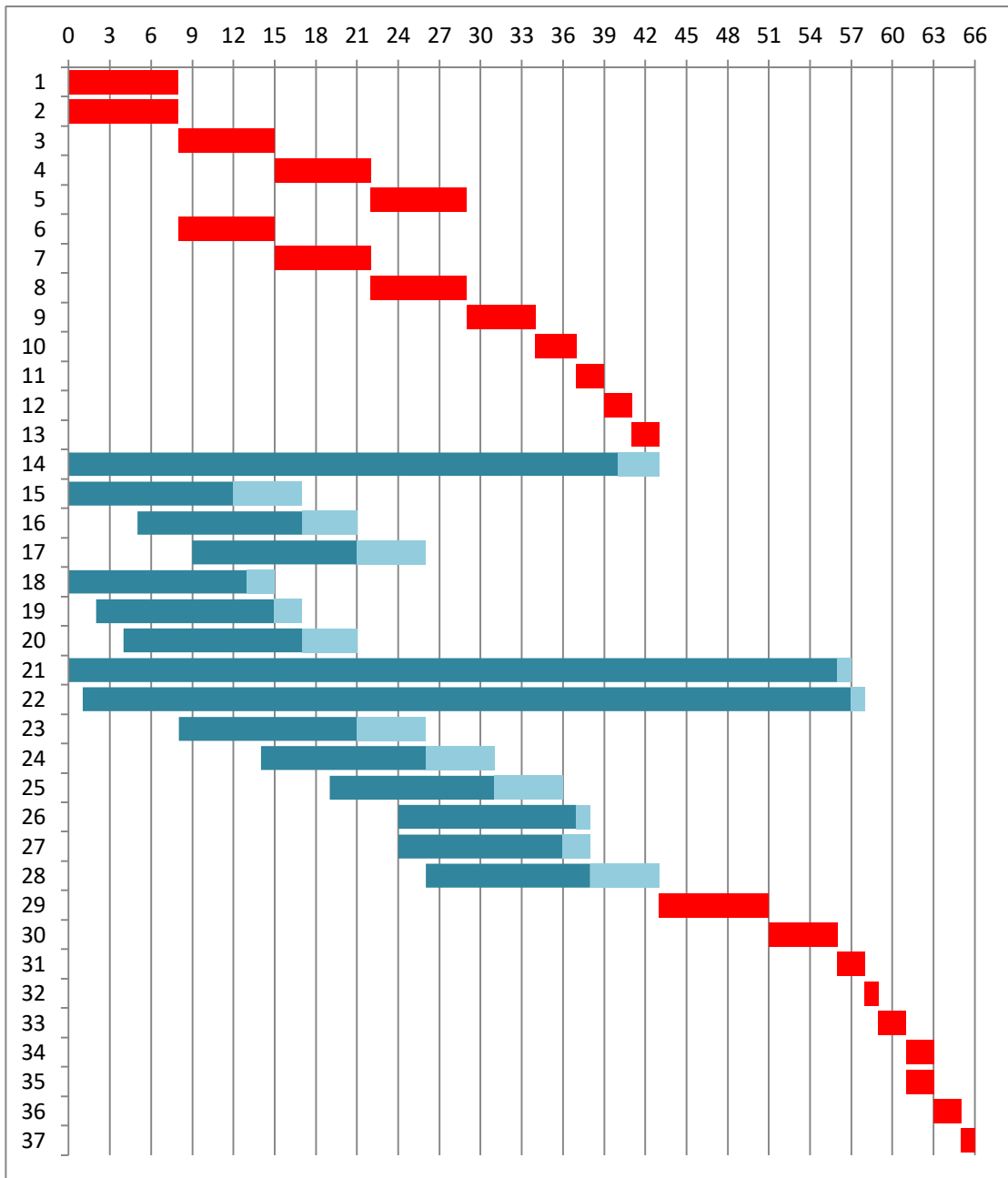
Παρακάτω παρουσιάζονται δύο διαγράμματα Gantt νωρίτερης και αργότερης έναρξης αντίστοιχα. Ο οριζόντιος άξονας στα διαγράμματα αυτά αναφέρεται στις ώρες εκτέλεσης

ενώ ο κάθετος άξονας στον συμβολισμό της κάθε δραστηριότητας. Τα διαγράμματα βοηθούν στην περαιτέρω κατανόηση των κρίσιμων δραστηριοτήτων αλλά και στον εντοπισμό των δραστηριοτήτων που πρέπει να ολοκληρωθούν ή που έχουν περιθώρια ολοκλήρωσης ανάλογα με την εκάστοτε χρονική στιγμή.



Εικόνα 4.5: Διάγραμμα Gantt νωρίτερης έναρξης

Στην εικόνα 4.5 παρουσιάζεται το διάγραμμα Gantt νωρίτερης έναρξης. Οι δραστηριότητες με κόκκινο χρώμα είναι αυτές των κρίσιμων διαδρομών και δεν μπορούν να καθυστερήσουν ούτε στην έναρξη αλλά ούτε στη λήξη τους. Παράλληλα, οι δραστηριότητες με αχνό χρώμα είναι αυτές που δεν ανήκουν στις κρίσιμες διαδρομές και οι μπάρες με το έντονο χρώμα από δίπλα τους αποτελούν τα περιθώριά τους.



Εικόνα 4.6: Διάγραμμα Gantt αργότερης έναρξης

Στην εικόνα 4.6 παρουσιάζεται το διάγραμμα Gantt αργότερης έναρξης. Επίσης, σε αυτό το διάγραμμα οι δραστηριότητες με κόκκινο χρώμα είναι αυτές των κρίσιμων διαδρομών και δεν μπορούν να καθυστερήσουν ούτε στην έναρξη αλλά ούτε στη λήξη τους. Παράλληλα, οι δραστηριότητες με αχνό χρώμα είναι αυτές που δεν ανήκουν στις κρίσιμες διαδρομές και οι μπάρες με το έντονο χρώμα από δίπλα τους αποτελούν τα περιθώριά τους.

4.7 Χρονική Αβεβαιότητα Δραστηριοτήτων

Στο συγκεκριμένο έργο όπως διακρίνεται και στο παρακάτω πίνακα 4.3 πέντε δραστηριότητες υπόκεινται σε χρονική αβεβαιότητα και αυτές είναι:

No.	Αισιόδοξη (a)	Πιθανότερη (m)	Απαισιόδοξη (b)	Αναμενόμενη (d) $d = \frac{a+4m+b}{6}$	Τυπ. Απόκλιση (σ) $\sigma = \frac{b-a}{6}$
9	4	7	9	6.8	0.83
11	1	3	5	3.0	0.67
23	4	7	8	6.7	0.67
36	1	3	5	3.0	0.67
37	0	3	5	2.8	0.83

Πίνακας 4.3: Δραστηριότητες με χρονική αβεβαιότητα

1. Η δραστηριότητα 9 όπου γίνεται η κόλληση των δύο εδρών του φτερού.
2. Η δραστηριότητα 11 όπου πραγματοποιείται η κόλληση της κεντρικής επικάλυψης του φτερού.
3. Η δραστηριότητα 23 όπου γίνεται κόλληση των νομέων στο κάτω μέρος της ατράκτου.
4. Η δραστηριότητα 36 όπου συναρμολογείται το φτερό με την άτρακτο και
5. Η δραστηριότητα 37 όπου ελέγχεται η ισορροπία του αεροσκάφους.

Πιο αναλυτικά, η δραστηριότητα 9 αφορά την εφαρμογή κόλλησης ώστε να ενωθεί η αριστερή με τη δεξιά έδρα και να ολοκληρώσουν το σκελετό του φτερού. Υπό κανονικές συνθήκες αυτό θα διαρκούσε 5 ώρες αλλά αυξάνεται στις 7 ώρες όπου αποτελεί και τον πιθανότερο χρόνο ολοκλήρωσης της δραστηριότητας. Η αύξηση αυτή ωφείλεται στο γεγονός πως τα σημεία επαφής δοκών και χειλέων των δύο εδρών θα χρειαστούν περαιτέρω επεξεργασία εφόσον δεν έχουν επεξεργαστεί κατάλληλα σε προηγούμενα στάδια. Σύμφωνα με το κατασκευαστικό σχέδιο, τα σημεία επαφής πρέπει να είναι τέτοια ώστε να σχηματίζουν την δίδρο γωνία. Παράλληλα θα χρειαστούν και αντίστοιχοι σφιγκτήρες για να ασκηθεί πίεση προς τις επιφάνειες που κολλάνε.

Η δραστηριότητα 11 αποτελεί την εφαρμογή κεντρικής πάνω επικάλυψης στο συναρμολογημένο πλέον φτερό του αερομοντέλου. Σε αυτή τη δραστηριότητα ο πιθανότερος χρόνος αυξήθηκε σχετικά λίγο από 2 σε 3 ώρες αλλά και πάλι αυτή η αύξηση είναι σημαντική για την ολοκλήρωση του έργου. Ο αυξημένος χρόνος έχει άμεση σχέση με το προσκύπτων φτερό αλλά και με τα όρια ανοχής της κατασκευής καθώς θα εξαρτηθεί αν η επικάλυψη χρειαστεί να γίνει σε δύο ή τρία κομμάτια σε κάθε έδρα αλλά και αν κριθεί απαραίτητη η ύπαρξη της κάτω παρόμοιας επικάλυψης του φτερού.

Επιπλέον, η κόλληση των νομέων στο κάτω φύλλο της ατράκτου είναι η δραστηριότητα 23 και αποτελεί ένα πολύ σημαντικό στάδιο στην συναρμολόγηση της ατράκτου του αερομοντέλου. Η διάρκεια της δραστηριότητας αυξήθηκε από 5 σε 7 ώρες προσφέροντας αβεβαιότητα ολοκλήρωσης στο έργο. Οι νομείς της ατράκτου πρέπει να τοποθετηθούν με τέτοιο τρόπο ώστε να συμπίπτουν οι άξονες συμμετρίας τους με τον άξονα της ατράκτου και κατά την τοποθέτησή τους προκύπτει περαιτέρω επεξεργασία αυτών λόγω των απαιτήσεων. Παράλληλα σε κάθε τοποθέτηση πρέπει να εξασφαλίζεται η καθετότητα και να ελέγχεται.

Έπειτα, ένα από τα τελικά βήματα του έργου είναι η ένωση του φτερού με την άτρακτο και αφορά τη δραστηριότητα 36. Και εδώ η διάρκεια ολοκλήρωσης αυξήθηκε από 2 σε 3 ώρες. Σε αυτό το σημείο ανάλογα με τις απαιτήσεις που έχουν προκύψει από όλη την διαδικασία της κατασκευής πρέπει να εκλεχθεί η πιο κατάλληλη μέθοδος στο προκύπτον αερομοντέλο με βάση την οποία θα ενωθεί ολόκληρο το φτέρο με την άτρακτο και θα προσφέρει απόσβεση κραδασμών κατά την προσγείωση αλλά και απογείωσή του. Έτσι, προσφέρει αβεβαιότητα ως προς τον χρόνο ολοκλήρωσης του έργου.

Τέλος, η τελευταία δραστηριότητα που αποδίδει αβεβαιότητα στο έργο και τελική που αφορά την ολοκλήρωση του έργου δεν είναι άλλη από την 37. Σε αυτή τη δραστηριότητα γίνεται έλεγχος ισοροπίας του κέντρου βάρους του αερομοντέλου με πιθανότερο χρόνο ολοκλήρωσης τις 3 ώρες από 1 ώρα που ήταν αρχικά. Ολοκληρώνοντας το έργο παρατηρείται ένα το αερομοντέλο ισορροπεί οριζόντια. Εάν το αερομοντέλο ρίχνει την ουρά τότε θα πρέπει να υπάρξει μια επεξεργασία στην μύτη του ενώ αντίστοιχα αν ρίχνει την μύτη τότε θα πρέπει να υπάρξει κάποιο επιπλέον βάρος στην ουρά. Αυτές οι περαιτέρω αλλά τελικές διαδικασίες προσθέτουν αβεβαιότητα στο έργο.

4.8 Δίκτυο PERT

Στο δίκτυο PERT πραγματοποιείται η μεθοδολογία αξιολόγησης και παρακολούθησης έργου συμπεριλαμβανομένων των δραστηριοτήτων εκείνων με χρονική αβεβαιότητα. Αναλυτικότερα, πρόκειται για εκ νέου υπολογισμούς όπως στο δίκτυο CPM μόνο που αυτή την φορά η εκτίμηση της διάρκειας του έργου θα περιλαμβάνει τις αναμενόμενες διάρκειες των δραστηριοτήτων με χρονική αβεβαιότητα.

Στην εικόνα 4.7 φαίνεται το δίκτυο PERT με ακριβώς τα ίδια βήματα υπολογισμού των νωρίτερων και αργότερων χρόνων. Ουσιαστικά παρατηρείται πως η διάρκεια του έργου

αυξήθηκε στις περίπου 72 ώρες, 71.6 για την ακρίβεια και αυτό οφείλεται στις δραστηριότητες που περιείχαν αβεβαιότητα. Οι τέσσερις από τις πέντε δραστηριότητες με αβεβαιότητα ανήκαν σε κρίσιμες διαδρομές με αποτέλεσμα να επηρεάζουν περισσότερο αρνητικά την συνολική διάρκεια εκτέλεσης του έργου. Στο δίκτυο Pert αυτές οι δραστηριότητες είναι με άσπρο χρώμα για την καλύτερη κατανόησή τους. Επίσης, αυτό που αξίζει να σημειωθεί είναι πως οι κρίσιμες διαδρομές του έργου δεν άλλαξαν αλλά και η δραστηριότητα 23 με αβεβαιότητα δεν επηρέασε σε κάποιο βαθμό την διάρκεια εκτέλεσης του έργου.

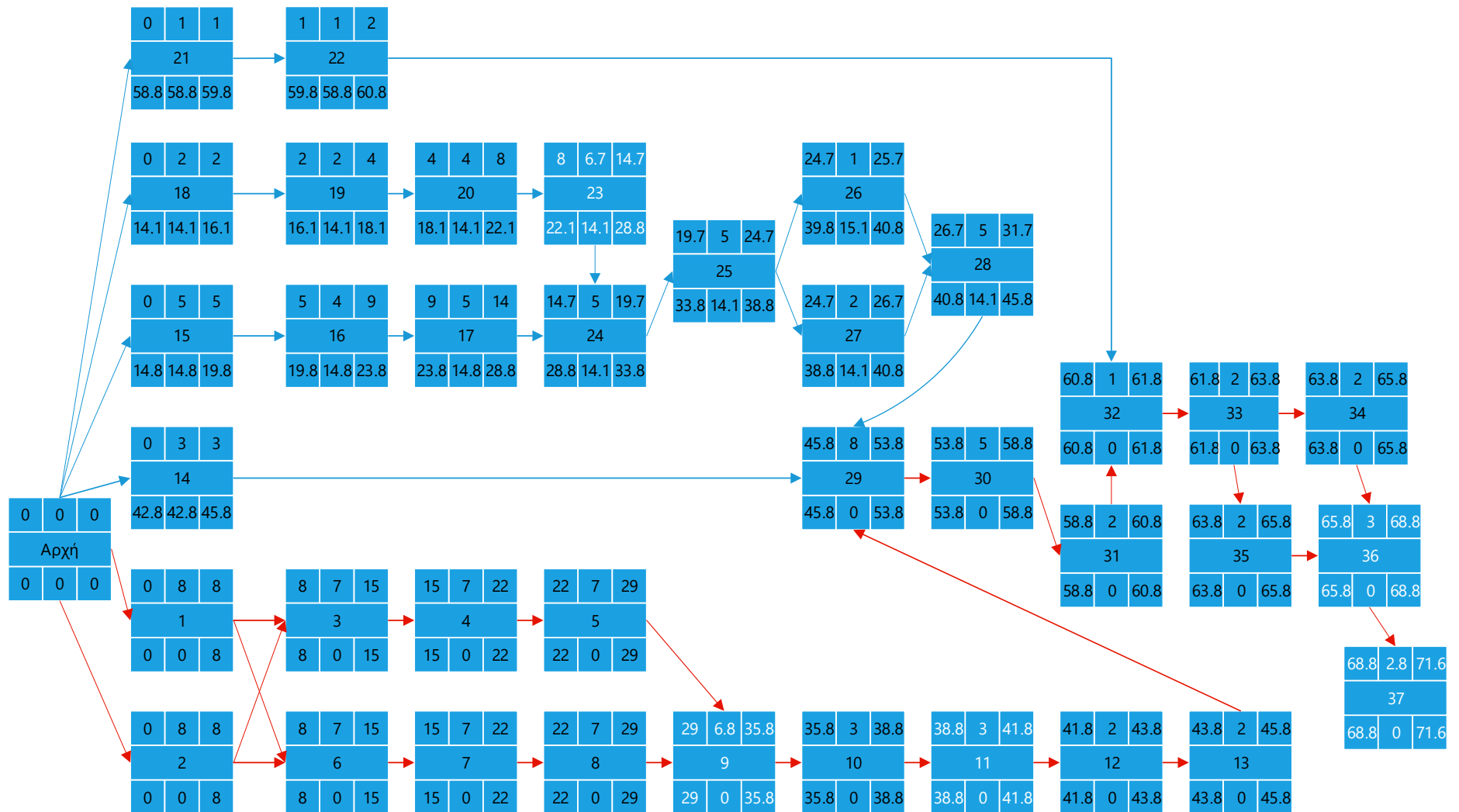
Έπειτα, χάρις τους υπολογισμούς των τυπικών αποκλίσεων των δραστηριοτήτων με αβεβαιότητα μπορούν να γίνουν διάφορες υποθέσεις σύμφωνα πάντα με το Κεντρικό οριακό θεώρημα αλλά και τον στατιστικό πίνακα Τυπικής Κανονικής Κατανομής (Παράρτημα 2).

- Γίνεται επιθυμητό να υπολογιστεί σε ποιο χρόνο θα έχουμε 90% βεβαιότητα ότι θα έχει ολοκληρωθεί το έργο.

$$P(T \leq T_X) = 0.9 \rightarrow P\left(Z \leq \frac{T_X - 71.6}{1.5085}\right) = 0.9$$

$$Z_{0.9} = 1.29$$

$$\frac{T_X - 71.6}{1.5085} = 1.29 \rightarrow T_X = 73.50 \approx 74 \text{ ώρες.}$$



Εικόνα 4.7: Δίκτυο τεχνικής PERT

4.9 Προσομοίωση έργου

No	Προαπαιτούμενες	A	M	B	d	ES	EF	LS	LF	ST
1	-	5	8	13	8,33	0	8,3	0,0	8,3	0,0
2	-	4	8	11	7,83	0	7,8	0,5	8,3	0,5
3	1,2	6	7	15	8,17	8,3	16,5	8,3	16,5	0,0
4	3	5	7	10	7,17	16,5	23,7	16,5	23,7	0,0
5	4	3	7	9	6,67	23,7	30,3	23,7	30,3	0,0
6	1,2	6	7	15	8,17	8,3	16,5	8,3	16,5	0,0
7	6	5	7	10	7,17	16,5	23,7	16,5	23,7	0,0
8	7	3	7	9	6,67	23,7	30,3	23,7	30,3	0,0
9	5, 8	4	7	9	6,83	30,3	37,2	30,3	37,2	0,0
10	9	2	3	6	3,33	37,2	40,5	37,2	40,5	0,0
11	10	1	3	5	3,00	40,5	43,5	40,5	43,5	0,0
12	11	1	2	4	2,17	43,5	45,7	43,5	45,7	0,0
13	12	1	2	6	2,50	45,7	48,2	45,7	48,2	0,0
14	-	2	3	5	3,17	0	3,2	45,0	48,2	45,0
15	-	2	5	9	5,17	0	5,2	15,4	20,6	15,4
16	15	1	4	8	4,17	5,2	9,3	20,6	24,8	15,4
17	16	4	5	7	5,17	9,3	14,5	24,8	29,9	15,4
18	-	1	2	5	2,33	0	2,3	14,8	17,1	14,8
19	18	1	2	4	2,17	2,3	4,5	17,1	19,3	14,8
20	19	1	4	7	4,00	4,5	8,5	19,3	23,3	14,8
21	-	0,5	1	3	1,25	0	1,3	61,5	62,8	61,5
22	21	0,5	1	3	1,25	1,3	2,5	62,8	64,0	61,5
23	20	4	7	8	6,67	8,5	15,2	23,3	29,9	14,8
24	17, 23	3	5	10	5,50	15,2	20,7	29,9	35,4	14,8
25	24	2	5	7	4,83	20,7	25,5	35,4	40,3	14,8
26	25	0,5	1	3	1,25	25,5	26,8	41,4	42,7	15,9
27	25	1,5	2	5	2,42	25,5	27,9	40,3	42,7	14,8
28	26, 27	4	5	9	5,50	27,9	33,4	42,7	48,2	14,8
29	13, 14, 28	5	8	12	8,17	48,2	56,3	48,2	56,3	0,0
30	29	4	5	8	5,33	56,3	61,7	56,3	61,7	0,0
31	30	1	2	5	2,33	61,7	64,0	61,7	64,0	0,0
32	22, 31	0,5	1	3	1,25	64,0	65,3	64,0	65,3	0,0
33	32	1	2	5	2,33	65,3	67,6	65,3	67,6	0,0
34	33	1	2	5	2,33	67,6	69,9	67,6	69,9	0,0
35	33	1	2	4	2,17	67,6	69,8	67,8	69,9	0,2
36	34, 35	1	3	5	3,00	69,9	72,9	69,9	72,9	0,0
37	36	0	3	5	2,83	72,9	75,8	72,9	75,8	0,0

Πίνακας 4.4: Επίλυση δικτύου στο Excel

Στο συγκεκριμένο μέρος της εργασίας θεωρούνται όλες οι δραστηριότητες του έργου στοχαστικώς με χρονική αβεβαιότητα. Πιο συγκεκριμένα όπως διακρίνεται στο παραπάνω πίνακα (πίνακα 4.4) υπάρχει το έργο που υπολογίζονται οι χρόνοι, όχι με δικτυωτή ανάλυση αλλά με απλούς υπολογισμούς στο Excel. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίζοντας τον απαισιόδοξο (A), μέσο (M) και τον αισιόδοξο (A) χρόνο ολοκλήρωσης κάθε δραστηριότητας βρίσκεται ο αναμενόμενος χρόνος (d). Έπειτα, ο αναμενόμενος χρόνος ολοκλήρωσης χρησιμοποιείται για να υπολογισθούν οι νωρίτεροι και αργότεροι χρόνοι έναρξης – λήξης κάθε δραστηριότητας αλλά και το περιθώριο.

Παρατηρώντας τον πίνακα γίνεται κατανοητό πως η διάρκεια του έργου ανέρχεται στις 75,8 ώρες. Παράλληλα, το περιθώριο των δραστηριοτήτων που είναι επισημασμένο με κίτρινο χρώμα είναι των δραστηριοτήτων εκείνων που αποτελούν μέρος της κρίσιμης διαδρομής και δεν έχουν περιθώρια καθυστέρησης. Ως επί το πλείστον, οι κρίσιμες διαδρομές για το συγκεκριμένο δίκτυο που διακατέχεται ολόκληρο με αβεβαιότητα είναι οι:

- 1 → 3 → 4 → 5 → 9 → 10 → 11 → 12 → 13 → 29 → 30 → 31 → 32 → 33 → 34 → 36 → 37
- 1 → 6 → 7 → 8 → 9 → 10 → 11 → 12 → 13 → 29 → 30 → 31 → 32 → 33 → 34 → 36 → 37

Είναι ξεκάθαρο πως οι κρίσιμες διαδρομές έχουν μειωθεί αισθητά σε σύγκριση με τις προηγούμενες επιλύσεις και από οκτώ είναι πλέον 2. Ενώ δύο δραστηριότητες που ήταν υπεύθυνες για την πληθώρα των διαδρομών και έχουν αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο τώρα δεν αποτελούν κρίσιμες καθώς έχει διαφοροποιηθεί η διάρκειά τους.

Στην συνέχεια, εφαρμόζεται η μέθοδο προσομοίωσης Monte Carlo για την εκτίμηση της διάρκειας του έργου. Η προσομοίωση εκτελείται με 500 επαναλήψεις ούτως ώστε να περιλαμβάνει ένα πολύ μεγάλο πλήθος διαρκειών για τη βέλτιστη προσέγγιση της. Στην προσομοίωση πέρα από τον πίνακα 4.4 πρέπει να πραγματοποιηθούν επιπρόσθετοι υπολογισμοί για κάθε δραστηριότητα όπως τις παραμέτρους α και β αλλά και της νέας διάρκειας. Ουσιαστικά για τον υπολογισμό όλων των χρόνων έναρξης – λήξης δεν χρησιμοποιείται η αναμενόμενη διάρκεια όπως στην μέθοδο PERT αλλά η νέα διάρκεια που περιλαμβάνει τις εντολές του Excel BETAINV και RAND. Για τις εν λόγω εντολές έχει γίνει εκτενής αναφορά στα αρχικά θεωρητικά κεφάλαια της παρούσας εργασίας.

Μετά την ολοκλήρωση των 500 επαναλήψεων στην προσομοίωση και βασικά οι λόγοι ύπαρξής της είναι τρεις. Αρχικά, υπολογίζεται η μέση διάρκεια του έργου αλλά και η τυπική απόκλισή του. Επίσης, βρίσκονται οι πιθανότητες κάθε δραστηριότητας του έργου να ανήκει στην κρίσιμη ή κρίσιμες διαδρομές του και τέλος, καταγράφεται το διάγραμμα της στατιστικής κατανομής του χρόνου διάρκειας του έργου.

Ο πίνακας 4.5 παρουσιάζει μερικά στατιστικά στοιχεία που αφορούν την διάρκεια του έργου. Έφοσον πραγματοποιήθηκε η προσομοίωση υπολογίστηκαν 500 διαφορετικές πιθανές διάρκειες του έργου. Με μια μικρή επεξεργασία υπολογίζεται η μέση διάρκεια του έργου, η τυπική απόκλιση, η μικρότερη πιθανή διάρκεια αλλά και η μεγαλύτερη. Όπως είναι εμφανής η μέση διάρκεια του έργου είναι 77,5 από 75,8 ώρες που την υπολόγισε η μέθοδος PERT. Επίσης, παρατηρώντας την μικρότερη και μεγαλύτερη πιθανή διάρκεια γίνεται κατανοητό το μεγάλο εύρος που χρησιμοποίησε η προσομοίωση.

Μέση διάρκεια	77,5
Τυπική απόκλιση	3,4
Ελάχιστη διάρκεια	67,1
Μέγιστη διάρκεια	90,4

Πίνακας 4.5: Στατιστικά στοιχεία προσομοίωσης

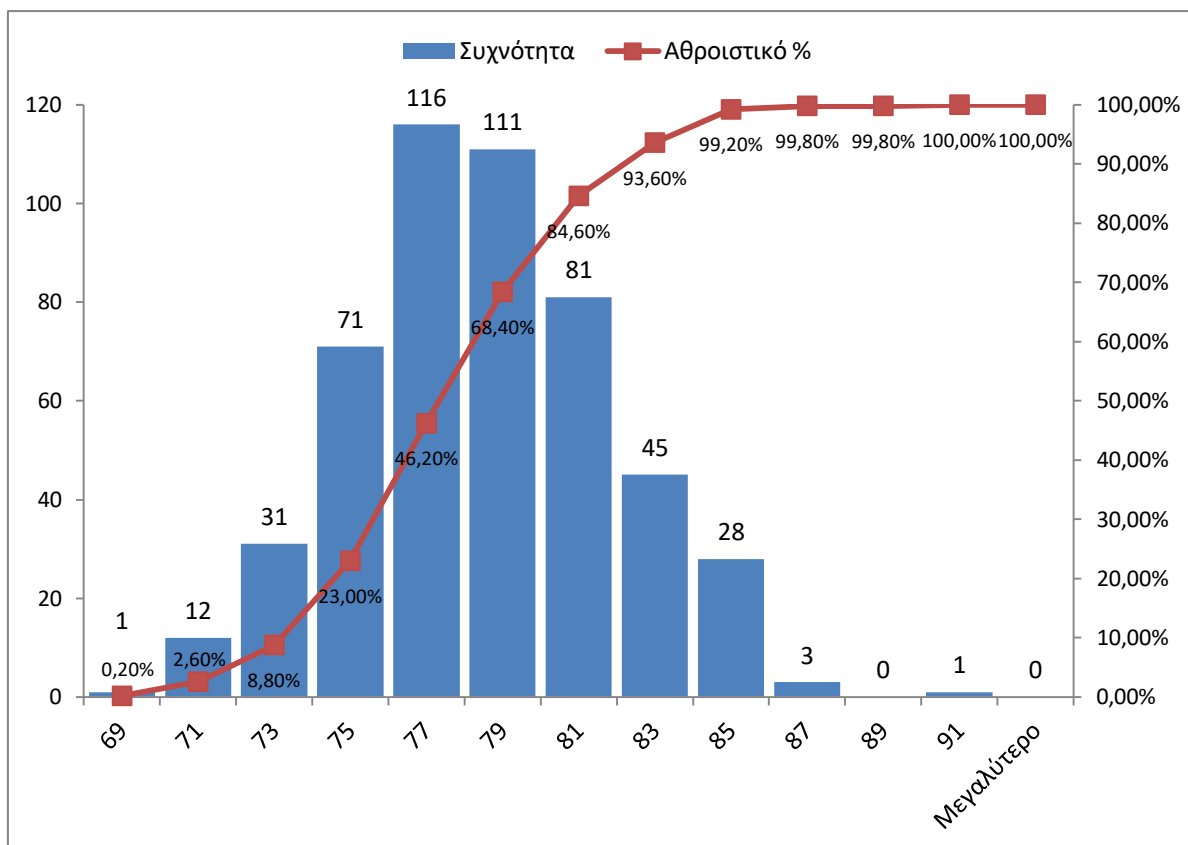
Τα επόμενα ευρήματα από την προσομοίωση αφορούν τις πιθανότητες των δραστηριοτήτων να ανήκουν στην κρίσιμη διαδρομή ή όχι. Ο πίνακας 4.6 στην δεύτερη στήλη αναφέρεται στην συχνότητα εμφάνισης μιας δραστηριότητας στην κρίσιμη διαδρομή ενώ η τρίτη στήλη δείχνει τα ποσοστά της πιθανότητας κάθε δραστηριότητας να ανήκει σε κάποιο κρίσιμο μονοπάτι. Για παράδειγμα, η δραστηριότητα 1 στην προσομοίωση εμφανίζεται 307 φορές από τις 500 επαναλήψεις ως κρίσιμη δραστηριότητα αποδίδοντας ποσοστό 67%. Επίσης, η δραστηριότητα 9 εμφανίζεται σε όλες τις επαναλήψεις ως κρίσιμη οδηγώντας σε ποσοστό 100% ενώ η δραστηριότητα 14 έχει καμία πιθανότητα να ανήκει σε κρίσιμο μονοπάτι από την στιγμή που δεν εμφανίστηκε ως κρίσιμη σε κάποια επανάληψη.

Γενικότερα, εξετάζοντας τον πίνακα διακρίνονται κάποια στοιχεία ως προς τις πιθανότητες των δραστηριοτήτων. Όσες δραστηριότητες έχουν πιθανότητα εμφάνισης ως κρίσιμης από 50% και πάνω, ανήκουν στις κρίσιμες διαδρομές των προηγούμενων παραπάνω υπολογισμών της μεθόδου PERT. Παράλληλα, ο αριθμός των κρίσιμων δραστηριοτήτων της μεθόδου PERT έχει παραμείνει ίδιος με εκείνον της προσομοίωσης Monte Carlo. Με λίγα λόγια η προσομοίωση πλησιάζει κατά πολύ την μέθοδο PERT στο συγκεκριμένο έργο.

Δραστηριότητα	Κρίσιμη	Πιθανότητα
1	307	61%
2	193	39%
3	248	50%
4	248	50%
5	248	50%
6	252	50%
7	252	50%
8	252	50%
9	500	100%
10	500	100%
11	500	100%
12	500	100%
13	500	100%
14	0	0%
15	0	0%
16	0	0%
17	0	0%
18	0	0%
19	0	0%
20	0	0%
21	0	0%
22	0	0%
23	0	0%
24	0	0%
25	0	0%
26	0	0%
27	0	0%
28	0	0%
29	500	100%
30	500	100%
31	500	100%
32	500	100%
33	500	100%
34	269	54%
35	231	46%
36	500	100%
37	500	100%

Πίνακας 4.6: Εμφάνιση και πιθανότητα δραστηριοτήτων

Τέλος, η εικόνα 4.8 αφορά το διάγραμμα το οποίο αναφέρεται στην στατιστική κατανομή των διαρκειών του έργου από την προσομοίωση. Ο οριζόντιος άξονας περιλαμβάνει όλες τις τιμές της διάρκειας από την προσομοίωση. Ο κατακόρυφος αριστερός άξονας αναφέρεται στην συχνότητα εμφάνισης μιας διάρκειας ενώ ο δεξιός κατακόρυφος άξονας αναφέρεται στο ποσοστό ολοκλήρωσης του έργου. Για παράδειγμα η στήλη με την διάρκεια 77 περιλαμβάνει 116 διαφορετικές τιμές πιθανής διάρκειας έργου από 75 μέχρι 77 ώρες



Εικόνα 4.8: Διάγραμμα συχνοτήτων διάρκειας έργου

και οι οποίες με την σειρά τους αποδίδουν 46,20 % πιθανότητα εμφάνισης στο έργο. Δηλαδή, η πιθανότητα διάρκειας του έργου να είναι μεταξύ του 75 με 77 είναι 46,20 %.

4.10 Υλικοί πόροι κατασκευής έργου

Για την επιτυχής πραγματοποίηση του έργου δεν είναι αναγκαίες μόνο οι ώρες εργασίας και ο συνολικός χρόνος εκτέλεσης αλλά και οι υλικοί πόροι που θα χρησιμοποιηθούν για την περάτωσή του. Το κύριο υλικό κατασκευής του αερομοντέλου Τηλέμαχου είναι το ξύλο. Πιο αναλυτικά η ξυλεία που θα χρησιμοποιηθεί είναι:

- Φύλλα μπάλας 1000 mm x 80 mm από τα οποία
 - 3 τεμάχια πάχους 2 mm για τα πλευρίδια και την επάνω κάλυψη της ατράκτου.
 - 5 τεμάχια πάχους 3 mm για τα πλαϊνά, το κάτω μέρος της ατράκτου, τις ενισχύσεις και τους νομείς.
 - 1 τεμάχιο πάχους 1,5 mm για την κάλυψη της μέσης επικάλυψης φτερού.
 - 2 τεμάχια πάχους 5 mm για τα ουραία τμήματα.
- Πήχεις μπάλας χωρίς σκέβρωμα 1000 mm
 - 4 τεμάχια διατομής 6 x 6 mm σκληρά για τους κεντρικούς δοκούς.

- 2 τεμάχια διατομής 5 x 5 mm μέτριας σκληρότητας για τους πίσω δοκούς.
- 2 τεμάχια διατομής 10 x 10 mm μέτριας σκληρότητας για το σύνθετο χείλος προσβολής.
- 2 τεμάχια διατομής 5 x 5 mm μέτριας σκληρότητας πάλι για το σύνθετο χείλος προσβολής.
- 2 τεμάχια τριγωνικής διατομής 20 x 6 mm μέτριας σκληρότητας για το χείλος εκφυγής.
- Κόντρα πλακέ
 - Πάχους 2,5 – 3 mm
 - Πάχους 2 mm
- Καβίλιες σκληρού ξύλου
 - Διαμέτρου 6 mm μήκους 50 cm
 - Διαμέτρου 3 mm μήκους 3cm
- Υπόλοιπα κατασκευαστικά υλικά
 - 2 ντίζες εύκαμπτες
 - Χορν και μεντεσέδες πηδαλίων
 - Ατσαλόσυρμα 3,2 mm για τα σκέλη τροχών, ζεύγος τροχών διαμέτρου 50 mm και ασφάλειες τροχών
 - Ατσαλόσυρμα 1,8 mm για την βακτηρία
 - Λάστιχα 6 x 1 x 200 mm για την ένωση του φτερού με την άτρακτο
 - Επικαλυπτικό πλαστικό φιλμ 3 ρολό
 - Κόλλες κυανοακρυλικές
- Ηλεκτρονικά εξαρτήματα
 - Μοτέρ
 - Μπαταρία
 - Ρυθμιστής στροφών συμβατός με το μοτέρ
 - Ταχυσύνδεσμοι – πριζάκια που να αντέχουν το ρεύμα λειτουργίας
 - Προπέλα
- Σύστημα τηλεκατεύθυνσης
 - Σύστημα 4 καναλιών με δέκτη μακρινής εμβέλειας
 - Δύο σέρβο με ροπή 15 N*cm ή μεγαλύτερη

Στον πίνακα 4.7 διακρίνεται οι υλικοί πόροι που είναι αναγκαίοι για το έργο μαζί με την ποσότητά τους. Διακρίνεται η τιμή ανά τεμάχιο, το επιμέρους κόστος αυτών αλλά και το συνολικό κόστος που ανέρχεται στα € 214,54.

Είδος	Τεμάχια	Κόστος	Συνολικό κόστος
Φύλλα μπάλας 1000 x 100			
Πάχος 2 mm	3	€ 2,29	€ 6,87
Πάχος 3 mm	5	€ 2,59	€ 12,95
Πάχος 1,5 mm	1	€ 1,99	€ 1,99
Πάχος 5 mm	2	€ 3,19	€ 6,38
Πήχεις 1000 mm		Υποσύνολο	€ 28,19
6 x 6 mm	4	€ 0,89	€ 3,56
5 x 5 mm	2	€ 0,79	€ 1,58
10 x 10 mm	2	€ 1,39	€ 2,78
5 x 15 mm	2	€ 2,29	€ 4,58
6 x 20 mm	2	€ 2,89	€ 5,78
Κόντρα Πλακέ		Υποσύνολο	€ 18,28
Πάχος 3 mm	2	€ 4,01	€ 8,02
Πάχος 2 mm	2	€ 3,79	€ 7,58
Καβίλιες		Υποσύνολο	€ 15,60
Διαμέτρου 6 x 500 mm	1	€ 0,49	€ 0,49
Διαμέτρου 3 x 30 mm	1	€ 0,49	€ 0,49
Λοιπά υλικά		Υποσύνολο	€ 0,98
Ντίζες	2	€ 5,99	€ 11,98
Χορν πηδαλίων	2	€ 1,60	€ 3,20
Μεντεσέδες πηδαλίων	6	€ 0,39	€ 2,34
Ατσαλόσυρμα 3,2 mm	1	€ 0,83	€ 0,83
Ζεύγος τροχών	1	€ 7,60	€ 7,60
Ασφάλειες τροχών	1	€ 0,50	€ 0,50
Ατσαλόσυρμα 1,8 mm	1	€ 1,39	€ 1,39
Λάστιχα 6 x 1 x 200 mm	4	€ 0,35	€ 1,40
Κόλλες	4	€ 2,65	€ 10,60
Επικαλυπτικό φιλμ	3	€ 1,95	€ 5,85
Ηλεκτρονικά εξαρτήματα		Υποσύνολο	€ 45,69
Μοτέρ	1	€ 19,90	€ 19,90
Μπαταρία	1	€ 27,90	€ 27,90
Ρυθμιστής στροφών	1	€ 13,90	€ 13,90
Ταχυσύνδεσμοι	4	€ 1,05	€ 4,20
Έλικας	1	€ 2,40	€ 2,40
Τηλεκατεύθυνση		Υποσύνολο	€ 68,30
Σύστημα 4 καναλιών	1	€ 13,50	€ 13,50
Σέρβο	2	€ 12,00	€ 24,00
		Υποσύνολο	€ 37,50
		Σύνολο	€ 214,54

Πίνακας 4.7: Πίνακας υλικών & εξαρτημάτων

4.11 Συμπεράσματα

Η εφαρμογή των διαφορετικών μεθοδολογιών χρονοπρογραμματισμού στο έργο Αερομοντελισμού της παρούσας πτυχιακής δίνει τη δυνατότητα να διεξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα για τις διαφορετικές μεθοδολογίες και την εφαρμογή τους σε πραγματικά έργα.

- Το διάγραμμα Δομής Ανάλυσης Εργασιών (WBS) διευκολύνει τον εντοπισμό των δραστηριοτήτων που αποτελούν το έργο και επιτρέπει το διαχωρισμό του έργου σε υποέργα. Ως τεχνική όμως δεν είναι αρκετή για την πλήρη ανάλυση του έργου καθώς δεν περιλαμβάνει τις αλληλοσχετίσεις μεταξύ των δραστηριοτήτων.
- Η αποτύπωση του έργου σε ένα δίκτυο δραστηριοτήτων περιλαμβάνει 37 δραστηριότητες με υψηλή περιπλοκότητα στις σχέσεις εκτέλεσης. Η εφαρμογή της μεθοδολογίας της κρίσιμης διαδρομής (CPM) για το συγκεκριμένο έργο υπολόγισε ότι η διάρκειά του θα είναι 66 ώρες, ενώ εμφανίζονται 8 κρίσιμα μονοπάτια που περιλαμβάνουν συνολικά 22 κρίσιμες δραστηριότητες. Η διάρκεια αυτή και η τεχνική προϋποθέτει πως όλες οι δραστηριότητες θα πραγματοποιηθούν ομαλά χωρίς κάποια καθυστέρηση ή αβεβαιότητα.
- Τα διαγράμματα Gantt αργότερης και νωρίτερης έναρξης είναι σημαντικά διαγράμματα για τον έλεγχο της εξέλιξης των δραστηριοτήτων ανά χρονική μονάδα ολοκλήρωσης. Βάση αυτών μπορούν να παρθούν σημαντικές αποφάσεις όσων αφορά τα χρονοδιαγράμματα των προμηθειών και των λοιπών πόρων του έργου.
- Η χρονική αβεβαιότητα των δραστηριοτήτων έρχεται να δώσει λύσεις πάνω σε δραστηριότητες που είναι σχεδόν βέβαιο πως θα ξεκινήσουν αργότερα ή νωρίτερα του προκαθορισμένου χρόνου του δικτύου CPM. Έτσι, για τις συγκεκριμένες δραστηριότητες υπολογίζεται η αναμενόμενη διάρκειά τους προσεγγίζοντας έτσι κατά πολύ τους πραγματικούς χρόνους ολοκλήρωσης.
- Αρχικά θεωρήθηκε ότι ένας μικρός αριθμός δραστηριοτήτων υπόκειται σε αβεβαιότητα. Το δίκτυο της μεθόδου PERT συνυπολογίζοντας τους νέους χρόνους δραστηριοτήτων με αβεβαιότητα έδειξε πως το έργο θα ολοκληρωθεί σε 71,6 ώρες. Ουσιαστικά όπως ήταν αναμενόμενο η διάρκεια αυξήθηκε κατά 6 ώρες περίπου, από 66 ώρες που ήταν στο δίκτυο CPM. Παράλληλα, δεν παρουσιάστηκε καμία μεταβολή στις κρίσιμες δραστηριότητες αλλά και διαδρομές. Προκύπτει επίσης ότι υπάρχει πιθανότητα 90% το έργο να έχει ολοκληρωθεί στις 73,50 ώρες, γεγονός που δείχνει ότι η διακύμανση του χρόνου εκτέλεσης του έργου κινείται σε ικανοποιητικά επίπεδα.

- Στη συνέχεια εκτιμήθηκε ένας βαθμός αβεβαιότητας για όλες τις δραστηριότητες του έργου. Η εφαρμογή της μεθοδολογίας PERT εκτίμησε ότι ο χρόνος ολοκλήρωσης του έργου ανέρχεται στις 75,8 ώρες. Την ίδια στιγμή οι κρίσιμες δραστηριότητες είναι 20 και εμφανίζονται μόνο δύο κρίσιμα μονοπάτια. Προκύπτει δηλαδή ότι η επίλυση του δικτύου, στην περίπτωση όπου η αβεβαιότητα σχετικά με το χρόνο εκτέλεσης είναι μεγάλη και εμφανίζεται σε όλες τις δραστηριότητες, οδηγεί σε σημαντικές διαφοροποιήσεις τόσο στη διάρκεια του έργου όσο και στην κρίσιμη διαδρομή.
- Η προσομοίωση Monte Carlo δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης της διάρκειας του έργου και της κρίσιμης διαδρομής με τη χρήση στοχαστικών μεθόδων. Σε κάθε επανάληψη της προσομοίωσης η διάρκεια κάθε δραστηριότητας διαφοροποιείται. Η εφαρμογή στο έργο αερομοντελισμού έγινε με 500 επαναλήψεις βασιζόμενη στο ακριβώς παραπάνω δίκτυο PERT υπολόγισε 500 διαφορετικές διάρκειες ολοκλήρωσης έργου. Από αυτές η ελάχιστη τιμή ήταν οι 67,1 ώρες, η μέγιστη 90,4 ώρες ενώ η μέση διάρκεια 77,5. Με κατάλληλη επεξεργασία των 500 τιμών που αφορούν την διάρκεια του έργου, δημιουργείται το ιστόγραμμα συχνοτήτων διάρκειας με βάση το οποίο μπορεί πολύ εύκολα να διακριθεί η πιθανότητα διάρκειας του έργου να ανήκει σε καθορισμένο όριο τιμών.
- Το προφίλ πόρων του δικτύου έδειξε πως για την προμήθεια όλων των απαραίτητων υλικών κατασκευής του έργου πρέπει να δωθούν € 214,54. Το κόστος αυτό αφορά την αρχή του έργου ώστε αμέσως μετά να ξεκινήσει η κατασκευή του.

Από την χρήση της μεθόδου CPM διεξάγονται τα εξής πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Τα πλεονεκτήματα αφορούν:

- Καλύτερος προγραμματισμός, διότι δίνει έμφαση στην διάρκεια των δραστηριοτήτων και οι αλληλεξαρτήσεις τους συντελούν σε αυτό. Εάν κάποια δραστηριότητα εξάρταται από κάποια άλλη για να τελειώσει τότε αυτή η μέθοδος θα το αναγνωρίσει και θα το προγραμματίσει.
- Προτεραιότητα, όπου η επιτυχία της μεθόδου βασίζεται στην αναγνώριση και στη χαρτογράφηση των κρίσιμων και μη δραστηριοτήτων. Μόλις χαρτογραφηθούν αυτές οι δραστηριότητες μπορούν να μπουν σε προτεραιότητα οι πόροι του έργου.

Τα μειονεκτήματα:

- Απαιτείται εμπειρία, καθώς για να φτιαχτεί το δίκτυο χρειάζεται περισσότερος χρόνος απ' ότι συνήθως αναμένεται. Εάν δεν διατίθεται πραγματική εμπειρία με

τον προγραμματισμό, ελοχεύει ο κίνδυνος να γίνουν λάθος υπολογισμοί σε όλες τις δραστηριότητες.

- Ακαμψία, διότι τα πάντα πρέπει να σχεδιαστούν από την αρχή, οπότε οποιαδήποτε μεταβολή ή αλλαγή οδηγεί ολόκληρο το έργο στην απόρριψη. Δεν είναι χρήσιμη εάν το έργο είναι επιρρεπείς σε απότομες αλλαγές.

Παράλληλα, κάνοντας εφαρμογή της μεθόδου PERT μπορούν να διεξαχθούν τα εξής πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Τα πλεονεκτήματα αφορούν:

- Σχεδιασμός για μεγάλα έργα, όπου η τεχνική γίνεται πιο ενεργή καθώς είναι μια προσανατολισμένη τεχνική δραστηριοτήτων και απαιτούνται οι αλληλοεξαρτήσεις και οι χρόνοι ολοκλήρωσης αυτών όπως την CPM.
- Αναγνώριση κρίσιμης διαδρομής και δραστηριοτήτων και πάλι όπως την CPM.
- Εστίαση στην κάθε δραστηριότητα ξεχωριστά, καθώς η PERT θα δώσει εικόνα για τη πιθανή ολοκλήρωση του έργου αλλά και τον προϋπολογισμό.

Τα μειονεκτήματα:

- Προσανατολισμένη στους χρόνους τεχνική, διότι απαιτεί μεγάλη πληροφόρηση ως προς τις διάρκειες κάθε δραστηριότητας. Οπότε, ο καθορισμός και η κατανομή κάθε δραστηριότητας παίζει βασικό ρόλο.
- Υποκειμενική μέθοδος, για ένα έργο που βασίζεται στα διαθέσιμα δεδομένα, τα οποία με την σειρά τους εφαρμόζονται ως επί το πλείστον σε ένα έργο που έχει πρόσφατα διεξαχθεί ή σε αυτά που δεν έχουν επαναλαμβανόμενο χαρακτήρα.
- Ανακρίβεια στις προβλέψεις, καθώς δεν υπάρχουν παρελθοντικές αναφορές ή βοήθεια δίνοντας έτσι την σκυτάλη στις προβλέψεις. Οπότε ολόκληρο το έργο μπορεί να οδηγηθεί στην καταστροφή.

Σε γενικές γραμμές οι δύο παραπάνω μέθοδοι μοιάζουν σημαντικά ως προς τα πλεονεκτήματά τους και λιγότερο ως προς τα μειονεκτήματά τους. Αλλά η μέθοδος PERT περιλαμβάνει την αβεβαιότητα τις κάθε δραστηριότητας ξεχωριστά οδηγώντας σε αντίστοιχες αποφάσεις και αποτελέσματα.

Από την άλλη πλευρά τα διαγράμματα Gantt έχουν τα εξής:

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Εύκολα στην κατανόηση	Κακός έλεγχος όταν υπάρχουν πολλές δραστηριότητες
Αποτελεσματικό εργαλείο επικοινωνίας	Δεν παρουσιάζουν καθαρά τις αλληλοεξαρτήσεις
Αναγνώριση απαιτήσεων πόρων	Δεν παρουσιάζουν καθαρά τις επιδράσεις από την καθυστέρηση των δραστηριοτήτων
Καθορισμός ρεαλιστικών χρονικών περιθώριων	Οι μπάρες δεν δείχνουν τον φόρτο εργασίας

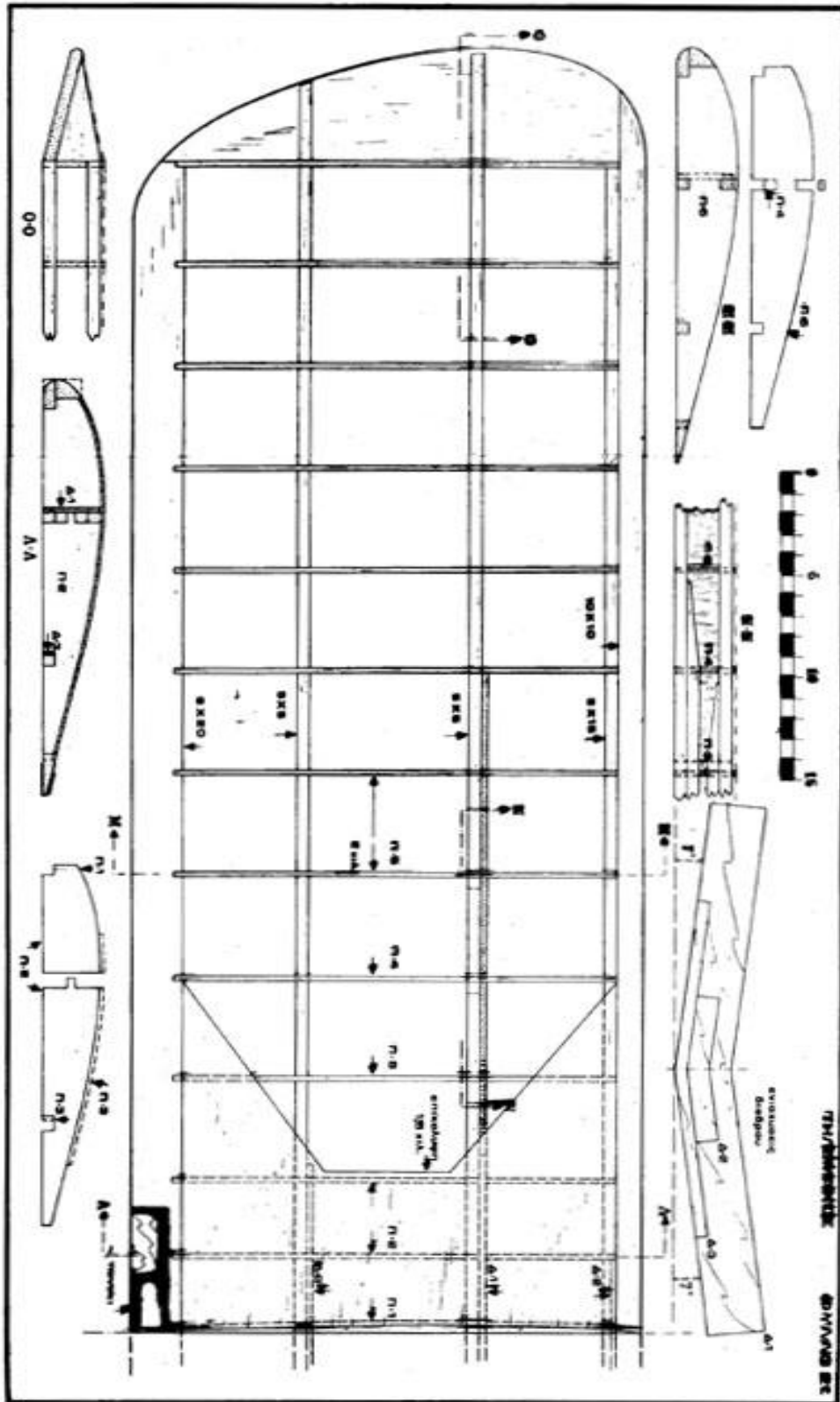
Τέλος, για την προσομοίωση Monte Carlo με βάση το έργο της παρούσας διπλωματικής εργασίας μπορούν να διεξαχθούν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Ευέλικτη μέθοδος, καθώς δεν υπάρχει πρακτικά κάποιο όριο στην ανάλυση. Παράλληλα, οι εμπειρικές κατανομές μπορεί να είναι εύκολα διαχειρίσιμες.
- Μπορεί εύκολα να επεκταθεί και να αναπτυχθεί όσο απαιτεί το έργο.
- Κατανοητή μέθοδος ακόμα και από άτομα που δεν είναι καλοί φίλοι με τα μαθηματικά.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί όχι μόνο για στοχαστικά προβλήματα αλλά και για έργα που είναι καθορισμένα.

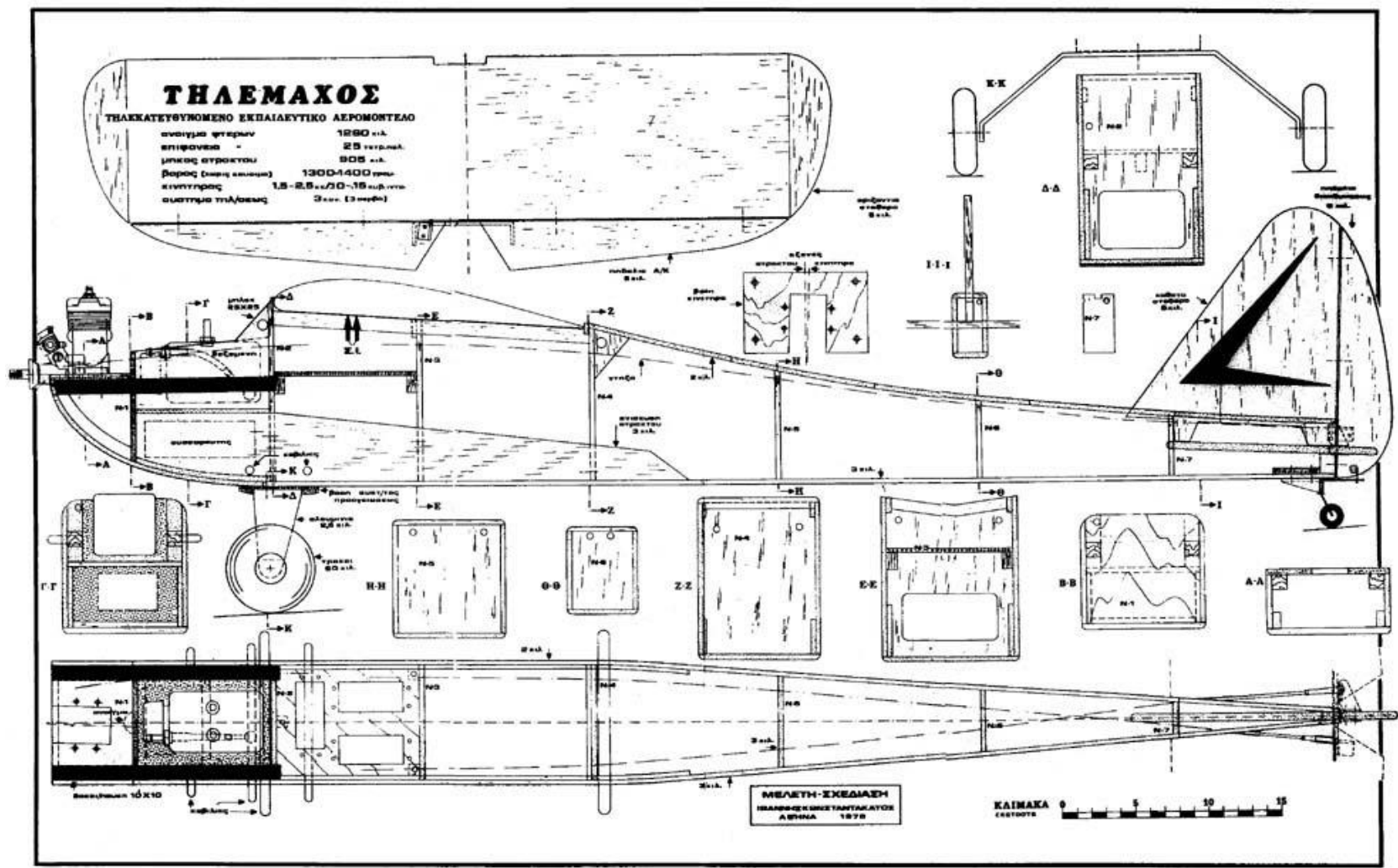
Παράλληλα, τα μόνα μειονεκτήματα που μπορούν να υπάρξουν είναι:

- Μεγάλοι χρόνοι στους υπολογισμούς απ' άλλα ανλυτικά μοντέλα.
- Απαιτείται η κατασκευή εξιδεικευμένου μοντέλου προσομοίωσης.
- Τα αποτελέσματα δεν είναι ακριβής αλλά βασίζονται στον αριθμό των επαναλήψεων ούτως ώστε να υπολογισθούν τα στατιστικά δεδομένα κατά προσέγγιση.

Παράρτημα 1



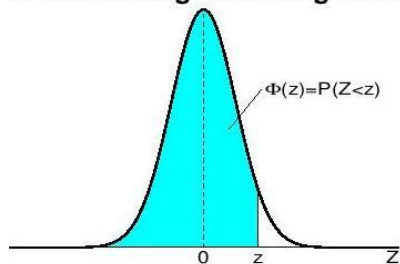
Σχέδιο 1: Φτερό Τηλέμαχου(Κωνσταντακάτος, 2017)



Σχέδιο 2: Άτρακος και ουρά Τηλέμαχου (Κωνσταντακάτος, 2017)

Παράρτημα 2

Στατιστικός Πίνακας Τυπικής Κανονική Κατανομής



Παράδειγμα:

$$z = 1.28 \iff \Phi(z) = 0.90$$

$$z = 1.65 \iff \Phi(z) = 0.95$$

$$z = 2.33 \iff \Phi(z) = 0.99$$

$$z = 3.08 \iff \Phi(z) = 0.999$$

z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998

Πίνακας τυπικής κανονικής κατανομής (Κουγιουμτζής, 2009)

Βιβλιογραφία

- A. Shtub, J. Bard, J. & Globerson S., 2004, Project Management: Processes, Methodologies and Economics, Prentice Hall
- A. Wulandari, M. Dachyar, Farizal, 2018, Scheduling of Empennage Structure Design Project of Indonesia's Aircraft with Critical Path Method (CPM)
- Department of Defense, 2001, Systems Engineering Fundamentals, Defense Acquisition University Press, Virginia
- E. Nursanti, S. Avief, F. Handoko, 2017, Overhaul Maintenance Scheduling Optimization of Indonesian Air Force Hawk MK-209 Aircraft Using CPM/PERT
- F. Nocera, R. Bolia, 2007, Pert Networks as a Method for Analyzing the Visual Scanning Strategies of Aircraft Pilots
- H. Kerzner, 2009, Project Management, Wiley
- H. Maylor, 2005, Διαχείριση Έργων, Κλειδάριθμος
- L. Ng, K. Willcox, 2015, Monte Carlo Information-Reuse Approach to Aircraft Conceptual Design Optimization Under Uncertainty
- M. Hidayat, M. Dachyar, Farizal, 2018, Scheduling for Indonesia's Aircraft Wing Structure Design Project with Critical Path Method and Resource-Constrained Project Scheduling
- N. Slack, S. Chambers, R. Johnston, 2010, Διοίκηση Παραγωγής Προϊόντων και Υπηρεσιών, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα
- P. Krammer, O. Junker, D. Scholz, Aircraft Design for Low Cost Ground Handling – the Final Results of the Aloha Project
- P. Morris, 1997, The Management of Projects, Thomas Telford
- Project Management Body of Knowledge, PMI, 2008, Project Management Institute, USA
- R. Burke, 2014, Διαχείριση Έργου, Κριτική
- R. Turner, 1993, Handbook of Project Based Management, McGraw-Hill
- R. Ghosh, T. Schilling, K. Wicke, 2014, Theoretical Framework of Systems Design for the Air Transportation System including an inherently Quantitative Philosophy of Scenario Development
- S. Szabo, I. Koblen, I. Vajdova, 2015, Aviation Technology Life Cycle Stages
- Σ. Πολύζος, 2013, Διοίκηση και Διαχείριση Έργων: Μέθοδοι και Τεχνικές, Κριτική
- Γ. Κωνσταντακάτος, 2017, Τηλέμαχος Τηλεκατευθυνόμενο Αερομοντέλο
- Δ. Κουγιουμτζής, 2009, Σημειώσεις για το Μάθημα Στατιστική για Πολιτικούς Μηχανικούς, Μέρος Β
- Ε. Αρβανίτη, Πρεβεζάνου, 2019, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Ελληνικός Αεραθλητισμός, Αθήνα
- Π. Φιτσιλής, 2015, Εισαγωγή στη διαχείριση έργων, Εκδόσεις Κάλλιπος

Ιστοσελίδες

- <http://oulkeroglou.gr/aeromodelismos/prologue.htm>
- <https://financesonline.com>
- <https://www.aeromodelling.gr/ForumS/>
- <https://www.wikipedia.org/>