



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΡΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΟΥ

PROJECT MANAGEMENT

του φοιτητή

Ιωάννη Μυλωνόπουλου

Επιβλέπων καθηγητής : Κολέτσος Ιωάννης (Επίκουρος Καθηγητής)

Επιτροπή

Κοκκίνης Βασίλειος (Επίκουρος Καθηγητής)

Κολέτσος Ιωάννης (Επίκουρος Καθηγητής)

Τυχόπουλος Ευάγγελος (Επίκουρος Καθηγητής)

ΙΟΥΛΙΟΣ 2016

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στην Επιχειρησιακή Έρευνα (OR)	4
1.1 Ιστορική αναφορά	4
1.2 Ορισμός Επιχειρησιακής Έρευνας	6
1.3 Εισαγωγή στην Διαχείριση Έργου	7
1.3.1 Τι είναι έργο	9
1.4 Διοίκηση-Διαχείριση Έργου (Project Management)	13
Κεφάλαιο 2: Τεχνικές διαχείρισης έργου	16
2.1: Γέννηση των τεχνικών διαχείρισης έργου	16
2.2 Διάγραμμα Gantt	17
2.3 Διαχείριση έργου με δίκτυα. Οι τεχνικές PERT/CPM/MPM	18
2.4 Βασικές έννοιες δικτυωτής ανάλυσης	20
2.4.1 Δικτυωτό γράφημα	20
2.4.2 Δικτυωτή ανάλυση	22
Κεφάλαιο 3: Η μέθοδος των κατά βέλη προσανατολισμένων δικτύων (Μέθοδος CPM)	23
3.1 Εισαγωγή	23
3.2 Κανόνες σχεδιασμού διαγράμματος δικτύου	24
3.2.1 Κατασκευή διαγράμματος δικτύου	25
3.3 Παράδειγμα επίλυσης δικτυωτού γραφήματος με την μέθοδο CPM.	40
3.4 Χρονικά στοιχεία έργου	43
3.5 Σύντμηση της διάρκειας ενός έργου: Σχέση Κόστους – Χρόνου	46
3.6 Επίλυση δικτυωτού γραφήματος με τη μέθοδο της CPM	48
3.6.1 Παράδειγμα 1	48
3.6.2 Παράδειγμα 2 (Με δυνατότητα σύντμησης χρόνου εκτέλεσης-κόστους δραστηριοτήτων)	53
3.7 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα της μεθόδου CPM	59
Κεφάλαιο 4: Η μέθοδος των κατά κόμβους προσανατολισμένων δικτυωτών γραφημάτων (Μέθοδος MPM ή Μέθοδος PDM)	61
4.1 Εισαγωγή	61
4.2 Σχέσεις αλληλουχίας	61
4.3 Κανόνες σχεδιασμού γραφήματος MPM	64
4.4 Συμβολισμοί	68
4.5 Επίλυση δικτυωτού γραφήματος με τη μέθοδο της MPM	69
4.5.1 Ομόρροπος υπολογισμός	69
4.5.2 Αντίρροπος υπολογισμός	71
4.5.3 Χρονικά περιθώρια TS_A	74
4.6 Παράδειγμα της μεθόδου MPM	76
4.6.1 Σχεδιασμός του δικτύου	77
4.6.2 Επίλυση δικτυωτού γραφήματος με τη μέθοδο MPM	80
4.6.3 Ομόρροπος Υπολογισμός	81
4.6.4 Αντίρροπος Υπολογισμός	85
4.6.5 Υπολογισμός των ολικών χρονικών περιθωρίων TS	89

4.6.6 Υπολογισμός των ελεύθερων χρονικών περιθωρίων FTS.....	90
4.6.7 Πίνακας χρονικών στοιχείων του έργου	91
4.6.8 Υπολογισμός Κρίσιμης Διαδρομής και ολικής διάρκειας έργου	91
4.6.9 Κατασκευή διαγράμματος Gantt	92
4.7 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα της μεθόδου MPM	93
Κεφάλαιο 5: Η μέθοδος των δικτυωτών γραφημάτων με πιθανοτική θεώρηση των χρόνων (Μέθοδος PERT)	94
5.1 Εισαγωγικές έννοιες.....	94
5.2 Η κατανομή Βήτα	94
5.3 Στάδια υλοποίησης της μεθόδου PERT.....	96
5.4 Παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου PERT	98
5.4.1 Επίλυση	98
Κεφάλαιο 6: Τα σύγχρονα Διεθνές πρότυπα του Project Management	105
6.1 Το πρότυπο PMBOK	105
6.2 Το πρότυπο PRINCE2.....	105
6.3 Το πρότυπο V-Modell.....	105
6.4 Το πρότυπο OPM3	106
6.5 Το πρότυπο ISO 10006:2003	106
6.6 Το πρότυπο BS6079-1:2002	106
6.7 Σύγκριση των προτύπων PRINCE2 και PMBoK.....	106
Πίνακας Τυποποιημένης Κανονικής Κατανομής	108
Ξένη βιβλιογραφία	109
Ελληνική βιβλιογραφία.....	110

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στην Επιχειρησιακή Έρευνα (OR)

1.1 Ιστορική αναφορά

Από την έλευση της βιομηχανικής επανάστασης, ο κόσμος έχει δει μια σημαντική αύξηση στο μέγεθος και την πολυπλοκότητα των οργανισμών. Μικρά καταστήματα τεχνιτών μιας παλαιότερης εποχής έχουν εξελιχθεί σε δισεκατομμυρίων δολαρίων εταιρείες του σήμερα. Αναπόσπαστο μέρος αυτής της επαναστατικής αλλαγής υπήρξε μια τεράστια αύξηση στον καταμερισμό της εργασίας και την κατάτμηση των αρμοδιοτήτων διαχείρισης σε αυτές τις οργανώσεις. Τα αποτελέσματα ήταν θεαματικά. Ένα σχετικό πρόβλημα είναι ότι καθώς η πολυπλοκότητα και εξειδίκευση σε έναν οργανισμό αυξάνεται, γίνεται όλο και πιο δύσκολο να κατανέμει τους διαθέσιμους πόρους στις διάφορες δραστηριότητες με ένα τρόπο που να είναι πιο αποτελεσματικός για την οργάνωση ως σύνολο. Αυτά τα είδη των προβλημάτων και την ανάγκη να βρεθεί ένας καλύτερος τρόπος για την επίλυσή τους οδήγησαν στην εμφάνιση της Επιχειρησιακής Έρευνας (που συνήθως αναφέρεται ως OR).

Οι ρίζες της Επιχειρησιακής Έρευνας μπορούν να αναχθούν τη δεκαετία του 1930, όταν οι πρώτες απόπειρες έγιναν ώστε να χρησιμοποιηθεί μια επιστημονική προσέγγιση στη διαχείριση των οργανισμών. Ωστόσο, η αρχή της δραστηριότητας που ονομάζεται Επιχειρησιακή Έρευνα γενικά αποδίδεται στις στρατιωτικές υπηρεσίες στις αρχές του Β' Παγκοσμίου Πολέμου. Ξεκίνησε ως ένας τρόπος εύρεσης του πιο αποδοτικού τρόπου εξολόθρευσης ανθρώπων με τη βελτίωση της πιθανότητας επιτυχίας μιας επίθεσης και τη σύγκριση τύπων αεροσκαφών με στόχο την χρησιμοποίηση του κατάλληλου τύπου στη κατάλληλη πολεμική επιχείρηση. Επίσης, ήταν επιτακτική η ανάγκη να διατεθούν περιορισμένοι πόροι στις διάφορες στρατιωτικές επιχειρήσεις και στις δραστηριότητες σε κάθε λειτουργία με ένα αποτελεσματικό τρόπο. Ως εκ τούτου, οι Βρετανοί και στη συνέχεια η αμερικανική στρατιωτική διοίκηση κάλεσε ένα μεγάλο αριθμό επιστημόνων να εφαρμόσει μια επιστημονική προσέγγιση για την αντιμετώπιση προβλημάτων στρατηγικής και τακτικής. Στην πραγματικότητα, τους ζητήθηκε να κάνουν έρευνα σχετικά με (στρατιωτικές) επιχειρήσεις. Αυτές οι ομάδες των επιστημόνων ήταν η πρώτες OR ομάδες. Με ανάπτυξη αποτελεσματικών μεθόδων χρησιμοποιώντας το νέο εργαλείο του ραντάρ, οι ομάδες αυτές έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στη νίκη της αερομαχίας της Μεγάλης Βρετανίας. Η έρευνα αυτή οδήγησε σε αύξηση των ωρών πτήσεων των αεροσκαφών κατά 61% καθώς επίσης και στο γεγονός ότι το 1945 η πιθανότητα επιτυχίας της επίθεσης αυξήθηκε στο 40% (από 3% το 1941). Η έρευνά τους σχετικά με το πώς να διαχειρίζονται καλύτερα φάλαγγες και ανθυποβρυχιακές επιχειρήσεις, έπαιξε επίσης σημαντικό ρόλο στο να κερδίσουν τη μάχη στο Βόρειο Ατλαντικό.

Μετά την ολοκλήρωση του πολέμου, η Επιχειρησιακή Έρευνα ακολούθησε το δρόμο της και απέκτησε ευρύτερο πεδίο εφαρμογής εκτός στρατού, ανάλογα με τις ανάγκες της ανθρωπότητας σε καιρό ειρήνης. Στη Βρετανία, οι μελετητές του OR Section(τμήμα του στρατού με αντικείμενο τις πτήσεις αεροσκαφών με στόχο τον εντοπισμό και την εξολόθρευση γερμανικών υποβρυχίων) γύρισαν στις παλιές τους δουλειές και τελικώς, η Επιχειρησιακή Έρευνα δεν διαδόθηκε τόσο πολύ όσο θα έπρεπε, εκτός από συγκεκριμένες εξαιρέσεις (βιομηχανία μετάλλων, ορυχεία) αντιθέτως στην Αμερική, η Επιχειρησιακή Έρευνα αναπτύχθηκε σημαντικά μέσω των Πανεπιστημιακών Ιδρυμάτων με αποτέλεσμα η χρήση της να εξαπλωθεί πολύ περισσότερο και η εκπαίδευση σε σχετικά ζητήματα να είναι προηγμένη. Αποτέλεσε κίνητρο για πολλούς από τους επιστήμονες που συμμετείχαν σε ομάδες OR ή είχαν ακούσει για το έργο αυτό για να συνεχίσουν την έρευνα σχετικά με το πεδίο αυτό με αποτέλεσμα να προκύψουν σημαντικές πρόοδοι στην κατάσταση της τεχνικής. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η μέθοδος simplex για την επίλυση προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού, που αναπτύχθηκε από τον George Dantzig το 1947. Πολλά από τα συνήθη εργαλεία του OR, όπως γραμμικός προγραμματισμός, δυναμικός προγραμματισμός, θεωρία αναμονής και την θεωρία απογραφής, ήταν σχετικά καλά ανεπτυγμένα πριν το τέλος της δεκαετίας του 1950. Η ανάπτυξη της Επιχειρησιακής Έρευνας ήταν ταχύτερη τα τελευταία 30 χρόνια λόγω της υπολογιστικής ισχύος που πρόσθεσε στην καθημερινή ζωή η χρησιμοποίηση των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Συνεπώς, η ανάπτυξη των ψηφιακών ηλεκτρονικών υπολογιστών, με την ικανότητά τους να εκτελούν υπολογισμούς χιλιάδες ή ακόμα και εκατομμύρια φορές πιο γρήγορα από ότι ένα ανθρώπινο ον μπορεί, ήταν ένα τεράστιο όφελος για την Επιχειρησιακή Έρευνα. Μια περαιτέρω ώθηση ήρθε στη δεκαετία του 1980 με την ανάπτυξη να συνοδεύεται από ολοένα και πιο ισχυρούς προσωπικούς υπολογιστές με καλά πακέτα λογισμικού. Αυτό έφερε τη χρήση της Επιχειρησιακής Έρευνας πιο προσβάσιμη από πολύ μεγαλύτερο αριθμό ατόμων. Σήμερα, κυριολεκτικά εκατομμύρια των ατόμων έχουν άμεση πρόσβαση σε λογισμικό Επιχειρησιακής Έρευνας.

1.2 Ορισμός Επιχειρησιακής Έρευνας

Η Επιχειρησιακή Έρευνα είναι η εφαρμογή της σύγχρονης επιστήμης πάνω σε πολύπλοκα προβλήματα που ανακύπτουν στη διεύθυνση και διοίκηση μεγάλων συστημάτων, αποτελούμενων από ανθρώπους, μηχανές, υλικά και κεφάλαια στις επιχειρήσεις. Η χαρακτηριστική της μεθοδολογία συνίσταται στην ανάπτυξη επιστημονικού μοντέλου του υπό μελέτη συστήματος που περιλαμβάνει μετρήσεις τυχαίων παραγόντων και με το οποίο προβλέπει και συγκρίνει τα αποτελέσματα εναλλακτικών αποφάσεων, στρατηγικών και ελέγχων. Ο σκοπός της είναι να βοηθήσει τη διοίκηση να καθορίσει την πολιτική και τις ενέργειές της επιστημονικά.

Τα βασικά χαρακτηριστικά της Επιχειρησιακής Έρευνας είναι ότι :

- Αποτελεί νέα μορφή έρευνας που πραγματοποιείται σε συνεργασία με διοικητικά στελέχη σε στενή συνεργασία μαζί τους.
- Αναφέρεται σε προβλήματα λήψης αποφάσεων και ελέγχου ενεργών συστημάτων.
- Εφαρμόζει επιστημονική μεθοδολογία για την ποσοτική εκτίμηση της βέλτιστης λύσης προβλημάτων με βάση αντικειμενικά κριτήρια και χρησιμοποιεί μοντέλα. Η Επιχειρησιακή Έρευνα αποσκοπεί στην μέγιστη βελτίωση της συνολικής επίδοσης και δεν επιδιώκει τη βελτιστοποίηση σε τοπικό επίπεδο.
- Διεξάγεται από μικτές ομάδες επιστημόνων. Ο συνδυασμός ατόμων από πολλές διαφορετικές επιστημονικές περιοχές εξασφαλίζει την παρουσία πολλών διαφορετικών οπτικών κατά τη λύση των προβλημάτων.
- Έχει υιοθετήσει συστημική προσέγγιση (systems approach).

Η Επιχειρησιακή Έρευνα εμφανίζεται ως Operational Research (OR) στην Ευρώπη και ως Operations Research (OR) στην Αμερική. Εναλλακτικά μπορεί να εμφανιστεί και ως Management Science (MS) καθώς επίσης και με την συνδυαστική ονομασία Operations Research & Management Science (OR/MS). Τέλος, σπανιότερα μπορεί να εμφανιστεί και ως Industrial Engineering (IE) ή ως Decision Science (DS).

1.3 Εισαγωγή στην Διαχείριση Έργου

Η ιστορική εξέλιξη του πολιτισμού και της ανθρώπινης κοινωνίας είναι συνυφασμένη με την υλοποίηση έργων, δηλαδή εγχειρημάτων κατά τα οποία άνθρωποι και οικονομικοί πόροι οργανώνονται ώστε να παραχθεί συγκεκριμένο μετρήσιμο επωφελές αποτέλεσμα, τέτοιο ώστε η κατάσταση (της κοινωνικής πραγματικότητας) μετά το πέρας του έργου να έχει σαφή διαφορά από την κατάσταση κατά την έναρξη του έργου.

Ανεξάρτητα από το είδος του έργου (έργο υποδομής, ερευνητικό έργο, στρατιωτική επιχείρηση, τραπεζικές διαδικασίες ή οτιδήποτε άλλη επιχειρηματική δραστηριότητα), η μεθοδική οργάνωση της υλοποίησής του, ο συντονισμός της διαχείρισης του έργου, είναι αναγκαία προϋπόθεση για την επιτυχία του εγχειρήματος.

Αν και δεν διαθέτουμε επαρκή ιστορική τεκμηρίωση, είναι βέβαιο ότι τα μεγάλα επιτεύγματα του παρελθόντος προϋπόθεταν υψηλό, για την εποχή τους, επίπεδο διαχείρισης. Είναι ολοφάνερο ότι οι ογκώδεις και πολύπλοκες κατασκευές, όπως το Σινικό τείχος, η Ακρόπολη ή οι πυραμίδες της Αιγύπτου, είναι χτισμένες σύμφωνα με υψηλές προδιαγραφές. Τόσο για την υλοποίηση των παραπάνω κατασκευών όσο και για την υλοποίηση άλλων επιτευγμάτων, όπως οι στρατιωτικές εκστρατείες του Μεγάλου Αλεξάνδρου, απαιτήθηκε τεράστιο ανθρώπινο δυναμικό για να ολοκληρωθούν. Γνωρίζουμε, όμως, σχετικά λίγα για τις διοικητικές τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν κατά την πραγματοποίησή τους.

Παράλληλα, η ιστορία βρίθει από «αποτυχημένα» εγχειρήματα, όπως η κατασκευή της διώρυγας σύνδεσης του Νείλου με την ερυθρά θάλασσα, που άρχισε από τον Φαραώ Σέτι Α΄ και δεν ολοκληρώθηκε ούτε επί του διαδόχου του Νεχώ, αλλά πολύ αργότερα από του κατακτητές Πέρσες, επί Δαρείου. Δεν γνωρίζουμε πόσοι υπεύθυνοι του έργου έχασαν το κεφάλι τους τότε, αλλά σήμερα η κατάσταση δεν είναι πολύ ευκολότερη για τους ομολόγους τους.

Στις μέρες μας, η ραγδαίως μεταβαλλόμενη τεχνολογία, ο σκληρός ανταγωνισμός στην διεθνή αγορά για διασφάλιση μεριδίου, η στενότητα των διαθέσιμων πόρων, η επιρροή που ασκούν ισχυρές ομάδες πίεσης, η αστάθεια των οικονομικών συνθηκών-παραμέτρων, έχουν υποχρεώσει τις επιχειρήσεις να αλλάξουν τα συστήματα διοίκησης που χρησιμοποιούσαν. Στον αγώνα για επιβίωση που χαρακτηρίζει τη σύγχρονη αγορά, η επιστημονική διαχείριση έργων φαίνεται να προσφέρει πραγματικές λύσεις στα προβλήματα που δημιουργούνται. Αν και οι πρώτες σύγχρονες τεχνικές εμφανίστηκαν στις αρχές του 20ου αιώνα, η επιστήμη της διαχείρισης των έργων αναπτύχθηκε ουσιαστικά κατά τη διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου πολέμου και μετά.

Η επιστημονική διαχείριση των έργων αντλεί γνώσεις και τεχνικές από πολλά επιστημονικά πεδία. Προϋποθέτει χρονικό προγραμματισμό με βάση την θεωρία δικτύων,

μαθηματικό (γραμμικό ή μη) προγραμματισμό, επεξεργασία δεδομένων, θεωρία προτύπων και συστημάτων, ανάλυση κόστους-οφέλους, μεθόδους επιλογής εναλλακτικών λύσεων, θεωρία αποφάσεων και παιγνίων, τεχνικές ελέγχου, διαχείριση κινδύνου (risk) και επιπλέον εξειδικευμένες γνώσεις, ανάλογα με τη φύση του κάθε έργου. Ωστόσο, δεν είναι το απλό άθροισμα όλων αυτών. Η επιστημονική διαχείριση απαιτεί επιπλέον την διαδικασία σύνθεση/ολοκλήρωσης όλων όσων πρέπει να γίνουν ώστε να υλοποιηθούν οι στόχοι του έργου.

Παραδοσιακά, η διαχείριση έργου λειτούργησε στα πλαίσια της «σκληρής» γραφειοκρατικής ιεραρχικής οργανωτικής δομής. Στην ταχέως μεταβαλλόμενη εποχή μας, όμως, αυξάνονται ολοένα και περισσότερο τα έργα που απαιτούν όχι μόνο λειτουργική ευελιξία αλλά και εμπλοκή πολλαπλών ειδικοτήτων και τμημάτων και στα οποία εμπλέκονται σύνθετες και πολυεθνικές εταιρείες. Για τον λόγο αυτό παρατηρείται η τάση να υιοθετούνται συχνότερα ομάδες έργου, δομές οργάνωσης τύπου μητρώου και γενικά εργοκεντρική διοίκηση. Ο διευθυντής του έργου, ως υπεύθυνος του έργου, έχει καθήκον να δημιουργήσει μια ευέλικτη δομή που να ικανοποιεί εξίσου τις ανάγκες του έργου, τις ανάγκες της οργάνωσης, τις ανάγκες των εμπλεκόμενων και τις ανάγκες των ατόμων που απασχολούνται στο έργο.

Συχνά οι άνθρωποι αναφέρονται στη δουλειά τους με τον όρο «έργο» ανεξάρτητα από το τι ακριβώς κάνουν. Η έννοια, ωστόσο, του «έργου» στη «διοίκηση έργων» έχει συγκεκριμένο περιεχόμενο. Αν ένα σύνολο δραστηριοτήτων δεν ανταποκρίνονται στον ορισμό τότε, απλώς, αυτές οι δραστηριότητες δεν αποτελούν ένα «έργο». Και βέβαια, αν δεν έχουμε «έργο» δεν έχει νόημα να μιλάμε για τη διοίκηση του.

Πολλές φορές η έννοια του «έργου» συγχέεται με την έννοια της «εργασίας». Η εργασία (ενός ανθρώπου, μιας εταιρίας ή ενός οργανισμού) είναι η κανονική καθημερινή δραστηριότητα. Σε αντίθεση, η έννοια του «έργου» περιγράφει κάτι διαφορετικό από την καθημερινή εργασία. Υπάρχουν, όμως, περιπτώσεις που η καθημερινή εργασία αποτελεί εκτέλεση «έργου». Τέτοιες περιπτώσεις είναι η έρευνα, τα κατασκευαστικά έργα, η παραγωγή λογισμικού κτλ.

1.3.1 Τι είναι έργο

Η βασική διαφορά ανάμεσα στη διαχείριση έργου και το γενικό μάνατζμεντ σχετίζεται με τον ορισμό του έργου και στο ότι αυτό στοχεύει να αποδώσει στον πελάτη και σε αυτούς που συμμετέχουν επιχειρηματικά. Οι δύο πλησιέστεροι ορισμοί είναι οι εξής:

❖ Το εγχειρίδιο που εξέδωσε το Project Management Institute (PMI), ορίζει ως έργο το «προσωρινό εγχείρημα που στοχεύει στη δημιουργία ενός μοναδικού προϊόντος ή υπηρεσίας. Προσωρινό σημαίνει ότι κάθε έργο έχει καθορισμένο τέλος. Μοναδικό σημαίνει ότι το προϊόν ή η υπηρεσία διαφέρει κατά διακριτό τρόπο από όλα τα υπόλοιπα παρόμοια προϊόντα ή υπηρεσίες.»

❖ Ο Turner ορίζει ως έργο το «εγχείρημα κατά το οποίο άνθρωποι πόροι, μηχανές, οικονομική πόροι και πρώτες ύλες οργανώνονται κατά καινοφανή τρόπο, με στόχο την ανάληψη συγκεκριμένου αντικειμένου εργασιών που έχουν συγκεκριμένες προδιαγραφές και υπόκεινται σε δεδομένους κοστολογικούς και χρονικούς περιορισμούς, ώστε να παραχθεί μία επωφελής μεταβολή, η οποία ορίζεται μέσω ποσοτικών και ποιοτικών στόχων.

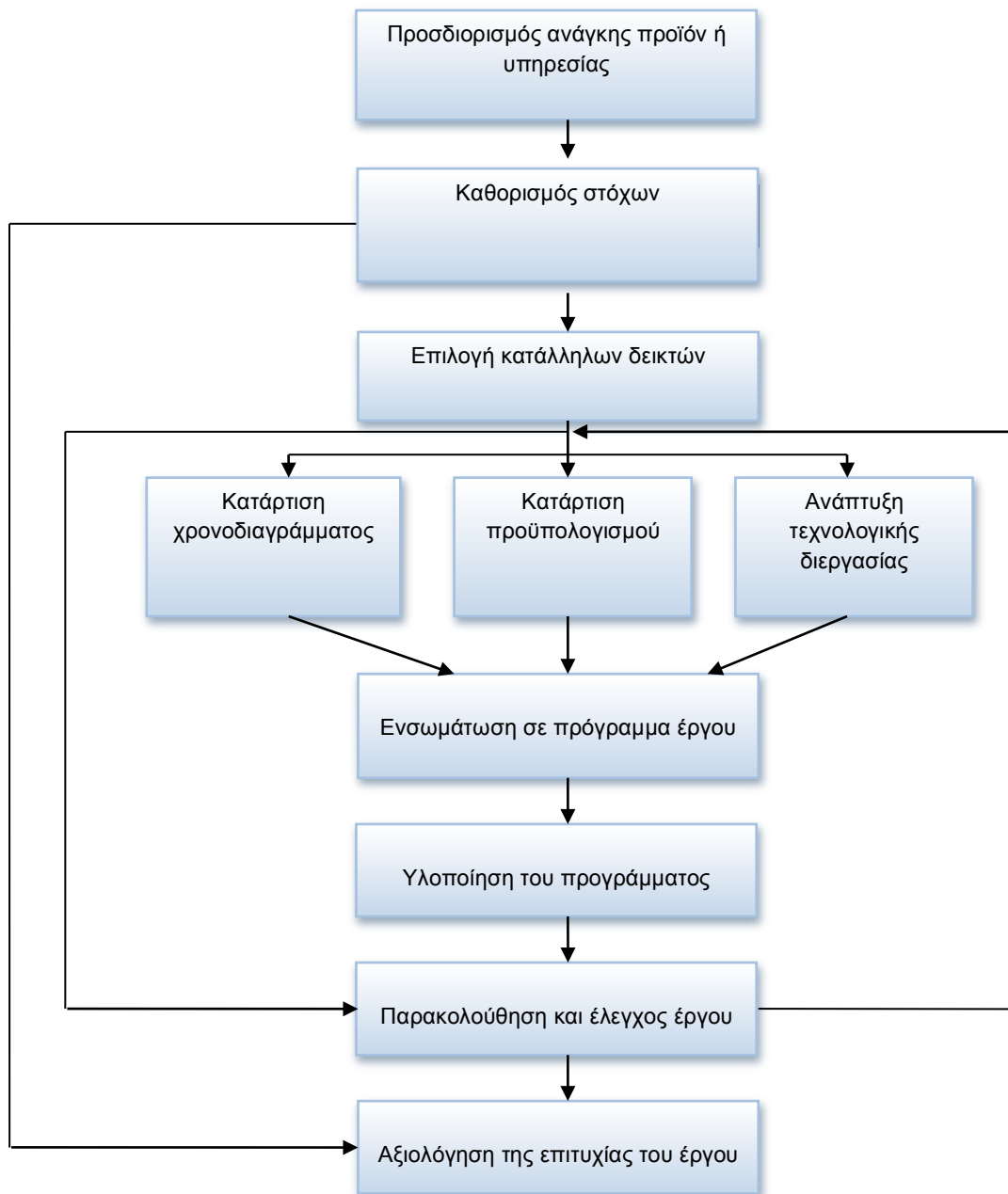
Εκ παραδόσεως, οι εργασίες που εκτελούνται, κυρίως, στον κατασκευαστικό κλάδο και οι αμυντικές προμήθειες θεωρούνται έργα. Πρόσφατα όμως, ολοένα και περισσότερες εταιρείες προνοούν οργανώνοντας τις εργασίες τους ως έργα (εργοκεντρική διοίκηση) και χρησιμοποιούν τεχνικές διαχείρισης έργου για να εξασφαλίσουν την επιτυχή ολοκλήρωση αυτών των εργασιών.

Κάθε έργο, ανεξάρτητα από το είδος και το μέγεθός του, απαιτεί (λιγότερο ή περισσότερο) οικονομική διαχείριση, έρευνα αγοράς, διαχείριση πωλήσεων, έρευνα νέων τεχνικών και προϊόντων, κατασκευές, διανομές, προμήθειες, σχεδιασμό, οργανωτικές δομές, διαχείριση ανθρώπινων πόρων, διοίκηση κ.λπ. Όλα αυτά παρέχονται από την κλασική διοίκηση – διαχείριση στην ποσότητα και ποιότητα που απαιτεί το συγκεκριμένο έργο. Όμως η ουσιαστικότερη συμβολή της κλασικής διοίκησης – διαχείρισης στη διοίκηση – διαχείριση έργου είναι η παροχή ενός συνόλου βασικών γνώσεων που αποτελούν το μοχλό της καθοδηγητικής προσπάθειας του έργου, και που αφορούν βασικές απαιτούμενες δεξιότητες, όπως της:

- **Ηγεσίας** (*Leading*)
- **Επικοινωνίας** (*Communicating*)
- **Διαπραγμάτευσης** (*Negotiating*)
- **Επίλυσης προβλημάτων** (*Problem Solving*)
- **Επιρροής στον εργασιακό χώρο** (*Influencing the Organization*)

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται συνοπτικά οι διαδικασίες με τις οποίες ολοκληρώνεται ένα έργο:

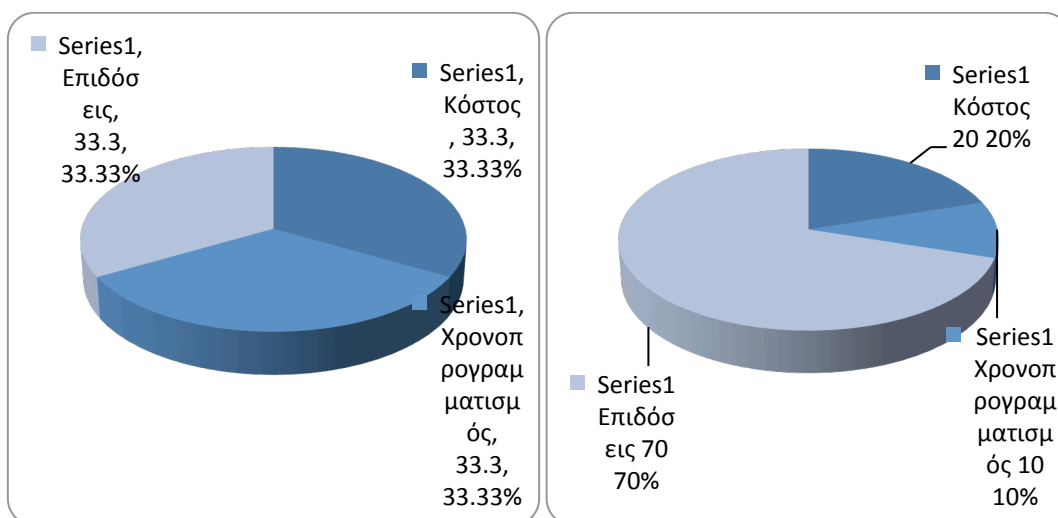
Σχήμα 1



Όπως φαίνεται και στο σχήμα, τα περισσότερα έργα ξεκινούν από μία ανάγκη, η οποία προσδιορίζεται από έναν πελάτη ή το τμήμα μάρκετινγκ. Όταν οι υπεύθυνοι της διοίκησης βεβαιωθούν ότι η ανάγκη είναι πραγματική, καθορίζονται οι στόχοι και συντάσσεται μία ομάδα έργου. Τα περισσότερα έργα έχουν περισσότερους από έναν στόχους που αφορούν

είτε επιχειρησιακές απαιτήσεις είτε ημερομηνίες παράδοσης, είτε το κόστος και κατατάσσονται ανάλογα με τη σχετική τους σπουδαιότητα. Βάσει της ταξινόμησης αυτής προκύπτουν κάποιοι δείκτες επιδόσεων για κάθε στόχο και αναπτύσσεται ο αρχικός σχεδιασμός καταρτίζοντας το χρονοδιάγραμμα και τον προϋπολογισμό του έργου. Στη συνέχεια συνδυάζονται ο σχεδιασμός, το χρονοδιάγραμμα και ο προϋπολογισμός συνθέτοντας το σχέδιο έργου, το οποίο προσδιορίζει τι πρέπει να γίνει, από ποιόν, πότε και με ποιο κόστος. Καθώς το έργο πραγματοποιείται, τα επιτεύγματα παρακολουθούνται και καταγράφονται. Συχνά προσαρμόζονται έτσι ώστε να διατηρηθεί η πορεία του έργου σε περίπτωση που διαπιστωθούν αποκλίσεις από τον αρχικό σχεδιασμό. Όταν το έργο ολοκληρωθεί, αξιολογείται βάση δεικτών επίδοσης. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω προκύπτουν οι προσεγγίσεις που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα. Στην πρώτη περίπτωση έχει υιοθετηθεί η προσέγγιση σχεδιασμού βάση κόστους στην οποία ο προϋπολογισμός είναι καθορισμένος και οι τεχνολογικοί στόχοι έχουν προσδιορισθεί με σαφήνεια. Το κόστος, οι επιδόσεις και ο χρονοπρογραμματισμός έχουν την ίδια βαρύτητα. Στο δεύτερο έργο έχει υιοθετηθεί η προσέγγιση "κόστους και πάγιας αμοιβής". Οι τεχνολογικοί στόχοι έχουν πρωταρχική σημασία και πρέπει να επιτευχθούν, ακόμη και αν αυτό σημαίνει ότι στην πορεία θα πρέπει να θιγούν ο χρονικός προγραμματισμός και ο προϋπολογισμός. Στην πρώτη κατηγορία συνήθως ανήκουν τυποποιημένα έργα κατασκευής και παραγωγής ενώ η δεύτερη περίπτωση συναντάται συνήθως σε έργα στα οποία οι τεχνολογικές αβεβαιότητες εμποδίζουν τον ανάδοχο να δεσμευτεί για ένα καθορισμένο κόστος και καθώς επίσης και ένα καθορισμένο χρονοδιάγραμμα.

Σχήμα 2



Τα έργα ποικίλουν ως προς το μέγεθος, το αντικείμενο εργασιών, το κόστος και τον απαιτούμενο χρόνο για την περάτωσή τους. Όλα τα έργα όμως, κατασκευαστικά ή όχι, μικρά ή μεγάλα, παρουσιάζουν κοινά γενικά χαρακτηριστικά. Οι διαφορές τους μπορεί να είναι ποσοτικές ή να ανάγονται στην έμφαση που δίνεται σε κάθε συντελεστή τους. Έτσι, για παράδειγμα, σε ένα έργο πληροφορικής δίνεται περισσότερο σημασία στις μελέτες και την ανθρώπινη εργασία, ενώ σε ένα κατασκευαστικό έργο θα πρέπει να εξεταστεί επιπρόσθετα το θέμα του εξοπλισμού και των υλικών. Σε ένα μικρό έργο η διοίκηση μπορεί να αρκείται από ένα μόνο άτομο, ενώ σε ένα μεγάλο έργο θα χρειαστούν επιτροπές και επιτελεία στο πλευρό του υπεύθυνου του έργου.

Κάθε έργο έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Είναι μοναδικό, με την έννοια ότι δεν επαναλαμβάνεται ποτέ ακριβώς το ίδιο.
- Αποσκοπεί στην εκπλήρωση συγκεκριμένων στόχων.
- Διαθέτει κάποιο προϋπολογισμό.
- Γίνεται με βάση κάποιο πρόγραμμα.
- Ξεκινάει κάποια χρονική στιγμή και τελειώνει κάποια άλλη.
- Έχει ανάγκη την ανθρώπινη εργασία.
- Πρέπει να ικανοποιεί κάποιες προδιαγραφές.

Τα παρακάτω μπορούν να θεωρηθούν έργα:

- Η μελέτη και η κατασκευή κτιρίου, σπιτιού, γέφυρας.
- Ο σχεδιασμός και ο έλεγχος κάποιο νέου μοντέλου αυτοκινήτου ή ηλεκτρικής συσκευής.
- Η εισαγωγή νέων προϊόντων στην αγορά (διαφήμιση, μάρκετινγκ).
- Η υλοποίηση συστημάτων πληροφορικής (έργα πληροφορικής).
- Ο σχεδιασμός και η υλοποίηση νέων οργανωτικών δομών (έργα ανθρωπίνων πόρων).
- Ο σχεδιασμός και η άσκηση επιθεωρήσεων (έργα διαχείρισης ποιότητας).
- Η βελτίωση της παραγωγικότητας εντός καθορισμένης χρονικής περιόδου.
- Η ανάκτηση από καταστροφή (περιορισμός των ζημιών που έχουν προκληθεί από φωτιά, πλημμύρα, ατύχημα).
- Οι Ολυμπιακοί Αγώνες (αθλητικά γεγονότα)
- Μεταφορές και διακίνηση προϊόντων.
- Μετακομίσεις ή διακοπές (έργα οικιακής κλίμακας).

1.4 Διοίκηση-Διαχείριση Έργου (Project Management)

Το εγχειρίδιο για τη διοίκηση έργου (Project Management Body Of Knowledge, PMBOK) ορίζει ως διαχείριση έργου τη διαδικασία κατά την οποία: «εφαρμόζουμε γνώσεις, δεξιότητες, εργαλεία και τεχνικές κατά την εκτέλεση των δραστηριοτήτων του έργου, με στόχο να ικανοποιήσουμε τις απαιτήσεις και τις προσδοκίες των συμμετόχων».

Η διοίκηση έργου (Project Management, PM) μπορεί, επίσης, να οριστεί ως ένας τρόπος δόμησης πολύπλοκων εγχειρημάτων που χαρακτηρίζονται από πολλαπλές ανεξάρτητες μεταβλητές που αναφέρονται στο χρόνο, το κόστος, τους πόρους και την ανθρώπινη συμπεριφορά. Ο αποτελεσματικός σχεδιασμός και έλεγχος του έργου απαιτεί σφαιρική θεώρηση, λογική σκέψη, σημασία στη λεπτομέρεια, ικανότητες επικοινωνίας και δέσμευση χρόνου, οικονομικών πόρων, υποδομών και ανθρώπινου δυναμικού για την ολοκλήρωση του έργου. Η διοίκηση έργου καλείται να συνδυάσει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τα παραπάνω έτσι ώστε η υλοποίηση του έργου να πραγματοποιηθεί σύμφωνα με τις συμφωνηθέντες προδιαγραφές. Χρονικές και κοστολογικές υπερβάσεις μειώνουν το κέρδος, δυσφημούν τον διευθυντή του έργου και την εργολήπτρια εταιρεία ή υπονομεύουν την ολοκλήρωση του έργου.

Ο ορισμός της διοίκησης εξειδικεύεται, ανάλογα με το παραγωγικό αποτέλεσμα σε :

- «Διοίκηση έργου» (Project management) που εφαρμόζεται στα έργα.
- «Διοίκηση παραγωγής» (production management) που εφαρμόζεται στα εργοστάσια που είναι οργανωμένα πάνω σε μία γραμμή παραγωγής (π.χ. εργοστάσιο παραγωγής αυτοκινήτων).
- «Διοίκηση επεξεργασίας» (process management) που εφαρμόζεται στα εργοστάσια χημικών, που είναι οργανωμένα πάνω σε μια γραμμή επεξεργασίας (π.χ. ένα διυλιστήριο).

Τα τρία παραπάνω είδη διοίκησης δεν είναι εντελώς ξένα μεταξύ τους. Μέσα στο ίδιο παραγωγικό αποτέλεσμα μπορεί να συναντάμε και τα τρία. Για παράδειγμα, στην κατασκευή ενός πλοίου, τμήματα του σκελετού μπορεί να κατασκευαστούν με βάση τεχνικές διοίκησης παραγωγής, αφού είναι πιο αποδοτικό να στηθεί μια γραμμή παραγωγής που θα τα κατασκευάσει όλα μαζί παρά να κατασκευαστεί κάθε τμήμα του σκελετού χωριστά. Η διοίκηση επεξεργασίας μπορεί να εφαρμοστεί στην αντισκωριακή προστασία και τη βαφή των ελασμάτων του πλοίου όπου τα μεταλλικά τμήματα, η αμμοβολή και η μπογιά «ρέουν» μέσω μιας διαδικασίας που οδηγεί στη παραγωγή ελασμάτων έτοιμων για συναρμολόγηση.

Ο πόλεμος του Βιετνάμ, οι πετρελαϊκές κρίσεις και η δημιουργία οικολογικών ομάδων ήταν τα σημαντικότερα γεγονότα που καθόρισαν τις ραγδαίες εξελίξεις της δεκαετίας του

1970 και έθεσαν περιορισμούς στην εκτέλεση έργων σε πολλούς μεταποιητικούς και εμπορικούς κλάδους.

Περιβαλλοντικά ζητήματα όπως μόλυνση, πυρηνικά απόβλητα, ηχορύπανση και επιπτώσεις στην ύπαιθρο από την κατασκευή δρόμων, άρχισαν να επηρεάζουν την εκτέλεση έργων.

Κατά την περίοδο αυτή, η διαχείριση έργου εκλεπτύνθηκε καθώς άρχισαν να ανακύπτουν διάφορα προβλήματα από τη χρήση ξεχωριστών εργαλείων και τεχνικών. Στα έργα του δημόσιου τομέα παρατηρήθηκαν μεγάλα ποσοστά αποτυχίας, γεγονός που οφειλόταν είτε στον ελλιπή ορισμό της έννοιας του έργου (διαχείριση του αντικειμένου εργασιών) είτε στην κακή εκτίμηση των επιπτώσεων των εξωτερικών παραγόντων.

Πέρα από την αμυντική βιομηχανία και τον κλάδο των κατασκευών, άρχισαν να χρησιμοποιούν συστήματα διαχείρισης έργου και οι εταιρείες υψηλής τεχνολογίας.

Η διαχείριση έργου μετεξελίσσεται σε επάγγελμα, εξειδίκευση του μάνατζμεντ το οποίο, ενώ αντλεί γνώσεις από πολλές διαφορετικές γνωστικές περιοχές, διαθέτει τις δικές του τεχνικές και εργαλεία. Συγκεκριμένα, οι ενώσεις σε Αμερική (Project Management Institute) και Μ. Βρετανία (Association of Project Managers) επέβαλαν τη διαχείριση έργου ως επάγγελμα. Καθοριστικό ρόλο στη διαδικασία αυτή έπαιξε η συσσώρευση εμπειριών, η οποία υποσκέλισε τις αβάσιμες θεωρητικές αντιλήψεις και επέτρεψε την ενίσχυση εννοιών που επιβεβαιώνονταν από τα πρακτικά αποτελέσματα των διαφόρων έργων που είχαν εκτελεστεί.

Τέλος, η διοίκηση έργου μπορεί να εφαρμοστεί στο «στήσιμο» και τη συντήρηση των παραπάνω γραμμών παραγωγής (κατασκευής του σκελετού και βαφής των ελασμάτων).

Η ανάγκη για τη χρήση της διοίκησης έργου προήλθε από την ανάγκη υλοποίησης πολύπλοκων έργων, όπου χρειαζόταν προγραμματισμός των διαφόρων εργασιών και χρονικός και οικονομικός έλεγχος των εργασιών αυτών. Η πολυπλοκότητα ενός έργου μπορεί να οφείλεται:

- Στην ανάγκη γρήγορης υλοποίησης του έργου η οποία απαιτεί τη λήψη αποφάσεων με βάση σύνθετα κριτήρια μέσα σε ένα δυναμικά μεταβαλλόμενο περιβάλλον.
- Στον μεγάλο αριθμό ατόμων και ειδικοτήτων που θα πρέπει να συνεργαστούν και να συντονιστούν στην υλοποίηση του έργου.
- Στους περιορισμούς σε κρίσιμα μέσα παραγωγής.
- Στην αυξημένη πρωτοτυπία του έργου.
- Στην ανάγκη για σύνθετες ροές πληροφοριών στους συμμετέχοντες στο έργο.
- Στον μεγάλο όγκο δεδομένων.

➤ **Διαχειριστής ή Διευθυντής Έργου.**

Σε κάθε έργο θα πρέπει να υπάρχει ένας υπεύθυνος, ο **Διαχειριστής ή Διευθυντής**, ο οποίος έχει επικρατήσει διεθνώς να αποκαλείται με τον αγγλικό όρο **Project Manager**, όρος, που θα χρησιμοποιείται στη συνέχεια. Ο ρόλος του Project Manager μπορεί να είναι ισχυρός, χαλαρός ή συντονιστικός, ανάλογα με το αντικείμενο του έργου, την οργανωτική υποδομή του εργολήπτη κ.λπ.

Ορισμένες φορές, σε περιπτώσεις μεγάλων και σύνθετων έργων ορίζονται διαχειριστές μέρους του έργου (Subproject Managers) καθώς και **Διοικητικός Διαχειριστής (Project Administrator)**, ο οποίος αναλαμβάνει τις διοικητικές λειτουργίες υποστήριξης της ανάπτυξης του έργου, επιτρέποντας έτσι στον Project Manager του έργου να στρέψει την προσοχή του κυρίως στο τεχνικό μέρος του έργου.

Σε κάποιες περιπτώσεις έργων τα οποία, είτε είναι καινοτόμα, είτε πολύπλοκα και υψηλού κινδύνου, στήριγμα του Project Manager αποτελεί η **Διευθύνουσα Επιτροπή του Έργου (Project Steering Committee)**. Αποτελείται από στελέχη της εταιρίας – εργολήπτη (Διευθυντές, Τμηματάρχες, Προϊσταμένους, τον Project Manager και «άτομα – κλειδιά» του έργου κ.λπ.), αλλά και άτομα έξω από αυτήν (ειδικούς τεχνικούς συμβούλους κ.λπ.). Έχει την ευθύνη για τη λήψη ιδιαίτερα σοβαρών αποφάσεων.

Στις μέρες μας, η φύση των επιχειρήσεων αλλάζει, καθώς ολοένα και περισσότερες επιχειρήσεις οργανώνουν τις επιχειρηματικές τους δραστηριότητες ως έργα. Η εργοκεντρική διοίκηση αξιοποιήθηκε τα τελευταία είκοσι χρόνια στο σχεδιασμό τεχνολογικών εφαρμογών, τις κατασκευές κτιρίων, την αεροδιαστημική και την άμυνα. Σήμερα τη συναντάμε και σε άλλου τύπου οργανώσεις: φαρμακοβιομηχανίες, οργανισμούς του κλάδου υγείας, εταιρείες που δραστηριοποιούνται στο χώρο των τηλεπικοινωνιών, της ανάπτυξης λογισμικού και της ανάπτυξης συστημάτων, οργανισμούς παραγωγής ενέργειας, εκπαιδευτικούς οργανισμούς, βιομηχανικές εταιρείες και εταιρείες παροχής υπηρεσιών.

Είμαστε μάρτυρες μιας σιωπηλής επανάστασης, της μετάβασης από τη συμβατική λειτουργική ιεραρχημένη διοίκηση στην δικτυωμένη εργοκεντρική διοίκηση. Για τη μετάβαση αυτή είναι απαραίτητη η συνεργασία ατόμων καταρτισμένων σε διάφορους επιστημονικούς τομείς, όπως τα μαθηματικά (μοντελοποίηση συστημάτων, στατιστική, θεωρία πιθανοτήτων), την πληροφορική, την διοίκηση επιχειρήσεων, τη μηχανολογία, τα οικονομικά, τις επιστήμες συμπεριφοράς και φυσικά τις ειδικές τεχνικές της επιχειρησιακής έρευνας. Αυτό σημαίνει ότι το πρόβλημα της οργάνωσης ενός έργου απαιτεί τη δημιουργία ενός ανοικτού δυναμικού δικτύου συνεργασιών, του οποίου το μέγεθος και η σύνθεση ποικίλουν ανάλογα με το μέγεθος και τη φύση του έργου.

Κεφάλαιο 2: Τεχνικές διαχείρισης έργου

2.1: Γέννηση των τεχνικών διαχείρισης έργου

Σχεδόν όλες οι ειδικές τεχνικές της διαχείρισης έργου που χρησιμοποιούνται σήμερα αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια των δεκαετιών του 1950 και 1960 από την αμυντική και αεροδιαστημική βιομηχανία των Ηνωμένων Πολιτειών (Υπουργείο Άμυνας και NASA). Συγκεκριμένα αναφερόμαστε στη τεχνική εκτίμησης και αναθεώρησης προγράμματος (Program Evaluation and Review Technique, PERT), τη διαχείριση στοιχειοθέτησης (configuration management), τη μέθοδο πιστοποιημένης αξίας (earned value) και τη δομική ανάλυση έργου (Work Breakdown Structure, WBS). Η μέθοδος της κρίσιμης διαδρομής (Critical Path Method, CPM) και η μέθοδος διαγράμματος διαδοχής (Precedence Diagram Method, PDM) αναπτύχθηκαν στα πλαίσια του κατασκευαστικού κλάδου όπου η ανάγκη προγραμματισμού και τεχνικής διαχείρισης είναι επείγουσα, γεγονός που ενθάρρυνε την υιοθέτηση διαγραμμάτων δικτύου (network diagrams).

Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1950, τα έργα εκτελούνταν, συνήθως, από εταιρείες που είχαν την οργανωτική δομή των παραδοσιακών λειτουργικών ιεραρχιών. Αυτό σήμαινε ότι το έργο περνούσε σταδιακά από το ένα τμήμα στο άλλο. Καθώς, όμως, αυξάνονταν σταδιακά η πολυπλοκότητα των έργων, ιδιαίτερα των αεροδιαστημικών και στρατιωτικών, η τήρηση του προϋπολογισμού και η παράδοση του έργου σε προκαθορισμένη ημερομηνία αποκτούσαν ολοένα και μεγαλύτερη σημασία. Άρχισε να γίνεται περισσότερο αναγκαία η συμμετοχή, στο ίδιο έργο, διαφορετικών ειδικοτήτων, διαφορετικών τμημάτων της εταιρείας ακόμα και διαφορετικών εταιρειών. Εξ ανάγκης, λοιπόν, άρχισαν να αναπτύσσονται οι πρώτες εργοκεντρικές οργανωτικές δομές.

Αξιοσημείωτα γεγονότα της περιόδου:

- 1950-60. Ανάπτυξη των μεθόδων PERT και CPM.
- 1960. Η NASA πειραματίζεται με οργανωτικές δομές τύπου πινάκων που περιγράφουν το δίκτυο του έργου.
- 1962. Η NASA εισάγει το σύστημα PERT για τον έλεγχο του κόστους και υιοθετεί τη δομική ανάλυση εργασιών (WBS).
- 1963. Η αεροπορία των Ηνωμένων Πολιτειών υιοθετεί τον κύκλο ζωής έργου (project life-cycle) και τη μέθοδο πιστοποιημένης αξίας.
- 1964. Η NASA υιοθέτησε τη διαχείριση στοιχειοθέτησης, δηλαδή ένα σύνολο διοικητικών διαδικασιών με βάση τις οποίες μπορούσαν, αφενός, να προσδιοριστούν και να τεκμηριωθούν τα λειτουργικά και τα υλικά χαρακτηριστικά των συστημάτων και αφετέρου, να ελεγχθούν οι προτεινόμενες αλλαγές.
- 1965. Σημαντική αύξηση του αριθμού των έργων στα οποία χρησιμοποιήθηκαν σύγχρονες τεχνικές διαχείρισης έργου.
- 1969. Ιδρύθηκε το Ινστιτούτο διαχείρισης έργου (PMI), το πρώτο επίσημο ίδρυμα του κλάδου.

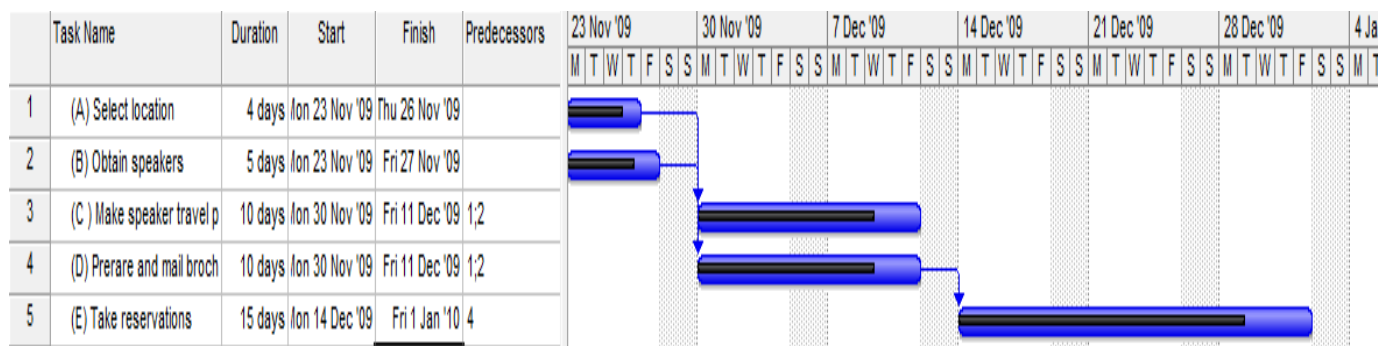
2.2 Διάγραμμα Gantt

Παρότι ο Henry Gantt θεωρείται πατέρας των τεχνικών σχεδιασμού και ελέγχου, είναι κοινά αποδεκτό ότι η ανάπτυξη συγκεκριμένων τεχνικών παρατηρήθηκε στα πλαίσια των στρατιωτικών και αεροδιαστημικών έργων που υλοποιήθηκαν στις Ηνωμένες Πολιτείες και τη Μεγάλη Βρετανία κατά τις δεκαετίες του 1950 και 1960. Η σύγχρονη ιστορία της διαχείρισης έργου, όμως, αρχίζει με την ανάπτυξη του γραμμικού διαγράμματος στις αρχές τις δεκαετίας του 1900. Η τεχνική της κατασκευής γραμμικών διαγραμμάτων εγκαινιάστηκε κατά τον Πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο, όταν ο Αμερικανός Henry Gantt (1861-1919) επιτόνησε το γραμμικό διάγραμμα ως εποπτικό εργαλείο προγραμματισμού και ελέγχου των ναυπηγικών έργων με τα οποία ασχολούνταν. Η συμβολή του στη διαχείριση έργου είχε ως αποτέλεσμα τα γραμμικά διαγράμματα προγραμματισμού να ονομάζονται διαγράμματα Gantt.

Το διάγραμμα Gantt αποτελεί μια μορφή γραφικής αναπαράστασης ενός χρονοδιαγράμματος. Η τεχνική σύνταξης του διαγράμματος είναι η εξής: αναλύεται, αρχικά, όλο το έργο σε επί μέρους εργασίες γνωστές με τον όρο δραστηριότητες. Για κάθε μία από τις επί μέρους εργασίες καθορίζονται η μέθοδος εκτέλεσής της, οι απαιτούμενοι πόροι και ο απαιτούμενος χρόνος για την εκτέλεσή της. Οι επιμέρους αυτές εργασίες τίθενται σε ένα διάγραμμα όπως αυτό του παρακάτω σχήματος.

Στην πρώτη στήλη του διαγράμματος αναγράφονται ιεραρχημένες οι επί μέρους εργασίες ονομαστικά ή κωδικοποιημένες. Στον οριζόντιο άξονα του διαγράμματος σχεδιάζεται η χρονική κλίμακα του έργου (σε ημέρες, εβδομάδες ή μήνες). Ο προγραμματισμός κάθε εργασίας αντιστοιχεί στη χάραξη μιας οριζόντιας ράβδου από την ημερομηνία έναρξης έως την ημερομηνία λήξης της εργασίας. Το μήκος αυτής της ράβδου υποδεικνύει την διάρκεια της αντίστοιχης εργασίας.

Σχήμα 3



Ο Gantt διέυρυνε τη χρήση του διαγράμματος ώστε να απεικονίσει και την πρόοδο των εργασιών. Χάραξε μία δεύτερη ράβδο, κατά μήκος της ράβδου που απεικονίζει την προγραμματισμένη εργασία (γραμμή προγραμματισμού). Η δεύτερη ράβδος (γραμμή προόδου) απεικονίζει το τμήμα της εργασίας που έχει ήδη εκτελεστεί. Η θέση της γραμμής προόδου σε σχέση με τη γραμμή προγραμματισμού υποδεικνύει το ποσοστό ολοκλήρωσης της εργασίας και την υπολειπόμενη διάρκεια μέχρι την αποπεράτωση της. Η σύγκριση αυτή γίνεται με μία κάθετη γραμμή που υποδηλώνει τη χρονική στιγμή που γίνεται ο έλεγχος προόδου του έργου. Η θέση της γραμμής προόδου σε σχέση με την ένδειξη *χρονική στιγμή ελέγχου* υποδήλωνε την πρόοδο του έργου που υλοποιήθηκε σε σχέση με τον αρχικό προγραμματισμό.

Το διάγραμμα Gantt, παρά την προφανή χρησιμότητά του, δεν επαρκεί για περίπλοκους σχεδιασμούς έργων, διότι δεν απεικονίζονται οι σχέσεις αλληλεξάρτησης των επί μέρους εργασιών. Δεν είναι δηλαδή εμφανές, ποιες εργασίες πρέπει να αποπερατωθούν ώστε να καταστεί δυνατή η έναρξη εκτέλεσης μιας ορισμένης εργασίας

και δεν παρουσιάζει την επίδραση μιας καθυστέρησης ή επίσπευσής σε κάποια φάση του έργου.

Το διάγραμμα Gantt άντεξε στην δοκιμασία του χρόνου. Έγιναν τροποποιήσεις και διορθώθηκαν αδυναμίες του. Στα διαγράμματα Gantt προστέθηκαν ορόσημα (milestones) που δείχνουν συγκεκριμένα σημεία στο χρόνο (συνήθως ανά εξάμηνο) που πρέπει να έχουν ολοκληρωθεί ορισμένες εργασίες και σταδιοδείκτες που δείχνουν πότε άρχισε και πότε τελείωσε η συγκεκριμένη εργασία. Επάνω στις συμπαγείς ράβδους τοποθετούνται σημεία ενδεικτικά της σημασίας κάθε εργασίας (κρίσιμοι έλεγχοι, αναθεωρήσεις). Στην περίπτωση αυτή οι μονάδες χρόνου αντικαθίστανται από ημερομηνίες. Οι σχέσεις αλληλεξάρτησης των επιμέρους εργασιών μπορούν να απεικονιστούν με βέλη που συνδέουν τις ράβδους (εργασίες) καθιστώντας έτσι το διάγραμμα Gantt δίκτυο. Πολλές φορές, όμως, είναι απλούστερο να έχουμε χωριστά το διάγραμμα Gantt και το δίκτυο συσχέτισης των εργασιών του έργου.

2.3 Διαχείριση έργου με δίκτυα. Οι τεχνικές PERT/CPM/MPM.

Για να είναι αποτελεσματικό το χρονοδιάγραμμα ενός έργου θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη του όχι μόνο τη διάρκεια της κάθε δραστηριότητάς του, αλλά και τις λογικές σχέσεις που συνδέουν τις δραστηριότητες μεταξύ τους. Είναι πολύ σημαντικό να προσδιορίσουμε αυτές τις λογικές σχέσεις για να μπορέσουμε να προβλέψουμε τι επίδραση θα έχει στην εξέλιξη του έργου οποιαδήποτε ενδεχόμενη αλλαγή του χρονοδιαγράμματος. Με την πάροδο του χρόνου το μέγεθος και η πολυπλοκότητα των έργων αυξήθηκαν, οπότε διαπιστώθηκε ότι το διάγραμμα Gantt υστερούσε να απεικονίσει τέτοιας μορφής σχέσεις. Επίσης, κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1950, παρατηρήθηκαν συχνότερες υπερβάσεις κόστους και χρόνου των έργων τόσο στη βιομηχανία όσο και στο εμπόριο. Στην αρχή υποστηρίχτηκε ότι αυτό συμβαίνει διότι οι εκτιμήσεις σχετικά με την εξέλιξη των έργων ήταν πολύ αισιόδοξες. Αυτή η άποψη σιγά-σιγά εγκαταλείφτηκε διότι οι μελετητές των έργων κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι υπερβάσεις αυτές ήταν αποτέλεσμα του γεγονότος ότι οι διαθέσιμες τεχνικές προγραμματισμού και ελέγχου για τη διαχείριση έργων ήταν ανεπαρκείς. Οι παραπάνω δυσκολίες οδήγησαν στην ανάπτυξη μεθοδολογιών χρονικού προγραμματισμού που μπορούσαν να ενσωματώσουν ως παραμέτρους τις αγορές, τους πόρους και το κόστος. Αυτό συντέλεσε στη γέννηση της τεχνικής προγραμματισμού που στηρίζεται στην κατασκευή και στην ανάλυση λογικών δικτύων.

Η ανάλυση δικτύων χρησιμοποιείται ευρύτατα για την επίλυση προβλημάτων που αναφέρονται στη διαδικασία παραγωγής και ειδικότερα στην κατασκευή και παρακολούθηση ενός έργου. Η ανάλυση δικτύων αφορά μια μεγάλη ποικιλία τεχνικών, οι σπουδαιότερες από τις οποίες είναι :

A) Η μέθοδος C.P.M. (Critical Path Method)

B) Η μέθοδος M.P.M. (Metra Potential Method ή P.D.M. , Precedence Diagram Method)

Γ) Η μέθοδος P.E.R.T. (Program Evaluation and Review Technique)

Η χρήση των παραπάνω μεθόδων μας δίνει τη δυνατότητα σχεδιασμού ολόκληρης της παραγωγικής διαδικασίας. Χαράσσονται οι κύριες (κρίσιμες) δραστηριότητες και με τη λήψη διαφόρων σεναρίων χρόνου και κόστους, επιλέγεται η προσφορότερη/βέλτιστη λύση.

Η μέθοδος C.P.M.(Μέθοδος κρίσιμης διαδρομής), η μέθοδος M.P.M.(Μέθοδος των κατά κόμβων προσανατολισμένων δικτύων) και η P.E.R.T.(Μέθοδος αξιολόγησης και παρακολούθησης του προγράμματος), έχουν την ίδια λογική. Διαφέρουν, όμως, ως προς τον τρόπο εκτίμησης του χρόνου και του κόστους εκτέλεσης των δραστηριοτήτων.

Έτσι, η μέθοδος C.P.M. προϋποθέτει ότι με βάση την ακριβή πληροφόρηση και την πείρα, ο χρόνος και το κόστος είναι γνωστά μεγέθη. Αντίθετα, η μέθοδος P.E.R.T. βασίζεται στον υπολογισμό τριών χρόνων εκτέλεσης μιας εργασίας δηλαδή:

- Στην αισιόδοξη εκτίμηση του χρόνου εκτέλεσης
- Στην εκτίμηση του πιθανότερου χρόνου εκτέλεσης
- Στην απαισιόδοξη εκτίμηση του χρόνου εκτέλεσης.

Οι τρεις παραπάνω χρονικές εκτιμήσεις γίνονται από τους υπεύθυνους της κάθε εργασίας και βασίζονται, τόσο σε πραγματικά δεδομένα, όσο και στη γενικότερη πείρα τους.

Η μέθοδος P.E.R.T. εφαρμόστηκε για πρώτη φορά το 1963 για την κατασκευή του συστήματος πυραύλων Pollaris από μια ερευνητική ομάδα του Αμερικανικού Ναυτικού και συντέλεσε στη μείωση του χρόνου κατασκευής των πυραύλων κατά δύο χρόνια. Λίγο αργότερα, μια ερευνητική ομάδα της εταιρίας Du-Pont δημοσίευσε τη μέθοδο C.P.M.

Κατά την εκτέλεση των εργασιών ενός έργου απαιτούνται χρόνος και πόροι (ανθρώπινο δυναμικό, μηχανολογικός εξοπλισμός, κεφάλαια κ.ά.). Σε κάθε ύψος πόρων που επενδύεται στην κάθε εργασία της κατασκευής αντιστοιχεί και κάποιος ελάχιστος χρόνος περάτωσης του όλου έργου.

Το πρόβλημα που ανακύπτει, είναι πως θα επιτευχθεί ένας σωστός συντονισμός της διεκπεραίωσης των διαφόρων εργασιών του έργου, ώστε το όλο έργο να περατωθεί στον ελάχιστο δυνατό χρόνο και με το ελάχιστο ύψος πόρων.

Για να γίνει ακόμη περισσότερο σαφές το πρόβλημα που αντιμετωπίζει η δικτυωτή ανάλυση: Επιλέγεται εκείνο το ζεύγος τιμών «κόστους/χρόνου» που αρμόζει περισσότερο στο συγκεκριμένο έργο, π.χ. τι «συμφέρει» περισσότερο, χαμηλό κόστος και πιθανότατα μεγάλη διάρκεια ή το αντίστροφο;

Για την ανάλυση και κατασκευή του δικτύου απαιτούνται εργασίες τεσσάρων σταδίων:

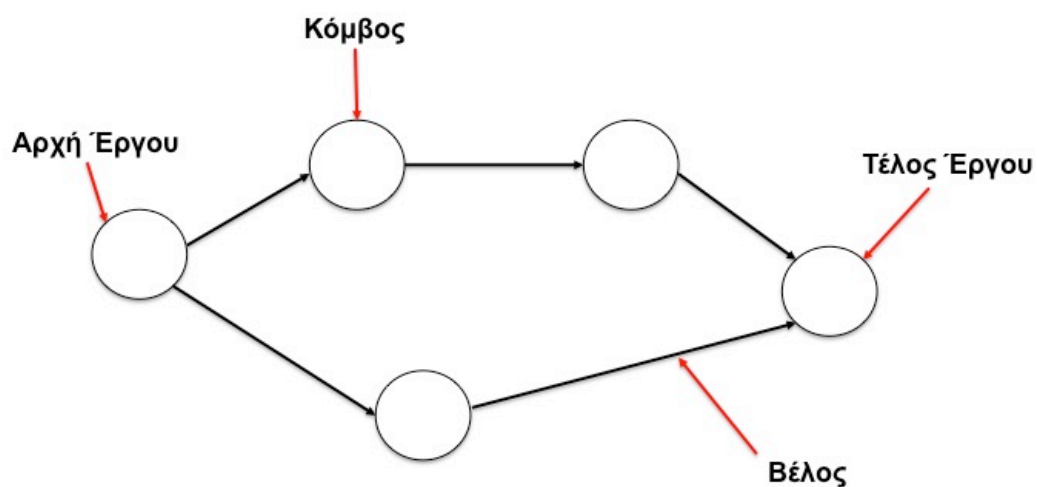
- Α) Ανάλυση του έργου στις επιμέρους εργασίες που το συνθέτουν και των οποίων η εκτέλεση ισοδυναμεί με την περάτωση του όλου έργου.
- Β) Χρονική αλληλεξάρτηση των επιμέρους εργασιών, δηλαδή ποιες εργασίες πρέπει οπωσδήποτε να περατωθούν για να είναι δυνατή η έναρξη της εκτέλεσης μιας άλλης εργασίας.
- Γ) Κατασκευή του δικτύου των εργασιών του έργου, δηλαδή γραφική απεικόνιση των διαφόρων εργασιών και της χρονικής τους αλληλεξάρτησης.
- Δ) Συνεχής παρακολούθηση και αναπροσαρμογή του δικτύου.

2.4 Βασικές έννοιες δικτυωτής ανάλυσης

2.4.1 Δικτυωτό γράφημα

Δικτυωτό γράφημα (network graph) ή απλά δίκτυο είναι μια σχηματική απεικόνιση της αλληλουχίας των δραστηριοτήτων που απαιτούνται για την υλοποίηση ενός έργου. Ένα δικτυωτό γράφημα αποτελείται από κλειστά σχήματα (συνήθως κύκλους, ελλείψεις ή παραλληλόγραμμα) που ονομάζονται κόμβοι και από ευθύγραμμα προσανατολισμένα τμήματα που συνδέουν τους κόμβους και ονομάζονται βέλη. Τα δικτυωτά γραφήματα σχεδιάζονται από αριστερά προς τα δεξιά όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

Σχήμα 4



Από τον ορισμό του , το έργο περιλαμβάνει έναν αριθμό δραστηριοτήτων που πρέπει να γίνουν με συγκεκριμένη σειρά. Έτσι, κάποιες δραστηριότητες πρέπει να γίνουν η μία μετά την άλλη, ενώ κάποιες άλλες μπορούν να γίνουν και ταυτόχρονα. Αυτές οι σχέσεις μεταξύ δραστηριοτήτων από τις οποίες κάποια «προηγείται» και κάποια άλλη «έπεται» ονομάζονται σχέσεις αλληλουχίας. Για να δώσουμε ένα παράδειγμα, ο πρώτος όροφος μιας πολυκατοικίας θα πρέπει να κατασκευαστεί μετά την κατασκευή των θεμελίων. Έτσι, η δραστηριότητα «κατασκευή πρώτου ορόφου» έπεται της δραστηριότητας «κατασκευή θεμελίων».

Αυτή η σχέση αλληλουχίας οφείλεται στη φύση των πραγμάτων και δε μπορεί να αλλάξει. Πάντα θα κατασκευάζονται τα θεμέλια και μετά ο πρώτος όροφος. Τις σχέσεις αλληλουχίας που οφείλονται στη φύση των πραγμάτων και δεν μπορούν να αλλάξουν τις χαρακτηρίζουμε ως **αμετάβλητες ή μη αιρούμενες** (hard dependencies).

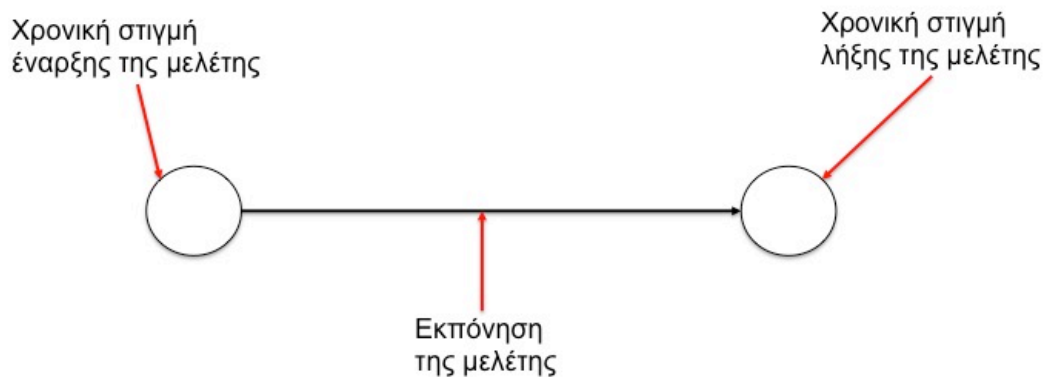
Υπάρχουν όμως, και αλληλουχίες που οφείλονται σε περιορισμούς των μέσων παραγωγής. Για παράδειγμα, έστω ότι θέλουμε να χτίσουμε δύο πολυκατοικίες, τις Α και Β, τη μία δίπλα στην άλλη. Για τη κατασκευή των θεμελίων θα χρησιμοποιηθεί ένα εκσκαπτικό μηχάνημα το οποίο θα σκάψει για τη θεμελίωση πρώτα της πολυκατοικίας Α και μετά της Β. Έτσι, ορίζουμε ότι η δραστηριότητα «εκσκαφή θεμελίων της Β» έπεται της δραστηριότητας «εκσκαφή θεμελίων της Α». Αν υπήρχαν όμως διαθέσιμα δύο εκσκαπτικά μηχανήματα, η εκσκαφή των θεμελίων των πολυκατοικιών Α και Β θα μπορούσε να γίνει ταυτόχρονα. Τέτοιες αλληλουχίες μεταξύ δραστηριοτήτων που οφείλονται σε περιορισμούς των μέσων παραγωγής και, άρα, μπορούν να αλλάξουν με την προσθήκη μεσών ονομάζονται **μεταβλητές ή αιρούμενες** (soft dependencies).

Υπάρχουν και πιο σύνθετες σχέσεις αλληλουχίας μεταξύ δύο δραστηριοτήτων, αλλά σε κάθε περίπτωση ισχύει η παραπάνω διάκριση των αλληλουχιών σε αιρούμενες και μη αιρούμενες ή, με άλλα λόγια, σε μεταβλητές και αμετάβλητες.

Ας δούμε τώρα πως χρησιμοποιούνται τα δικτυωτά γραφήματα για την απεικόνιση ενός έργου σε κάθε μια από τις μεθόδους δικτυωτής ανάλυσης.

Στη μέθοδο των κατα βέλος προσανατολισμένων δικτυωτών γραφημάτων (μέθοδος CPM) και στη μέθοδο των δικτυωτών γραφημάτων με πιθανοτική θεώρηση των χρόνων (μέθοδος PERT), τα βέλη συμβολίζουν δραστηριότητες και οι κόμβοι γεγονότα (δηλαδή χρονικές στιγμές έναρξης ή λήξης μιας δραστηριότητας). Η διαφορά των δύο μεθόδων είναι στη διάρκεια της κάθε δραστηριότητας. Στην CPM η διάρκεια δεν είναι σταθερή ενώ στην PERT η διάρκεια εκφράζεται πιθανοτικά (ακριβέστερα εκφράζεται με μία κατανομή πυκνότητας πιθανότητας όπως θα δούμε παρακάτω). Έτσι, μπορούμε να υπολογίσουμε την πιθανότητα ολοκλήρωσης του έργου σε συγκεκριμένο χρόνο. Σχηματικά ένα δίκτυο PERT είναι ίδιο με ένα δίκτυο CPM.

Στο παρακάτω σχήμα για παράδειγμα, η δραστηριότητα «εκπόνηση μελέτης» συμβολίζεται με το βέλος, ενώ οι χρονικές στιγμές έναρξης και λήξης με τις μικρές ελλείψεις.



2.4.2 Δικτυωτή ανάλυση

Δικτυωτή ανάλυση (network analysis) είναι μια μέθοδος προγραμματισμού και ελέγχου έργων που βασίζεται στη χρήση δικτυωτών γραφημάτων. Η δικτυωτή ανάλυση περιλαμβάνει τόσο μια γραφική απεικόνιση των σχέσεων μεταξύ των δραστηριοτήτων που συνθέτουν ένα έργο, όσο και μια αλγεβρική διαδικασία, η οποία επισημαίνει τη σχετική χρονική σημασία κάθε δραστηριότητας μέσα σε ένα έργο.

Η σχετική χρονική σημασία μιας δραστηριότητας μέσα στο έργο επισημαίνεται με τον προσδιορισμό τόσο της συνολικής διάρκειας του έργου όσο και:

1. της στιγμής έναρξης της δραστηριότητας, νωρίτερα ή αργότερα, έτσι ώστε να μην υπάρχει καθυστέρηση στην ολοκλήρωση του έργου,
2. της στιγμής ολοκλήρωσης της δραστηριότητας, νωρίτερα ή αργότερα, έτσι ώστε να μην υπάρχει καθυστέρηση στην ολοκλήρωση του έργου και
3. των χρονικών περιθωρίων της δραστηριότητας.

Σκοπός της δικτυωτής ανάλυσης (όπως και όλων των μεθόδων προγραμματισμού και ελέγχου έργων) είναι η ολοκλήρωση του έργου μέσα στα διαθέσιμα όρια χρόνου και κόστους και στο επιθυμητό επίπεδο ποιότητας.

Η εφαρμογή της δικτυωτής ανάλυσης περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

1. Ανάλυση του έργου σε δραστηριότητες.
2. Προσδιορισμός των σχέσεων αλληλουχίας μεταξύ των δραστηριοτήτων.
3. Προσδιορισμός της μεθόδου εκτέλεσης κάθε δραστηριότητας (method statement), δηλαδή τον προσδιορισμό του τι πρέπει να γίνει, πώς, με ποια και πόσα μέσα παραγωγής.
4. Εκτίμηση της χρονικής διάρκειας και του κόστους κάθε δραστηριότητας σε σχέση με τη μέθοδο εκτέλεσης της.

5. Σχεδίαση του δικτυωτού γραφήματος ανάλογα με τη μέθοδο δικτυωτής ανάλυσης που έχει επιλεγεί (CPM, MPM ή PERT).
6. Επίλυση του δικτυωτού γραφήματος για τον προσδιορισμό της νωρίτερης και της βραδύτερης χρονικής στιγμής έναρξης και λήξης κάθε δραστηριότητας (δηλαδή τεσσάρων χρονικών στιγμών για κάθε δραστηριότητα που θα αναλύσουμε εκτενέστερα αργότερα), καθώς και της συνολικής διάρκειας του έργου.
7. Υπολογισμός των χρονικών περιθωρίων για τις δραστηριότητες και τα γεγονότα του έργου.
8. Κατασκευή πίνακα με όλα τα στοιχεία των δραστηριοτήτων.
9. Κατάρτιση του ευθύγραμμου γραφήματος του έργου (κατασκευή διαγράμματος Gantt)
10. Εκτίμηση του κόστους όλων των δραστηριοτήτων.

Στο σημείο αυτό ολοκληρώνεται ο σχεδιασμός (planning) και ο προγραμματισμός (scheduling) του έργου. Τα παραπάνω συνιστούν το εκτιμώμενο πρόγραμμα υλοποίησης του έργου (baseline plan), το οποίο θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για τον έλεγχο του έργου κατά τη διάρκεια της υλοποίησής του.

Κεφάλαιο 3: Η μέθοδος των κατά βέλη προσανατολισμένων δικτύων (Μέθοδος CPM)

3.1 Εισαγωγή

Η Μέθοδος της κρίσιμης διαδρομής (μέθοδος CPM – Critical Path Method) αναπτύχθηκε το 1958 από τους J. E. Kelly της Remington Rand και M. R. Walker της Du Pont για την υποστήριξη του προγραμματισμού των εργασιών κατασκευής και συντήρησης βιομηχανικών συγκροτημάτων παραγωγής χημικών προϊόντων. με σκοπό τον προσδιορισμό της μέγιστης δυνατής μείωσης του χρόνου κατασκευής με το ελάχιστο δυνατό πρόσθετο κόστος.

Για να μπορέσει ο διευθυντής έργου να προγραμματίσει και να ελέγξει αποτελεσματικά το έργο, είναι υποχρεωμένος να επεξεργαστεί, γρήγορα και με ακρίβεια, υπερβολικά μεγάλο αριθμό δεδομένων και να βάλει σε τάξη μία κατάσταση που είναι, από τη φύση της, περίπλοκη. Αυτή την ανάγκη έρχεται να καλύψει η μέθοδος κρίσιμης διαδρομής (CPM, Critical Path Method).

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε τους κανόνες σχεδιασμού ενός δικτυωτού γραφήματος, τον τρόπο επίλυσης του, θα ορίσουμε τα χρονικά περιθώρια και τη σημασία τους και θα παρουσιάσουμε τα συγκριτικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου.

3.2 Κανόνες σχεδιασμού διαγράμματος δικτύου

Για να κατασκευάσουμε το μοντέλο ενός έργου χρησιμοποιώντας τη μέθοδο CPM αρχικά χρειαζόμαστε τις ακόλουθες απαραίτητες πληροφορίες.

- Την δομική ανάλυση του έργου (γνωστή και ως WBS) η οποία παρέχει μια μεθοδική ανάλυση του αντικειμένου των εργασιών σε πακέτα εργασιών, τα οποία μπορούμε να χειριστούμε εύκολα και να αναλύσουμε περαιτέρω ώστε να καταλήξουμε σε ένα κατάλογο δραστηριοτήτων.
- Τον κατάλογο των δραστηριοτήτων με τον χρόνο που θα χρειαστεί κάθε δραστηριότητα για να ολοκληρωθεί.
- Τους λογικούς περιορισμούς στους οποίους υπακούουν οι παραπάνω δραστηριότητες και οι οποίοι αποκαλούνται επίσης και λογικές διασυνδέσεις, λογικές εξαρτήσεις ή λογικές σχέσεις μεταξύ δραστηριοτήτων.

Χαρακτηριστικές περιπτώσεις που πληρούν τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι η κατασκευή δομικών έργων, η κατασκευή αεροπλάνων και οι ναυπηγικές βιομηχανίες και έτσι η μέθοδος CPM βρίσκει ευρεία εφαρμογή σ' αυτές. Για την πρακτική εφαρμογή της μεθόδου έχει αναπτυχθεί μια συγκεκριμένη μεθοδολογία που συνίσταται σε γενικές γραμμές από τα παρακάτω βήματα:

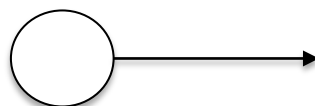
- i. Καθορισμός των εργασιών ή δράσεων που συνιστούν το σύνολο του έργου.
- ii. Προσδιορισμός της σειράς (αλληλουχίας) με την οποία πρέπει να εκτελεστούν αυτές.
- iii. Εκτίμηση του χρόνου ολοκλήρωσης της κάθε επιμέρους εργασίας ή δράσεως.
- iv. Σχεδιασμός του δικτύου των δράσεων τηρώντας την απαιτούμενη για το έργο αλληλουχία εκτέλεσης.
- v. Προσδιορισμός της ταχύτερης δυνατής έναρξης και ολοκλήρωσης κάθε δράσης με βάση το δίκτυο και τους χρόνους ολοκλήρωσης.
- vi. Προσδιορισμός του αργότερου χρόνου έναρξης και ολοκλήρωσης κάθε δράσης, με βάση τον ταχύτερο χρόνο ολοκλήρωσης του έργου που προσδιορίστηκε στο προηγούμενο βήμα.

- vii. Προσδιορισμός του χρόνου που μπορεί να καθυστερήσει κάθε δράση (χρονικό περιθώριο χρόνου) με βάση την διαφορά των χρόνων που βρέθηκαν στα δύο προηγούμενα βήματα.
- viii. Αναγνώριση και καταγραφή των κρίσιμων δράσεων που είναι εκείνες των οποίων η διαφορά των χρόνων είναι μηδενική και δεν μπορούν κατά συνέπεια να καθυστερήσουν. Αυτές αποτελούν την κρίσιμη διαδρομή.
- ix. Χρήση των πληροφοριών από τα βήματα v. και vi. για τον βασικό προγραμματισμό του έργου.

Είναι εύκολα κατανοητό ότι τα σημαντικότερα βήματα θεωρούνται αυτά της εκτίμησης των χρόνων ολοκλήρωσης των επιμέρους δράσεων και του προσδιορισμού της κρίσιμης διαδρομής, του συνόλου δηλαδή των δράσεων που δεν γίνεται να καθυστερήσουν. Έτσι αντιλαμβάνεται κανείς ότι η μέθοδος CPM μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά στις περιπτώσεις που ο χρόνος ολοκλήρωσης κάθε επιμέρους δράσεως του έργου, μπορεί να εκτιμηθεί με σχετική ακρίβεια, είναι δηλαδή μια ντετερμινιστική μεταβλητή. Αυτό συμβαίνει όταν υπάρχουν ικανοποιητικά στοιχεία για την προσέγγιση των προαναφερόμενων χρόνων, δηλαδή είτε στατιστικά στοιχεία από παρόμοια έργα, είτε σε έργα όπου τα υπεύθυνα για την εκτέλεση στελέχη μπορούν με βάση τις τεχνικές γνώσεις τους και την εμπειρία τους να προβλέψουν σωστά τους χρόνους ολοκλήρωσης των δράσεων. Με δεδομένους τους χρόνους ολοκλήρωσης των επιμέρους δράσεων, τα αμέσως σημαντικότερα βήματα είναι η σχεδίαση του δικτύου και ο εντοπισμός της κρίσιμης διαδρομής.

3.2.1 Κατασκευή διαγράμματος δικτύου

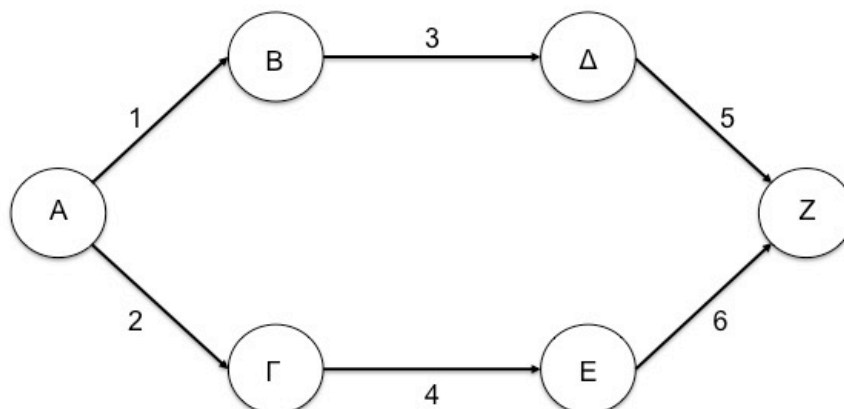
- i. Για την κατασκευή ενός δικτύου πρέπει να σχεδιάσουμε έναν κόμβο για κάθε γεγονός, ενώ κάθε δραστηριότητα με ένα διάνυσμα.



- ii. Έτσι, αν ένα έργο απαρτίζεται από τρεις δραστηριότητες, τότε πρέπει να σχεδιαστούν τρεις κόμβοι. Οι κόμβοι αυτοί πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους με τόξα και κατά τέτοιο τρόπο ώστε να εκφράζουν τις σχέσεις προτεραιότητας μεταξύ των δραστηριοτήτων του έργου. Αν για παράδειγμα, ένα έργο αποτελείται από τρεις δραστηριότητες, το σχεδιασμό, την υλοποίηση και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων τότε ο σχεδιασμός προηγείται της υλοποίησης και η υλοποίηση της αξιολόγησης. Τέλος, η φορά των τόξων είναι από αριστερά προς τα δεξιά υποδηλώνοντας την κατεύθυνση/ροή του έργου.

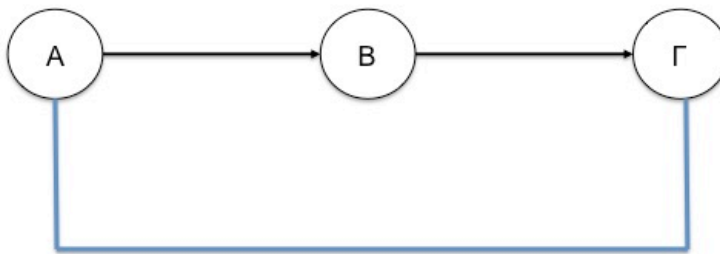


- iii. Το σχήμα του κάθε κόμβου, το μέγεθός του και το μέγεθος του κάθε βέλους δεν μας παρέχει κάποια συγκεκριμένη πληροφορία για κάποιο γεγονός ή για την χρονική διάρκεια της κάθε δραστηριότητας.
- iv. Οι συμβολισμοί (ονοματολογία) των γεγονότων και των δραστηριοτήτων πρέπει να είναι μοναδικοί σε ένα δικτυωτό γράφημα. Το διακριτικό όνομα ενός γεγονότος τοποθετείται μέσα στο κλειστό σχήμα που απεικονίζει το κόμβο και το όνομα μιας δραστηριότητας συνηθίζεται να αναγράφεται πάνω από το βέλος του δικτυωτού γραφήματος στο οποίο αναλογεί. Σχηματικά, ένα δίκτυο CPM με τους συμβολισμούς του εμφανίζεται στο παρακάτω σχήμα.

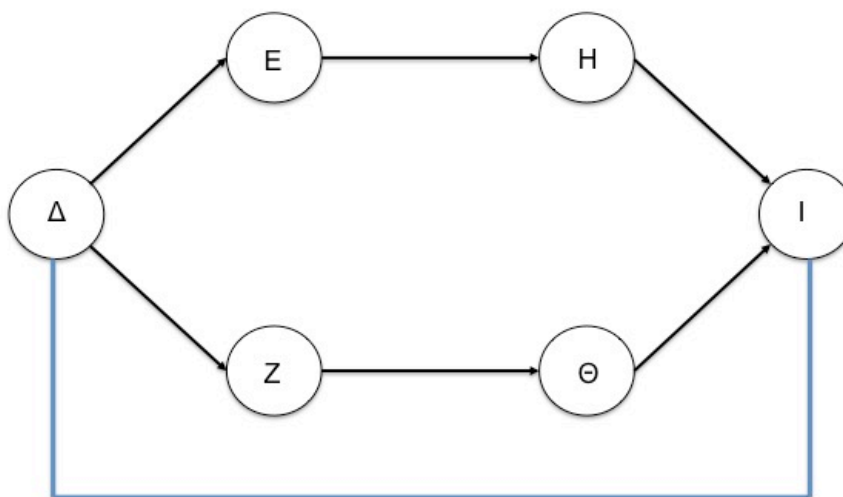


Το δίκτυο αποτελείται από τους κόμβους Α, Β, Γ, Δ, Ε, Ζ και τις δραστηριότητες 1, 2, 3, 4, 5, 6.

- ν. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι αν κάποιες δραστηριότητες δε συνδέονται με σχέση προτεραιότητας τότε μπορούν να υλοποιούνται παράλληλα.



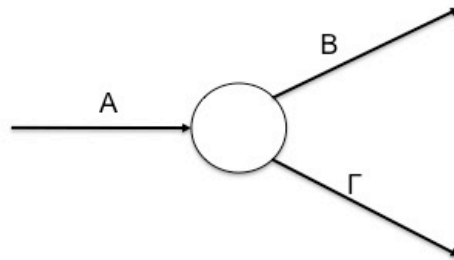
Δραστηριότητες με σχέση προτεραιότητας



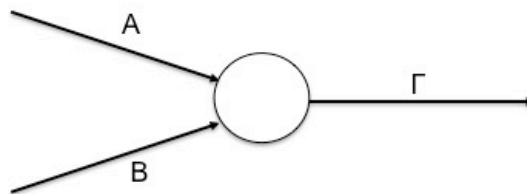
Παράλληλες δραστηριότητες

Οι δραστηριότητες Α, Β, Γ συνδέονται μεταξύ τους με σχέση προτεραιότητας. Αντίθετα, οι δραστηριότητες Δ, Ε, Η, Ι και Δ, Ζ, Θ, Ι ακολουθούν διαφορετικό μονοπάτι πάνω στο διάγραμμα δικτύου και μπορούν να εκτελούνται παράλληλα.

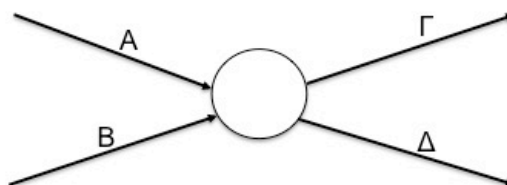
- vi. Οι δραστηριότητες B, Γ θα ξεκινήσουν εφόσον θα ολοκληρωθεί προηγουμένως η δραστηριότητα A.



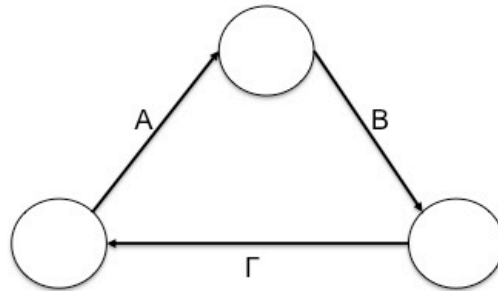
- vii. Η δραστηριότητα Γ θα ξεκινήσει αφού ολοκληρωθούν προηγουμένως οι δραστηριότητες A, B.



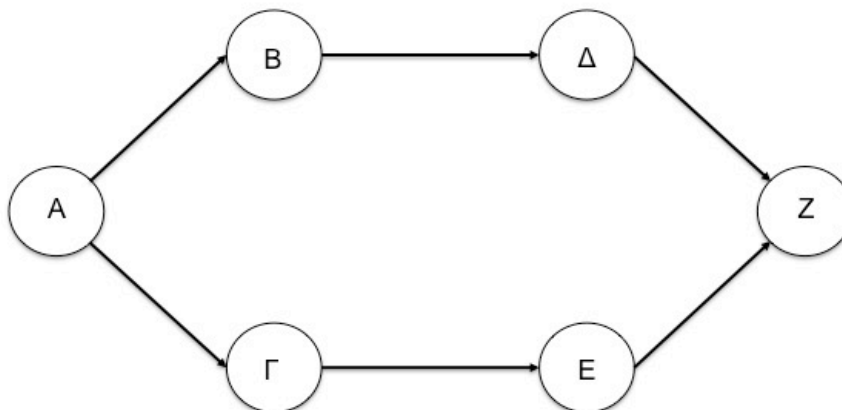
- viii. Οι δραστηριότητες Γ και Δ θα ξεκινήσουν αφού ολοκληρωθούν προηγουμένως οι δραστηριότητες A και B .



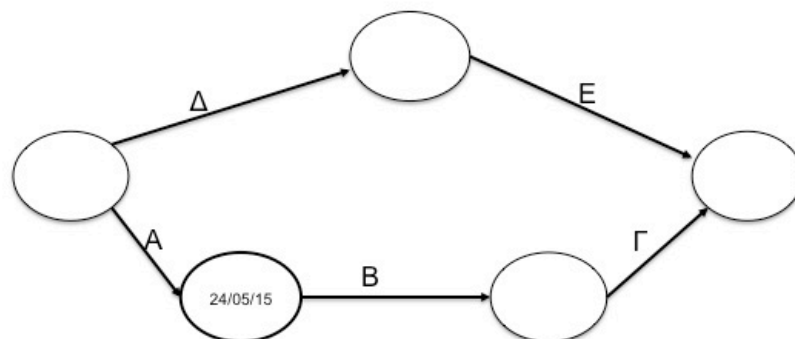
- ix. Στα δικτυωτά γραφήματα δεν επιτρέπεται να έχουμε κλειστούς βρόγχους όπως απεικονίζεται στην παρακάτω περίπτωση.



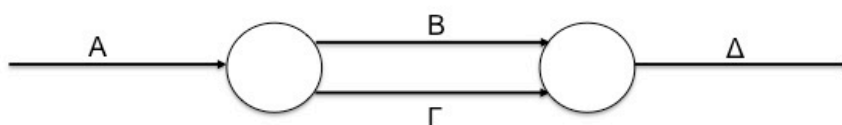
- x. Κάθε δραστηριότητα πρέπει να έχει προηγούμενη και επόμενη δραστηριότητα. Εξαιρούνται η πρώτη καθώς και η τελευταία δραστηριότητα.



- xi. Επιτρέπεται η χρήση ορόσημων/ημερομηνιών που πρέπει να τηρηθούν κατά την διάρκεια της εκτέλεσης ενός έργου. Κυρίως το συναντάμε σε έργα που έχουν χρονικό περιορισμό ως προς την περάτωση τους. Επίσης όμως, μπορούμε να το συναντήσουμε και σε χρονικό περιορισμό δραστηριοτήτων. Για παράδειγμα, έστω μία δραστηριότητα Β που έπεται της δραστηριότητας Α και υπάρχει χρονικός περιορισμός να ολοκληρωθεί η Α μέχρι 24/05/15.

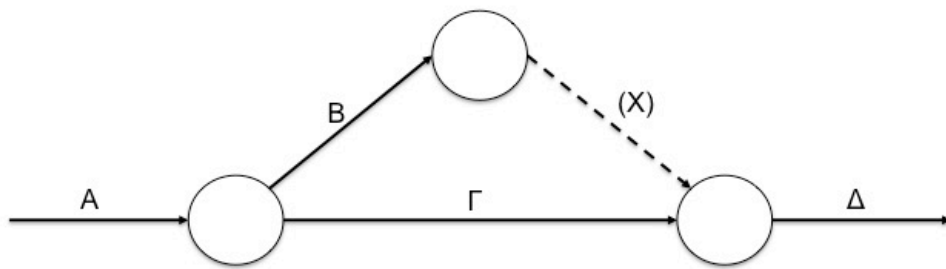


- xii. Κατά την κατασκευή του διαγράμματος δικτύου πρέπει να αποφεύγουμε να έχουμε περισσότερες από μία δραστηριότητες με τον ίδιο κόμβο έναρξης και λήξης. Ας δούμε παρακάτω μία τέτοια περίπτωση.

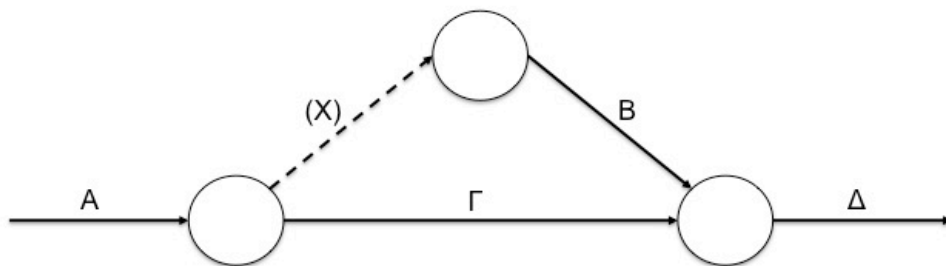


Ο ορθός τρόπος σχεδιασμού της παραπάνω περίπτωσης επιβάλλει τη χρήση μιας πλασματικής δραστηριότητας την οποία την συμβολίζουμε με κάποιο γράμμα διαφορετικό από αυτά των δραστηριοτήτων για να αποφευχθεί πιθανή συσχέτιση δύο δραστηριοτήτων (στην περίπτωσή μας (χ)) και απεικονίζεται με διακεκομμένα βέλη.

Το παραπάνω λανθασμένο δικτύωμα μπορεί να σχεδιαστεί σωστά όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα,



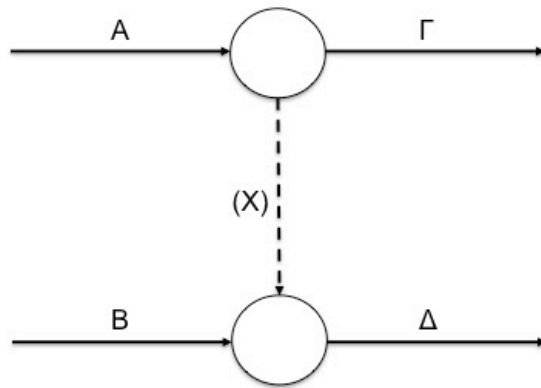
ή εναλλακτικά



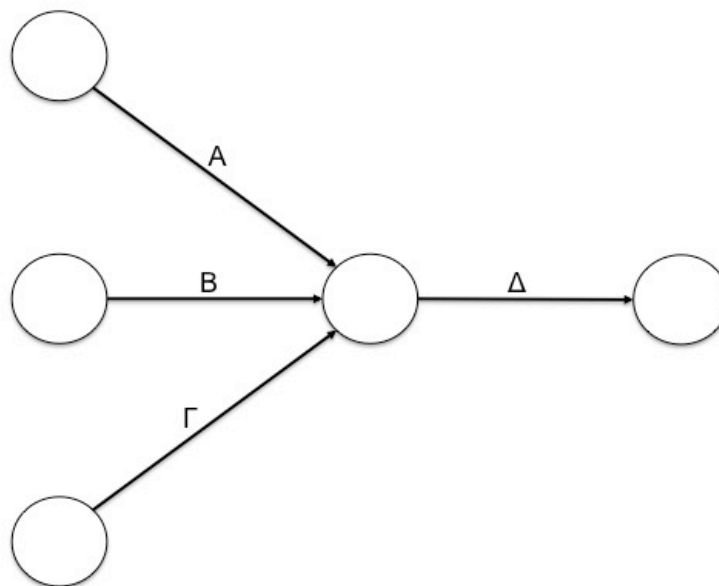
Στα δύο παραπάνω διαγράμματα, η διακεκομμένη γραμμή που ενώνει τους δύο κόμβους, υποδεικνύει μια **πλασματική δραστηριότητα**. Οι πλασματικές δραστηριότητες (dummies) εξυπηρετούν τη λογική του δικτύου και χρησιμοποιούνται για να υποδείξουν σχέσεις προτεραιότητας μεταξύ δραστηριοτήτων. Οι δραστηριότητες αυτές δεν συνδέονται με το χρόνο, το κόστος καθώς ούτε και με τα μέσα παραγωγής. Απλά χρησιμοποιείται για την ορθή κατασκευή του δικτύου.

Παρακάτω θα παρουσιάσουμε τις πιο συνηθισμένες περιπτώσεις χρήσης πλασματικών δραστηριοτήτων.

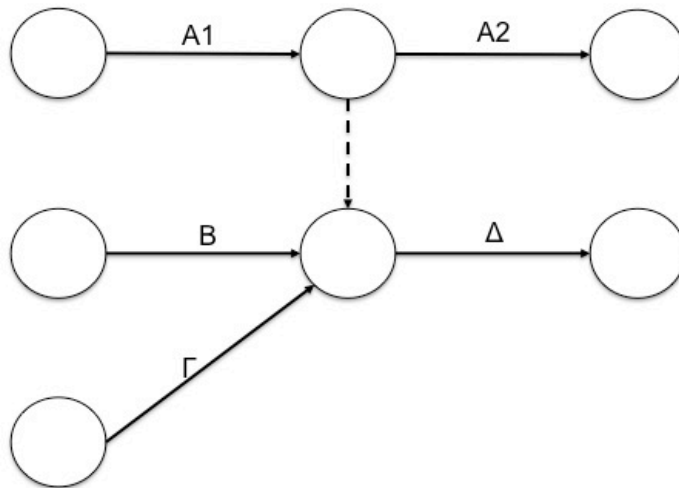
1. Στην παρακάτω περίπτωση, η δραστηριότητα Γ ξεκινά μετά την ολοκλήρωση της δραστηριότητας A , ενώ η δραστηριότητα Δ ξεκινά μετά την ολοκλήρωση της δραστηριότητας A, B .



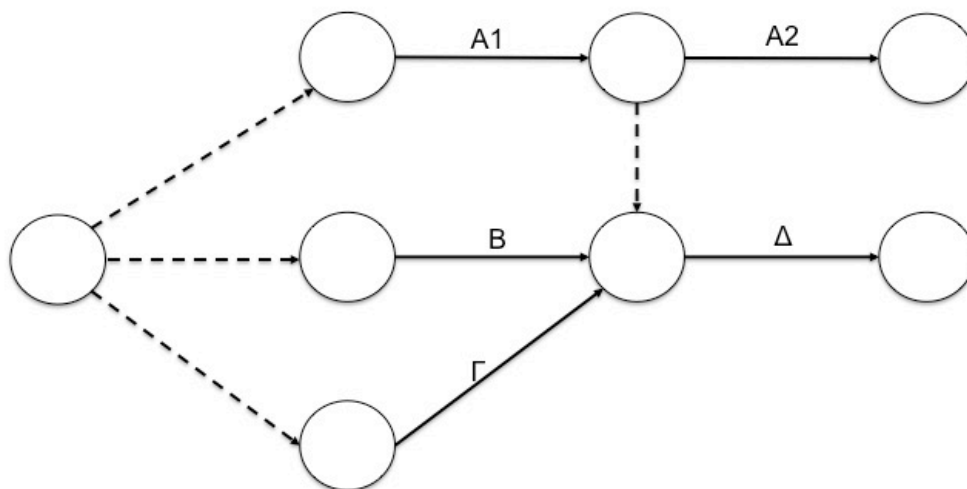
2. Έστω ότι η δραστηριότητα Δ έπεται μέρους της A και των B και Γ και ότι A, B , και Γ είναι αρχικές δραστηριότητες και η Δ δεν είναι τελική δραστηριότητα. Η παρακάτω απεικόνιση δεν είναι σωστή, διότι δεν φαίνεται η Δ να έπεται μέρους της A , αλλά ολόκληρης της A .



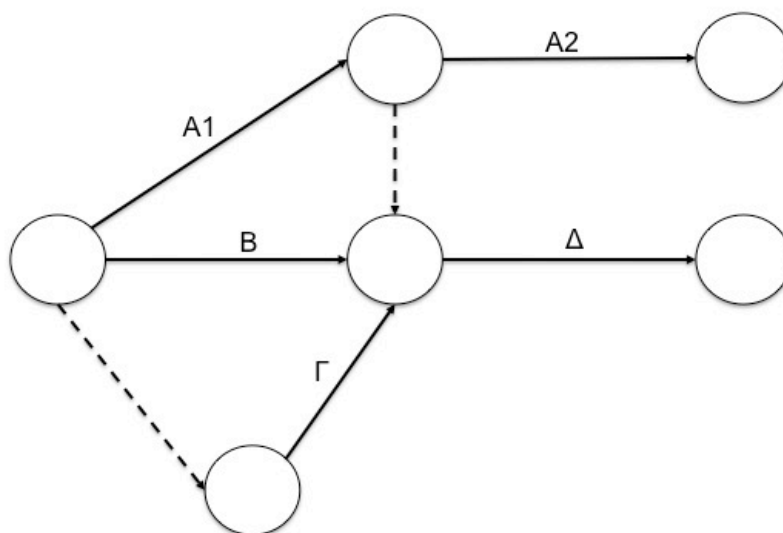
Για να σχεδιάσουμε το σωστό δικτυωτό γράφημα διαιρούμε την A δραστηριότητα σε δύο τμήματα, το A1 του οποίου έπεται η Δ και το A2 το οποίο δεν σχετίζεται με την Δ και χρησιμοποιούμε μια πλασματική δραστηριότητα για να δείξουμε τη σχέση αλληλουχίας μεταξύ της A1 και της Δ. Το σωστό γράφημα ακολουθεί παρακάτω:



Παρατηρούμε ότι στο παραπάνω γράφημα δεν υπάρχει μόνο ένας κόμβος αρχής. Αυτό μπορούμε να το διορθώσουμε τοποθετώντας πάλι πλασματικές δραστηριότητες στους τρεις πρώτους κόμβους με κοινή αρχή έναν και μόνο κόμβο αρχής.

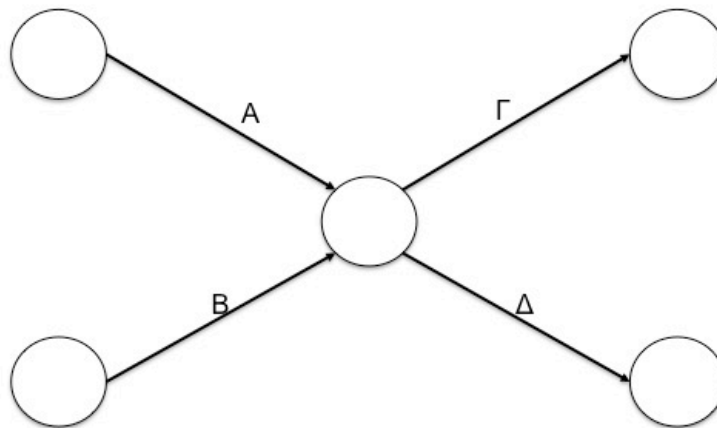


Παρατηρούμε ότι αντί για τρεις πλασματικές δραστηριότητες που προσθέσαμε στο κόμβο αρχής θα μπορούσαμε να βάζαμε μόνο μία όπως φαίνεται παρακατω:

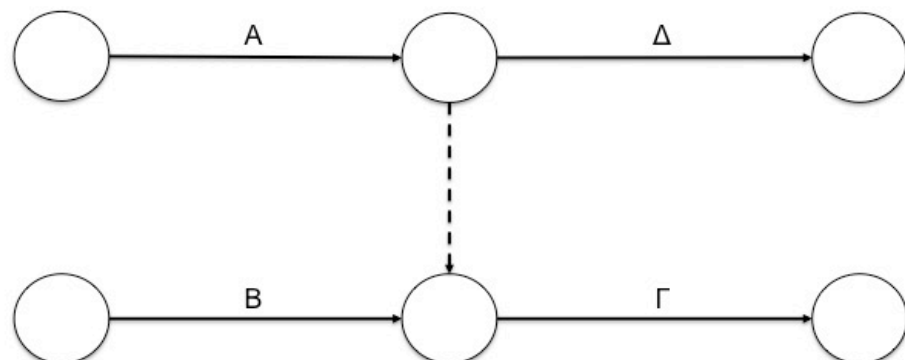


Όσο λιγότερες πλασματικές δραστηριότητες χρησιμοποιούμε τόσο πιο εύκολο στη κατανόηση είναι το δικτυωτό γράφημα.

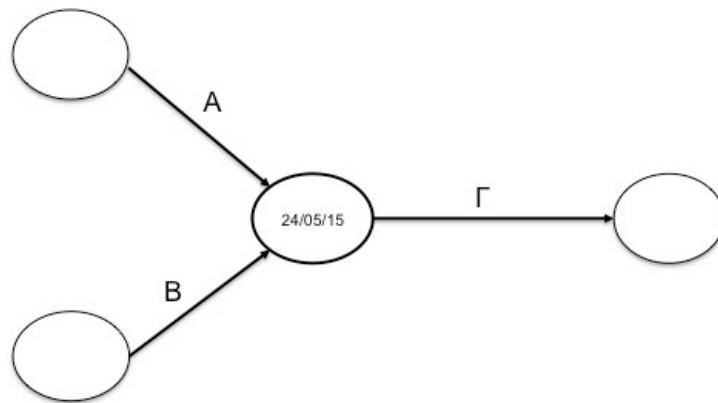
3. Έστω ότι η δραστηριότητα Γ έπεται των A και B και η δραστηριότητα Δ έπεται της A . Ωστόσο, καμμία απο τις δραστηριότητες A, B, Γ, Δ δεν είναι αρχική ή τελική. Η παρακάτω απεικόνιση είναι λανθασμένη διότι εμφανίζει την Δ να έπεται και της B .



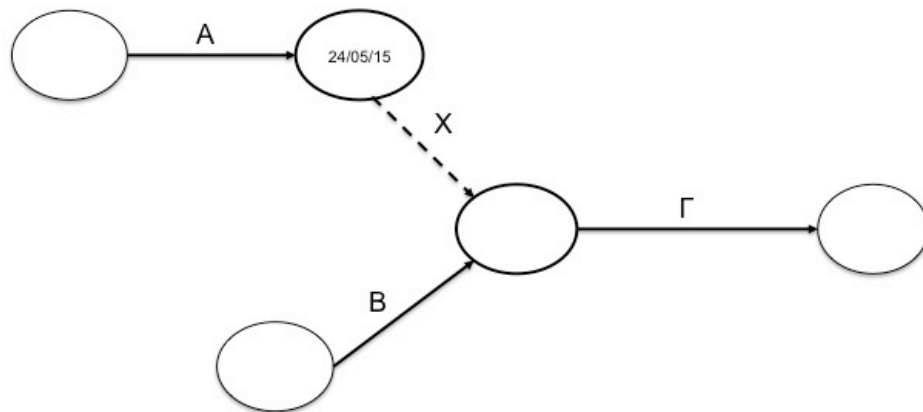
Για να απεικονιστούν σωστά οι σχέσεις αλληλουχίας, θα πρέπει και πάλι να χρησιμοποιήσουμε μια πλασματική δραστηριότητα όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



4. Έστω μία δραστηριότητα Γ που έπεται των δραστηριοτήτων Α και Β και υπάρχει χρονικός περιορισμός να ολοκληρωθεί η Α μέχρι 24/05/15. Οι Α και Β δεν είναι αρχικές δραστηριότητες. Η παρακάτω απεικόνιση είναι λάθος, διότι υποδηλώνει ότι και η δραστηριότητα Β θα πρέπει να ολοκληρωθεί μέχρι τις 24/05/15.



Αντί αυτού με τη βοήθεια μιας πλασματικής δραστηριότητας έστω Χ με την οποία θα καταφέρουμε να απομονώσουμε τη δραστηριότητα Α δημιουργούμε την παρακάτω σωστή πλέον απεικόνιση.

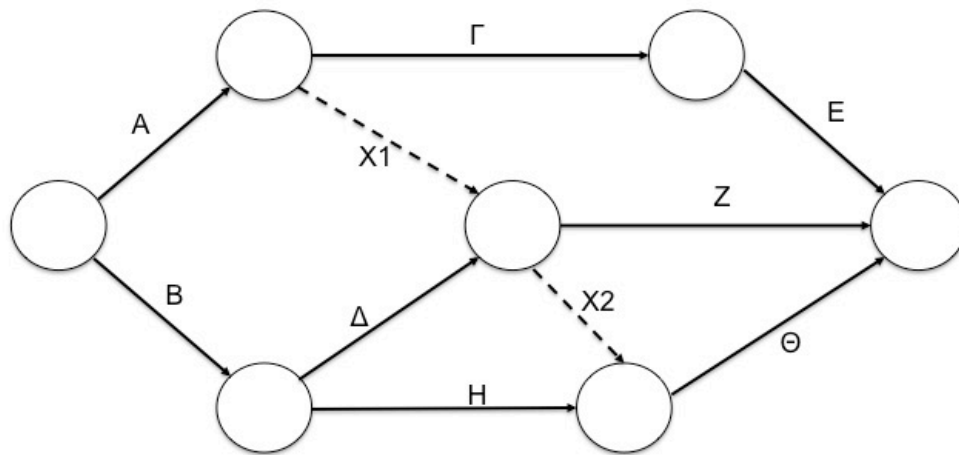


5. Μία κλασική περίπτωση λάθους αποτελεί η χρήση συνεχόμενων πλασματικών δραστηριοτήτων. Στη περίπτωση αυτή μια πλασματική δραστηριότητα (X1) καταλήγει σε ένα κόμβο από τον οποίο ξεκινά μια άλλη πλασματική δραστηριότητα (X2). Το λάθος βρίσκεται στην απεικόνιση σχέσεων αλληλουχίας που δεν υπάρχουν. Για να κατανοήσουμε καλύτερα τη περίπτωση αυτή παραθέτουμε ένα παράδειγμα μέσω του οποίου δείχνουμε και το σωστό τρόπο με τον οποίο πρέπει να απεικονιστούν αυτές οι σχέσεις αλληλουχίας.

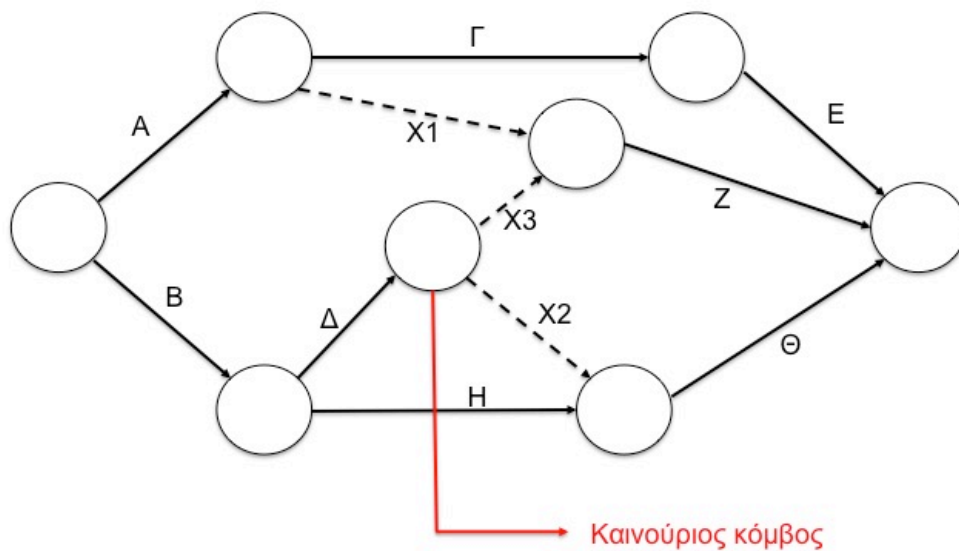
Έστω οι σχέσεις αλληλουχίας του παρακάτω παραδείγματος:

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ	ΕΠΟΜΕΝΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ
A	Γ, Z
B	Δ, Η
Δ	Z, Θ
Η	Θ
Γ	Ε

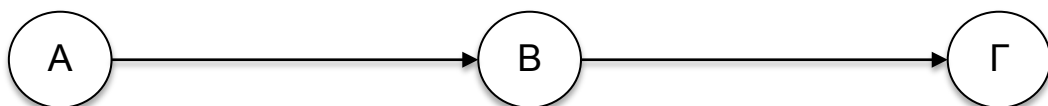
Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα έστω ότι δημιουργούμε το ακόλουθο δικτυωτό γράφημα:



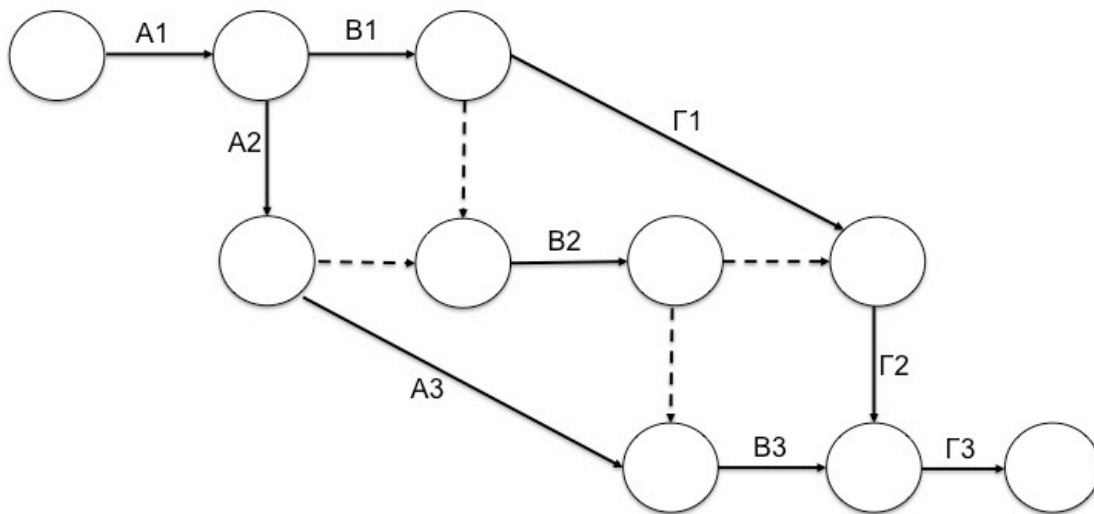
Παρατηρούμε τις συνεχόμενες πλασματικές δραστηριότητες X1, X2 από το τέλος της A ως την αρχή της Θ. Οι πλασματικές αυτές δραστηριότητες εισάγουν την σχέση αλληλουχίας “Η δραστηριότητα A προηγείται της δραστηριότητας Θ” το οποίο δεν είναι σωστό διότι κάτι τέτοιο δε μας έχει δοθεί στον παραπάνω πίνακα. Το σωστό δικτυωτό γράφημα θα έπρεπε να είχε την παρακάτω μορφή προσθέτοντας έναν ακόμη κόμβο και ακόμη μία πλασματική δραστηριότητα (X3):



6. Έστω ότι έχουμε τις παρακάτω διαδοχικές δραστηριότητες A, B, Γ. Το αντίστοιχο δικτυωτό γράφημα απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα:



Αν οι δραστηριότητες αυτές ήταν επαναλαμβανόμενες, δηλαδή για παράδειγμα έπρεπε να εκτελεστούν διαδοχικά τρεις φορές, για να διατηρηθούν οι σχέσεις αλληλουχίας επιβάλλεται στο γράφημα της CPM να χρησιμοποιήσουμε πλάσματικές δραστηριότητες όπως ακολουθεί:

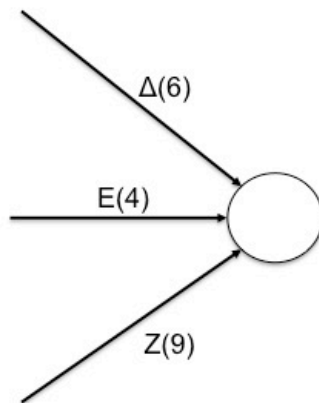


3.3 Παράδειγμα επίλυσης δικτυωτού γραφήματος με την μέθοδο CPM.

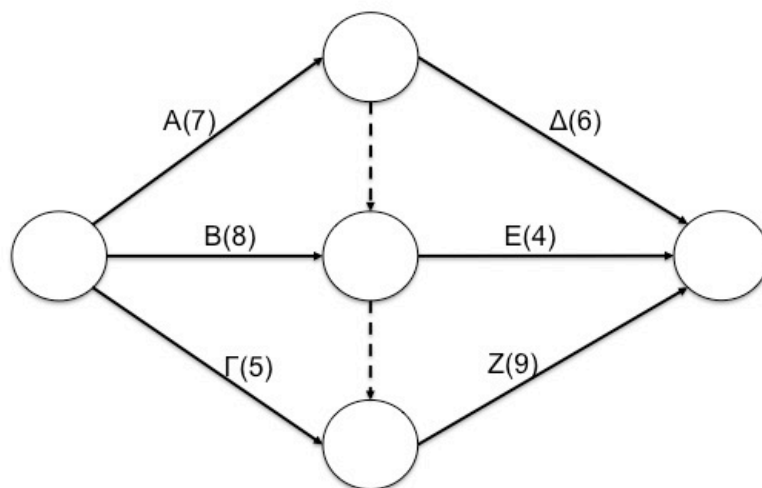
Ας δούμε ένα παράδειγμα έργου με δραστηριότητες και σχέσεις αλληλουχίας μεταξύ τους όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Δραστηριότητες	Προηγείται των	Διάρκεια
A	Δ,Ε	7
B	Ε,Ζ	8
Γ	Ζ	5
Δ	-	6
Ε	-	4
Ζ	-	9

Για να σχεδιάσουμε το δικτυωτό μας γράφημα ξεκινάμε απο το τέλος. Παρατηρούμε ότι οι δραστηριότητες Δ, Ε, Ζ δεν έχουν προηγούμενες δραστηριότητες επομένως είναι **τελικές** δραστηριότητες. Τις σχεδιάζουμε επομένως ώστε να καταλήγουν στον τελικό κόμβο.



Εν συνεχεία, η δραστηριότητα Γ προηγείται της Z, η B της E και Z και η A της Δ και E. Με μία πρώτη προσέγγιση καταλήγω στο παρακάτω γράφημα σχεδιάζοντας τις A, B και Γ να ξεκινάνε από τον αρχικό κόμβο και προσθέτοντας δυο πλασματικές δραστηριότητες για να δείξουμε τις σχέσεις αλληλουχίας που υφίστανται.

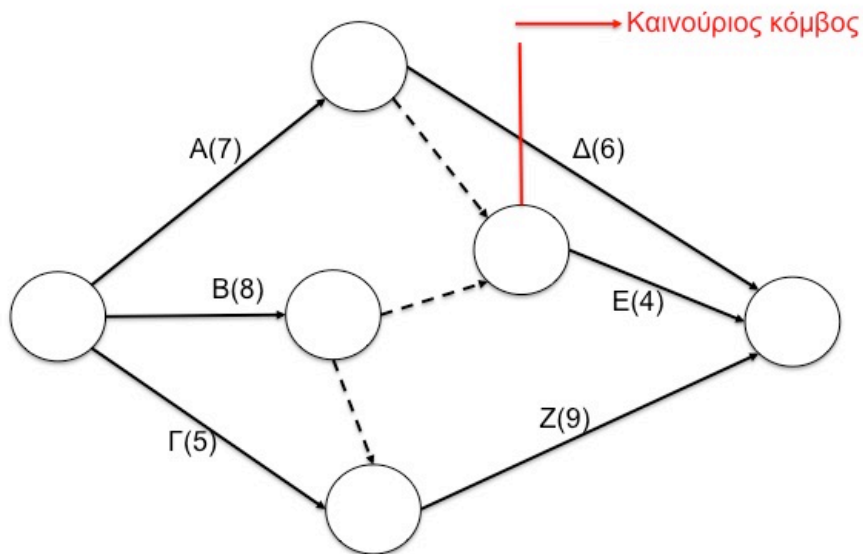


Παρατηρούμε ότι το παραπάνω γράφημα μας είναι λάθος. Το λάθος οφείλεται στην ύπαρξη συνεχόμενων πλασματικών δραστηριοτήτων. Έτσι, σύμφωνα με αυτό το δικτυωτό γράφημα, η δραστηριότητα A προηγείται και της δραστηριότητας Z, γεγονός που δεν είναι σωστό διότι δεν μας δίνεται στον πίνακα αλληλουχιών δραστηριοτήτων.

Για να αφαιρέσουμε την εξάρτηση «η A προηγείται της Z» ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

1. Προσθέτουμε έναν καινούριο κόμβο.
2. Προσθέτουμε μια πλασματική δραστηριότητα από το τέλος της B προς τον καινούριο κόμβο.
3. Μετακινούμε την πλασματική δραστηριότητα που ξεκινάει στο τέλος της A έως το κόμβο που τελειώνει η B, στον καινούριο κόμβο.
4. Μετακινούμε την αρχή της E στον καινούριο κόμβο.

Το τροποποιημένο γράφημα εμφανίζεται παρακάτω:



Παρατηρήστε ότι με τον τρόπο αυτό η δραστηριότητα A δεν προηγείται πλέον της δραστηριότητας Z. Παρατηρήστε επίσης, ότι σε κανένα κόμβο του παραπάνω γραφήματος δεν υπάρχουν πλασματικές δραστηριότητες από τις οποίες η μία να εισέρχεται στον κόμβο και η άλλη να εξέρχεται (δηλαδή συνεχόμενες πλασματικές δραστηριότητες ----->Ο----->) όπως βλέπουμε στο πρώτο λανθασμένο δίκτυο στο κόμβο τέλους της δραστηριότητας B.

Αν δύο πλασματικές δραστηριότητες έχουν κοινή αρχή, δηλαδή ξεκινούν ή εξέρχονται από τον ίδιο κόμβο (όπως για παράδειγμα από το κόμβο τέλους της B) ή κοινό τέλος, δηλαδή εισέρχονται στον ίδιο κόμβο, όπως για παράδειγμα στον καινούριο κόμβο του παραπάνω γραφήματος, τότε αυτές οι πλασματικές δραστηριότητες δεν θεωρούνται συνεχόμενες.

3.4 Χρονικά στοιχεία έργου

Είμαστε τώρα έτοιμοι να εφαρμόσουμε τη χρονική ανάλυση που συνεπάγεται η CPM για να προσδιορίσουμε τις ημερομηνίες έναρξης και λήξης όλων των δραστηριοτήτων. Πριν από αυτό όμως, ας ανακεφαλαιώσουμε τα βήματα στα οποία συνιστάται η CPM και τα οποία έχουμε ήδη καθορίσει:

- Κατασκευή του λογικού διαγράμματος δικτύου
- Προσδιορισμός της διάρκειας όλων των δραστηριοτήτων
- Προσδιορισμός του εργασιακού ημερολογίου

Στον προγραμματισμό εργασιών χρησιμοποιούμε τους όρους **ημερολόγιο** ή **βάρδιες και αργίες** για να περιγράψουμε το εργασιακό προφίλ των δραστηριοτήτων, δηλαδή, για να προσδιορίσουμε ποιες συγκεκριμένες μέρες της εβδομάδας θα εκτελείται μία δραστηριότητα και θα απασχολούνται οι διατιθέμενοι πόροι. Ως πρώτο βήμα θα υποθέσουμε ότι εκτελούνται δραστηριότητες και τις 7 ημέρες της εβδομάδας, δηλαδή ότι η εργασία είναι **συνεχής**.

Αφού σχεδιαστεί το δικτυωτό γράφημα θα πρέπει κατόπιν να επιλυθεί. Η επίλυση του δικτυωτού γραφήματος προσδιορίζει τα χρονικά στοιχεία του έργου εκφρασμένα σε Χρονικές Μονάδες Προγραμματισμού. Οι Χρονικές Μονάδες Προγραμματισμού μπορεί να είναι ώρες, ημέρες, εβδομάδες, μήνες ή και χρόνια. Τα χρονικά στοιχεία του έργου είναι:

- **Ημερομηνία έναρξης** : Πρέπει να ορίσουμε μία ημερομηνία έναρξης του έργου (ακόμη και αν αυτή αλλάξει αργότερα). Για να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε τη CPM, είναι απαραίτητο να υπάρχει οπωσδήποτε μία ημερομηνία έναρξης με βάση την οποία θα προγραμματιστεί το έργο. Αν δεν ορίσουμε την ημερομηνία έναρξης, το λογισμικό πακέτο προγραμματισμού εργασιών θα χρησιμοποιήσει ως ημερομηνία έναρξης του έργου την προ-επιλεγμένη (default) «σημερινή» ημερομηνία. Ορίζοντας μία ημερομηνία έναρξης και διατρέχοντας την διαδοχή των εργασιών σε πρώτη προσέγγιση, ο υπεύθυνος προγράμματος εργασιών (Project Manager) θα αποκτήσει μία αίσθηση για την ημερομηνία λήξης του έργου αν χρησιμοποιήσει τις δεδομένες λογικές σχέσεις δραστηριοτήτων, τις δεδομένες διάρκειες τους και το δεδομένο ημερολόγιο. Αν η ημερομηνία ολοκλήρωσης του έργου είναι ορισμένη, τότε θα ρυθμιστούν κατάλληλα οι πιο πάνω παράμετροι,

δηλαδή οι λογικές σχέσεις, η διάρκεια των δραστηριοτήτων, το εργασιακό ημερολόγιο και η ημερομηνία έναρξης του έργου.

- **Νωρίτερος χρόνος έναρξης (ES_{ij} , *Early Start*):** Η νωρίτερη ημερομηνία κατά την οποία μπορεί να ξεκινήσει η δραστηριότητα, με την προϋπόθεση ότι όλες οι προηγούμενες της δραστηριότητες έχουν ολοκληρωθεί κανονικά.
- **Νωρίτερος χρόνος λήξης (EF_{ij} , *Early Finish*):** Η νωρίτερη ημερομηνία κατά την οποία μπορεί να ολοκληρωθεί η δραστηριότητα, με την προϋπόθεση ότι όλες οι προηγούμενες της δραστηριότητες έχουν ολοκληρωθεί κανονικά.
- **Αργότερος χρόνος έναρξης (LS_{ij} , *Late Start*):** Η αργότερη ημερομηνία κατά την οποία μπορεί να ξεκινήσει η δραστηριότητα, ώστε το έργο να μπορέσει να ολοκληρωθεί την προγραμματισμένη ημερομηνία.
- **Αργότερος χρόνος λήξης (LF_{ij} , *Late Finish*):** Η αργότερη ημερομηνία κατά την οποία μπορεί να λήξει η δραστηριότητα, ώστε το έργο να μπορέσει να ολοκληρωθεί την προγραμματισμένη ημερομηνία.
- **Στοχευμένη έναρξη (*Target Start*) και Στοχευμένη λήξη (*Target finish*):** Εκτός από τις ημερομηνίες που υπολογίζονται με βάση τη λογική των δραστηριοτήτων, με τον τρόπο που περιγράψαμε προηγουμένως, υπάρχουν και ορισμένες επιβαλλόμενες ημερομηνίες όπως, λ.χ.: η παράδοση υλικών, η πρόσβαση σε υπεργολάβους, και άλλες ενδιάμεσες προθεσμίες.
- Το **Περιθώριο δραστηριοτήτων (*Activity float*)** το οποίο αποκαλείται επίσης και **χαλαρός χρόνος (TS_{ij} , *Time Slack*)**, αποτελεί μέτρο της ευεξίας του έργου και υποδηλώνει το εγγενές πλεόνασμα χρόνου που υπάρχει στον προγραμματισμό κάθε δραστηριότητας. Υποδηλώνει, δηλαδή, για πόσες εργάσιμες ημέρες μπορεί να καθυστερήσει η έναρξη ή να επεκταθεί η διάρκεια κάποιας δραστηριότητας χωρίς αυτό να επηρεάσει την ημερομηνία ολοκλήρωσης του έργου ή οποιαδήποτε άλλη στοχευμένη ημερομηνία ολοκλήρωσης κάποιου τμήματος (ενδιάμεση προθεσμία). Ο χαλαρός χρόνος TS_{ij} υπολογίζεται με δύο τρόπους:
$$TS_{ij} = \text{Αργότερη έναρξη } (LS_{ij}) - \text{Νωρίτερη έναρξη } (ES_{ij}) \quad \text{ή}$$
$$TS_{ij} = \text{Αργότερη λήξη } (LF_{ij}) - \text{Νωρίτερη λήξη } (EF_{ij})$$

Από μαθηματικής άποψης, οι δύο τύποι είναι ισοδύναμοι, και επομένως μπορούμε, κάθε φορά, να επιλέγουμε την εξίσωση που μας βολεύει περισσότερο.

- Το **Ελεύθερο χρονικό περιθώριο** (FTS_{ij} , **free time slack**) της δραστηριότητας ij , δηλαδή το χρονικό διάστημα που μπορεί να καθυστερήσει η ολοκλήρωση της δραστηριότητας ij χωρίς να καθυστερήσει η έναρξη καμμίας από τις επόμενες από αυτήν δραστηριότητες.

$$FTS_{ij} = \min_{jk \in K} (ES_{jk} - EF_{ij})$$

- Το **Ανεξάρτητο χρονικό περιθώριο** (ITS_{ij} , **independent time slack**) της δραστηριότητας ij , δηλαδή το χρονικό διάστημα ανάμεσα στο τέλος της δραστηριότητας ij , αν αυτή ξεκινήσει το αργότερο δυνατό και της νωρίτερης έναρξης μεταξύ των επόμενων δραστηριοτήτων της.

Τη στιγμή αυτή καλό θα ήταν να δίνουμε μία σχέση που συνδέει το χρονικό περιθώριο, το ελεύθερο χρονικό περιθώριο και το ανεξάρτητο χρονικό περιθώριο:

$$TS_{ij} \geq FTS_{ij} \geq ITS_{ij}$$

- **Κρίσιμες δραστηριότητες (Critical Activity)** είναι οι δραστηριότητες όπου οι διαφορές $LS_{ij} - ES_{ij}$ και $LF_{ij} - EF_{ij}$ είναι ίσες με μηδέν ($TS_{ij} = 0$) . Επομένως, οι νωρίτεροι και οι αργότεροι χρόνοι έναρξης και λήξης συμπίπτουν.
- **Κρίσιμη διαδρομή (Critical Path)** είναι μία ακολουθία κρίσιμων δραστηριοτήτων η οποία έχει ως αρχή τον κόμβο αρχής του έργου και καταλήγει στο κόμβο τέλους του έργου. Κάθε δικτυωτό γράφημα έχει τουλάχιστον μία κρίσιμη διαδρομή, η οποία έχει την μεγαλύτερη χρονική διάρκεια από όλες τις διαδρομές που συνδέουν το γεγονός της αρχής με το γεγονός του τέλους του έργου.

Σημείωση

Πρέπει να τονίσουμε ότι για να είναι εφικτή η εκτέλεση του έργου, σύμφωνα με τα παραπάνω, πρέπει να έχουμε τους διαθέσιμους πόρους, έτσι ώστε να εκτελούνται παράλληλα ορισμένες δραστηριότητες, όπου αυτό απαιτείται.

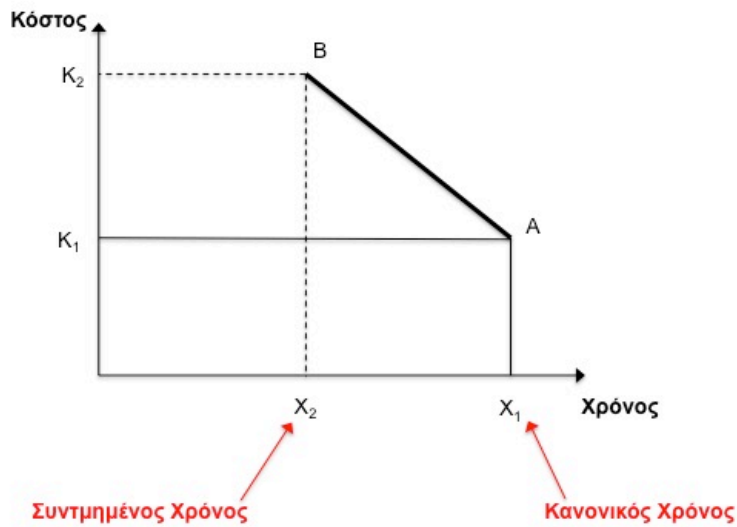
Η αρχή χρόνου κάθε δραστηριότητας προσδιορίζει τη χρονική διάρκεια, κατά την οποία κάθε δραστηριότητα μπορεί να καθυστερήσει όσον αφορά την ολοκλήρωση της, χωρίς αυτό να αυξήσει την ελάχιστη διάρκεια εκτέλεσης του συνολικού έργου. Έτσι, στις δραστηριότητες που βρίσκονται πάνω στην κρίσιμη διαδρομή αν παρατηρηθεί αύξηση του χρόνου ολοκλήρωσης του έργου πέραν του αναμενόμενου, αυτό θα έχει ως συνέπεια την αύξηση του συνολικού χρόνου του έργου. Αντίθετα, στις δραστηριότητες που βρίσκονται εκτός της κρίσιμης διαδρομής, μία αύξηση του χρόνου ολοκλήρωσης του έργου πέραν του αναμενόμενου, δεν οδηγεί απαραίτητα στην αύξηση του συνολικού χρόνου του έργου και εξαρτάται από την ανοχή χρόνου που υπάρχει για την συγκεκριμένη δραστηριότητα. Έτσι, αν η χρονική υπέρβαση είναι μεγαλύτερη της ανοχής χρόνου (TS_{ij}) μιας δραστηριότητας

θα οδηγήσει σε αύξηση της συνολικής διάρκειας του έργου. Οι περιπτώσεις που μπορούν να υπάρξουν από καθυστερήσεις ή συντμήσεις του χρόνου των δραστηριοτήτων ενός έργου, περιγράφονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Περιπτώσεις	Δραστηριότητες	
	Επί της κρίσιμης διαδρομής	Εκτός της κρίσιμης διαδρομής
Ο χρόνος ολοκλήρωσης μιας δραστηριότητας αυξάνει κατά X .	Ο χρόνος ολοκλήρωσης του έργου αυξάνεται κατά X .	Αν $X \leq TS_{ij}$, τότε ο χρόνος ολοκλήρωσης του έργου παραμένει ανεπηρέαστος. Αν $X > TS_{ij}$, τότε ο χρόνος ολοκλήρωσης του έργου αυξάνει κατά $X - TS_{ij}$
Ο χρόνος ολοκλήρωσης μιας δραστηριότητας μειώνει κατά X .	Ο χρόνος ολοκλήρωσης του έργου αλλάζει και πρέπει να επανυπολογιστεί.	Ο χρόνος ολοκλήρωσης του έργου παραμένει ανεπηρέαστος.

3.5 Σύντμηση της διάρκειας ενός έργου: Σχέση Κόστους – Χρόνου.

Με τη μέθοδο της κρίσιμης διαδρομής που περιγράψαμε προηγουμένως, βρίσκουμε την ελάχιστη χρονική διάρκεια ενός έργου με δεδομένους κάποιους πόρους. Είναι δυνατόν, όμως, να επιτύχουμε περαιτέρω σύντμηση κάποιων δραστηριοτήτων ενός έργου δαπανώντας επιπλέον πόρους σε κάποιες δραστηριότητες. Συνεπώς, ο χρόνος ολοκλήρωσης μιας δραστηριότητας βρίσκεται σε άμεση εξάρτηση/συνάρτηση με την ποσότητα των πόρων που είμαστε διατεθειμένοι να διαθέσουμε σε αυτή. Η συμπίεση του χρόνου εκτέλεσης μιας δραστηριότητας ονομάζεται «**Crashing**».

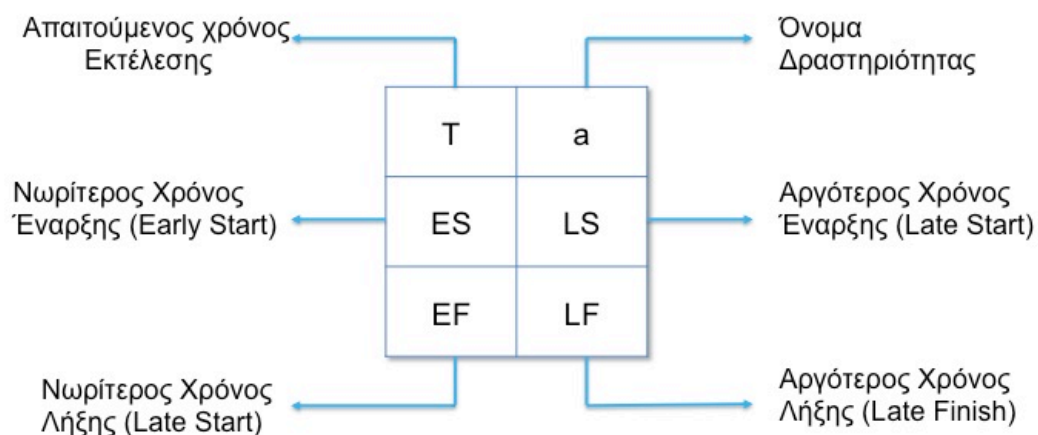


Όπως παρατηρούμε στο παραπάνω σχήμα μία δραστηριότητα έχει κανονικό χρόνο εκτέλεσης X_1 με κόστος K_1 . Αν θέλουμε να μειώσουμε το χρόνο εκτέλεσης της δραστηριότητας στο μέγιστο δυνατό βαθμό, αδιαφορώντας για την αύξηση του κόστους, τότε μεταβαίνουμε στο σημείο B του συντμημένου χρόνου X_2 με κόστος K_2 . Υποθέτοντας ότι η σχέση κόστους/χρόνου είναι γραμμική, η κλίση της γραμμής AB μας δίνει το κόστος σύντμησης μιας δραστηριότητας ανά μονάδα χρόνου.

Σκοπός της επίλυσης ενός δικτυωτού γραφήματος είναι η εύρεση της **κρίσιμης διαδρομής** του γραφήματος και ο υπολογισμός της διάρκειας της.

3.6 Επίλυση δικτυωτού γραφήματος με τη μεθοδο της CPM

Στη συνέχεια, κάθε δραστηριότητα θα αναπαριστάται από έναν κόμβο, ο οποίος θα δίνει συγκεκριμένες πληροφορίες σχετικά με αυτή τη δραστηριότητα. Κάθε κόμβος θα σχεδιάζεται σαν ένα πινακάκι 3X2 το οποίο θα περιέχει έξι κελιά, καθένα από τα οποία θα μας δίνει συγκεκριμένες πληροφορίες για τον κόμβο αυτό όπως αναπαριστάται στο παρακάτω σχήμα.



3.6.1 Παράδειγμα 1

Στον πίνακα που ακολουθεί, δίνονται οι δραστηριότητες, ο απαιτούμενος χρόνος εκτέλεσης κάθε δραστηριότητας και οι σχέσεις προτεραιότητας μεταξύ των δραστηριοτήτων:

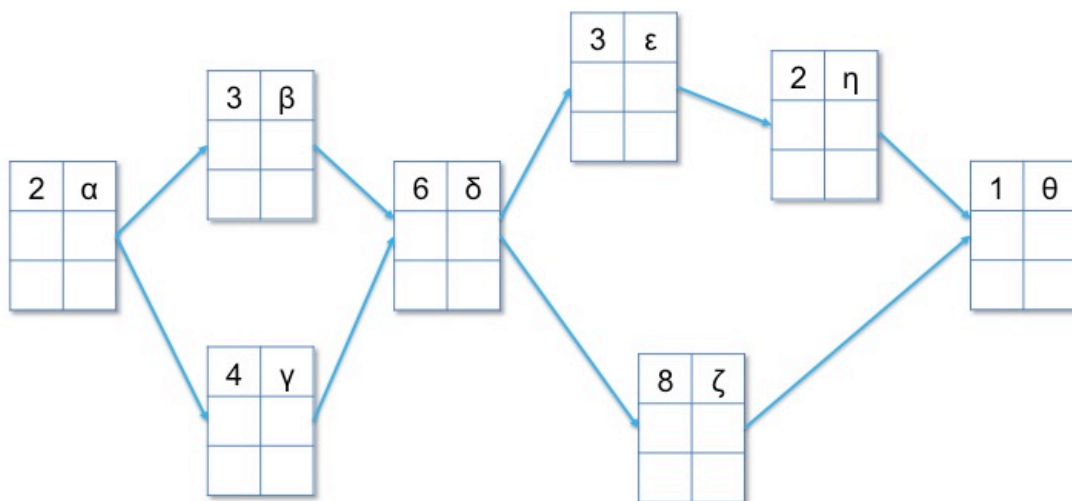
Δραστηριότητα	Προηγείται των	Χρονος εκτέλεσης
α	-	2 ημέρες
β	α	3 ημέρες
γ	α	4 ημέρες
δ	β, γ	6 ημέρες
ε	δ	3 ημέρες
ζ	δ	8 ημέρες
η	ε	2 ημέρες
θ	η, ζ	1 ημέρα

Ζητείται:

- i. Να κατασκευαστεί το διάγραμμα δικτύου.
- ii. Να υπολογιστεί ο ελάχιστος χρόνος ολοκλήρωσης του έργου και να βρεθούν οι δραστηριότητες που βρίσκονται πάνω στη κρίσιμη διαδρομή.
- iii. Να υπολογιστεί η ανοχή χρόνου των δραστηριοτήτων που δε βρίσκονται πάνω στη κρίσιμη γραμμή.

Λύση

- i. Κατασκευάζουμε το δίκτυο σύμφωνα με όσα έχουμε πει μέχρι τώρα και συμπληρώνουμε στους κόμβους το όνομα και τον χρόνο εκτέλεσης της κάθε δραστηριότητας.



ii.

3.6.1.1 Υπολογισμός του Νωρίτερου Χρόνου Έναρξης (ES)

Για τον υπολογισμό του ES για κάθε κόμβο, ξεκινάμε από την αρχή του δικτύου (**Ομόρροπος υπολογισμός**) και προσθέτουμε την χρονική διάρκεια όλων των προηγούμενων δραστηριοτήτων. Όταν περισσότερες από μία δραστηριότητες καταλήγουν σε μία δραστηριότητα (π.χ. οι δραστηριότητες β, γ καταλήγουν στη δ), τότε ως ES αυτής της δραστηριότητας θεωρείται ο χρόνος αυτής της προαπαιτούμενης δραστηριότητας που ολοκληρώνεται τελευταία σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

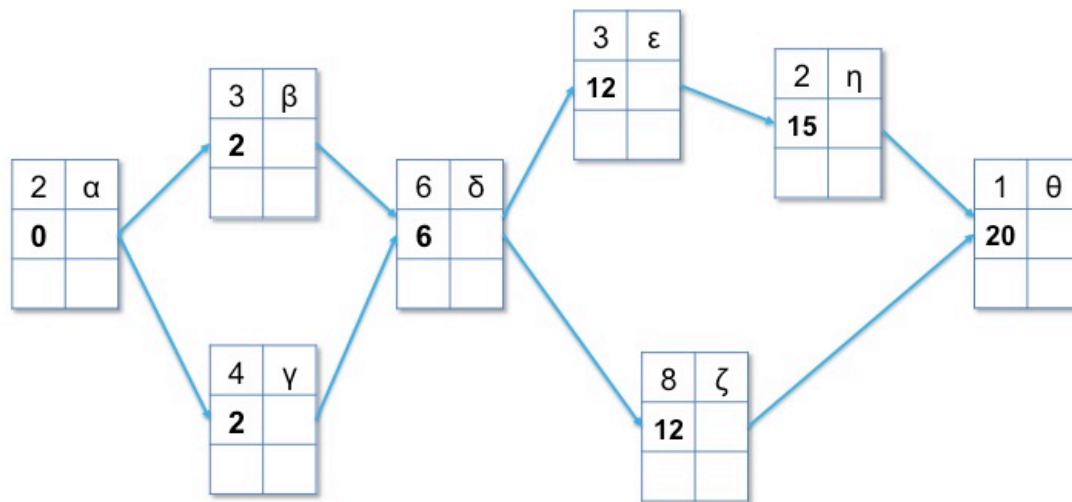
$$ES_{i+1} = \max(ES_i + T_i)$$

Σημείωση:

- Υποθέτουμε ότι ξεκινάμε από το χρόνο μηδέν. Έτσι, $ES_\alpha = 0$.

- Ως ES_{δ} επιλέγουμε:
 $ES_{\delta} = \max(ES_{\beta} + T_{\beta}, ES_{\gamma} + T_{\gamma})$, Επομένως, $ES_{\delta} = 6$.
- Αντίστοιχα για το κόμβο θ έχω:
- $ES_{\theta} = \max(ES_{\eta} + T_{\eta}, ES_{\zeta} + T_{\zeta})$, Επομένως, $ES_{\theta} = 20$.

Έτσι, μετά τον υπολογισμό όλων των νωρίτερων χρόνων έναρξης των κόμβων, το δίκτυο έχει ως εξής:



3.6.1.2 Υπολογισμός του Αργότερου Χρόνου Έναρξης (LS).

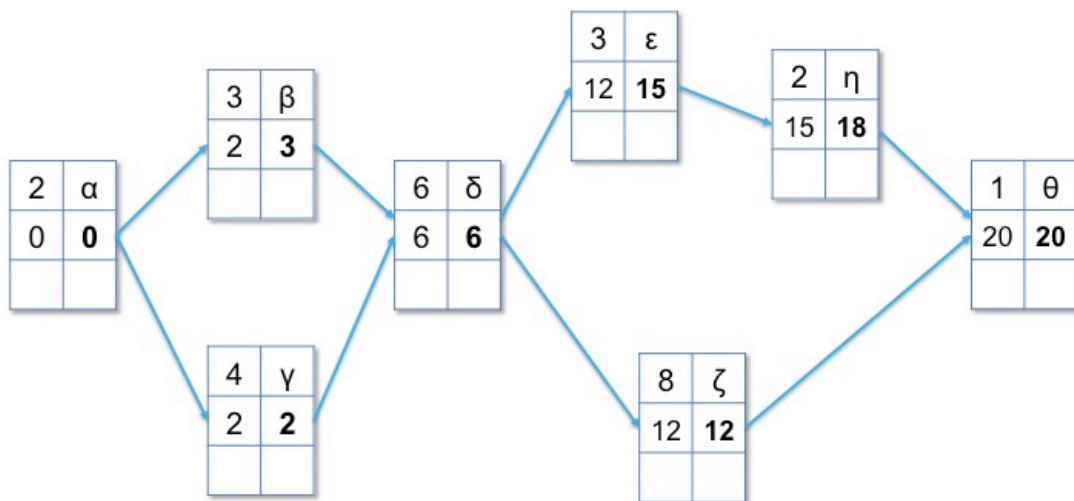
Για τον υπολογισμό του LS για κάθε κόμβο, ξεκινούμε από το τέλος του δικτύου (**Αντίρροπος υπολογισμός**), δηλαδή από τον κόμβο θ και κινούμαστε προς τα πίσω αφαιρώντας τη χρονική διάρκεια εκτέλεσης όλων των προηγούμενων δραστηριοτήτων. Όταν περισσότερες από μία δραστηριότητες καταλήγουν σε μία δραστηριότητα (π.χ. οι δραστηριότητες ϵ , ζ καταλήγουν στη δ), τότε ως LS αυτής της δραστηριότητας θεωρείται ο χρόνος της δραστηριότητας που ολοκληρώνεται πρώτη σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$LS_i = \min(LS_{i+1} - T_i)$$

Σημείωση:

- Ο $LS_{\theta} = 20$ όσο και ο ES_{θ} , διότι διαφορετικά θα είχαμε επιμήκυνση του συνολικού χρόνου εκτέλεσης του έργου.
- Ως LS_{δ} επιλέγουμε:
 $LS_{\delta} = \min(LS_{\epsilon} - T_{\delta}, LS_{\zeta} - T_{\delta})$, Επομένως, $LS_{\delta} = 6$.
- Παρόμοια συλλογιστική ακολουθείται και για τον υπολογισμό του LS_{α} :
 $LS_{\alpha} = \min(LS_{\beta} - T_{\alpha}, LS_{\gamma} - T_{\alpha})$, Επομένως, $LS_{\alpha} = 0$.

Επομένως, το δίκτυο παίρνει την εξής μορφή:



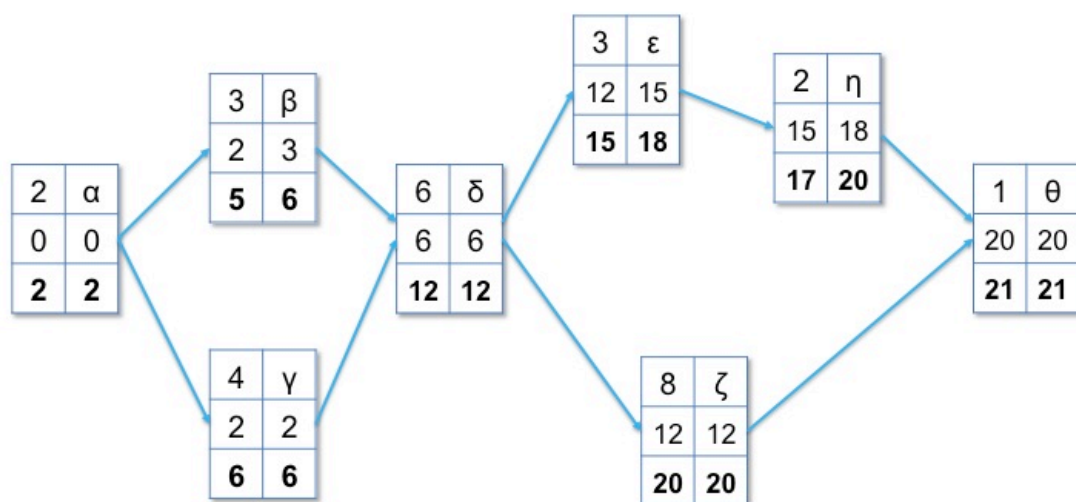
3.6.1.3 Υπολογισμός των Νωρίτερων Χρόνων Λήξης (EF) και των Αργότερων Χρόνων Λήξης (LF).

Για τον υπολογισμό των EF, απλά αθροίζουμε τον ES και την χρονική διάρκεια εκτέλεσης της κάθε δραστηριότητας. Ενώ για τον υπολογισμό των LF, αθροίζουμε τον LS και την χρονική διάρκεια εκτέλεσης κάθε δραστηριότητας.

Χρησιμοποιώντας τους εξής τύπους το δίκτυο παίρνει την παρακάτω μορφή.

$$EF_i = ES_i + T_i$$

$$LF_i = LS_i + T_i$$



3.6.1.4 Κρίσιμη διαδρομή.

Σύμφωνα με τον ορισμό, οι δραστηριότητες που ανήκουν στην **κρίσιμη διαδρομή**, έχουν $TS = 0$, δηλαδή $LS - ES = 0$ ή $LF - EF = 0$. Έτσι, όπως παρατηρούμε στο τελικό σχήμα, οι δραστηριότητες α, γ, δ, ζ, θ είναι οι κριτικές δραστηριότητες οι οποίες προσδιορίζουν την κρίσιμη διαδρομή.

Ο ελάχιστος χρόνος ολοκλήρωσης του έργου είναι:

$$T_{\text{total}} = T_{\alpha} + T_{\gamma} + T_{\delta} + T_{\zeta} + T_{\theta}, \text{ δηλαδή } T_{\text{total}} = 21 \text{ ημέρες.}$$

Τοποθετούμε τα αποτελέσματα στον παρακάτω πίνακα:

Δραστηριότητα	Χρονος εκτέλεσης	ES	LS	EF	LF	Ανοχή Χρόνου TS
α	2 ημέρες	0	0	2	2	0*
β	3 ημέρες	2	3	5	6	1
γ	4 ημέρες	2	2	6	6	0*
δ	6 ημέρες	6	6	12	12	0*
ε	3 ημέρες	12	15	15	18	3
ζ	8 ημέρες	12	12	20	20	0*
η	2 ημέρες	15	18	17	20	3
θ	1 ημέρα	20	20	21	21	0*

iii. Η ανοχή χρόνου των δραστηριοτήτων που δε βρίσκονται πάνω στην κρίσιμη διαδρομή είναι:

Δραστηριότητα	TS
β	1 ημέρα
ε	3 ημέρες
η	3 ημέρες

3.6.2 Παράδειγμα 2_(Με δυνατότητα σύντμησης χρόνου εκτέλεσης-κόστους δραστηριοτήτων)

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι δραστηριότητες που απαιτούνται για την εκτέλεση ενός έργου, ο απαιτούμενος χρόνος εκτέλεσης κάθε δραστηριότητας και οι σχέσεις προτεραιότητας μεταξύ των δραστηριοτήτων. Επίσης, δίνεται το κόστος που θα επιφέρει η υλοποίηση κάθε δραστηριότητας, καθώς και ο χρόνος κατά τον οποίο είναι δυνατόν να συντμηθεί η υλοποίηση κάποιων από τις δραστηριότητες του έργου και το αντίστοιχο κόστος που θα προκύψει από την σύντμηση του χρόνου εκτέλεσης τους.

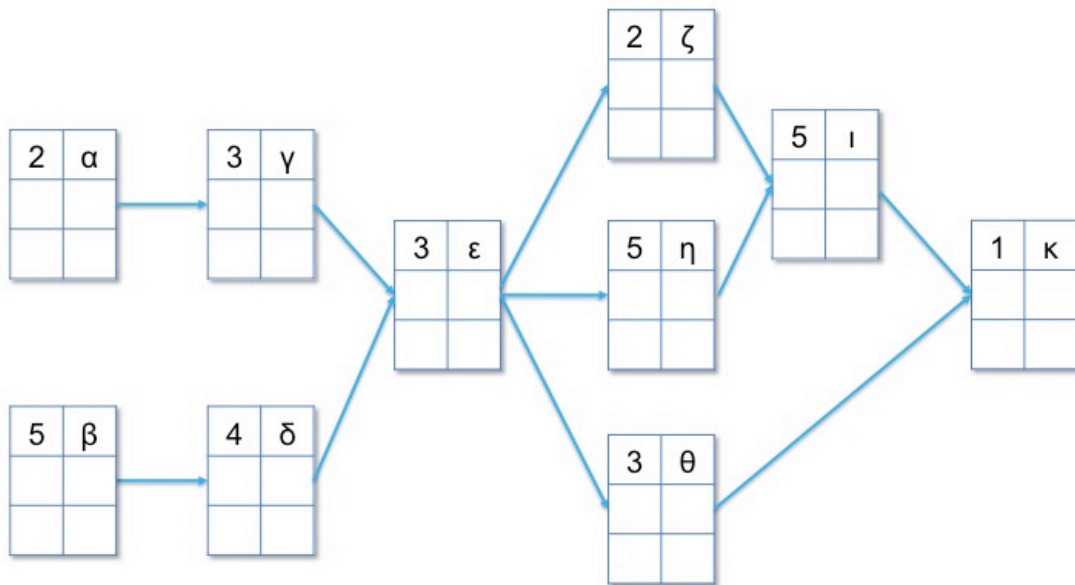
Δραστηριότητα	Προηγούμενες Δραστηριότητες	Χρονος εκτέλεσης	Δυνατότητα σύντμησης χρόνου εκτέλεσης	Κόστος (σε Χρηματικές Μονάδες)	Κόστος σύντμησης δραστηριοτήτων (σε Χ.Μ.)
α	-	2 ημέρες	1 ημέρα	50	150
β	-	5 ημέρες	5 ημέρες	0	0
γ	α	3 ημέρες	1 ημέρα	40	160
δ	β	4 ημέρες	2 ημέρες	150	350
ε	γ,δ	3 ημέρες	1 ημέρα	100	300
ζ	ε	2 ημέρες	2 ημέρες	0	0
η	ε	5 ημέρες	4 ημέρες	80	160
θ	ε	3 ημέρες	1 ημέρα	50	150
ι	ζ,η	5 ημέρες	2 ημέρες	100	280
κ	ι,θ	1 ημέρα	1 ημέρα	0	0

Ζητείται:

- i. Να κατασκευασθεί το διάγραμμα δικτύου.
- ii. Να υπολογιστεί ο ελάχιστος χρόνος ολοκλήρωσης του έργου, να βρεθούν οι δραστηριότητες που βρίσκονται πάνω στη κρίσιμη διαδρομή καθώς και να υπολογιστεί η ανοχή χρόνου των δραστηριοτήτων (TS) που δεν βρίσκονται πάνω στην κρίσιμη διαδρομή.
- iii. Να βρεθεί ο ελάχιστος χρόνος εκτέλεσης του έργου αφού συντηρηθούν οι χρόνοι των δραστηριοτήτων, καθώς επίσης και το κόστος του έργου **πριν** και **μετά** την σύντμηση των δραστηριοτήτων.
- iv. Να βρεθεί το συνολικό κόστος του έργου που θα προκύψει αν **μειώσουμε** τη διάρκεια του έργου κατά **1 ημέρα** και κατά **4 ημέρες**.

Λύση

- i. Λαμβάνοντας υπόψιν τις σχέσεις προτεραιότητας μεταξύ των δραστηριοτήτων, σχεδιάζουμε το διάγραμμα δικτύου και συμπληρώνουμε στους κόμβους το όνομα και τον χρόνο εκτέλεσης της κάθε δραστηριότητας.



- ii. Υπολογίζουμε με τον τρόπο που παραθέσαμε στο πρώτο παράδειγμα, τον νωρίτερο χρόνο έναρξης (ES), τον αργότερο χρόνο έναρξης (LS), τον νωρίτερο χρόνο λήξης (EF), τον αργότερο χρόνο λήξης (LF) και την ανοχή χρόνου (TS) των δραστηριοτήτων. Έτσι, προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας με όλα αυτά τα στοιχεία.

Δραστηριότητα	Χρόνος εκτέλεσης	ES	LS	EF	LF	TS
α	2 ημέρες	0	4	2	6	4
β	5 ημέρες	0	0	5	5	0*
γ	3 ημέρες	2	6	5	9	4
δ	4 ημέρες	5	5	9	9	0*
ε	3 ημέρες	9	9	12	12	0*
ζ	2 ημέρες	12	15	14	17	3
η	5 ημέρες	12	12	17	17	0*
θ	3 ημέρες	12	19	15	22	7
ι	5 ημέρες	17	17	22	22	0*
κ	1 ημέρα	22	22	23	23	0*

Οι δραστηριότητες που ανήκουν στην **κρίσιμη διαδρομή**, έχουν $LS - ES = 0$ ή $LF - EF = 0$. Στην προκειμένη περίπτωση όπως φαίνεται και από τον παραπάνω πίνακα, οι δραστηριότητες, οι οποίες έχουν ανοχή χρόνου μηδέν και ανήκουν στην κρίσιμη διαδρομή, είναι οι β, δ, ε, η, ι, κ και εμφανίζονται στο πίνακα με έναν αστερίσκο (*) που υποδεικνύει ότι ανήκουν στην κρίσιμη διαδρομή.

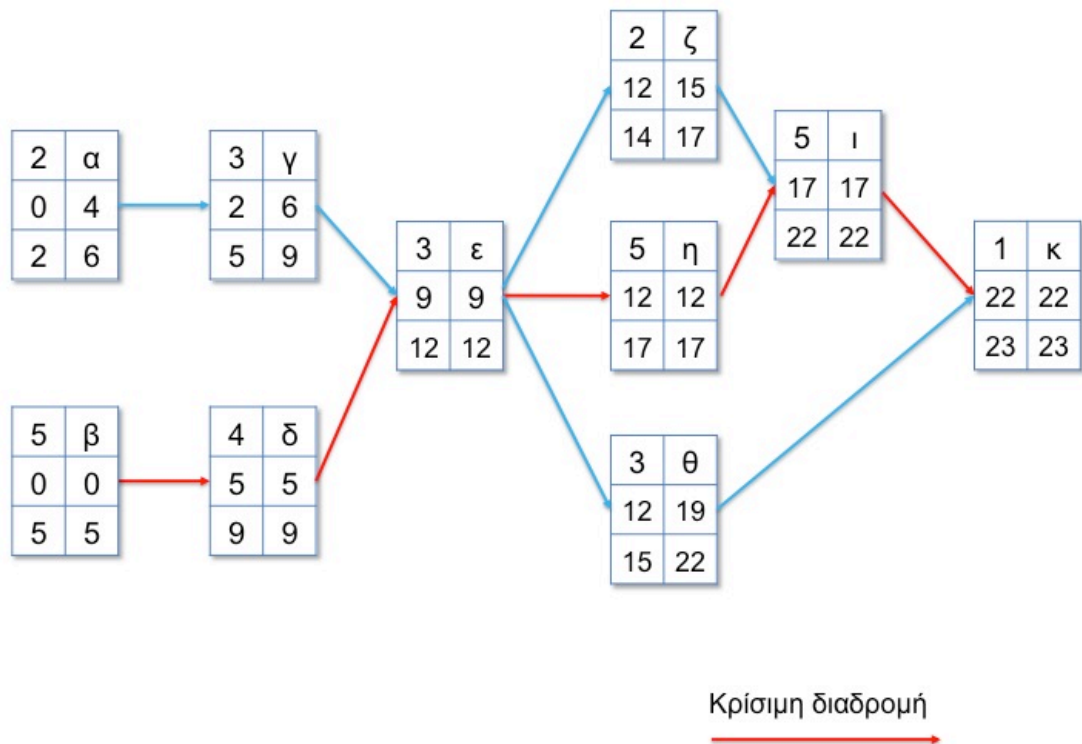
Όπως προκύπτει από τον παραπάνω πίνακα ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση του έργου είναι:

$$T_{\text{total}} = T_{\beta} + T_{\delta} + T_{\varepsilon} + T_{\eta} + T_{\iota} + T_{\kappa}, \text{ δηλαδή } T_{\text{total}} = \mathbf{23 \text{ ημέρες.}}$$

Οι δραστηριότητες που δεν ανήκουν στην κρίσιμη διαδρομή είναι οι α, γ, ζ, θ και η ανοχή χρόνου (TS) καθεμιάς από αυτές είναι:

Δραστηριότητα	TS
α	4 ημέρες
γ	4 ημέρες
ζ	3 ημέρες
θ	7 ημέρες

Έτσι, το διάγραμμα δικτύου διαμορφώνεται ως ακολούθως :



- iii. Από τα στοιχεία κόστους που μας παρέχονται στον πίνακα δεδομένων του προβλήματος, διαπιστώνουμε ότι ο χρόνος ολοκλήρωσης του έργου είναι δυνατόν να συντηρηθεί σε κάποιο βαθμό δαπανώντας περισσότερα χρήματα (πόρους) σε κάποιες από τις δραστηριότητες του έργου. Επαναδιατυπώνουμε τα δεδομένα στον πίνακα που ακολουθεί.

ασηριότητα	Χρόνος εκτέλεσης	Συντημημένος χρόνος εκτέλεσης	Κόστος (σε Χρηματικές Μονάδες)	Κόστος σύντημησης δραστηριοτήτων (σε Χ.Μ.)	Μείωση χρόνου	Επιβάρυνση κόστους (σε Χ.Μ.)
α	2 ημέρες	1 ημέρα	50	150	1	100
β*	5 ημέρες	5 ημέρες	0	0	0*	0*
γ	3 ημέρες	1 ημέρα	40	160	2	120
δ*	4 ημέρες	2 ημέρες	150	350	2*	200*
ε*	3 ημέρες	1 ημέρα	100	300	2*	200*
ζ	2 ημέρες	2 ημέρες	0	0	0	0
η*	5 ημέρες	4 ημέρες	80	160	1*	80*
θ	3 ημέρες	1 ημέρα	50	150	2	100
ι*	5 ημέρες	2 ημέρες	100	280	3*	180*
κ*	1 ημέρα	1 ημέρα	0	0	0*	0*
TOTAL			570 Χ.Μ.		8 ημέρες	660 Χ.Μ.

*: Δραστηριότητες πάνω στη κρίσιμη διαδρομή

Στις τελευταίες δύο στήλες του παραπάνω πίνακα διαπιστώνουμε τη δυνατότητα που έχουμε για μείωση των ημερών ολοκλήρωσης κάθε δραστηριότητας, καθώς επίσης και το σχετικό κόστος με το οποίο θα επιβαρυνθεί το έργο σε κάθε τέτοια μείωση του χρόνου εκτέλεσης.

Όπως διαπιστώσαμε προηγουμένως, ο άριστος χρόνος ολοκλήρωσης του έργου είναι 23 ημέρες. Για να μειώσουμε το χρόνο εκτέλεσης του έργου, πρέπει να μειώσουμε το χρόνο εκτέλεσης των δραστηριοτήτων που βρίσκονται **πάνω** στην κρίσιμη διαδρομή, δηλαδή των δραστηριοτήτων β, δ, ε, η, ι, κ. Αντίθετα, αν μειώσουμε το χρόνο εκτέλεσης των δραστηριοτήτων που βρίσκονται **εκτός** της κρίσιμης διαδρομής, δηλαδή των α, γ, ζ, θ δε θα επιτύχουμε τίποτα άλλο παρά αύξηση του κόστους του έργου.

Έτσι, από τον πίνακα παρατηρούμε ότι από τις δραστηριότητες που ανήκουν στην κρίσιμη διαδρομή, μόνο τις δ, ε, η, ι μπορούμε να συμπτύξουμε το χρόνο εκτέλεσης τους, μειώνοντας τη συνολική διάρκεια του έργου κατά 8 ημέρες. Το κόστος που θα επιφέρει επιπρόσθετα αυτή η χρονική μείωση, ανέρχεται στις 660 χρηματικές μονάδες ($1.230 - 570 = 660$ χρηματικές μονάδες) όπως φαίνεται και αναλυτικότερα στον πίνακα που ακολουθεί.

Δραστηριότητα	Κόστος Έργου (σε Χρηματικές Μονάδες)	Κόστος έργου συντηρημένου κατά 8 ημέρες (σε Χ.Μ.)	Διαφορά
α	50	50	-
β*	0	0	-
γ	40	40	-
δ*	150	350	200
ε*	100	300	200
ζ	0	0	-
η*	80	160	80
θ	50	50	-
ι*	100	280	180
κ*	0	0	-
Συνολικό Κόστος Έργου (Χ.Μ)	570	1.230	660

*: Δραστηριότητες πάνω στη κρίσιμη διαδρομή

Έτσι, το συμπέρασμα που προκύπτει από τα παραπάνω, είναι ότι το συγκεκριμένο έργο μπορεί να εκτελεστεί σε χρονική διάρκεια από 23 ημέρες έως και 15 ημέρες. Στην περίπτωση των 23 ημερών, το κόστος εκτέλεσης του έργου θα είναι 570 χρηματικές μονάδες, ενώ στην περίπτωση σύντημησης του έργου στις 15 ημέρες, το συνολικό κόστος θα ανέλθει στις 1.230 χρηματικές μονάδες, δηλαδή 660 χρηματικές μονάδες **επιπλέον**.

- iv. Για να μειώσουμε τη χρονική διάρκεια του έργου κατά μία ημέρα, αυτό που ουσιαστικά πρέπει να πράξουμε είναι να μειώσουμε κατά μία ημέρα το χρόνο εκτέλεσης μίας ή περισσότερων δραστηριοτήτων με το **μικρότερο** κόστος, οι οποίες φυσικά να ανήκουν στην κρίσιμη διαδρομή. Όπως είδαμε προηγουμένως, οι δραστηριότητες, για τις οποίες είναι δυνατή η μείωση του χρόνου εκτέλεσης τους, είναι οι δ, ε, η, ι. Έτσι, απλά υπολογίζουμε το κόστος ανά ημέρα μείωσης της διάρκειας τους και επιλέγουμε να μειώσουμε το χρόνο της δραστηριότητας με το μικρότερο επιπρόσθετο κόστος.

Δραστηριότητα	Δυνατότητα σύντμησης χρόνου εκτέλεσης	Κόστος σύντμησης	Κόστος/ημέρα σύντμησης
δ	2 ημέρες	200	100
ε	2 ημέρες	200	100
η	1 ημέρα	80	80
ι	3 ημέρες	180	60

Έτσι, αν θέλουμε να μειώσουμε το χρόνο εκτέλεσης του έργου κατά μία ημέρα, δηλαδή από 23 ημέρες τις 22, μειώνουμε τη χρονική διάρκεια της δραστηριότητας (ι) κατά μία ημέρα, διότι έχει το μικρότερο κόστος (60) χρηματικές μονάδες σε σχέση με τις δ, ε, η, οι οποίες έχουν αντίστοιχα κόστος 100, 100, 80 χρηματικές μονάδες. Επομένως, το συνολικό κόστος του έργου θα ανέλθει στις $570 + 60 = 630$ **χρηματικές μονάδες** και ο χρόνος εκτέλεσης του θα μειωθεί στις **22 ημέρες**.

Ακολουθώντας παρόμοια συλλογιστική, αν θέλουμε να μειώσουμε το χρόνο του έργου κατά 4 ημέρες, θα μειώσουμε κατά 3 ημέρες την χρονική διάρκεια της (ι) και κατά 1 ημέρα τη χρονική διάρκεια της δραστηριότητας (η), η οποία έχει και το αμέσως μικρότερο κόστος μετά την δραστηριότητα (ι). Το συνολικό κόστος του έργου θα ανέλθει στις $570 + 3 \cdot 60 + 1 \cdot 80 = 830$ **χρηματικές μονάδες** και ο χρόνος εκτέλεσης του θα μειωθεί στις **19 ημέρες**.

3.7 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα της μεθόδου CPM

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου CPM που συνέβαλαν και στην ταχύτερη καθιέρωση της είναι:

- Δίνει σαφής εupoπτεία των αλληλουχιών μεταξύ των κόμβων και των δραστηριοτήτων ενός έργου.
- Απλές έννοιες και όχι μαθηματικά πολύπλοκες.
- Εξαιρετικά χρήσιμη όταν προγραμματίζουμε και ελέγχουμε μεγάλα έργα.
- Η κρίσιμη διαδρομή και τα χρονικά περιθώρια στοχεύουν στον εντοπισμό των δραστηριοτήτων, οι οποίες πρέπει να παρακολουθούνται στενά.

Στον αντίποδα η CPM υστερεί σε:

- Απεικόνιση μόνο απλών σχέσεων αλληλουχίας («προηγείται - έπεται») μεταξύ των δραστηριοτήτων. Σχέσεις της μορφής « η δραστηριότητα Β έπεται κατά 10 ημέρες της δραστηριότητας Α » μπορούν να απεικονιστούν με χρήση πλασματικών δραστηριοτήτων που κάνουν το γράφημα πολύπλοκο.

- ii. Γενικά απαιτείται πολύς χρόνος για να συντάξουμε το δικτυωτό γράφημα του έργου, ιδιαίτερα σε έργα με πολύπλοκες σχέσεις ακολουθίας.
- iii. Κάθε δραστηριότητα θεωρείται ότι έχει σταθερή χρονική διάρκεια με αποτέλεσμα ενδεχομένη κακή εκτίμηση της διάρκειας αυτής να έχει επιπτώσεις στο σύνολο του έργου.
- iv. Υπερβολική έμφαση στην κρίσιμη διαδρομή, αγνοώντας άλλες «υπο-κρίσιμες» διαδρομές που μπορεί να διαρκούν ελάχιστα λιγότερο από την κρίσιμη και υπάρχει ενδεχόμενο να την ξεπεράσουν σε διάρκεια.

Κεφάλαιο 4: Η μέθοδος των κατά κόμβους προσανατολισμένων δικτυωτών γραφημάτων (Μέθοδος MPM ή Μέθοδος PDM)

4.1 Εισαγωγή

Η μέθοδος των κατά κόμβους προσανατολισμένων δικτυωτών γραφημάτων ή μέθοδος MPM (Metra Potential Method) ή μέθοδος PDM (Precedence Diagram Method) αναπτύχθηκε από τον Γάλλο Ερευνητή Bernard Roy το 1958 και βρίσκει τις ρίζες της από την μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε από τη Γαλλική Επιχείρηση Ηλεκτρισμού στα έργα εξηλεκτισμού καθώς επίσης και από τις ερευνητικές προσπάθειες που έγιναν στο Πανεπιστήμιο του Stanford της Καλιφόρνιας των ΗΠΑ στα τέλη της δεκαετίας του '50.

Η μέθοδος MPM άργησε να καθιερωθεί, παρά το γεγονός ότι πλεονεκτούσε σε σχέση με τη μέθοδο CPM, εξαιτίας της υπολογιστικής της πολυπλοκότητας και εξαιτίας της υιοθέτησης της μεθόδου CPM από κυβερνητικούς οργανισμούς των ΗΠΑ. Στις αρχές της δεκαετίας του '80, η μέθοδος MPM χρησιμοποιούνταν εξίσου με τη μέθοδο CPM, αλλά με τη χρήση των προσωπικών υπολογιστών που σήκωσαν το υπολογιστικό βάρος, η MPM κέρδιζε συνεχώς έδαφος με αποτέλεσμα σήμερα να χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά. Από τα μέσα της δεκαετίας του '90, με την έναρξη των μεγάλων έργων στην Ελλάδα (έργο φυσικού αερίου, Εγνατία Οδός, Αττικό Μετρό, Αεροδρόμιο Σπάτων), η μέθοδος MPM χρησιμοποιήθηκε ευρέως για τον προγραμματισμό και τον έλεγχο τους. Άξιο αναφοράς είναι και η κατασκευή του Κέντρου Πολιτισμού Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος όπου θα φιλοξενεί την εθνική Βιβλιοθήκη της Ελλάδος και την Εθνική Λυρική Σκηνή και υλοποιείται από την εταιρία Faithful + Gould Ltd. , μία πολυεθνική εταιρία με έδρα το Λονδίνο που ειδικεύεται στη διεύθυνση τεχνικών έργων κατά τη διάρκεια της μελέτης και θα παραδοθεί το πρώτο εξάμηνο του 2016.

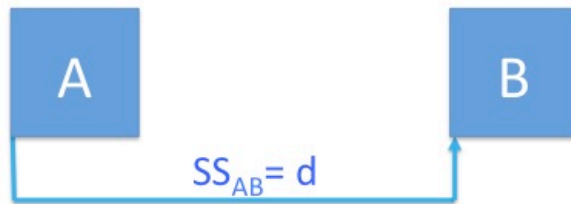
Η μέθοδος MPM αναπαριστά ένα έργο με ένα δικτυωτό γράφημα στο οποίο οι δραστηριότητες απεικονίζονται με κόμβους και οι σχέσεις αλληλουχίας τους με βέλη.

Εν συνεχεία, αρχικά θα παρουσιάσουμε τα είδη των σχέσεων αλληλουχίας που μπορούν να απεικονιστούν, τους κανόνες σχεδιασμού ενός δικτύου MPM, τον τρόπο επίλυσής του και θα ορίσουμε τα χρονικά περιθώρια. Έπειτα, με ένα παράδειγμα θα δούμε την εφαρμογή όλων των ανωτέρω και εν κατακλείδι, θα παρουσιάσουμε τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου αυτής.

4.2 Σχέσεις αλληλουχίας

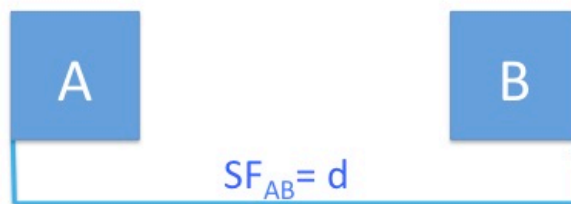
Οι σχέσεις αλληλουχίας μεταξύ δύο δραστηριοτήτων που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε στα δίκτυα MPM είναι:

i. **Σχέση Αρχής – Αρχής SS (Start to Start)**



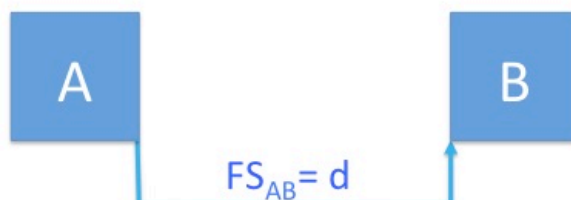
Δύο δραστηριότητες «A» και «B» συνδέονται με σχέση Αρχής – Αρχής (που συμβολίζεται με SS_{AB}) όταν, και μόνο όταν, η δραστηριότητα «B» μπορεί να ξεκινήσει d Χρονικές Μονάδες (δηλαδή ημέρες, μήνες ή χρόνια) μετά την έναρξη της δραστηριότητας «A».

ii. **Σχέση Αρχής – Τέλους SF (Start to Finish)**



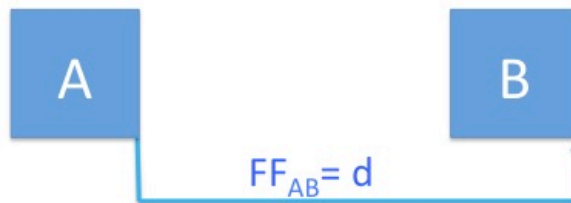
Δύο δραστηριότητες «A» και «B» συνδέονται με σχέση Αρχής – Τέλους (που συμβολίζεται με SF_{AB}) όταν, και μόνο όταν, η δραστηριότητα «B» μπορεί να τελειώσει d Χρονικές Μονάδες (δηλαδή ημέρες, μήνες ή χρόνια) μετά την έναρξη της δραστηριότητας «A».

iii. **Σχέση Τέλους – Αρχής FS (Finish to Start)**



Δύο δραστηριότητες «Α» και «Β» συνδέονται με σχέση Τέλους - Αρχής (που συμβολίζεται με FS_{AB}) όταν, και μόνο όταν, η δραστηριότητα «Β» μπορεί να ξεκινήσει d Χρονικές Μονάδες (δηλαδή ημέρες, μήνες ή χρόνια) μετά την ολοκλήρωση της δραστηριότητας «Α». Αν $d=0$, η σχέση αντιστοιχεί στη σχέση «Προηγείται – Έπεται» του δικτύου CPM.

iv. Σχέση Τέλους – Τέλους FF (Finish to Finish)



Δύο δραστηριότητες «Α» και «Β» συνδέονται με σχέση Τέλους - Τέλους (που συμβολίζεται με FF_{AB}) όταν, και μόνο όταν, η δραστηριότητα «Β» μπορεί να τελειώσει d Χρονικές Μονάδες (δηλαδή ημέρες, μήνες ή χρόνια) μετά την ολοκλήρωση της δραστηριότητας «Α».

v. Σύνθετες σχέσεις μεταξύ δραστηριοτήτων



Δύο δραστηριότητες «Α» και «Β», στη μέθοδο MPM, μπορούν να συνδεόνται μεταξύ τους με περισσότερες από μία σχέσεις αλληλουχίας γεγονός που την κάνει να πλεονεκτεί σε σχέση με τις άλλες μεθόδους. Για παράδειγμα, στο παραπάνω σχήμα οι δραστηριότητες «Α» και «Β» συνδέονται με σχέση Αρχής – Αρχής SS_{AB} (δηλαδή η δραστηριότητα «Β» μπορεί να ξεκινήσει d_1 Χρονικές Μονάδες μετά την έναρξη της δραστηριότητας «Α») και ταυτόχρονα με σχέση Τέλους – Τέλους FF_{AB} (δηλαδή η δραστηριότητα «Β» μπορεί να τελειώσει d_2 Χρονικές Μονάδες μετά την ολοκλήρωση της δραστηριότητας «Α»).

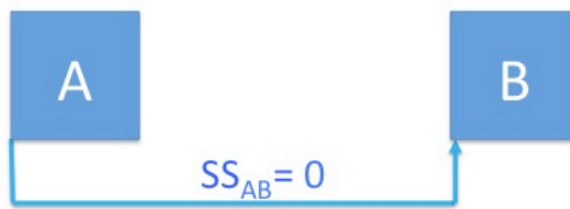
4.3 Κανόνες σχεδιασμού γραφήματος MPM

Όπως είδαμε και στα δίκτυα CPM, έτσι και στα δίκτυα MPM υπάρχουν κάποιοι κανόνες που πρέπει να ικανοποιούνται κατά τον σχεδιασμό κάθε δικτύου. Παρακάτω παρουσιάζονται οι κανόνες αυτοί.

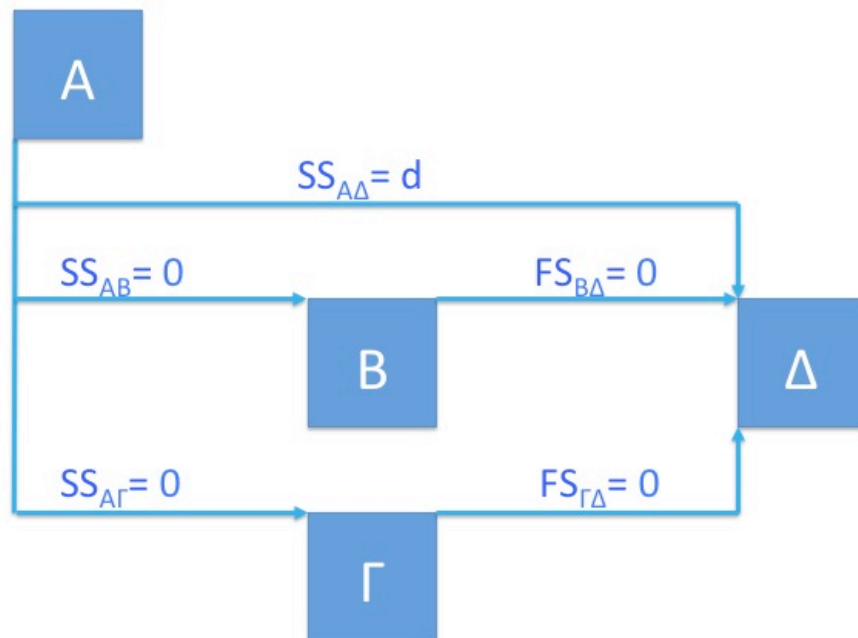
1. Το γράφημα MPM σχεδιάζεται από τα αριστερά προς τα δεξιά όπως και το αντίστοιχο στα δίκτυα CPM.
2. Σε κάθε γράφημα υπάρχει ένα μόνο γεγονός αρχής και ένα μόνο γεγονός τέλους.
3. Οι συμβολισμοί των γεγονότων και των δραστηριοτήτων είναι μοναδικοί σε κάθε γράφημα.
4. Οι δραστηριότητες συμβολίζονται με κόμβους (συνήθως παραλληλόγραμμα, κύκλους ή ελλείψεις) και οι σχέσεις αλληλουχίας με ευθύγραμμα τμήματα σε μορφή βέλους.
5. Το σχήμα ενός κόμβου και το μέγεθος ενός βέλους δεν αντιστοιχούν σε κανένα φυσικό μέγεθος απλώς εξυπηρετούν σχεδιαστικές ανάγκες του γραφήματος.
6. Δεν επιτρέπονται κλειστοί βρόγχοι (loops).
7. Δεν επιτρέπονται ανεξάρτητες δραστηριότητες, δηλαδή δραστηριότητες που δεν έχουν επόμενη δραστηριότητα. Εξαιρούνται οι δραστηριότητες που ταυτίζονται με το τέλος του έργου.
8. Δεν επιτρέπονται ανεξάρτητες σχέσεις αλληλουχίας, δηλαδή σχέσεις αλληλουχίας που δεν συνδέονται και στα δύο άκρα τους με κάποια δραστηριότητα του έργου.
9. Επιτρέπεται η χρήση τεχνητών δραστηριοτήτων σε ένα γράφημα MPM (δραστηριοτήτων αναμονής, Time Lags), ορόσημων (milestones) και πλασματικών δραστηριοτήτων.

Παρατηρούμε ότι οι κανόνες σχεδιασμού ενός γραφήματος MPM είναι αριθμητικά λιγότεροι και απλούστεροι σε σχέση με τους κανόνες σχεδιασμού ενός γραφήματος CPM πράγμα που οφείλεται στις δυνατότητες της μεθόδου για απεικόνιση σύνθετων σχέσεων αλληλουχίας και στη μειωμένη ανάγκη χρήσης πλασματικών δραστηριοτήτων.

10. Όπως και στα δίκτυα CPM έτσι και εδώ θα εξετάσουμε τις πιο συνηθισμένες περιπτώσεις χρήσης πλασματικών δραστηριοτήτων στα δίκτυα MPM:
 - i. Απεικόνιση παράλληλων δραστηριοτήτων: Στη περίπτωση αυτή δεν απαιτείται χρήση πλασματικών δραστηριοτήτων όπως στα δίκτυα CPM αλλά παριστάνεται:

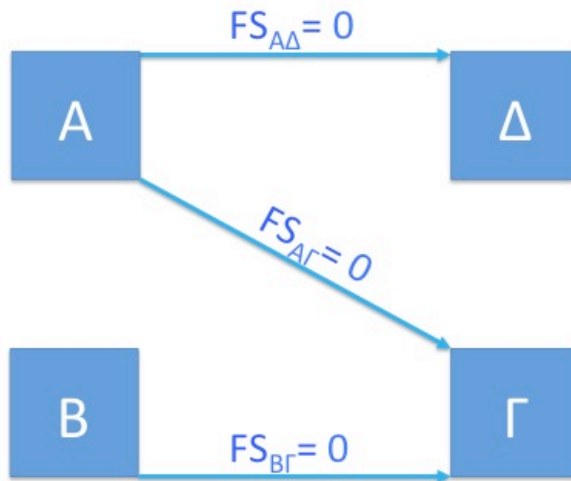


- ii. Στη περίπτωση μιας δραστηριότητας Δ που έπεται μέρους της Α και των Β και Γ, όπου Α,Β,Γ αρχικές δραστηριότητες, δημιουργούμε το παρακάτω δικτυωτό γράφημα MPM χωρίς χρήση πλασματικών δραστηριοτήτων.

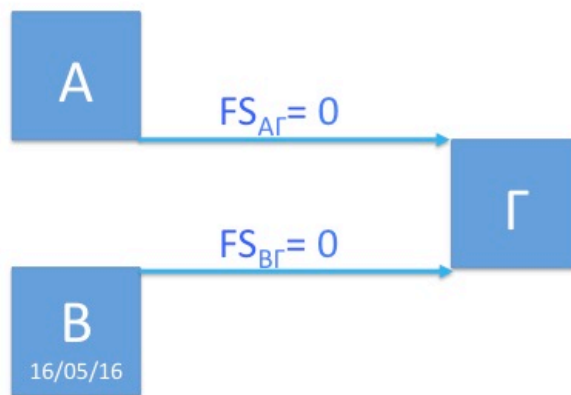


Θεωρούμε την Α αρχική δραστηριότητα. Παρατηρήστε ότι με τις σχέσεις $SS_{AB}=0$ και $SS_{A\Gamma}=0$ εξασφαλίζουμε ότι και οι Β και Γ ξεκινούν μαζί με την Α. Η Δ έπεται μέρους της Α, άρα η αρχή της Δ γίνεται $SS_{A\Delta}=d$ Χρονικές Μονάδες μετά την έναρξη της Α. Επίσης, η Δ έπεται των Β και Γ, όπως ορίζουν οι σχέσεις $FS_{B\Delta}=0$ και $FS_{\Gamma\Delta}=0$. Παρατηρούμε ότι σε αντίθεση με τη μέθοδο CPM, εδώ δεν χρειάζονται πρόσθετοι κόμβοι ή βέλη είτε η Δ είναι τελική δραστηριότητα είτε όχι.

- iii. Στο παρακάτω δικτυωτό γράφημα έχουμε τέσσερις δραστηριότητες Α, Β, Γ και Δ όπου η δραστηριότητα Γ έπεται των Α και Β και η δραστηριότητα Δ έπεται της Α. Καμία από τις δραστηριότητες Α, Β, Γ και Δ δεν είναι αρχική ή τελική όπως φαίνεται στο παρακάτω γράφημα στο οποίο παρατηρούμε πάλι ότι δεν απαιτείται χρήση πλασματικής δραστηριότητας.



- iv. Χρήση ορόσημων: Θεωρούμε τμήμα δικτυωτού γραφήματος στο οποίο καμία από τις δραστηριότητες A, B δεν είναι αρχική. Η δραστηριότητα Γ έπεται των A και B όμως γίνεται χρήση οροσήμου για την δραστηριότητα B να έχει ολοκληρωθεί μέχρι “16/05/16”. Το έργο απεικονίζεται με το παρακάτω γράφημα:

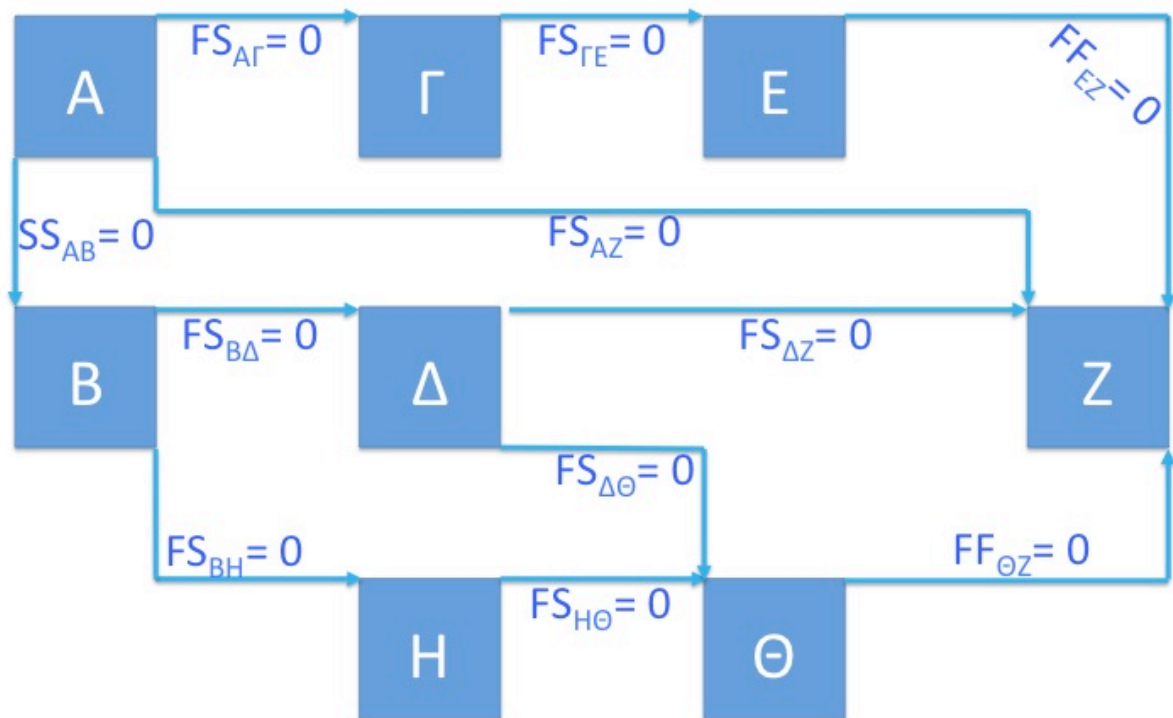


Παρατηρούμε ότι δεν απαιτείται χρήση πλασματικής δραστηριότητας όπως στα δίκτυα CPM.

- v. Ας δούμε το ίδιο παράδειγμα που είδαμε αντίστοιχα και στα δίκτυα CPM για τις σχέσεις αλληλουχίας του παρακάτω πίνακα:

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ	ΕΠΟΜΕΝΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ
A	Γ, Z
B	Δ, Η
Δ	Z, Θ
Η	Θ
Γ	Ε

Κατασκευάζουμε το αντίστοιχο δικτυωτό γράφημα MPM όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα:



Παρατηρούμε ότι δεν απαιτούνται πλασματικές δραστηριότητες. Όλες οι σχέσεις αλληλουχίας του πίνακα απεικονίζονται με σχέσεις τέλους-αρχής (FS_{ij}). Η σχέση $SS_{AB}=0$ εξασφαλίζει ότι η B είναι αρχική δραστηριότητα ενώ οι σχέσεις $FF_{ΘΖ}=0$ και $FF_{ΕΖ}=0$ απεικονίζουν στο δίκτυο μας ότι οι δραστηριότητες Θ και Ε είναι τελικές δραστηριότητες.

4.4 Συμβολισμοί

Στην μέθοδο MPM οι κόμβοι παριστάνουν δραστηριότητες. Η επίλυση του δικτυωτού γραφήματος MPM προσδιορίζει τα χρονικά στοιχεία του έργου. Τα χρονικά στοιχεία του έργου είναι τα ίδια με εκείνα της μεθόδου CPM επομένως δε θα χρειαστεί να τα αναλύσουμε ξανά.

Ο συμβολισμός που χρησιμοποιούμε για τους κόμβους (δραστηριότητες) του γραφήματος είναι ο παρακάτω:

A		T_A
ES_A	EF_A	TS_A
LS_A	LF_A	FTS_A

όπου:

A : Το όνομα της εκάστοτε δραστηριότητας

T_A : Η χρονική διάρκεια της δραστηριότητας «A».

ES_A : Η νωρίτερη έναρξη της δραστηριότητας «A».

EF_A : Η νωρίτερη ολοκλήρωση της δραστηριότητας «A».

LS_A : Η αργότερη έναρξη της δραστηριότητας «A».

LF_A : Η αργότερη ολοκλήρωση της δραστηριότητας «A».

TS_A : Το ολικό χρονικό περιθώριο της δραστηριότητας «A».

FTS_A : Το ελεύθερο χρονικό περιθώριο της δραστηριότητας «A».

Η επίλυση του δικτυωτού γραφήματος γίνεται όπως θα δούμε σε δύο φάσεις, τον ομόρροπο υπολογισμό και τον αντίρροπο υπολογισμό.

4.5 Επίλυση δικτυωτού γραφήματος με τη μεθοδο της MPM

4.5.1 Ομόρροπος υπολογισμός

Στον ομόρροπο υπολογισμό ξεκινάμε να επιλύουμε το δικτυωτό γράφημα από αριστερά προς τα δεξιά, δηλαδή από τη δραστηριότητα (κόμβο) αρχής και κινούμαστε κατά τη φορά των βελών, υπολογίζοντας τις σχέσεις αλληλουχίας, προς τη δραστηριότητα (κόμβο) τέλους του έργου. Αρχικά υπολογίζουμε τους νωρίτερους χρόνους μιας δραστηριότητας «Α» δηλαδή τους ES_A , EF_A με βάση τα παρακάτω κριτήρια:

i. 1° Κριτήριο

Η νωρίτερη έναρξη της δραστηριότητας αρχής αντιστοιχεί στη χρονική στιγμή 0, επομένως

$$ES_{\text{αρχ}} = 0.$$

Η νωρίτερη ολοκλήρωση της δραστηριότητας αρχής αντιστοιχεί στη χρονική στιγμή:

$$EF_{\text{αρχ}} = ES_{\text{αρχ}} + T_{\text{αρχ}} = T_{\text{αρχ}}, \text{ εφόσον } ES_{\text{αρχ}} = 0.$$

ii. 2° Κριτήριο

A' Περίπτωση

Όταν οι δραστηριότητες «Α» και «Β» συνδέονται μεταξύ τους με μία σχέση αλληλουχίας από τις SS_{AB} , SF_{AB} , FS_{AB} και FF_{AB} (συμβολίζουμε στο παρακάτω σχήμα «J»), τότε για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τους νωρίτερους χρόνους της δραστηριότητας «Β» δηλαδή το ES_B χρησιμοποιούμε έναν από τους παρακάτω τύπους ανάλογα με την σχέση αλληλουχίας που μας δίνεται:

$$ES_B = ES_A + SS_{AB}$$

$$ES_B = ES_A + SF_{AB} - T_B$$

$$ES_B = EF_A + FS_{AB}$$

$$ES_B = EF_A + FF_{AB} - T_B$$



Β΄ Περίπτωση

Σε αυτή τη περίπτωση θα μελετήσουμε δύο διαδοχικές δραστηριότητες «Α» και «Β» οι οποίες συνδέονται με περισσότερες από μία σχέσεις αλληλουχίας, για παράδειγμα SS_{AB} και FF_{AB} όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σε αυτή τη περίπτωση υπολογίζουμε το ES_B ξεχωριστά από κάθε σχέση αλληλουχίας και παίρνουμε το μεγαλύτερο όπως θα δούμε παρακάτω:

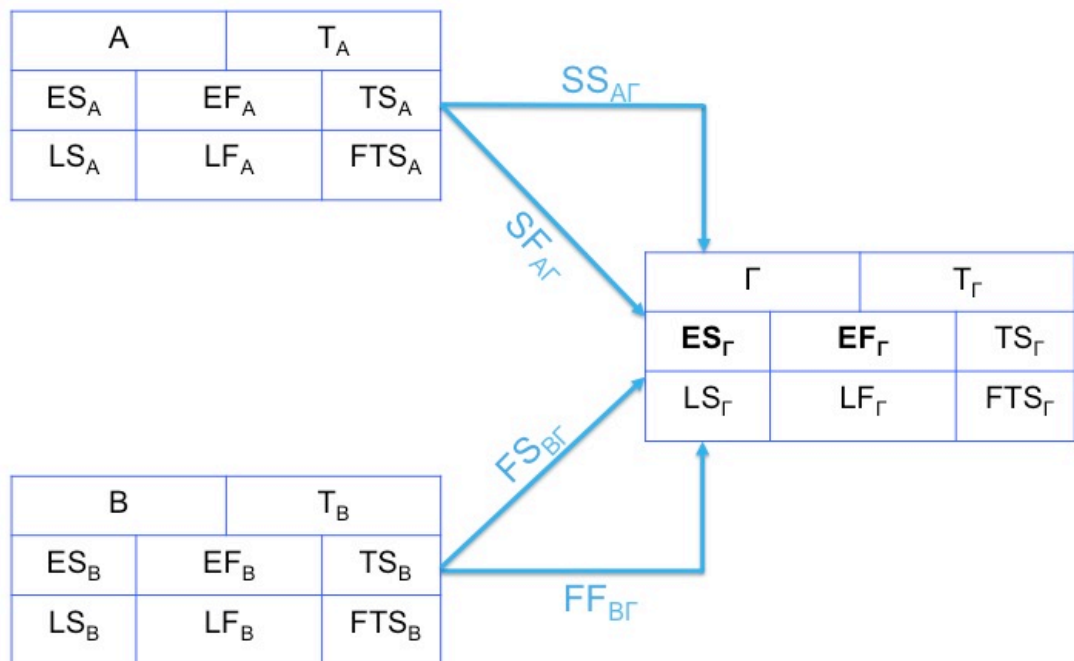
$$ES_{B1} = ES_A + SS_{AB}$$

$$ES_{B2} = EF_A + FF_{AB} - T_B$$

$$ES_B = \max \{ ES_{B1}, ES_{B2} \}$$

Γ΄ Περίπτωση

Όταν μία δραστηριότητα Γ έχει περισσότερες από μία προηγούμενες δραστηριότητες (Α,Β) και επιπλέον συνδέεται με πολλαπλές σχέσεις αλληλουχίας όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Υπολογίζουμε το ES_Γ ξεχωριστά από κάθε σχέση αλληλουχίας και παίρνουμε το μεγαλύτερο όπως θα δούμε παρακάτω:

$$ES_{\Gamma 1} = ES_A + SS_{AG}$$

$$ES_{\Gamma 2} = ES_A + SF_{AG} - T_{\Gamma}$$

$$ES_{\Gamma 3} = EF_B + FF_{B\Gamma} - T_{\Gamma}$$

$$ES_{\Gamma} = \max \{ ES_{\Gamma 1}, ES_{\Gamma 2}, ES_{\Gamma 3} \}$$

Εφόσον υπολογίσαμε το ES_Γ της επόμενης δραστηριότητας Γ, το EF_Γ σε κάθε περίπτωση προκύπτει από το παρακάτω τύπο:

$$EF_{\Gamma} = ES_{\Gamma} + T_{\Gamma}$$

4.5.2 Αντίρροπος υπολογισμός

Με τον ίδιο τρόπο που δουλέψαμε και στην τεχνική CPM, ξεκινώντας από το κόμβο του τέλους δηλαδή την τελική δραστηριότητα κινούμαστε από δεξιά προς τα αριστερά, δηλαδή κατά την αντίθετη φορά των βελών με κατεύθυνση προς τον κόμβο της αρχής, δηλαδή την αρχική δραστηριότητα. Σε κάθε βήμα υπολογίζουμε τους βραδύτερους χρόνους έναρξης και λήξης μιας δραστηριότητας βάση των παρακάτω κριτηρίων:

i. **1^ο Κριτήριο**

Η βραδύτερη ολοκλήρωση της δραστηριότητας του τέλους αντιστοιχεί στη χρονική στιγμή $EF_{TEΛ}$.

$$LF_{TEΛ} = EF_{TEΛ}$$

Παράλληλα, η βραδύτερη έναρξη της τελικής δραστηριότητας υπολογίζεται από το τύπο:

$$LS_{TEΛ} = LF_{TEΛ} - T_{TEΛ} = EF_{TEΛ} - T_{TEΛ}$$

ii. **2^ο Κριτήριο**

A' Περίπτωση

Όταν οι δραστηριότητες «Α» και «Β» συνδέονται μεταξύ τους με μία σχέση αλληλουχίας από τις SS_{AB} , SF_{AB} , FS_{AB} και FF_{AB} (συμβολίζουμε στο παρακάτω σχήμα «J»), τότε για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τους βραδύτερους χρόνους της δραστηριότητας «Α» δηλαδή το LF_A χρησιμοποιούμε έναν από τους παρακάτω τύπους ανάλογα με την σχέση αλληλουχίας που μας δίνεται:

$$LF_A = LS_B - SS_{AB} + T_A$$

$$LF_A = LF_B - SF_{AB} + T_A$$

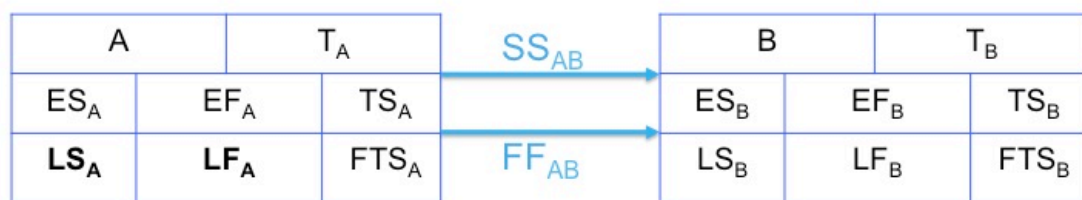
$$LF_A = LS_B - FS_{AB}$$

$$LF_A = LF_B - FF_{AB}$$



B' Περίπτωση

Σε αυτή τη περίπτωση θα μελετήσουμε δύο διαδοχικές δραστηριότητες «Α» και «Β» οι οποίες συνδέονται με περισσότερες από μία σχέσεις αλληλουχίας, για παράδειγμα SS_{AB} και FF_{AB} όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σε αυτή τη περίπτωση υπολογίζουμε το LF_A ξεχωριστά από κάθε σχέση αλληλουχίας και παίρνουμε το μικρότερο όπως θα δούμε παρακάτω:

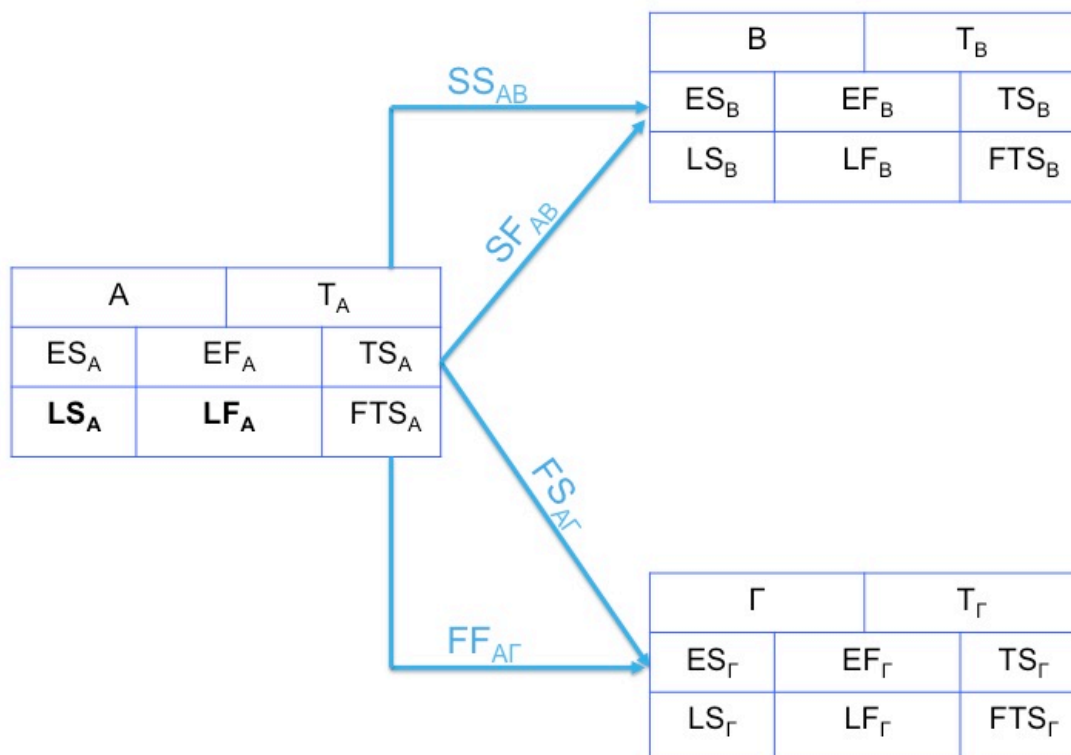
$$LF_{A1} = LS_B - SS_{AB} + T_A$$

$$LF_{A2} = LF_B - FF_{AB}$$

$$LF_A = \min \{ LF_{A1}, LF_{A2} \}$$

Γ' Περίπτωση

Όταν μία δραστηριότητα A έχει περισσότερες από μία επόμενες δραστηριότητες (B, Γ) και επιπλέον συνδέεται με πολλαπλές σχέσεις αλληλουχίας όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Υπολογίζουμε το LF_A ξεχωριστά από κάθε σχέση αλληλουχίας και παίρνουμε το μικρότερο όπως θα δούμε παρακάτω:

$$LF_{A1} = LS_B - SS_{AB} + T_A$$

$$LF_{A2} = LF_B - SF_{AB} + T_A$$

$$LF_{A3} = LS_{\Gamma} - FS_{A\Gamma}$$

$$LF_{A4} = LF_{\Gamma} - FF_{A\Gamma}$$

$$LF_A = \min \{ LF_{A1}, LF_{A2}, LF_{A3}, LF_{A4} \}$$

Εφόσον υπολογίσαμε το LF_A της προηγούμενης δραστηριότητας το LS_A σε κάθε περίπτωση προκύπτει από το παρακάτω τύπο:

$$LS_A = LF_A - T_A$$

4.5.3 Χρονικά περιθώρια TS_A

Τα χρονικά περιθώρια των δραστηριοτήτων χρησιμοποιούνται όπως και στη μέθοδο CPM ως περιθώρια χρονικής ασφάλειας για το έργο και για τον ορθολογικό προγραμματισμό των μέσων παραγωγής.

Στη μέθοδο MPM διακρίνουμε:

- **TS_A (total float) :** Ολικό χρονικό περιθώριο της δραστηριότητας A.

Το χρονικό διάστημα που μπορεί να καθυστερήσει το τέλος μιας δραστηριότητας A χωρίς να προκληθεί καθυστέρηση στη συνολική διάρκεια του έργου. Το ολικό χρονικό περιθώριο προκύπτει από τα χρονικά στοιχεία του κόμβου (δραστηριότητας) με το τύπο:

$$TS_A = LF_A - EF_A = LS_A - ES_A$$

- **FTS_A (free float) :** Ελεύθερο χρονικό περιθώριο της δραστηριότητας A

Είναι το χρονικό διάστημα κατά το οποίο μπορεί να καθυστερήσει η ολοκλήρωση της δραστηριότητας A χωρίς να προκληθεί καθυστέρηση στους καθορισμένους χρόνους έναρξης των επόμενων δραστηριοτήτων.

$$FTS_A = \min_{i \in J} (ES_i - ES_A - SS_{Ai}, EF_i - ES_A - SF_{Ai}, ES_i - EF_A - FS_{Ai}, EF_i - EF_A - FF_{Ai})$$

όπου J το σύνολο των επόμενων δραστηριοτήτων της A.

- **ITS_A (independent float) :** Ανεξάρτητο χρονικό περιθώριο της δραστηριότητας A

Το χρονικό διάστημα που συγκεντρώνεται σε μία δραστηριότητα A όταν όλες οι προηγούμενες δραστηριότητες ολοκληρωθούν το αργότερο δυνατόν και όλες οι επόμενες αρχίσουν το νωρίτερο δυνατόν.

$$ITS_A = \min_{i \in J} (ES_i - LS_A - SS_{Ai}, EF_i - LS_A - SF_{Ai}, ES_i - LF_A - FS_{Ai}, EF_i - LF_A - FF_{Ai})$$

όπου J το σύνολο των επόμενων δραστηριοτήτων της A.

Τα χρονικά περιθώρια έχουν τις παρακάτω ιδιότητες:

- i. Για τα χρονικά περιθώρια κάθε δραστηριότητας ισχύει η διάταξη ότι το ολικό χρονικό περιθώριο της είναι μεγαλύτερο ή ίσο από το ελεύθερο χρονικό περιθώριο της, το οποίο με τη σειρά του είναι πάντα μεγαλύτερο ή ίσο από το ανεξάρτητο χρονικό περιθώριο της. Δηλαδή για τα χρονικά περιθώρια μιας δραστηριότητας ισχύει πάντα η ανίσωση:

$$TS_A \geq FTS_A \geq ITS_A$$

Στη περίπτωση που το ολικό χρονικό περιθώριο μιας δραστηριότητας είναι ίσο με μηδέν τότε υποχρεωτικά και το ελεύθερο χρονικό περιθώριο όπως και το ανεξάρτητο χρονικό περιθώριο της είναι μηδέν.

- ii. Σε μια απλή ακολουθία δραστηριοτήτων όλες οι δραστηριότητες έχουν ίσο ολικό χρονικό περιθώριο. Επίσης, όλες οι δραστηριότητες εκτός από την τελευταία, έχουν μηδενικό ελεύθερο χρονικό περιθώριο. Τέλος, αν μια από τις δραστηριότητες της απλής ακολουθίας καθυστερήσει και καταναλώσει μέρος του ολικού χρονικού περιθωρίου της τότε για όλες τις επόμενες δραστηριότητες μειώνεται κατά το αντίστοιχο ποσό το ολικό χρονικό περιθώριό τους.
- iii. Οι δραστηριότητες των οποίων το συνολικό χρονικό περιθώριο είναι ίσο με μηδέν ονομάζονται **κρίσιμες δραστηριότητες**. **Κρίσιμη διαδρομή** είναι μία ακολουθία κρίσιμων δραστηριοτήτων από τον κόμβο αρχής του έργου ως τον κόμβο τέλους. **Καθυστέρηση** κάποιας από τις κρίσιμες δραστηριότητες οδηγεί σε αντίστοιχη καθυστέρηση το συνολικό έργο. Σε κάθε δικτυωτό γράφημα υπάρχει τουλάχιστον μία (μπορεί να υπάρχουν και πολλές) κρίσιμες διαδρομές. Κάθε κρίσιμη διαδρομή τονίζεται σχεδιαστικά ώστε να είναι εμφανής.

4.6 Παράδειγμα της μεθόδου MPM

Εφαρμόζουμε την μέθοδο MPM σε ένα παράδειγμα με δραστηριότητες με διαφορετικές διάρκειες και διαφοροποίηση στις σχέσεις αλληλουχίας μεταξύ τους. Τα δεδομένα του προβλήματος φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Δραστηριότητες	Σχέσεις Αλληλουχίας	Διάρκεια
A	-	3
B	$SS_{AB} = 3$	3
Γ	$FS_{A\Gamma} = 0$	4
Δ	$FS_{A\Delta} = 1$	5
E	$FS_{BE} = 2$	2
Z	$SS_{\Gamma Z} = 7$	4
H	$FF_{\Delta H} = 5$	2
Θ	$FF_{Z\Theta} = 4$ $FS_{\Delta\Theta} = 5$	3
I	$SF_{EI} = 9$ $FS_{HI} = 3$	2
K	$FS_{HK} = 4$ $FF_{IK} = 2$ $FS_{\Theta K} = 0$	2

Ζητούνται:

- Ο σχεδιασμός του δικτύου.
- Η επίλυση του δικτυωτού γραφήματος με τη μέθοδο MPM.
- Ο πίνακας χρονικών στοιχείων του έργου.
- Η εύρεση της κρίσιμης διαδρομής και η ολική διάρκεια του έργου.
- Το διάγραμμα Gantt με βάση τους ενωρίτερους χρόνους έναρξης των δραστηριοτήτων.

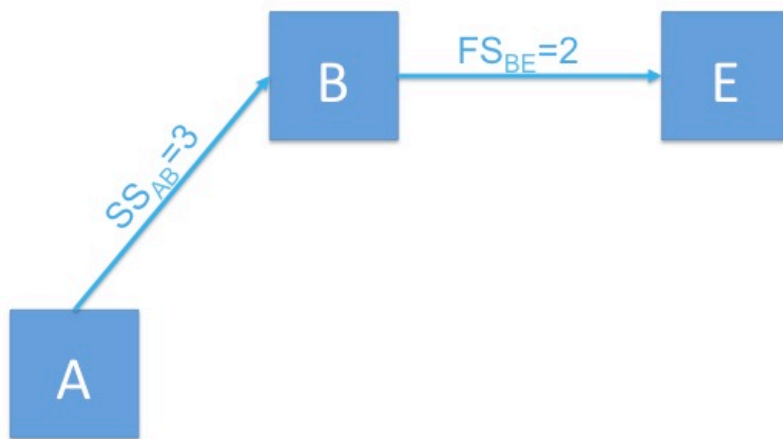
Επίλυση

4.6.1 Σχεδιασμός του δικτύου

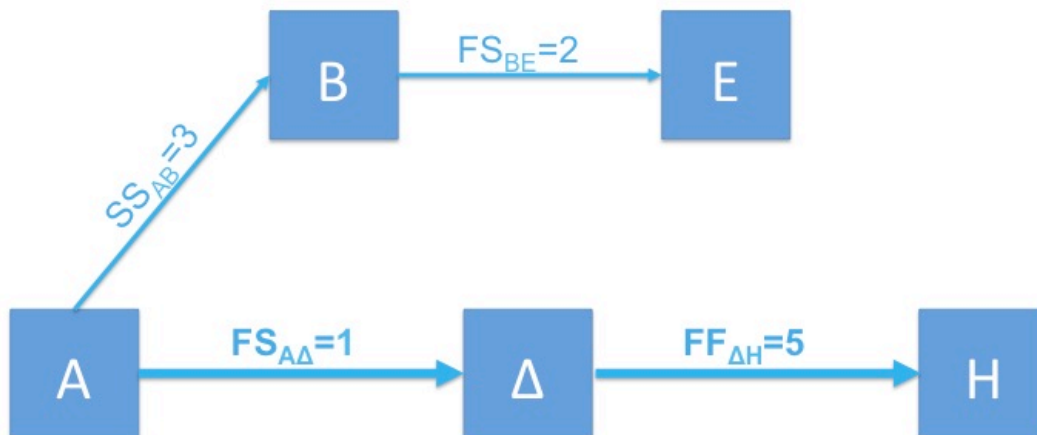
Όπως γνωρίζουμε το δίκτυο ξεκινάμε να το σχεδιάζουμε από αριστερά προς τα δεξιά. Εντοπίζουμε την αρχική δραστηριότητα ή τις αρχικές δραστηριότητες. Από το πίνακα μας παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει δραστηριότητα που να έχει ως επόμενη την Α, επομένως η Α είναι η μοναδική αρχική δραστηριότητα.



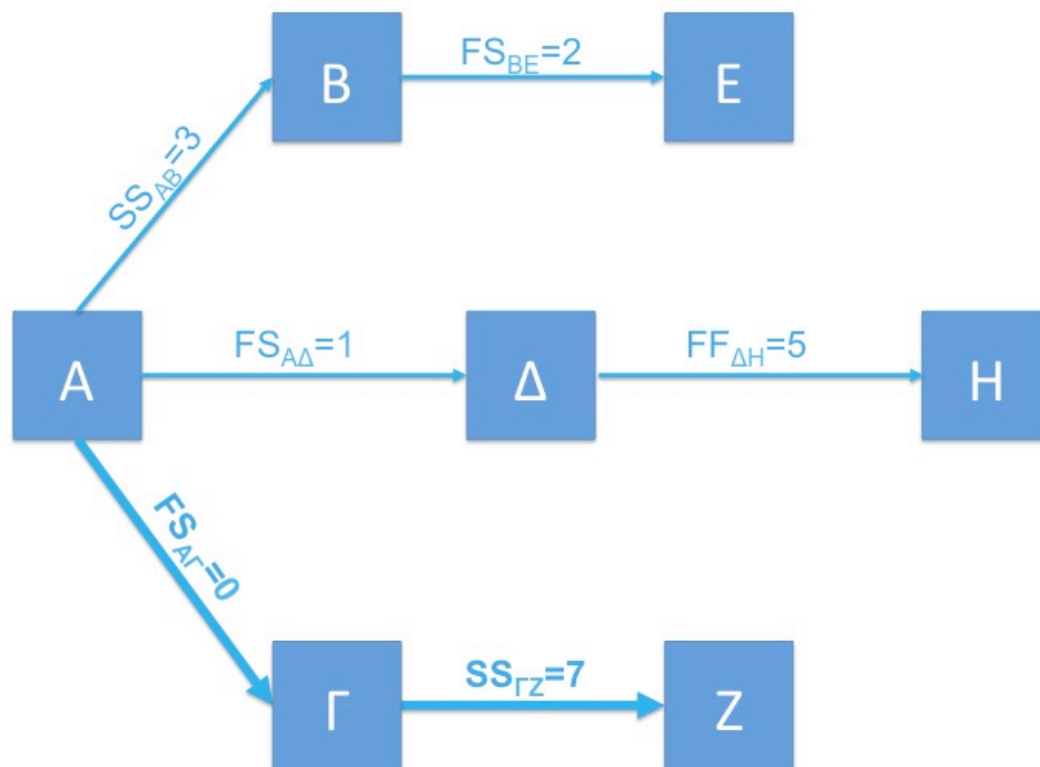
Η δραστηριότητα Β έπεται της Α, ενώ η δραστηριότητα Ε έπεται της Β.



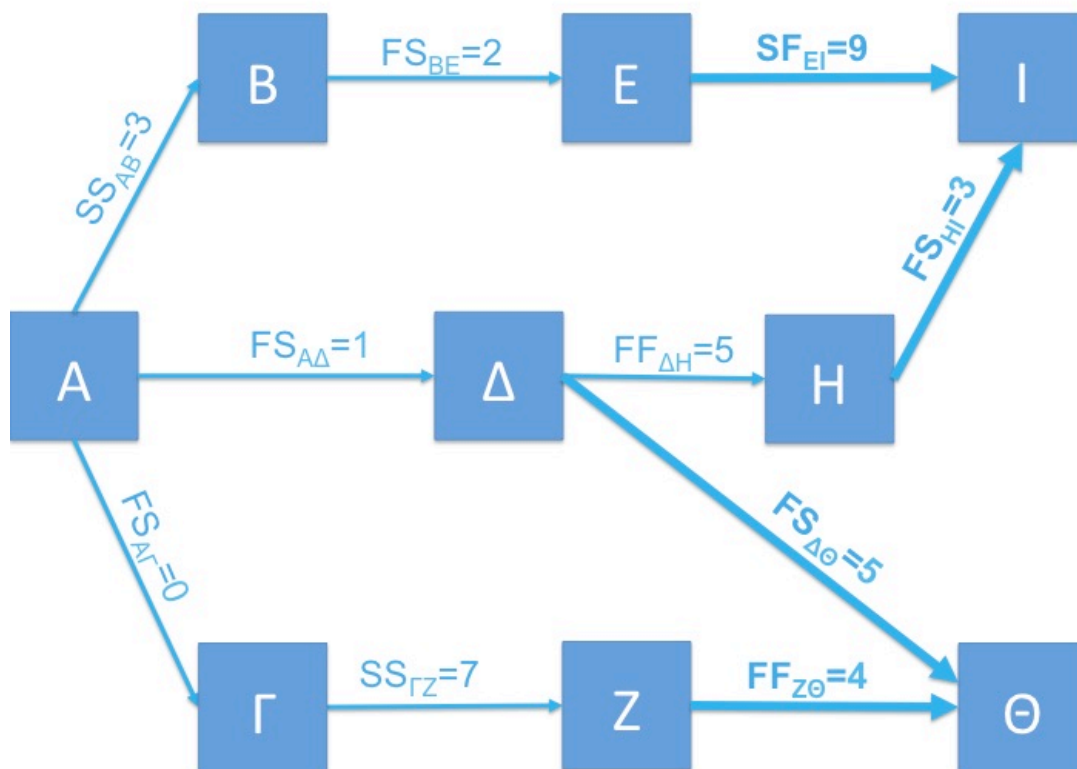
Η δραστηριότητα Δ έπεται της Α και η δραστηριότητα Η έπεται της Δ.



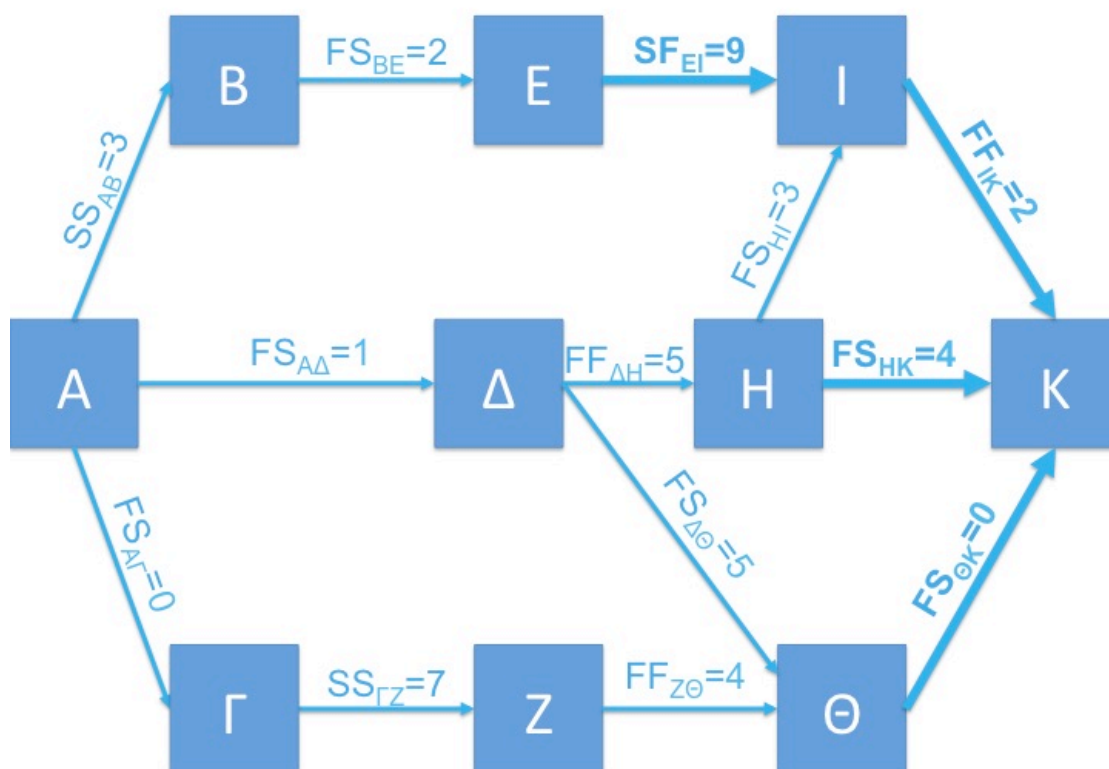
Η δραστηριότητα Γ έπεται της Α και η δραστηριότητα Ζ έπεται της Γ.



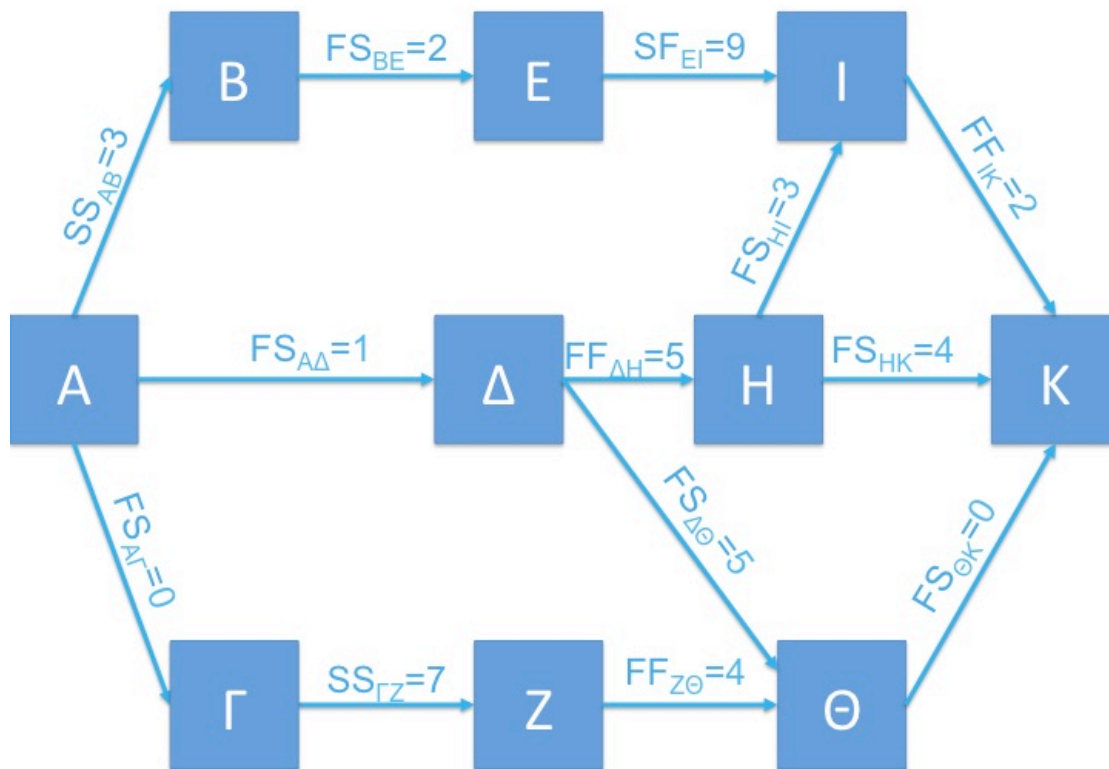
Η δραστηριότητα της Ι έπεται των Ε και Η καθώς επίσης, και η δραστηριότητα Θ έπεται των δραστηριοτήτων Δ και Ζ.



Τέλος, η δραστηριότητα K έπεται των δραστηριοτήτων Θ, Η και Ι .

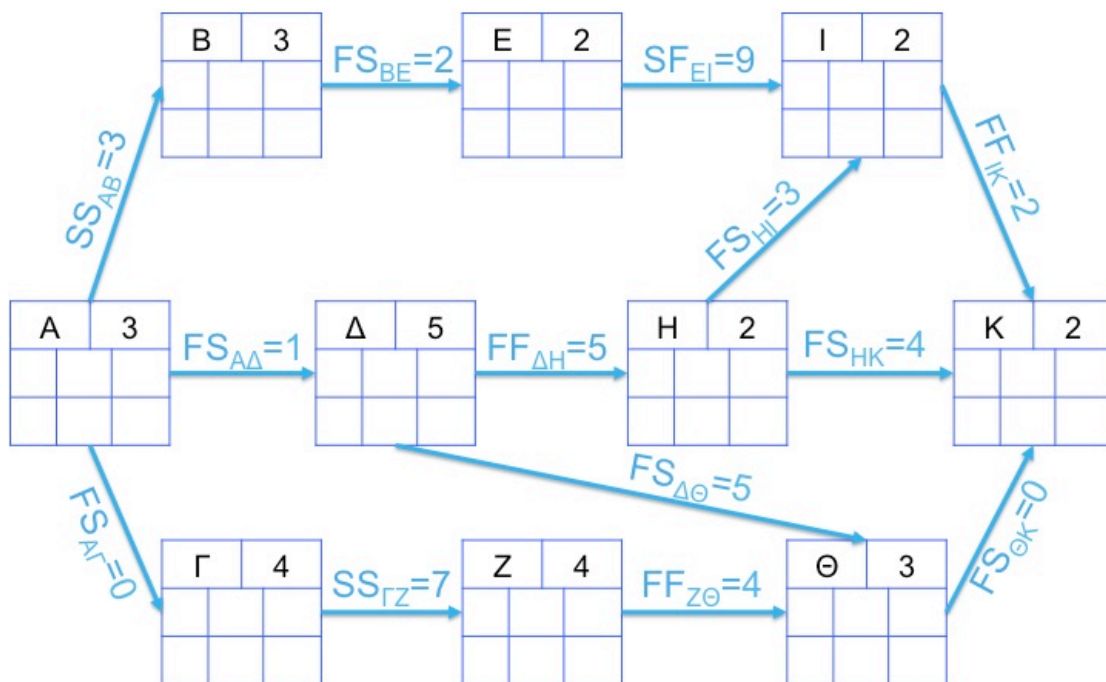


Η δραστηριότητα K είναι η τελική δραστηριότητα του έργου επομένως η τελική μορφή του δικτύου μας θα είναι η επόμενη:



4.6.2 Επίλυση δικτυωτού γραφήματος με τη μέθοδο MPM

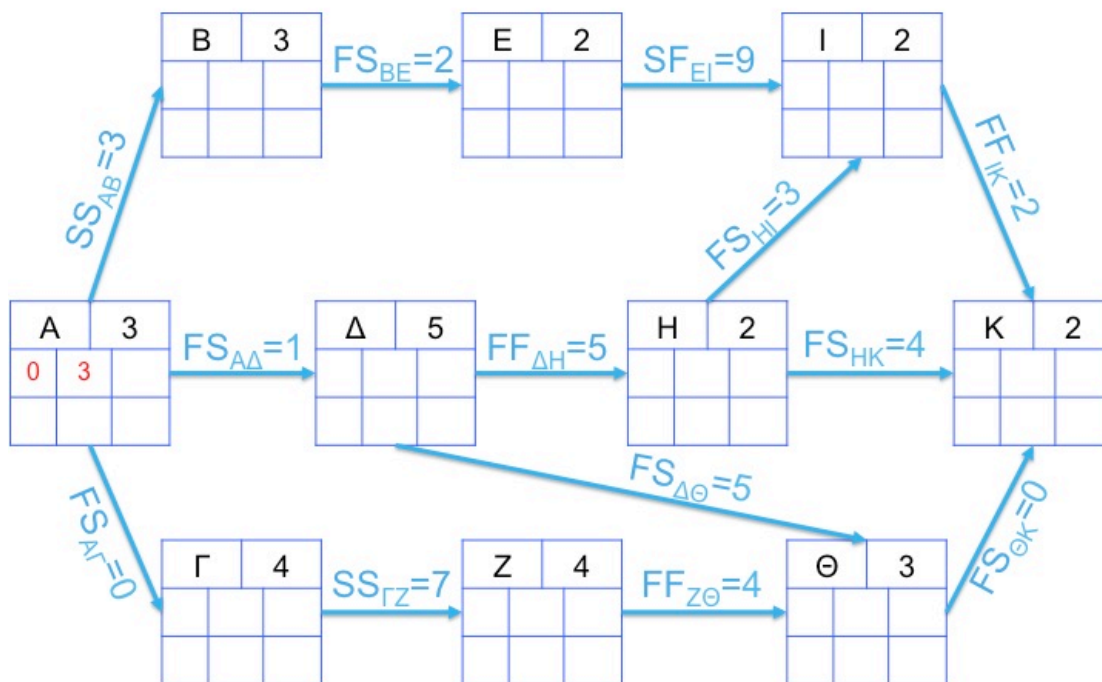
Σύμφωνα με τους συμβολισμούς που έχουμε ορίσει το δικτυωτό γράφημα παριστάνεται όπως φαίνεται παρακάτω:



Η επίλυση του δικτυωτού γραφήματος θα γίνει και εδώ σε δύο φάσεις υπολογισμών. Τον ομόρροπο υπολογισμό από αριστερά προς τα δεξιά και τον αντίρροπο υπολογισμό από δεξιά προς τα αριστερά αντίστοιχα.

4.6.3 Ομόρροπος Υπολογισμός

Στη πρώτη φάση που είναι ο ομόρροπος υπολογισμός ξεκινάμε με τους νωρίτερους χρόνους της δραστηριότητας της αρχής Α.



Συνεχίζω με τους ομόρροπους υπολογισμούς για τις δραστηριότητες B, Γ, Δ, E, Z και H οι οποίες έχουν μόνο μία προηγούμενη δραστηριότητα και υπολογίζω τους νωρίτερους χρόνους έναρξης αυτών.

$$ES_B = ES_A + SS_{AB} = 0 + 3 = 3$$

$$ES_\Gamma = EF_A + FS_{A\Gamma} = 3 + 0 = 3$$

$$ES_\Delta = EF_A + FS_{A\Delta} = 3 + 1 = 4$$

$$ES_E = EF_B + FS_{BE} = 6 + 2 = 8$$

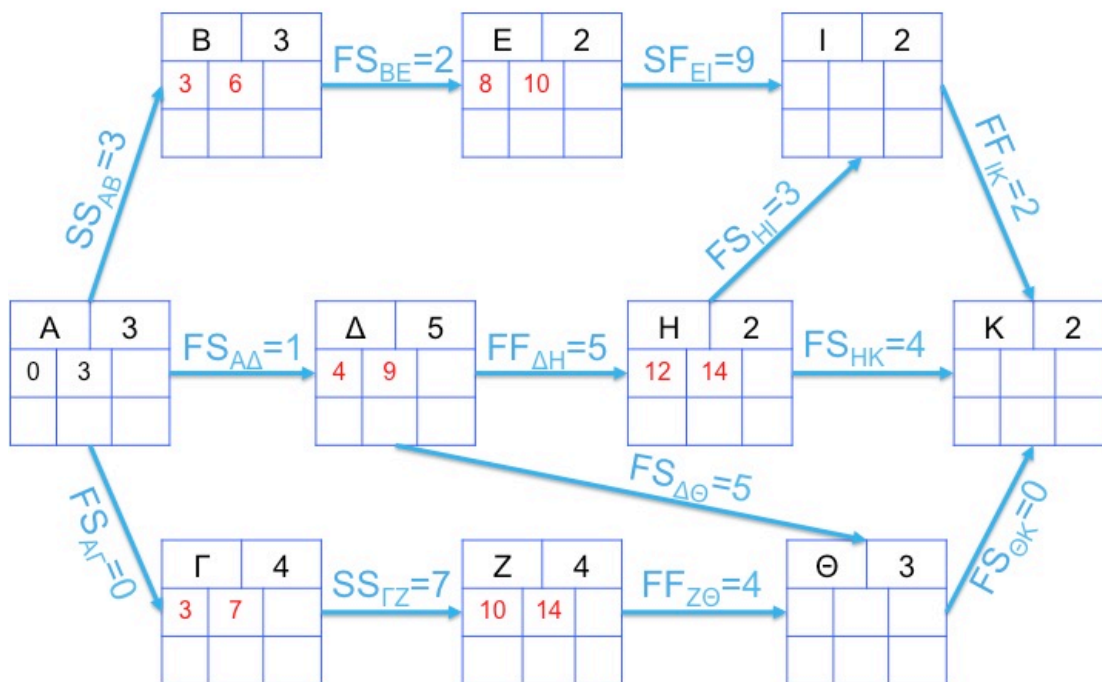
$$ES_Z = ES_\Gamma + SS_{\Gamma Z} = 3 + 7 = 10$$

$$ES_H = EF_\Delta + FF_{\Delta H} - T_H = 9 + 5 - 2 = 12$$

Στη συνέχεια για κάθε δραστηριότητα υπολογίζουμε τους νωρίτερους χρόνους ολοκλήρωσης της κάθε δραστηριότητας σύμφωνα με το τύπο:

$$EF_i = ES_i + T_i, \text{ όπου } i = B, \Gamma, \Delta, E, Z, H$$

Το παρακάτω γράφημα μας δείχνει τα μέχρι τώρα αποτελέσματα μας.



Για τις δραστηριότητες Θ και Ι επειδή έχουν παραπάνω από μία προηγούμενες δραστηριότητες τις υπολογίζουμε διαφορετικά όπως βλέπουμε παρακάτω:

$$ES_{\Theta} = \max \{ EF_{\Delta} + FS_{\Delta\Theta}, EF_Z + FF_{Z\Theta} - T_{\Theta} \} = \max \{ 9 + 5, 14 + 4 - 3 \} = 15$$

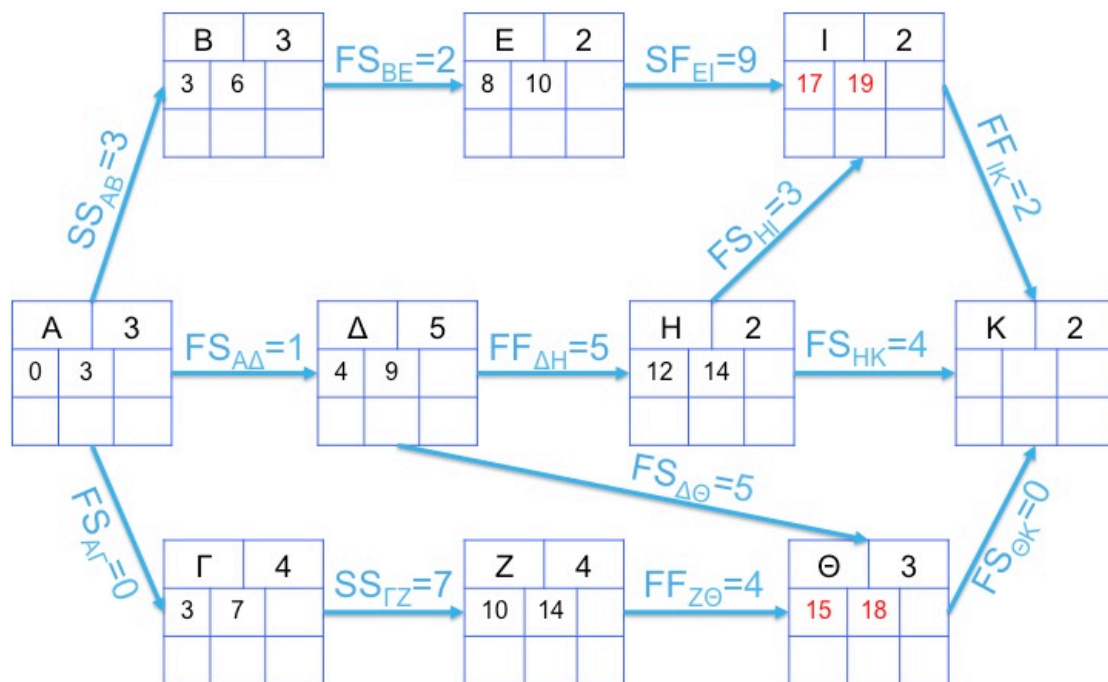
$$ES_I = \max \{ ES_E + SF_{EI} - T_I, EF_H + FS_{HI} \} = \max \{ 8 + 9 - 2, 14 + 3 \} = 17$$

Και για τους νωρίτερους χρόνους ολοκλήρωσης των δραστηριοτήτων Θ, Ι έχω αντίστοιχα:

$$EF_{\Theta} = ES_{\Theta} + T_{\Theta} = 15 + 3 = 18$$

$$EF_I = ES_I + T_I = 17 + 2 = 19$$

Επομένως έχω το ακόλουθο γραφημα:

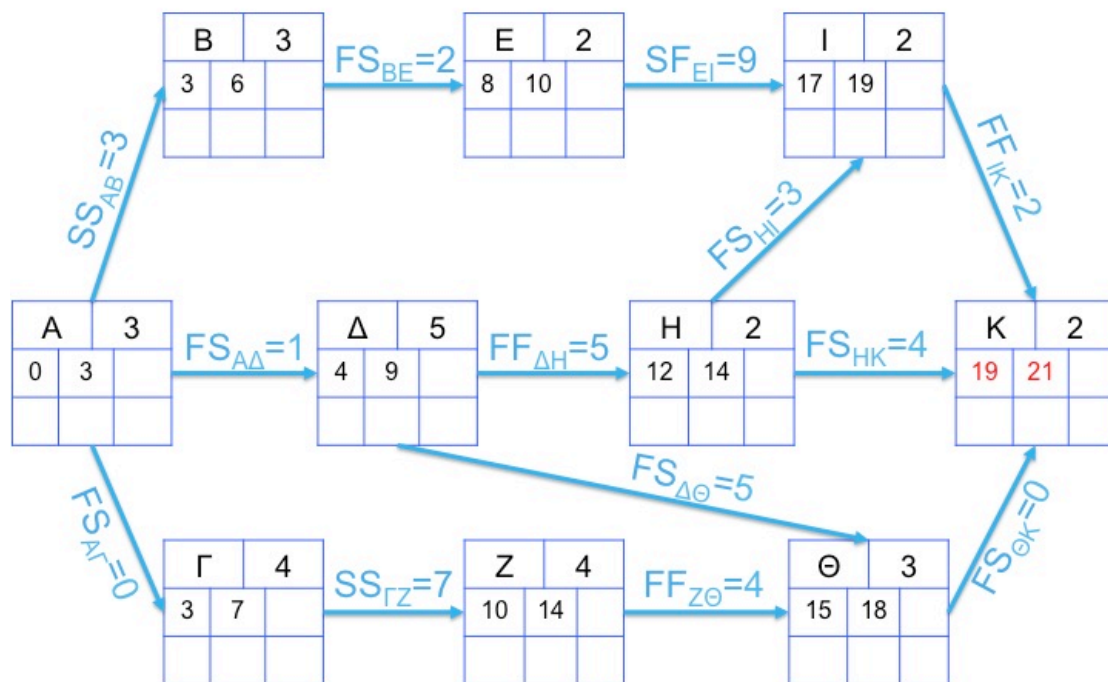


Για την τελική δραστηριότητα K έχουμε ότι είναι επόμενη τριών δραστηριοτήτων των I, Θ, H επομένως:

$$ES_K = \max \{ EF_H + FS_{HK}, EF_{\Theta} + FS_{\Theta K}, EF_I + FF_{IK} - T_K \} = \max \{ 19, 18, 18 \} = 19$$

$$EF_K = ES_K + T_K = 19 + 2 = 21$$

Και φτάνοντας στο τέλος του ομόρροπου υπολογισμού έχουμε το παρακάτω γράφημα:

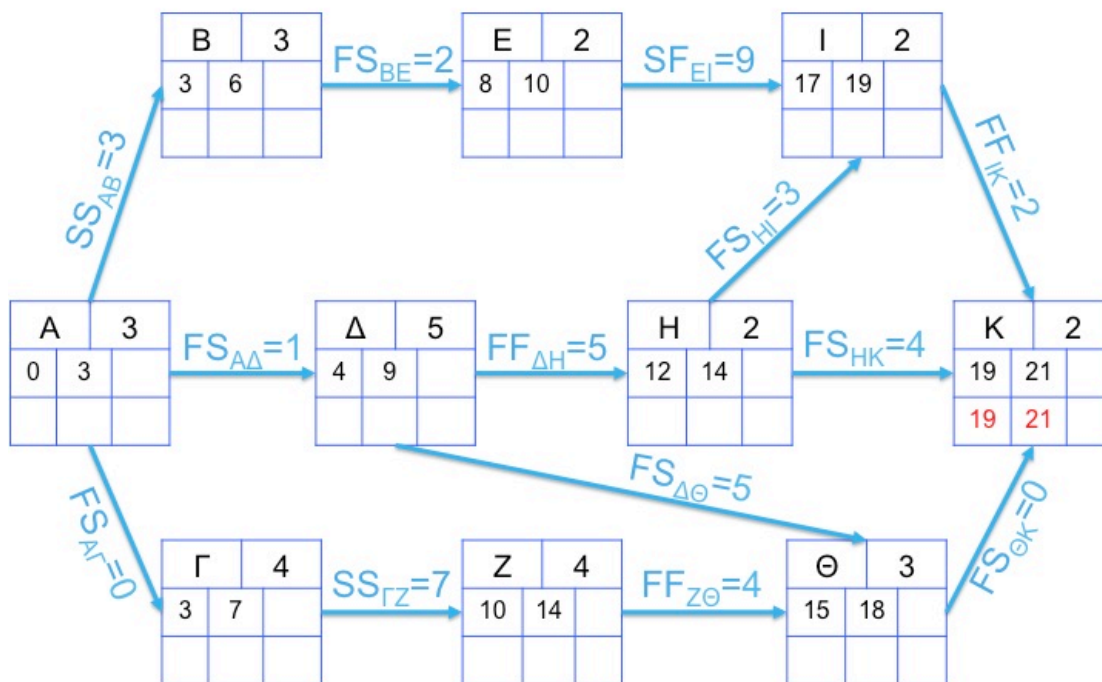


4.6.4 Αντίρροπος Υπολογισμός

Στον αντίρροπο υπολογισμό ξεκινάμε από το κόμβο τέλους και υπολογίζουμε τους αργότερους χρόνους της τελικής δραστηριότητας.

$$LF_K = EF_K = 21$$

$$LS_K = LF_K - T_K = 21 - 2 = 19$$



Εκτελώ τους αντίρροπους υπολογισμούς για τις δραστηριότητες Ι και Θ που έχουν από μία επόμενη δραστηριότητα και για τη δραστηριότητα Η που έχει δύο επόμενες δραστηριότητες.

$$LF_I = LF_K - FF_{IK} = 21 - 2 = 19$$

$$LF_{\Theta} = LS_K - FS_{\Theta K} = 19 - 0 = 19$$

$$LF_H = \min \{ LS_I - FS_{HI}, LS_K - FS_{HK} \} = \min \{ 17 - 3, 19 - 4 \} = 14$$

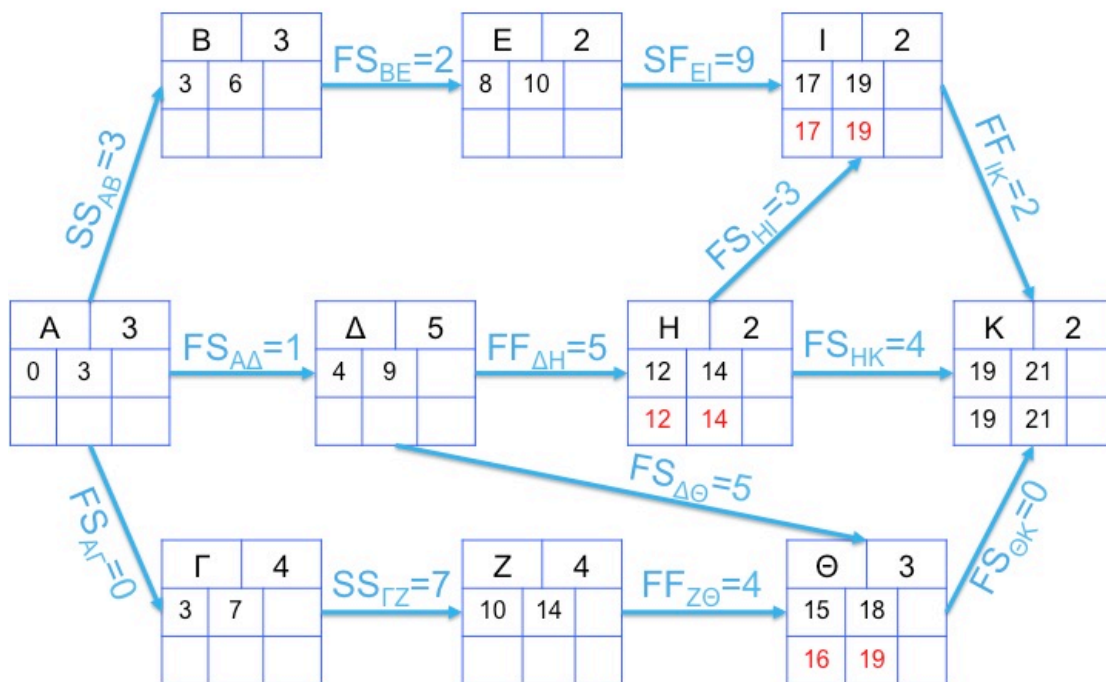
Στη συνέχεια υπολογίζουμε για τις δραστηριότητες Ι, Θ και Η τους αργότερους χρόνους έναρξης αυτών:

$$LS_I = LF_I - T_I = 19 - 2 = 17$$

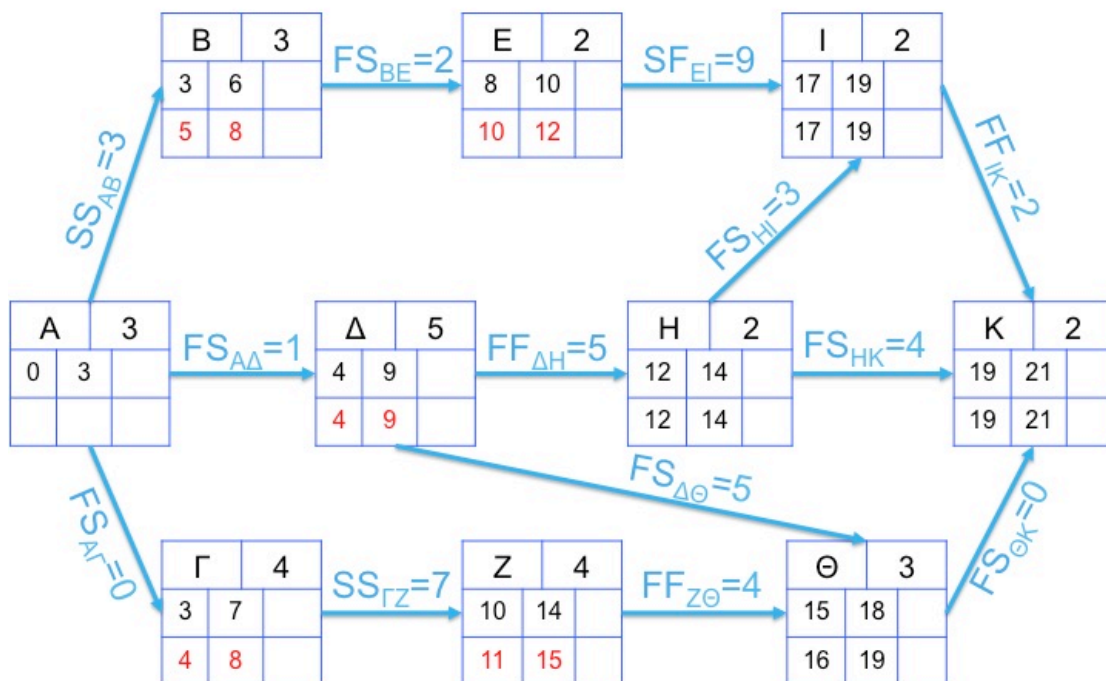
$$LS_{\Theta} = LF_{\Theta} - T_{\Theta} = 19 - 3 = 16$$

$$LS_H = LF_H - T_H = 14 - 2 = 12$$

Και με αυτό το τρόπο παίρνουμε το παρακάτω γράφημα:



Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζουμε τους αργότερους χρόνους έναρξης και αργότερους χρόνους ολοκλήρωσης των δραστηριοτήτων Β, Γ, Δ, Ε και Ζ και έχουμε:

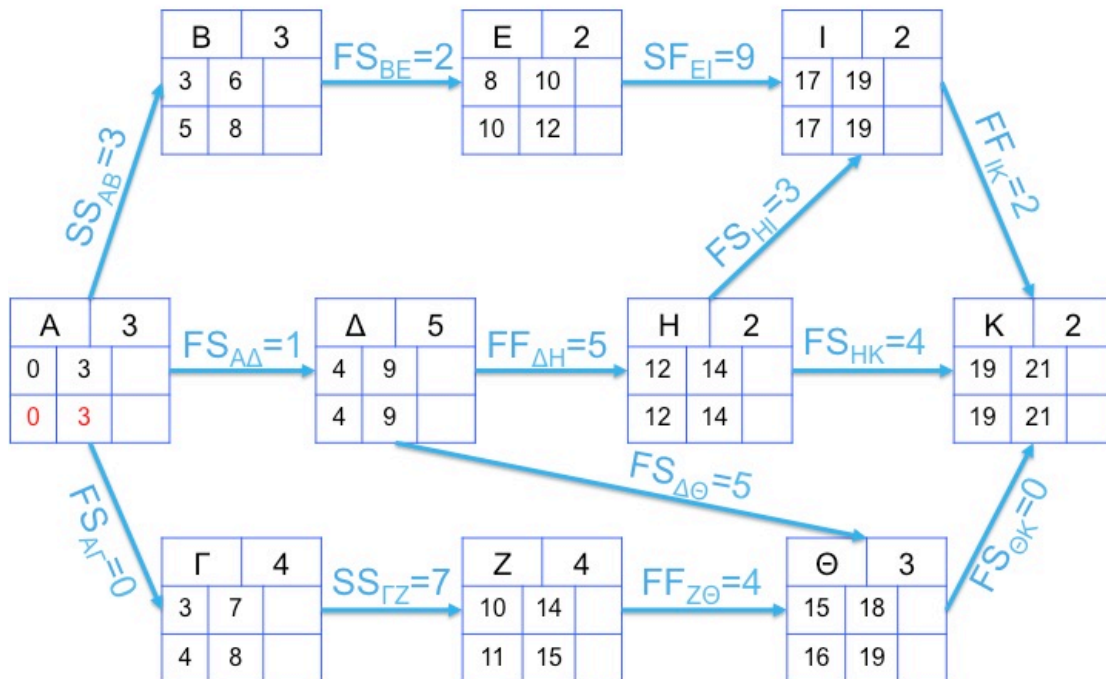


Τέλος, υπολογίζουμε τους αργότερους χρόνους έναρξης και ολοκλήρωσης της αρχικής δραστηριότητας Α σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$LF_A = \min \{ LS_B - SS_{AB} + T_A, LS_\Delta - FS_{A\Delta}, LS_\Gamma - FS_{A\Gamma} \} = \min \{ 5, 3, 4 \} = 3$$

$$LS_A = LF_A - T_A = 3 - 3 = 0$$

Έτσι ολοκληρώνεται ο αντίρροπος υπολογισμός και έχω το παρακάτω γράφημα για τους αργότερους χρόνους έναρξης και ολοκλήρωσης όλων των δραστηριοτήτων.

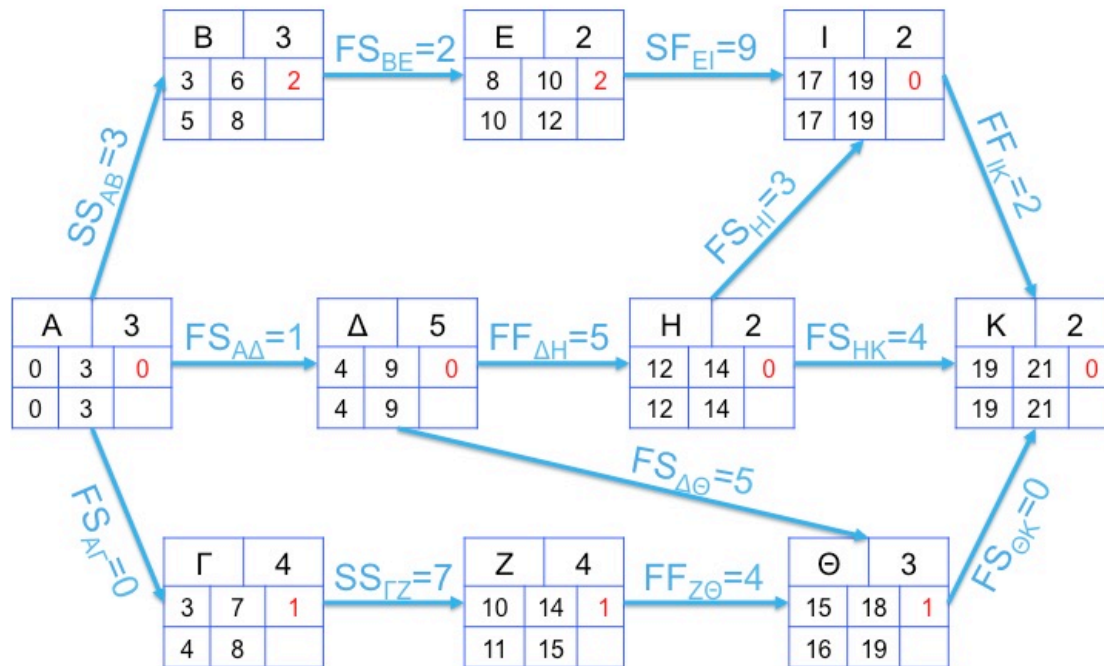


4.6.5 Υπολογισμός των ολικών χρονικών περιθωρίων TS

Για κάθε δραστηριότητα ξεχωριστά υπολογίζουμε το ολικό χρονικό περιθώριο της σύμφωνα με τον τύπο:

$$TS_i = LF_i + EF_i, \text{ όπου } i = B, \Gamma, \Delta, E, Z, H$$

Έτσι έχω:



Για παράδειγμα η δραστηριότητα Γ έχει ολικό περιθώριο 1 χρονική μονάδα. Αυτό σημαίνει ότι είναι δυνατό να καθυστερήσει είτε λόγω καθυστερημένης έναρξης είτε λόγω καθυστέρησης στην εκτέλεση της, 1 μονάδα χρόνου χωρίς αυτή η καθυστέρηση να έχει επίδραση στο συνολικό χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση του έργου.

4.6.6 Υπολογισμός των ελεύθερων χρονικών περιθωρίων FTS

Στον ορισμό των χρονικών περιθωρίων είχαμε κάνει λόγο για την ανίσωση

$$TS_A \geq FTS_A \geq ITS_A$$

Λόγω αυτής, η οποία ισχύει για κάθε δραστηριότητα, αν το ολικό χρονικό περιθώριο μιας δραστηριότητας είναι μηδέν (όπως στις δραστηριότητες Α, Δ, Η, Ι και Κ), θα είναι αναγκαστικά μηδέν και το ελεύθερο χρονικό περιθώριο της ίδιας δραστηριότητας. Επομένως,

$$FTS_i = 0, \text{ όπου } i = A, \Delta, H, I, K.$$

Για τις υπόλοιπες δραστηριότητες χρησιμοποιούμε τον γενικό τύπο:

$$FTS_A = \min_{i \in J} (ES_i - ES_A - SS_{Ai}, EF_i - ES_A - SF_{Ai}, ES_i - EF_A - FS_{Ai}, EF_i - EF_A - FF_{Ai})$$

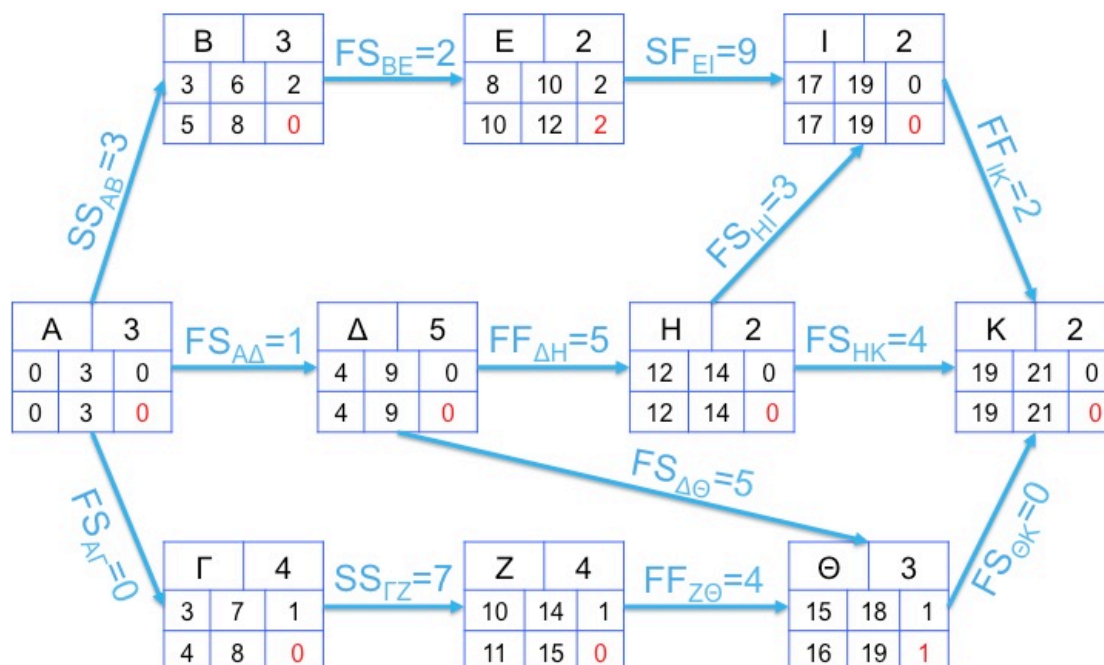
Για παράδειγμα για την δραστηριότητα Β όπου έχει $TS_B = 2$ έχω:

$$FTS_B = ES_E - EF_B - FS_{BE} = 8 - 6 - 2 = 0$$

Ενώ για τη δραστηριότητα Ε έχω:

$$FTS_E = EF_I - ES_E - SF_{EI} = 19 - 8 - 9 = 2$$

Τελικά έχουμε το παρακάτω επιλυμένο δικτυωτό γράφημα της μεθόδου MPM:



4.6.7 Πίνακας χρονικών στοιχείων του έργου

Βάσει της επίλυσης του δικτυωτού γραφήματος με τη μέθοδο MPM κατασκευάζουμε τον πίνακα που ακολουθεί με τους χρόνους που αντιστοιχούν σε κάθε δραστηριότητα.

Δραστηριότητες	Διάρκεια	ES	EF	LS	LF	TS	FTS
A	3	0	3	0	3	0	0
B	3	3	6	5	8	2	0
Γ	4	3	7	4	8	1	0
Δ	5	4	9	4	9	0	0
E	2	8	10	10	12	2	2
Z	4	10	14	11	15	1	0
H	2	12	14	12	14	0	0
Θ	3	15	18	16	19	1	1
I	2	17	19	17	19	0	0
K	2	19	21	19	21	0	0

4.6.8 Υπολογισμός Κρίσιμης Διαδρομής και ολικής διάρκειας έργου

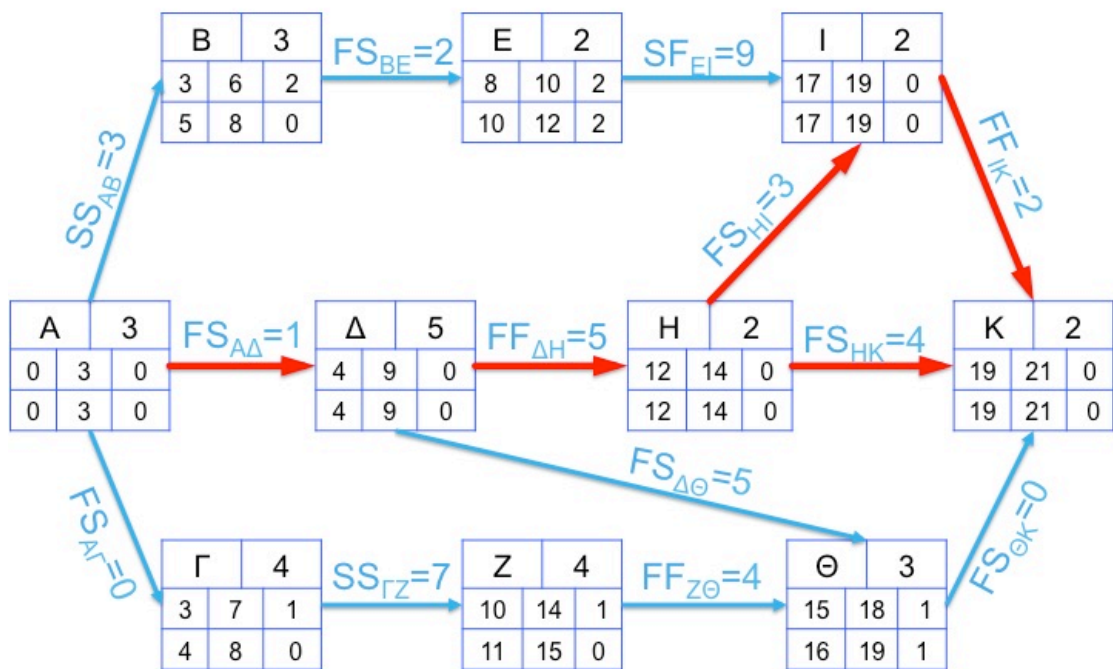
Σύμφωνα με τους κανόνες επίλυσης της MPM οι δραστηριότητες με μηδενικό χρονικό περιθώριο έτσι όπως τα έχουμε υπολογίζει είναι οι κρίσιμες δραστηριότητες και αποτελούν τουλάχιστον μία κρίσιμη διαδρομή για κάθε έργο. Ουσιαστικά αναφερόμαστε στις δραστηριότητες εκείνες για τις οποίες δεν γίνεται ανεκτή οποιαδήποτε καθυστέρηση διότι θα προκαλούσε επιμήκυνση της ολικής χρονικής διάρκειας του έργου.

Όπως θα δούμε στο παρακάτω γράφημα έχουμε δύο κρίσιμες διαδρομές (με κόκκινο χρώμα) που ορίζονται από τις δραστηριότητες:

$$A \Rightarrow \Delta \Rightarrow H \Rightarrow K$$

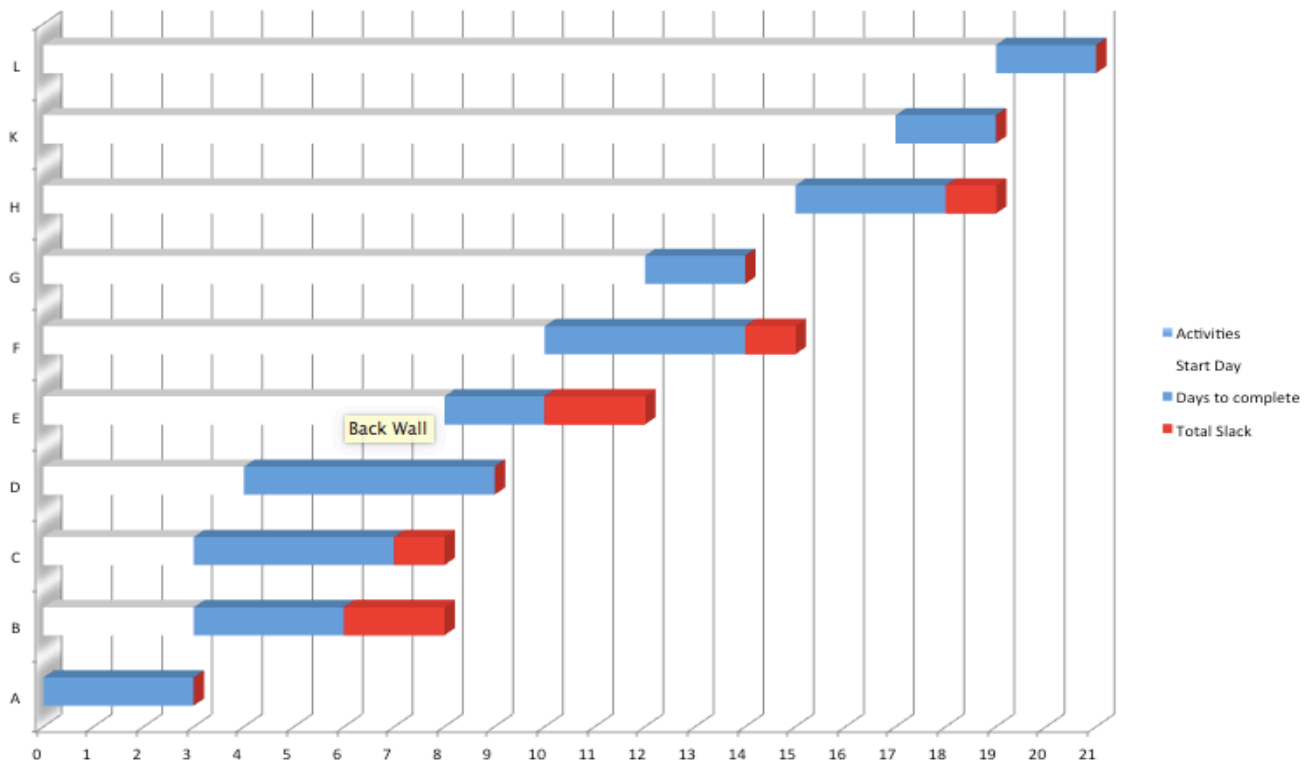
$$A \Rightarrow \Delta \Rightarrow H \Rightarrow I \Rightarrow K$$

Και με τις δύο κρίσιμες διαδρομές έχουμε ολική χρονική διάρκεια του έργου στις **21 χρονικές μονάδες**.



4.6.9 Κατασκευή διαγράμματος Gantt

Εν κατακλείδι, δημιουργούμε το διάγραμμα Gantt με βάση τους ενωρίτερους χρόνους έναρξης των δραστηριοτήτων.



4.7 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα της μεθόδου MPM

Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι:

- Σπάνια απαιτείται η χρήση πλασματικών δραστηριοτήτων (και πάλι μόνο για δραστηριότητες αρχής ή τέλους ενός έργου).
- Απαιτείται σχετικά λίγος χρόνος για τη σύνταξη του δικτυωτού γραφήματος, ακόμα και όταν υπάρχουν πολύπλοκες σχέσεις μεταξύ των δραστηριοτήτων.
- Το γράφημα MPM είναι σχετικά απλό με λίγους κόμβους και βέλη (σε σχέση με το αντίστοιχο CPM).
- Δεν απαιτείται το «σπάσιμο» των δραστηριοτήτων σε μικρότερες για την απεικόνιση σχέσεων αλληλουχίας (όπως συμβαίνει μερικές φορές στη μέθοδο CPM).
- Η μέθοδος υποστηρίζεται από τα περισσότερα ευρέως χρησιμοποιούμενα προγράμματα λογισμικού (Primavera, Microsoft Project κτλ).

Αντίστοιχα τα μειονεκτήματα της μεθόδου MPM είναι:

- Δεν υπάρχει σαφής εποπτεία των αλληλουχιών στις δραστηριότητες του έργου λόγω των πολύπλοκων σχέσεων αλληλουχίας.
- Πολύπλοκη μέθοδος επίλυσης.
- Κάθε δραστηριότητα θεωρείται ότι έχει σταθερή χρονική διάρκεια με αποτέλεσμα κακή εκτίμηση της διάρκειας αυτής να έχει επιπτώσεις στο σύνολο του έργου.

Κεφάλαιο 5: Η μέθοδος των δικτυωτών γραφημάτων με πιθανοτική θεώρηση των χρόνων (Μέθοδος PERT)

5.1 Εισαγωγικές έννοιες

Όπως είδαμε στην εισαγωγή η μέθοδος PERT (Program Evaluation and Review Technique) είναι η στοχαστική θεώρηση των χρόνων σ' ένα δικτυωτό γράφημα. Η αφετηρία της υπήρξε η κατασκευή του πυραυλικού συστήματος Polaris (1958) στις ΗΠΑ και η προσπάθεια για την σμίκρυνση του κόστους και του απαιτούμενου χρόνου για την κατασκευή του.

Με τη μέθοδο PERT ασχολούμαστε με δύο είδη προβλημάτων, τον υπολογισμό της πιθανότητας ολοκλήρωσης ενός έργου σε συγκεκριμένο χρόνο t_0 και τον υπολογισμό του χρόνου ολοκλήρωσης ενός έργου με δοσμένη πιθανότητα p .

Στη μέθοδο PERT θεωρείται ότι μία δραστηριότητα που αναμένεται να διαρκέσει d Χρονικές Μονάδες, μπορεί να διαρκέσει υπό κανονικές συνθήκες (δηλαδή χωρίς την πρόσθεση ή την αφαίρεση πόρων) x Χρονικές Μονάδες λιγότερο ή y Χρονικές Μονάδες περισσότερο λόγω αβεβαιοτήτων στη χρονική της εκτίμηση. Με τον τρόπο αυτό η πραγματική χρονική διάρκεια της δραστηριότητας (t) μπορεί να κυμανθεί στο διάστημα:

$$\begin{aligned} \text{opt} \leq t \leq \text{pes} , \text{ όπου} \\ \text{opt} = d - x \text{ και} \\ \text{pes} = d + y \end{aligned}$$

Έτσι, η χρονική σημασία μίας δραστηριότητας για ένα έργο, σύμφωνα με τη μέθοδο PERT, δεν εξαρτάται μόνο από τη διάρκεια της d και τις σχέσεις αλληλουχίας της με τις υπόλοιπες δραστηριότητες του έργου (όπως στις μεθόδους CPM και MPM), αλλά και από το εύρος της χρονικής της διάρκειας.

Αφού η χρονική διάρκεια κάθε δραστηριότητας εκφράζεται πιθανοτικά, και η διάρκεια του έργου μπορεί να εκφραστεί πιθανοτικά. Έτσι, μπορούμε να υπολογίσουμε την πιθανότητα να ολοκληρωθεί το έργο σε κάποιο χρονικό διάστημα ή και αντίστροφα, να υπολογίσουμε τη συνολική διάρκεια του έργου για την οποία υπάρχει βεβαιότητα (π.χ. πιθανότητα άνω του 90% ότι θα έχει ολοκληρωθεί το έργο).

Η μέθοδος PERT αναπαριστά ένα έργο με ένα δικτυωτό γράφημα όπου οι δραστηριότητες απεικονίζονται με βέλη και τα γεγονότα με κόμβους (παρόμοια με τις άλλες μεθόδους).

Για την εφαρμογή της μεθόδου PERT υποθέτουμε:

- Οι δραστηριότητες έχουν χρονικές διάρκειες που είναι ανεξάρτητες τυχαίες μεταβλητές που ακολουθούν τη γενικευμένη κατανομή Βήτα.
- Η κρίσιμη διαδρομή ακολουθείται από μεγάλο πλήθος δραστηριοτήτων.

5.2 Η κατανομή Βήτα

Η Βήτα κατανομή καθορίζεται από δυο θετικές παραμέτρους α και β , μοιάζει με την κανονική κατανομή, αλλά λαμβάνει μόνο θετικές τιμές και μάλιστα στο διάστημα $[0,1]$. Άλλοτε μπορεί να μην είναι συμμετρική, αλλά να πάρει διάφορες μορφές που καθορίζονται από τις δύο παραμέτρους της. Τα άκρα της κατανομής Βήτα δεν πλησιάζουν ασυμπτωτικά τον x -άξονα όπως συμβαίνει στην κανονική κατανομή αλλά τέμνουν τον x -άξονα στο 0 και στο 1. Γράφουμε δε $X \sim (\alpha, \beta)$. Για τη μέση τιμή και τη διακύμανση της Βήτα κατανομής έχουμε ότι :

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

Στην γενικευμένη κατανομή βήτα που θα χρησιμοποιήσουμε στην περίπτωση μας, έχει γίνει ένας γραμμικός μετασχηματισμός ώστε το στήριγμα της κατανομής να μην είναι το κλειστό διάστημα $[0,1]$, αλλά το διάστημα $[\text{opt}, \text{pes}]$, δηλαδή η κατανομή έχει υποστεί μια διαστολή με συντελεστή $(\text{pes} - \text{opt})$ και στη συνέχεια έχει γίνει μια μεταφορά της κατά opt ώστε η αρχή του στηρίγματος να μην είναι το 0 αλλά το opt . Δηλαδή, αυτή η γενικευμένη Βήτα κατανομή τέμνει τον x-άξονα στα opt , pes . Η γενικευμένη Βήτα κατανομή ονομάζεται Βήτα κατανομή τεσσάρων παραμέτρων, δηλαδή των παραμέτρων α και β που είναι οι παράμετροι σχηματοποίησης της Βήτα κατανομής και των παραμέτρων opt και pes που είναι η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή αντίστοιχα του εύρους της κατανομής.

Η γενικευμένη κατανομή Βήτα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μοντελοποιήσει γεγονότα τα οποία είναι περιορισμένα να λαμβάνουν χώρα μέσα σε ένα διάστημα που ορίζεται από μία ελάχιστη και μία μέγιστη τιμή. Γι' αυτό το λόγο, η γενικευμένη κατανομή Βήτα χρησιμοποιείται εκτενώς στη μέθοδο PERT αλλά και στην CPM, καθώς και σε άλλες μεθόδους Διαχείρισης Έργων για να περιγράψουν το χρόνο ολοκλήρωσης και το κόστος μιας δραστηριότητας.

Παρακάτω θα χρησιμοποιήσουμε τους τύπους αποδεδειγμένους¹ στους υπολογισμούς για την εκτίμηση της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης του χρόνου ολοκλήρωσης μιας δραστηριότητας:

$$E(T) = t_m = \frac{(\text{opt} + 4m + \text{pes})}{6} \text{ και } \sigma = \frac{(\text{pes} - \text{opt})}{6},$$

όπου opt ο ελάχιστος, pes ο μέγιστος και m ο πιθανότερος χρόνος για την ολοκλήρωση μιας δραστηριότητας.

Αποδεικνύεται¹ ότι αν η τυχαία μεταβλητή X , ακολουθεί την Βήτα κατανομή με παραμέτρους

$$\alpha = 1 + \lambda \frac{m - \text{opt}}{\text{pes} - \text{opt}}, \text{ και } \beta = 1 + \lambda \frac{\text{pes} - m}{\text{pes} - \text{opt}}$$

δηλαδή στη περίπτωση που έχουμε:

$$X \sim B \left(1 + \lambda \frac{m - \text{opt}}{\text{pes} - \text{opt}}, 1 + \lambda \frac{\text{pes} - m}{\text{pes} - \text{opt}} \right)$$

τότε η τυχαία μεταβλητή Y , που έχει υποστεί το γραμμικό μετασχηματισμό $Y = \text{opt} + X \cdot (\text{pes} - \text{min})$ ακολουθεί τη λεγόμενη PERT κατανομή δηλαδή:

$$Y \sim \text{PERT} (\text{opt}, \text{pes}, m, \lambda)$$

όπου m η κανονική διάρκεια της δραστηριότητας και η τιμή του λ θεωρείται συνήθως 4 στην δικτυωτή ανάλυση PERT².

¹ Herrerías-Velasco, José Manuel and Herrerías-Pleguezuelo, Rafael and René van Dorp,

² Malcolm, D. G.; Roseboom, J. H.; Clark, C. E.; Fazar, W. (September–October 1958). "Application of a Technique for Research and Development Program Evaluation". *Operations Research* 7 (5): 646–669

5.3 Στάδια υλοποίησης της μεθόδου PERT

Στάδιο 1°

Στη μέθοδο PERT θεωρείται ότι η διάρκεια κάθε δραστηριότητας είναι μια συνεχής τυχαία μεταβλητή πιθανοτικά ανεξάρτητη από τη διάρκεια κάθε άλλης δραστηριότητας και ακολουθεί τη β-κατανομή. Η παραδοχή αυτή δεν είναι ιδιαίτερα δεσμευτική μιας και η β-κατανομή παρουσιάζει ποικιλία μορφών, ανάλογα με την επιλογή των παραμέτρων της α και β .

Έτσι, για κάθε δραστηριότητα i , η διάρκεια της εκτιμάται με τρεις τιμές:

α_i : Η αισιόδοξη (optimistic) πρόβλεψη **opt_i** για την διάρκεια της, που είναι ο ελάχιστος δυνατός χρόνος μέσα στον οποίο είναι δυνατόν να ολοκληρωθεί η δραστηριότητα i κάτω από τις πιο ευμενείς συνθήκες που μπορούν να παρουσιαστούν.

β_i : Η απαισιόδοξη (pessimistic) πρόβλεψη **pes_i** για της διάρκεια της, που είναι ο μέγιστος δυνατός χρόνος μέσα στον οποίο είναι δυνατόν να ολοκληρωθεί η δραστηριότητα i κάτω από τις πιο δυσμενείς συνθήκες που μπορούν να παρουσιαστούν.

m_i : Την κανονική διάρκεια της m_i , που είναι ο πιθανότερος χρόνος τον οποίο μπορεί να απαιτήσει η δραστηριότητα i για την ολοκλήρωση της κάτω από κανονικές συνθήκες.

Στάδιο 2°

Υπολογίζουμε :

- i. Την αναμενόμενη διάρκεια της δραστηριότητας i :

$$E(T_i) = t_{mi} = \frac{(opt + 4m + pes)}{6}$$

- ii. Την τυπική απόκλιση της δραστηριότητας i :

$$\sigma_i = \frac{(pes - opt)}{6}$$

Οι παραπάνω τύποι μας παρέχουν μία εύλογη εκτίμηση της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης της γενικευμένης κατανομής Βήτα, όπως αναλύσαμε στην προηγούμενη παράγραφο.

Στάδιο 3°

Επιλύουμε το προσανατολισμένο κατά βέλη δίκτυο θεωρώντας ότι οι δραστηριότητες έχουν χρονικές διάρκειες τις τιμές t_{mi} , $i = 1, 2, \dots, n$ που υπολογίσαμε στο προηγούμενο στάδιο. Στη συνέχεια υπολογίζουμε την κρίσιμη ή τις κρίσιμες διαδρομές του δικτύου.

Ας υποθέσουμε ότι η κρίσιμη διαδρομή αποτελείται από k κρίσιμες δραστηριότητες (προφανώς $k \leq n$).

Στάδιο 4°

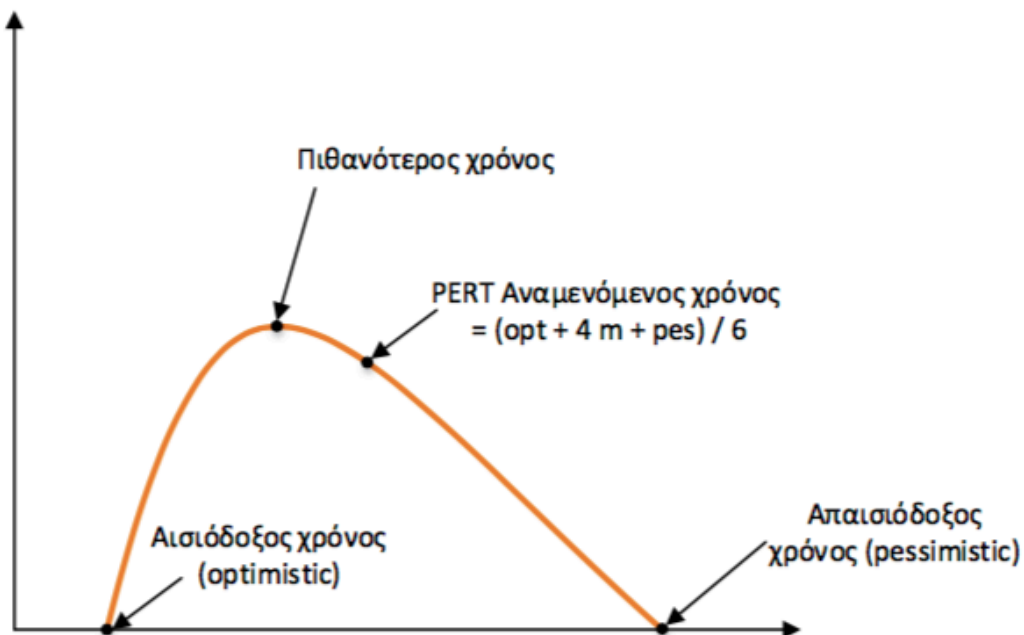
Θεωρούμε ότι η διάρκεια του έργου είναι μία συνεχής τυχαία μεταβλητή που ακολουθεί κατά προσέγγιση την κανονική κατανομή με :

i. Μέση τιμή έργου : $T_{\text{μέργου}} = \sum_{i=1}^k t_{mi}$

ii. Τυπική απόκλιση $\sigma_{\text{έργου}} = \sqrt{\sum_{i=1}^k \sigma_i^2}$

Στάδιο 5°

Επιλύουμε τα αρχικά ερωτήματα χρησιμοποιώντας τους πίνακες της τυποποιημένης κανονικής κατανομής.



Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε ένα παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου PERT με ρεαλιστικά στοιχεία ούτως ώστε να δείξουμε και την εφαρμογή του Project Management στην υλοποίηση ενός έργου για μία εταιρία.

5.4 Παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου PERT

Η εταιρία Moogole ανέλαβε ένα νέο φιλόδοξο έργο. Την υλοποίηση ενός εικονικού μουσείου στο διαδίκτυο για την προβολή των αγαλμάτων ενός μουσειακού χώρου ως τρισδιάστατα αντικείμενα. Ο προϋπολογισμός του έργου είναι 100.000 \$. Το πλάνο του έργου είναι το εξής:

Αρχικά γίνεται η ανάλυση όλων των δεδομένων και των απαιτήσεων της εφαρμογής. Στη συνέχεια τρεις ομάδες παράλληλα υλοποιούν η καθεμία:

- Το portal στο διαδίκτυο που περιέχει το εικονικό περιβάλλον.
- Τα τρισδιάστατα αντικείμενα. Αφορά τη δημιουργία 3D μοντέλων για τη προβολή των αντικειμένων του μουσείου στο διαδίκτυο.
- Ειδικούς αλγόριθμους συμπίεσης και αποσυμπίεσης δεδομένων που απαιτούνται.

Σε κάθε μία από τις δράσεις αυτές, οι οποίες μπορούν να εκτελεστούν παράλληλα, απαιτείται να προσδιοριστούν οι κατάλληλες προδιαγραφές για την υλοποίησή τους.

Αμέσως μετά το τέλος των δράσεων αυτών ολοκληρώνεται η εφαρμογή, ελέγχεται και παραδίδεται στο πελάτη.

Δεν απαιτείται εξοπλισμός.

Εφαρμόστε την τεχνική PERT για το παραπάνω έργο.

5.4.1 Επίλυση

Για να κατασκευάσουμε το διάγραμμα PERT, θα πρέπει πρώτα να χωρίσουμε το έργο σε δραστηριότητες. Ο χωρισμός σε δραστηριότητες είναι θέμα επιλογής του σχεδιαστή του διαγράμματος PERT και κάθε μία από αυτές απεικονίζει στην ουσία ένα από τα σημεία της όλης διαδικασίας ανάπτυξης του έργου. Για κάθε μία δραστηριότητα θα πρέπει να δώσουμε τρεις εκτιμήσεις για τη διάρκεια του έργου:

- Αισιόδοξη πρόβλεψη (a)
- Περισσότερο πιθανή εκτίμηση (m)
- Απαισιόδοξη πρόβλεψη (b)

Για το συγκεκριμένο παράδειγμα, ορίζουμε τις παρακάτω δραστηριότητες (οι χρόνοι δίνονται σε ημέρες):

Δραστηριότητες	Προηγούμενες	Περιγραφή	a	m	b
A	-	Ανάλυση Αναγκών	20	30	50
B	A	Σχεδίαση 3D Αντικειμένων	50	60	80
Γ	A	Σχεδίαση Portal	20	30	50
Δ	A	Σχεδίαση Αλγορίθμων	10	30	70
E	B	Ανάπτυξη 3D Αντικειμένων	170	180	200
ΣΤ	Γ	Ανάπτυξη Portal	110	120	140
Z	Δ	Ανάπτυξη Αλγορίθμων	190	210	250
H	E, ΣΤ, Z	Ολοκλήρωση Συστήματος	20	30	50
Θ	H	Εγκατάσταση & Έλεγχος	20	30	50
I	Θ	Εκπαίδευση & Αποδοχή	20	30	50

Σε κάθε έργο το οποίο υλοποιείται μέσω της τεχνικής PERT μπορούμε να έχει ένα ή περισσότερα **κρίσιμα σημεία ή σημεία ελέγχου (milestones)**. Κρίσιμο σημείο καλείται ένα σημείο του οποίου η ολοκλήρωση είναι σημαντική για την συνολική ολοκλήρωση του έργου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση θεωρούμε ως κρίσιμα σημεία τα εξής (η επιλογή εξαρτάται από τον ίδιο τον διαχειριστή του έργου) :

- Την ολοκλήρωση της H.
- Την ολοκλήρωση της I.

Με βάση τις παραπάνω εκτιμήσεις, μπορούμε τώρα να υπολογίσουμε για κάθε δραστηριότητα τον αναμενόμενο χρόνο ολοκλήρωσης της $E(T_i)$, καθώς τη διακύμανση (σ^2) αλλά και την τυπική απόκλιση της (σ), με βάση τους παρακάτω τύπους:

Ο αναμενόμενος χρόνος ολοκλήρωσης $E(T_i)$ δίνεται από τον τύπο:

$$E(T_i) = t_{mi} = \frac{(a+4m+b)}{6}$$

Η διακύμανση σ^2 δίνεται από τον τύπο:

$$\sigma^2 = \left[\frac{(b-a)}{6} \right]^2$$

Η τυπική απόκλιση σ δίνεται από τον τύπο:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

Σύμφωνα με την τεχνική PERT, υπολογίζουμε για κάθε δραστηριότητα τον αναμενόμενο χρόνο της $E(T_i)$, καθώς και τη διακύμανση της σ^2 . Στη συνέχεια με βάση τον αναμενόμενο χρόνο, βρίσκουμε τις δραστηριότητες εκείνες οι οποίες ανήκουν στο κρίσιμο μονοπάτι. Το κρίσιμο μονοπάτι μπορεί να βρεθεί είτε σχεδιάζοντας το δίκτυο δραστηριοτήτων (δικτυωτό γράφημα) και βρίσκοντας το μονοπάτι με την μεγαλύτερη διάρκεια είτε υπολογίζοντας το χρονικό περιθώριο (**Total Slack – TS**) των δραστηριοτήτων και κρατώντας αυτές οι οποίες έχουν χρονικό περιθώριο ίσο με το μηδέν. **Αν υπάρχουν περισσότερα του ενός μονοπάτια με τον ίδιο ακριβώς μέγιστο αναμενόμενο χρόνο, τότε κρίσιμο μονοπάτι είναι πλέον αυτό με την μεγαλύτερη συνολική διακύμανση. Αν και οι συνολικές διακυμάνσεις είναι ίδιες, τότε διαλέγουμε κάποιο από τα υποψήφια κρίσιμα μονοπάτια με τυχαίο τρόπο.**

Έτσι λοιπόν,

Δραστηριότητες	a	m	b	$E(T_i)$	σ^2
A	20	30	50	32	25
B	50	60	80	62	25
Γ	20	30	50	32	25
Δ	10	30	70	34	100
E	170	180	200	182	25
ΣΤ	110	120	140	122	25
Z	190	210	250	214	100
H	20	30	50	32	25
Θ	20	30	50	32	25
I	20	30	50	32	25

(Σε κάθε πράξη, όσον αφορά τον υπολογισμό του $E(T_i)$, στρογγυλοποιήσαμε προς τα πάνω. Βέβαια αυτό αποτελεί παραδοχή, αλλά είναι εύλογο, αφού ο αναμενόμενος χρόνος αναπαριστά ημέρες).

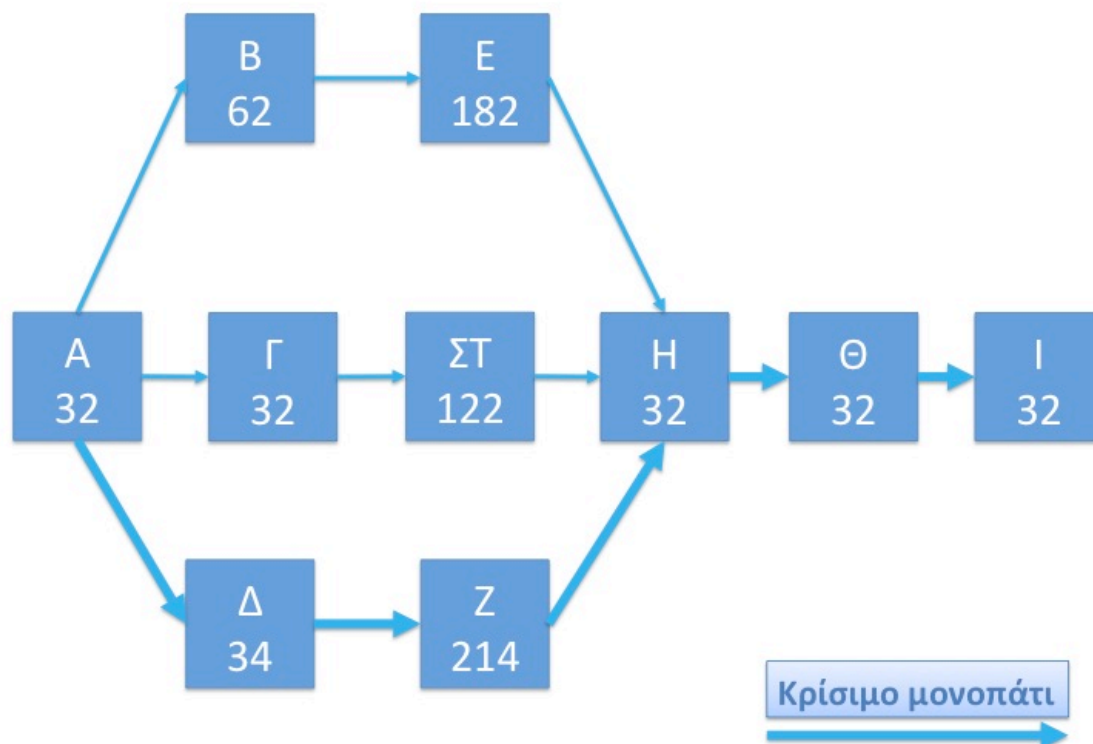
Στη συνέχεια μπορούμε να κατασκευάσουμε το δίκτυο δραστηριοτήτων, χρησιμοποιώντας τους παραπάνω αναμενόμενους χρόνους $E(T_i)$ για κάθε δραστηριότητα.

Στο εν λόγω δίκτυο δραστηριοτήτων μπορούμε να δούμε ότι το μονοπάτι με την μεγαλύτερη αναμενόμενη διάρκεια (επομένως και το μόνο κρίσιμο μονοπάτι) είναι το:

A-Δ-Z-H-Θ-I με διάρκεια 376 ημέρες.

Άρα λοιπόν η αναμενόμενη διάρκεια του έργου, ισούται με την αναμενόμενη διάρκεια του κρίσιμου μονοπατιού και είναι:

$$E(T_{\text{έργου}}) = E(T_{\text{κρίσιμου μονοπατιού}}) = 376 \text{ ημέρες}$$



Στο ίδιο συμπέρασμα μπορούμε να καταλήξουμε αν υπολογίσουμε τους χρόνους ES, EF, LS, LF και SL για όλες τις δραστηριότητες:

Δραστηριότητες	E(T _i)	ES	EF	LS	LF	TS
A	32	0	32	0	32	0
B	62	32	94	36	98	4
Γ	32	32	64	126	158	94
Δ	34	32	66	32	66	0
E	182	94	276	98	280	4
ΣΤ	122	64	186	158	280	94
Z	214	66	280	66	280	0
H	32	280	312	280	312	0
Θ	32	312	344	312	344	0
I	32	344	376	344	376	0

Σε κάθε άσκηση μπορούν να μας ζητηθούν δύο πράγματα. Θα αναλύσουμε τις δύο περιπτώσεις παρακάτω:

- i. Να μας δίνονται συγκεκριμένα χρονικά περιθώρια για την ολοκλήρωση του έργου και να μας ζητείται η πιθανότητα να ολοκληρωθεί το έργο μέσα στα χρονικά αυτά περιθώρια.*

Έστω λοιπόν ότι μας ζητείται η πιθανότητα να ολοκληρωθεί το έργο σε $\tau=390$ ημέρες. Αρχικά θα πρέπει να υπολογίσουμε τον **παράγοντα z** ως εξής:

$$Z = \frac{\tau - E(T_{\text{έργου}})}{\sqrt{\sigma_{\text{έργου}}^2}}$$

όπου,

- τ : το χρονικό περιθώριο μέσα στο οποίο θέλουμε να ολοκληρωθεί το έργο.
- $E(T_{\text{έργου}})$: ο αναμενόμενος χρόνος ολοκλήρωσης του έργου (δηλαδή το άθροισμα των $E(T_i)$ των δραστηριοτήτων της κρίσιμης διαδρομής).
- $\sigma_{\text{έργου}}^2$: το άθροισμα των διακυμάνσεων των δραστηριοτήτων της κρίσιμης διαδρομής.

Έτσι λοιπόν, για την περίπτωση μας έχουμε:

$$z = (390 - 376) / 300^{1/2} = 14 / 17,32 = 0,808.$$

Αφού βρούμε τον παράγοντα z, πηγαίνουμε στον Στατιστικό Πίνακα Κανονικής Κατανομής (βλέπε παρακάτω) και βρίσκουμε την αντίστοιχη πιθανότητα που είναι και η απάντηση στο ερώτημα μας:

$$P(Z \leq 0.808) = P(\tau \leq 390) = 78\%$$

Παρατήρηση

Αν το z είναι αρνητικό, τότε ισχύει ότι :

$$P(Z \leq -z) = 1 - P(Z \leq z)$$

ii. Να μας δίνεται η πιθανότητα ολοκλήρωσης και να μας ζητείται το τ .

Έστω λοιπόν ότι μας ζητείται σε πόσο χρόνο θα ολοκληρωθεί το έργο με πιθανότητα 90%. Από τον Στατιστικό Πίνακα Κανονικής Κατανομής βρίσκουμε τον αντίστοιχο παράγοντα z είναι 1,28. Άρα λοιπόν:

$$\frac{\tau - 376}{\sqrt{300}} = 1,28$$

$$\frac{\tau - 376}{17,32} = 1,28$$

$$\tau - 376 = 22,1696$$

$$\tau = 398,1696$$

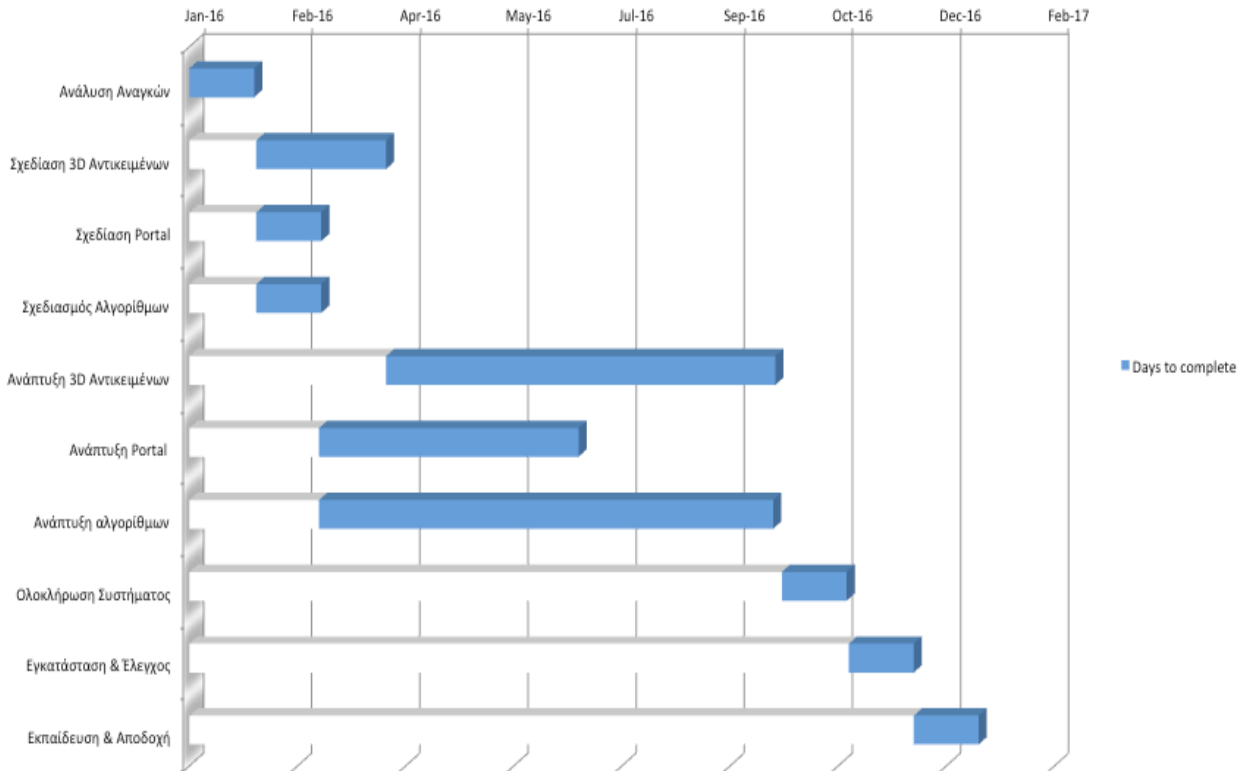
Επομένως, το έργο θα ολοκληρωθεί με πιθανότητα 90% σε περίπου **399 ημέρες**.

Διάγραμμα Gantt

Εκτός από το δίκτυο δραστηριοτήτων, μπορούμε να επιδείξουμε την χρονική διάρκεια ενός έργου χρησιμοποιώντας το διάγραμμα Gantt. Θα επιδείξουμε την χρήση του διαγράμματος Gantt, αναπαριστώντας με αυτό τις περισσότερες πιθανές διάρκειες των δραστηριοτήτων του παραδείγματος.

Δραστηριότητες	Προηγούμενες	a	m	b
A	-	20	30	50
B	A	50	60	80
Γ	A	20	30	50
Δ	A	10	30	70
E	B	170	180	200
ΣΤ	Γ	110	120	140
Z	Δ	190	210	250
H	E, ΣΤ, Z	20	30	50
Θ	H	20	30	50
I	Θ	20	30	50

Το διάγραμμα Gantt για το συγκεκριμένο παράδειγμα, παρουσιάζεται παρακάτω. Υποθέτουμε ότι το έργο θα αρχίσει τον Ιανουάριο του 2016.



Το διάγραμμα Gantt συνήθως χρησιμοποιείται μετά τον αρχικό χωρισμό του έργου σε δραστηριότητες και την απόδοση εκτιμήσεων σε αυτές. Το παραπάνω πρότυπο δεν είναι το μοναδικό που θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει κάποιος για την αναπαράσταση του διαγράμματος Gantt. Υπάρχουν πολλά πρότυπα (αρκετά με τη μορφή templates του Excel) που μπορούν να βρεθούν στο διαδίκτυο.

Κεφάλαιο 6: Τα σύγχρονα Διεθνές πρότυπα του Project Management

Τα σημαντικότερα διεθνή πρότυπα που σχετίζονται με τη διαχείριση έργων είναι τα εξής:

6.1 Το πρότυπο PMBOK

Ο βασικός κορμός της γνώσης από το Ινστιτούτο Διαχείρισης Έργων – (Project Management Body Of Knowledge, PMBOK).

Το Project Management Institute περιέγραψε με αναλυτικό τρόπο το σύνολο των γνώσεων που απαιτούνται για μια επιτυχημένη διαχείριση έργου (PMI, 2004). Το PMBok έχει τύχει παγκόσμιας αναγνώρισης ως ένα απ' τα κυριότερα πρότυπα για την διαχείριση έργων, από τις μεγαλύτερες εταιρείες, αλλά και από τους διεθνείς οργανισμούς Institute of Electrical and Electronics Engineers (2004), American National Standards Institute (2000) κλπ. Αυτή τη στιγμή βρισκόμαστε ήδη στην 5^η έκδοση του PMBOK, το οποίο πλέον είναι δομημένο σε δέκα γνωστικές περιοχές που προσδιορίζουν τις διαδικασίες που πρέπει να εκτελεστούν για τη πλήρη και επιτυχή ολοκλήρωση του έργου. Ο οδηγός ικανοτήτων από τη Διεθνή Ομοσπονδία Διαχείρισης Έργων με τίτλο IPMA Competence Baseline (ICB), 5η έκδοση, όπου περιγράφονται με λεπτομέρεια οι ικανότητες που απαιτούνται για τη διαχείριση ενός έργου.

6.2 Το πρότυπο PRINCE2

Το πρότυπο PRINCE2 (PROjects IN a CONTROLLED Environment - <http://www.prince2.org.uk>). Αποτελεί το Βρετανικό πρότυπο για τη διαχείριση έργων. Η μεθοδολογία PRINCE αναπτύχθηκε το 1989 από το CCTA (Central Computer and Telecommunications Agency) ως το Βρετανικό πρότυπο για διαχείριση έργων πληροφορικής. Πολύ σύντομα όμως, λόγω της γρήγορης και μεγάλης αποδοχής της, άρχισε να χρησιμοποιείται και σε έργα διαφορετικών κατηγοριών. Το αποτέλεσμα ήταν να εκδοθεί το 1996 η νέα έκδοση του προτύπου (PRINCE2) που είναι πλέον γενικού σκοπού. Η PRINCE είναι βασισμένη στην PROMPT, μία μέθοδο διαχείρισης έργου που δημιουργήθηκε από την Simfact Systems Ltd το 1975, και εγκρίθηκε από την CCTA (the Central Computer and Telecommunications Agency). το 1979 ως πρότυπο για όλα τα κυβερνητικά έργα του συστήματος πληροφοριών. Η εξέλιξη της, η μέθοδος PRINCE2 (PROjects IN CONTROLLED Environments), είναι μια μέθοδος για την αποτελεσματική διαχείριση ενός έργου εξ' ορισμού βασισμένη στην επεξεργασία των διαδικασιών. Η PRINCE2 είναι διεθνώς αναγνωρισμένη και χρησιμοποιείται εκτενώς από την Κυβέρνηση της Μεγάλης Βρετανίας καθώς και στον ιδιωτικό τομέα παγκοσμίως (πάνω από 20 χιλιάδες οργανώσεις παγκοσμίως). Η μέθοδος PRINCE2 είναι ελεύθερα προσβάσιμη σε όλους και προσφέρει μη εμπορική καθοδήγηση βέλτιστων πρακτικών για τη διαχείριση του έργου.

6.3 Το πρότυπο V-Modell

Το πρότυπο V-Modell (<http://www.v-modell-xt.de>). Αποτελεί το Γερμανικό πρότυπο για τη διαχείριση έργων. Η τελευταία έκδοση ονομάζεται V-Model XT και εκδόθηκε το 2005. Η μεθοδολογία V-Modell εστιάζει σε έργα πληροφορικής και είναι αρκετά αναλυτική αφού παρουσιάζει, όχι μόνο το τι πρέπει να γίνει για τη διαχείριση του έργου, αλλά και τη μέθοδο με την οποία θα γίνει, πότε θα γίνει και από ποιον.

6.4 Το πρότυπο OPM3

Το μοντέλο Οργανωσιακής Ωριμότητας στη Διαχείριση Έργων (Organizational Project Management Maturity Model - OPM3) (<http://www.pmi.org>). Το OPM είναι ένα πρότυπο μοντέλο οργανωσιακής ωριμότητας για τη διαχείριση έργων που έχει αναπτυχθεί από το PMI και προσδιορίζει τις απαιτήσεις για την αξιολόγηση των ικανοτήτων ενός οργανισμού στη διαχείριση έργων (project management), προγραμμάτων (programme management) και χαρτοφυλακίων (portfolio management). Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να αξιολογήσουμε την ωριμότητα των οργανισμών στη διαχείριση έργων. Το OPM ορίζει 586 καλές πρακτικές και ένα σύνολο 2109 ικανοτήτων.

6.5 Το πρότυπο ISO 10006:2003

Το πρότυπο ISO 10006:2003 (Quality management systems - Guidelines for quality management in projects) για τη διαχείριση ποιότητας σε έργα (<http://www.iso.org>). Το πρότυπο αυτό για τη διαχείριση έργων παρουσιάζει σημαντικές ομοιότητες με το PMBOK.

6.6 Το πρότυπο BS6079-1:2002

Το πρότυπο BS6079-1:2002 Project Management (British Standards Institution, 2002). Αποτελεί το Βρετανικό πρότυπο για τη διαχείριση έργων, το οποίο προσδιορίζει έξι φάσεις: Τη φάση της σύλληψης (conception), τη φάση της μελέτης σκοπιμότητας (feasibility), τη φάση της υλοποίησης (implementation), τη φάση της λειτουργίας (operation), τη φάση του τερματισμού (termination) και τη φάση της αξιολόγησης (evaluation).

6.7 Σύγκριση των προτύπων PRINCE2 και PMBoK

- Η PRINCE2 αποτελεί ένα πλαίσιο μεθοδολογίας, ενώ το PMBoK είναι ένα σώμα γνώσης βέλτιστων τεχνικών διαχείρισης έργου.
- Η PRINCE2 είναι πιο περιοριστική σε σχέση με το MPBoK, όσον αφορά τα έργα στα οποία μπορεί να εφαρμοστεί.
- Η PRINCE2 είναι προσανατολισμένη στη διαδικασία, ενώ το MPBoK είναι γνωσιολογικό.
- Η PRINCE2 είναι ευκολότερο να εφαρμοστεί, χωρίς προηγούμενη εμπειρία διαχείρισης του έργου δεδομένου ότι επιβάλλει διαδικασίες. Το MPBoK είναι πιο εύκολο για την εκμάθηση δεξιοτήτων διαχείρισης έργων, επειδή είναι οργανωμένο ως περιοχές γνώσης.
- Με την PRINCE2 ο διαχειριστής του έργου έχει λιγότερο ηγετικό ρόλο και περισσότερο συντονιστικό ρόλο αφήνοντας την πραγματική ουσία στα στελέχη. Με το MPBoK ο διαχειριστής του έργου είναι στο κέντρο του έργου και οι αποφάσεις του έχουν απόλυτη ισχύ.
- Στην περίπτωση της PRINCE2 το επιχειρηματικό πλάνο καθοδηγεί το έργο, ενώ στο MPBoK το πλάνο διαχείρισης του έργου οδηγεί το έργο.
- Ενισχύοντας την προηγούμενη πρόταση η PRINCE2 θεωρεί μόνο τον σκοπό του έργου (προϊόντα) σαν παραδοτέα, ενώ το MPBoK θεωρεί όλα τα αντικείμενα του έργου (δραστηριότητες, χρονικές στιγμές κλειδιά κλπ.) ως παραδοτέα.

- Εν κατακλείδι, η PRINCE2 και το MPBoK είναι συμπληρωματικά πρότυπα/μεθοδολογίες.

Πίνακας Τυποποιημένης Κανονικής Κατανομής

$$\text{Value of } \alpha = \int_{z_\alpha}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2} dz = \text{Prob}[z > z_\alpha]$$



z_α	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641
0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0721	0.0708	0.0694	0.0681
1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
1.8	0.0359	0.0351	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
2.0	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.00990	0.00964	0.00939	0.00914	0.00889	0.00866	0.00842
2.4	0.00820	0.00798	0.00776	0.00755	0.00734	0.00714	0.00695	0.00676	0.00657	0.00639
2.5	0.00621	0.00604	0.00587	0.00570	0.00554	0.00539	0.00523	0.00508	0.00494	0.00480
2.6	0.00466	0.00453	0.00440	0.00427	0.00415	0.00402	0.00391	0.00379	0.00368	0.00357
2.7	0.00347	0.00336	0.00326	0.00317	0.00307	0.00298	0.00289	0.00280	0.00272	0.00264
2.8	0.00256	0.00248	0.00240	0.00233	0.00226	0.00219	0.00212	0.00205	0.00199	0.00193
2.9	0.00187	0.00181	0.00175	0.00169	0.00164	0.00159	0.00154	0.00149	0.00144	0.00139

Ξένη βιβλιογραφία

- Antill James M., Woodhead Ronald W., "Critical Path Methods in Construction Practice", 4th Edition, John Wiley & Sons, pp: 1-24
- Burke Rory, "Project Management: Planning and Control Techniques", Fourth Edition, John Wiley & Sons, pp: 115-168, 180-194
- Drucker, Peter F., The Practice of Management, p. 12, (1954)
- Duncan William R., «A Guide to the Project Management Body of Knowledge», Project Management Institute, 1996
- Hamel Gary P., The Core Competence of the Corporation (Harvard Business Review) (1990)
- Healy Patrick, "Project Management: Getting the job done on time and in budget", Butterworth – Heinemann (1997)
- Herrerías-Velasco, José Manuel and Herrerías-Pleguezuelo, Rafael and René van Dorp, Johan. (2011). Revisiting the PERT mean and Variance. European Journal of Operational Research (210), p. 448–451
- Kelley J.E., jr., Walker M.R., "Critical path planning and scheduling", Proc. Eastern Joint Computer Conference, Boston, 1959
- Kerzner H, PHD., "Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling and Controlling", Tenth Edition, Wiley, pp: 512-528, 557-569
- Keynes Milton, Faculty of Mathematics and Computing, Course "M865 – Project Management (Unit 3 – Planning)", Open University, U.K. 1997
- Malcolm, D. G.; Roseboom, J. H.; Clark, C. E.; Fazar, W. (September–October 1958). "Application of a Technique for Research and Development Program Evaluation". Operations Research 7 (5): 646–669
- Moder J.J., Phillips C.R., "Project management with CPM and PERT", v. Nostrand-Reinhold, 1970
- Project Management Institute, "A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)", 5th Edition, Project Management Institute, 2013
- Project Management Institute, "Project Management Institute Practice Standard for Work Breakdown Structures", Project Management Institute, Pennsylvania 2001
- Shtub Avraham, Bard Jonathan F., Globerson Shlomo, «Διαχείριση Έργων: Διεργασίες, Μεθοδολογία και Τεχνοοικονομική», Δεύτερη Έκδοση, ΕΠΙΚΕΝΤΡΟ (2008), pp: 395-407, 555-589, 593-604
- Snyder, J., & Kline, S. (1987). Modern Project Management: How Did We Get Here – Where Do We Go? Project Management Journal.

Ελληνική βιβλιογραφία

Αθανασόπουλος Κ., Noe R., Hollenbeck J., Gerhart B., Wright P., Διαχείριση ανθρώπινων πόρων “Ένα ανταγωνιστικό πλεονέκτημα”, Εκδόσεις Παπαζήση, 2007

Δημητριάδης Α., Διοίκηση - διαχείριση πληροφοριακών έργων, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, 2009

Δημητριάδης Α., Διοίκηση - Διαχείριση Έργου “Project Management”, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, 2004

Δινοπούλου Β., Χιωτίδης Γ., Εισαγωγή στην Επιχειρησιακή Έρευνα Τόμος Β', Εκδόσεις Δίσιγμα 2010

Κιόχος Π., Κιόχος Α., Θάνος Γ., Σαλαμούρης Δ., Επιχειρησιακή Έρευνα “Μέθοδοι και τεχνικές λήψης επιχειρηματικών αποφάσεων”, Εκδόσεις Σύγχρονη Εκδοτική, Αθήνα 2002

Κηρυττόπουλος Κ., Εγχειρίδιο διαχείρισης κινδύνων έργων “Η οπτική του μάνατζμεντ”, Κλειδάριθμος, 2006

Κολέτσος Ιωάννης, Στογιάννης Δημήτρης, Εισαγωγή στην Επιχειρησιακή Έρευνα, Εκδόσεις Συμεών, 2012

Ξυδώντας Π., Μαυρωτάς Γ., Ψαρράς Ι., Ζοπουνίδης Κ., Διαχείριση χαρτοφυλακίων με πολλαπλά κριτήρια “Θεωρία και πράξη”, Κλειδάριθμος, 2011

Παναγιώτου Ν., Ευαγγελόπουλος Ν., Κατημερτζόγλου Π., Γκαγιαλής Σ., Διαχείριση επιχειρησιακών διαδικασιών, Κλειδάριθμος, 2013

Παντουβάκης Πάρις Μιχ., Επίκουρος Καθηγητής Ε. Μ. Π., Σημειώσεις Διαχείρισης Τεχνικών Έργων για το 7ο εξάμηνο πολιτικών μηχανικών, «Τεύχος Α': Προγραμματισμός & Έλεγχος Έργων», Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 2003, pp: 42-71, 80-127, 138-146, 156- 179, 206-212

Παντουβάκης Πάρις Μιχ., «Διοίκηση Έργων», Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών στη «Διοικητική Επιχειρήσεων και Οργανισμών», 2002

Πολύζος Σεραφείμ., Διοίκηση και διαχείριση έργων “Μέθοδοι και τεχνικές”, Εκδόσεις Κριτική, 2011

