

ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ



ΤΜΗΜΑ: ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ:

**ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΙΚΤΥΩΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΕΝΟΣ ΕΡΓΟΥ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΤΑΜΙΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΛΑΠΟΔΗ ΑΛΕΚΑ



ΠΑΤΡΑ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2006

ΑΡΙΘΜΟΣ
ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ 5793

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΣ

ΑΙΚΑΤΕ ΗΚΑΙΧΥΠΠ
ΕΛΛΗΝΙΚΗ
ΜΟΤ ΑΠ ΖΗΚΥΑΝΑ ΖΗΤΟΥΤΙΑ ΖΕΧΙΧΕΤ
ΥΟΤΡΕ ΚΟΜΕ ΟΜΚΤΑΥΜΑΡΟΠ

ΚΟΜΕ ΤΑΥΤΑ ΚΑΙ ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΑΝΤΑΓΩΓΗ

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΣ

754

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΔΙΚΤΥΩΤΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	5
1.1 ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΔΙΚΤΥΩΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	5
1.2 ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ Η/Υ ΣΤΗΝ ΔΙΚΤΥΩΤΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	11
2.1 ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ	11
2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	15
2.3 ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	16
2.3.1 ΟΡΙΣΜΟΙ	16
2.3.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	22
2.3.3 ΑΝΑΘΕΩΡΗΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	23
2.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΙΚΤΥΩΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	27
3.1 ΤΕΧΝΙΚΗ PERT	27
3.1.1 ΓΕΝΙΚΑ	27
3.1.2 ΜΕΣΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ- ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	28
3.1.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ PERT	30
3.1.4 ΚΡΙΤΙΚΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ PERT	34
3.2 ΤΕΧΝΙΚΗ C.P.M.	36
3.2.1 ΓΕΝΙΚΑ	36
3.2.2 ΚΟΣΤΟΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ	36
3.2.3 ΚΟΣΤΟΣ ΕΡΓΟΥ	39
3.2.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ	42
3.2.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗ ΤΕΧΝΙΚΗΣ C.P.M.	43

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Η ΔΙΚΤΥΩΤΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΗΝ ΠΡΑΞΗ	55
4.1 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	55
4.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ	56
4.3 ΜΕΛΕΤΗ ΕΡΓΟΥ	56
4.4 ΧΑΡΑΞΗ ΟΔΟΥ	55
4.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	58
4.5.1 ΓΕΝΙΚΑ	58
4.5.2 ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΑ ΈΡΓΑ	59
4.5.3 ΠΡΟΣΜΕΤΡΗΣΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ	59
4.6 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ	60
4.7 ΤΕΛΙΚΟ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ	100
 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	 101

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το αντικείμενο της πτυχιακής εργασίας που μου ανατέθηκε τον Απρίλιο 2005 από το τμήμα Επιχειρηματικού Σχεδιασμού και Πληροφοριακών Συστημάτων αφορά στην ανάλυση των τεχνικών της δικτυωτής ανάλυσης στον προγραμματισμό ενός έργου. Οι βασικότερες τεχνικές οι οποίες μελετούνται ήταν η τεχνική C.P.M και η τεχνική PERT. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα παράδειγμα στο οποίο χρησιμοποιηθήκαν οι παραπάνω τεχνικές και το οποίο αναφέρεται σ' ένα έργο οδοποιίας που έγινε στο νομό Αχαΐας.

Θα ήθελα από τη θέση αυτή να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Σεραφείμ Αλεξόπουλο για την βοήθεια καθώς και για την άψογη συνεργασία μας, στην ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής εργασίας.

Πάτρα, Ιανουάριος 2006

Κωνσταντίνος Ταμίας

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η προσπάθεια για την ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου παραγωγής ενός προϊόντος, η εξασφάλιση χαμηλών τιμών κόστους και ο περιορισμός της διάρκειας κατασκευής ενός έργου συνδέεται με την έννοια της παραγωγικότητας. Οι ενέργειες που απαιτείται να γίνουν από τους ιθύνοντες σε σύνθεση με τα μέσα παραγωγής συνιστούν ένα πλέγμα διαδικασιών. Το πλέγμα αυτό, που είναι γνωστό με τον όρο ΔΙΚΤΥΟ, επιβάλλει την καθιέρωση και την αναγκαστική χρήση διαφόρων μεθόδων ΑΝΑΛΥΣΗΣ ([5]) τόσο για την αρχική του κατάσταση όσο και για τη συστηματική παρακολούθησή του εφόσον αυτό απαιτείται. Έτσι μπορεί να εξασφαλίζεται ο τελικός στόχος της βελτιστοποίησης, της έγκαιρης παραγωγής ενός προϊόντος, της σωστής εκτέλεσης μιας παραγγελίας που αφορά στη μελέτη και την κατασκευή ενός τεχνικού έργου.

Για την αναζήτηση του σωστού προγραμματισμού οποιασδήποτε εργασίας έγιναν κατά καιρούς προσπάθειες εφαρμογής διαφόρων μεθόδων για τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια και τον πιο τέλειο συντονισμό. Απόψεις για την εφαρμογή κανόνων βελτίωσης των μεθόδων παραγωγής και την ανάπτυξη της παραγωγικότητας εμφανίστηκαν από τις πρώτες περιόδους της βιομηχανικής επανάστασης και ιδιαίτερα στη δεύτερη δεκαετία του 19ου αιώνα.

Στη διάρκεια του Α Παγκοσμίου Πολέμου ένας από τους πρωτοπόρους των αρχών επιστημονικής διοίκησης των επιχειρήσεων ο HENRY E. GANTT ανέπτυξε στις ΗΠΑ ένα διάγραμμα που χαρακτηρίστηκε και έμεινε γνωστό με την ονομασία Διάγραμμα GANTT ([1]). Αποτελεί μια απλή μέθοδο παρακολούθησης ενός έργου που χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα σε εύκολες περιπτώσεις παραγωγής προϊόντων ή σε μη σύνθετα έργα. Η χρήση του γίνεται πολλές φορές σε συνδυασμό με νεότερες μεθόδους προγραμματισμού. Η ανάγκη όμως για την παρακολούθηση πιο σοβαρών προβλημάτων που αντιμετωπίζονται στην κατασκευή ενός έργου σε συνδυασμό με το κόστος της κάθε εργασίας υποχρέωσε στην αναζήτηση πιο

αποδοτικών μεθόδων. Στην κατεύθυνση αυτή βέβαια βοήθησε η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Αφορμή για την ανάπτυξη των μεθόδων ανάλυσης των δικτύων κατασκευής αποτέλεσε κυρίως η ανάγκη παρακολούθησης των προγραμμάτων εξοπλισμού των Η.Π.Α. Με την ανάθεση ενός έργου σε ομάδες εταιριών ήταν φυσικό αποτέλεσμα να εμφανίζονται καθυστερήσεις και αδυναμίες συντονισμού που φάνηκε ότι μπορούσαν να ξεπεραστούν με τις επιστημονικές μεθόδους της δικτυωτής ανάλυσης και της επιχειρησιακής έρευνας.

Στη δεκαετία 1950-1960 η ανάγκη για βελτιωμένες μεθόδους προγραμματισμού και ελέγχου έγινε περισσότερο έντονη· τότε παρατηρήθηκε στις Η.Π.Α. σημαντική καθυστέρηση σε διάφορα κυβερνητικά προγράμματα. Καρπός της προσπάθειας να καλυφθεί το μεθοδολογικό κενό που υπήρχε στον προγραμματισμό και να αντιμετωπιστούν οι καθυστερήσεις σ' εκείνα τα προγράμματα ήταν διάφορες τεχνικές. Οι κυριότερες από αυτές είναι οι εξής:

1. PERT (Program Evaluation and Review Technique) . Την τεχνική αυτή την ανέπτυξε το Ναυτικό των Η.Π.Α. το 1958 και τη χρησιμοποίησε στην κατασκευή του πυραυλικού συστήματος Polaris ([3]) . Η πρώτη φάση στην ανάπτυξη της τεχνικής αυτής έγινε γνωστή ως PERT - Time, επειδή ενδιέφερε περισσότερο ο χρόνος του έργου που σχεδιαζόταν. Η δεύτερη φάση που ονομάστηκε PERT/Cost, επειδή ενδιέφερε περισσότερο το κόστος, αναπτύχθηκε μεταγενέστερα, αλλά δεν αποδείχθηκε αποτελεσματική στην πράξη και έχει σχεδόν εγκαταλειφθεί.
2. C.P.M. (Critical Path Method). Την Τεχνική αυτή την ανέπτυξαν οι εταιρίες E. I. Du Pont και Remington Rand το 1957 και τη χρησιμοποίησαν στην αρχή για τον προγραμματισμό και τον έλεγχο σε χημικές βιομηχανίες. Οι μελετητές J. E. Kelley και M. R. Walker θεωρούνται οι πρωτεργάτες στην ανάπτυξη αυτής της τεχνικής. Η τεχνική C.P.M. είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για προγράμματα κατασκευής έργων· αυτό όμως δε σημαίνει πως δεν έχει χρησιμοποιηθεί με

μεγάλη επιτυχία και σε προγράμματα ανάπτυξης νέων προϊόντων, συναρμολόγησης μεγάλων μηχανολογικών κατασκευών, κτλ.

Εκτός από τις προηγούμενες τεχνικές έχουν αναπτυχθεί και διάφορες άλλες, που κατά κύριο λόγο είναι απλές παραλλαγές τους. Τα ονόματα που δίνονται σ' αυτές είναι η C.P.S. (Critical Path Scheduling), η C.P.A. (Critical Path Analysis), η R.P.S. (Resource Planning and Scheduling), η G.E.R.T. (Graphical Evaluation and Review Technique), κτλ. Μια ακόμη τεχνική είναι η M.O.P, την οποία ανέπτυξε μια ευρωπαϊκή εταιρεία συμβούλων και τη χρησιμοποίησε για πρώτη φορά στην κατασκευή πυρηνικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Δυστυχώς, για τις ίδιες τεχνικές οι διάφοροι συγγραφείς χρησιμοποιούν συχνά διαφορετικά ονόματα και προκαλείται σύγχυση. Πιο εύστοχος και πιο αποδεκτός είναι ο όρος «Δ ι κ τ υ ω τ ή Α ν ά λ υ σ η», που αποδίδει όλες τις σχετικές τεχνικές ([1]). Ο όρος αυτός έγινε αποδεκτός, γιατί το κοινό χαρακτηριστικό που έχουν όλες αυτές οι τεχνικές είναι ότι χρησιμοποιούν ένα δικτυωτό διάγραμμα, το οποίο αποτελείται από κλάδους και κόμβους, για να απεικονίσουν τα διάφορα μέρη ενός έργου.

Η χρήση των τεχνικών της δικτυωτής ανάλυσης έχει παρουσιάσει μεγάλη ανάπτυξη. Πολυάριθμες δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά αναφέρουν συνεχώς νέες εφαρμογές και μεθοδολογικές βελτιώσεις αυτών των τεχνικών. Η ανάπτυξη αυτή οφείλεται βασικά στην απλότητα των τεχνικών και στα εντυπωσιακά αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή τους. Το φάσμα εξάλλου των εφαρμογών της δικτυωτής ανάλυσης είναι πολύ μεγάλο. Με τη μορφή παραδειγμάτων αναφέρουμε τον προγραμματισμό: των κατασκευών γενικά, της συντήρησης μεγάλων βιομηχανικών μονάδων, της παραγωγής κινηματογραφικών ταινιών, των προεκλογικών αγώνων, των δύσκολων χειρουργικών επεμβάσεων, κτλ.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στην δικτυωτή ανάλυση. Στο δεύτερο κεφάλαιο δίνονται οι βασικοί ορισμοί της δικτυωτής ανάλυσης καθώς και οι τύποι που θα χρησιμοποιήσουμε. Με τις μεθόδους PERT και C.P.M. θα ασχοληθούμε αναλυτικότερα στο κεφάλαιο 3 όπου και θα γίνει αναλυτικότερη

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

περιγραφή των παραπάνω τεχνικών της δικτυωτής ανάλυσης. Τέλος στο κεφάλαιο 4 δίνετε ένα παράδειγμα το οποίο αναφέρετε σε πραγματικό πρόβλημα και την επίλυση του με δικτυωτή ανάλυση.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΔΙΚΤΥΩΤΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Με τη Δικτυωτή Ανάλυση αναζητείται ένα πλέγμα κρίσιμων δρόμων που θα μπορούσαν να οδηγήσουν στην πιο σύντομη αποπεράτωση ενός έργου ή ενός προϊόντος με το βέλτιστο κόστος και ανάλογα με τα διαθέσιμα μέσα. Στις αρχές αυτές βασίστηκε η πρώτη τεχνική μέθοδος προγραμματισμού C.P.M. (CRITICAL PATH METHOD) δηλαδή Μέθοδος του Κρίσιμου Δρόμου που αναπτύχθηκε κατά την περίοδο 1956-1957 και έγινε με τη συνεργασία των M.R. WALKER και J.E. KELLEY JR. Ακολούθησε η ανάπτυξη της μεθόδου P.E.R.T. Σ' αυτήν το ζητούμενο ήταν ο καθορισμός του δικτύου ώστε το έργο να εκτελεστεί στον ελάχιστο δυνατό χρόνο. Μελετήθηκε στην προσπάθεια συντόμευσης των χρόνων παράδοσης στο Πολεμικό Ναυτικό των Η.Π.Α. των πυραύλων POLARIS. Η πρώτη εφαρμογή της μεθόδου συντόμευσε το πρόγραμμα POLARIS κατά 19 μήνες. Με τις δύο αυτές μεθόδους θα ασχοληθούμε αναλυτικότερα στην συνέχεια.

1.1 ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΔΙΚΤΥΩΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Η δικτυωτή ανάλυση αποτελεί έναν κατ' εξοχήν αποτελεσματικό τρόπο για την ανάλυση, την σχεδίαση, την παρακολούθηση και τον έλεγχο ενός σύνθετου έργου. Χρησιμοποιώντας ένα κατάλληλα διαμορφωμένο δίκτυο για την γραφική απεικόνιση και περιγραφή του έργου η δικτυωτή ανάλυση:

1. Επιτρέπει την αναλυτική εξέταση των δραστηριοτήτων που συνθέτουν το έργο.
2. Προσδιορίζει την σειρά προτεραιότητας κατά την εκτέλεση των δραστηριοτήτων του.
3. Εντοπίζει τις κρίσιμες, από άποψη χρόνου, δραστηριότητες.
4. Οδηγεί στην ανάπτυξη ενός αποτελεσματικού σχεδίου για την περάτωση του έργου εντός της τακτής προθεσμίας.
5. Διευκολύνει τον αποτελεσματικό καταμερισμό των διαθέσιμων μεταξύ των προς εκτέλεση δραστηριοτήτων.
6. Επιτρέπει την παρακολούθηση της προόδου του έργου.

7. Καθιστά δυνατή την λήψη των κατάλληλων διορθωτικών μέτρων τη στιγμή και κατά τον τρόπο που πρέπει και όχι όταν η εξέλιξη του έργου βρίσκεται προς το τέλος της, οπότε είναι πολύ αργά για να προβούμε σε οποιαδήποτε διορθωτική ενέργεια.
8. Επιτυγχάνει την ελαχιστοποίηση του συνολικά απαιτούμενου κόστους για την εκτέλεση του έργου.

Ο αντικειμενικός στόχος των τεχνικών της Δικτυωτής Ανάλυσης είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους εκτέλεσης του έργου. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η χρονική αλληλοσυσχέτιση των επιμέρους δραστηριοτήτων, οι διαθέσιμοι πόροι και το περιορισμένο έμψυχο δυναμικό.

1.2 ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ Η/Υ ΣΤΗ ΔΙΚΤΥΩΤΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Χωρίς αμφιβολία η μέθοδος επίλυσης δικτύων είναι απλή στην κατανόησή της και εύχρηστη στην εφαρμογή της. Για τον προγραμματισμό και έλεγχο όμως ενός μεγάλου έργου (που μπορεί να συνίσταται από αρκετές εκατοντάδες ή ακόμη και χιλιάδες δραστηριότητες) η επίλυση του αντίστοιχου δικτύου απαιτεί πολύ μεγάλο αριθμό υπολογισμών. Αν οι υπολογισμοί αυτοί πρόκειται να γίνουν με το χέρι ή έστω και με χρήση αριθμομηχανής, χρειάζεται να καταβληθεί πολύ μεγάλη προσπάθεια και να δαπανηθούν ανάλογα πολύς χρόνος και χρήμα. Το σημαντικότερο όμως μειονέκτημα της επίλυσης ενός δικτύου με τον παραπάνω τρόπο αποτελεί το γεγονός ότι τόσο η ακρίβεια όσο και αυτή καθαυτή η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων είναι αμφίβολες. Ο μοναδικός - αδιαμφισβήτητος όμως ισχύος - λόγος είναι η πολύ μεγάλη συμμετοχή στην επίλυση του παράγοντα «άνθρωπος» που υπεισέρχεται σε πολυάριθμα σφάλματα, προερχόμενα κυρίως από απροσεξία, κόπωση, έλλειψη συγκέντρωσης κλπ.

Όπως σε όλες τις αλγοριθμικές διαδικασίες, ο προγραμματισμός των ηλεκτρονικών υπολογιστών έχει εισχωρήσει και στη Δικτυωτή Ανάλυση, με εντυπωσιακά μάλιστα αποτελέσματα. Έχει υπολογισθεί ότι ο απαιτούμενος χρόνος για την επίλυση ενός μεγάλου δικτύου μπορεί να ελαττωθεί κατά 3000 ή και περισσότερες φορές με τη χρήση ενός Η/Υ.

Η σύνταξη ενός προγράμματος Η/Υ σε οποιαδήποτε γλώσσα προγραμματισμού, με τη βοήθεια του οποίου επιλύονται γρήγορα και αποτελεσματικά ακόμη και ιδιαίτερα σύνθετα δίκτυα, δεν είναι δύσκολη. Ο σχεδιασμός του δικτύου δεν είναι γενικά απαραίτητος προκειμένου να χρησιμοποιήσουμε το πρόγραμμα. Αρκούν τα αριθμητικά δεδομένα. Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι επίλυσης δικτύων και αντίστοιχα πολλές τεχνικές σύνταξης ενός κατάλληλου προγράμματος. Σχεδόν σε κάθε περίπτωση χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου οι ίδιες πληροφορίες. Παρόμοια είναι επίσης και τα στοιχεία δραστηριοτήτων και γεγονότων που λαμβάνονται στην έξοδο του Η/Υ και θεωρούνται ως τα αποτελέσματα του προγράμματος.

Τα στοιχεία, με τα οποία πρέπει να τροφοδοτηθεί ο Η/Υ είναι:

- Το πλήθος των δραστηριοτήτων.
- Ο συμβολισμός της κάθε δραστηριότητας με βάση τους κόμβους (γεγονότα) τους οποίους συνδέει, με τη μορφή διατεταγμένου ζεύγους (i,j) .
- Οι διάρκειες όλων των δραστηριοτήτων.

Η μορφή και το περιεχόμενο των αποτελεσμάτων εξαρτάται άμεσα από το στόχο, για την υλοποίηση του οποίου επιλύεται το δίκτυο. Τα στοιχεία που ζητούνται ως αποτελέσματα αποτελούν συνήθως συνάρτηση του επιπέδου διοίκησης, στο οποίο θα παραδοθεί η μελέτη και του διαθέσιμου σχετικού προϋπολογισμού. Είναι απαραίτητο πάντως να περιλαμβάνεται στα αποτελέσματα τουλάχιστον ένας ελάχιστος αριθμός πληροφοριών για κάθε δραστηριότητα, όπως:

- Ο αρχικός και τελικός κόμβος (γεγονός).
- Η διάρκεια της δραστηριότητας.
- Οι νωρίτεροι και αργότεροι χρόνοι έναρξης και λήξης.
- Το συνολικό χρονικό περιθώριο.

Επεκτείνοντας την ανάλυση λίγα βήματα πιο πέρα δεν είναι δύσκολο να διαπιστωθεί ότι το γενικό πρόβλημα του προγραμματισμού ενός έργου με τη βοήθεια της Δικτυωτής Ανάλυσης μπορεί να διαμορφωθεί ως ένα κλασσικό πρόβλημα Γραμμικού Προγραμματισμού ως εξής:

$$\text{Αντικειμενική συνάρτηση: } \min f(N) = \sum_{i=2}^{n-1} N(i)$$

Ομάδα περιορισμών : $N(j) - N(i) \geq t(i,j)$.
όπου $1 \leq i < j \leq n$ ο νωρίτερος χρόνος του γεγονότος i .

Με τον παραπάνω τρόπο διαμόρφωσης οι λύσεις που θα προκύψουν είναι οι νωρίτεροι χρόνοι των γεγονότων. Το πρόβλημα μπορεί να καταστρωθεί ανάλογα, αν οι επιθυμητές λύσεις είναι οι αργότεροι χρόνοι των γεγονότων.

Οι εμπνευστές της παραπάνω προσέγγισης του προβλήματος παραδέχονται ότι ο Γραμμικός Προγραμματισμός είναι στη συγκεκριμένη περίπτωση λιγότερο αποτελεσματικός από τις συνηθισμένες μεθόδους της Δικτυωτής Ανάλυσης ([1]). Το μαθηματικό του μοντέλο αποτελεί πάντως έναν ολοκληρωμένο εναλλακτικό τρόπο επίλυσης των προβλημάτων χρονικού προγραμματισμού των έργων και συμβάλλει ουσιαστικά στην κατανόηση του μηχανισμού και της λογικής των τεχνικών της Δικτυωτής Ανάλυσης.

Χωρίς άλλο, οι Η/Υ είναι απαραίτητοι στην αντιμετώπιση πραγματικών προβλημάτων επίλυσης δικτύων. Δεν μπορούν όμως να αντικαταστήσουν την ανθρώπινη λογική, ούτε μπορούν να λύσουν εξ ολοκλήρου σύνθετα πρακτικά προβλήματα που η λύση τους απαιτεί σωστή κρίση και εμπειρία.

Ωστόσο, το σύνθημα μέγεθος των σύγχρονων έργων καθιστά πρακτικά απαραίτητη την ευρεία χρήση εξειδικευμένων Πληροφοριακών Συστημάτων τα οποία ασχολούνται με το μηχανογραφημένο προγραμματισμό και έλεγχο σύνθετων ή σημαντικών έργων. Πολυάριθμες εταιρείες και πανεπιστήμια έχουν συντάξει τέτοια προγράμματα για εμπορικούς ή ερευνητικούς σκοπούς. Η αναφορά τους και μόνο θα απαιτούσε πολύ χώρο και θα ξέφευγε από τους στόχους αυτού του πονήματος. Κρίνεται όμως σκόπιμη η έστω και συνοπτική

παρουσίαση των δημοφιλέστερων Πληροφοριακών Συστημάτων, τα οποία έχουν δοκιμασθεί εκτενώς σε ποικίλες εφαρμογές και έχουν αποδειχθεί αξιόπιστα και αποτελεσματικά. Δύο από τα σημαντικότερα σύγχρονα Πληροφοριακά Συστήματα Προγράμματα Προγραμματισμού και ελέγχου έργων είναι:

α) Το πρόγραμμα MICROSOFT - PROJECT της γνωστής εταιρείας Microsoft, το οποίο βοηθά αποτελεσματικά στην οργάνωση πολυσύνθετων έργων, συνδυάζοντας την ισχύ της μεθόδου της Κρίσιμης Διαδρομής (C.P.M.) με το φιλικό προς το χρήστη γραφικό περιβάλλον ([2]).

β) Το πρόγραμμα HTPM (Harvard Total Project Management), το οποίο αποτελεί «παραγωγή» του Πανεπιστημίου του Harvard και ασχολείται με όλα τα επιμέρους στάδια της διοίκησης και λεπτομερούς παρακολούθησης ενός έργου ([2]).

2. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Στο κεφάλαιο αυτό δίνονται οι βασικές έννοιες δίκτυο, δραστηριότητα, γεγονός, πλασματικές δραστηριότητες, δραστηριότητες παράλληλες, δραστηριότητες σε σειρά, καθώς και παράδειγμα διαμόρφωσης και επίλυσης δικτύου. Για τις βασικές έννοιες παραπέμπουμε κυρίως στο ([1]).

2.1 ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

- **Δίκτυο**

Παριστάνει ολόκληρο το έργο. Απαρτίζεται από τις δραστηριότητες που συνθέτουν το έργο και από τα γεγονότα, τα οποία δηλώνουν τις διάφορες φάσεις της εξέλιξής του. Επίσης περιλαμβάνει τις αλληλεξαρτήσεις και συνδέσεις δραστηριοτήτων και γεγονότων.

- **Δραστηριότητα**

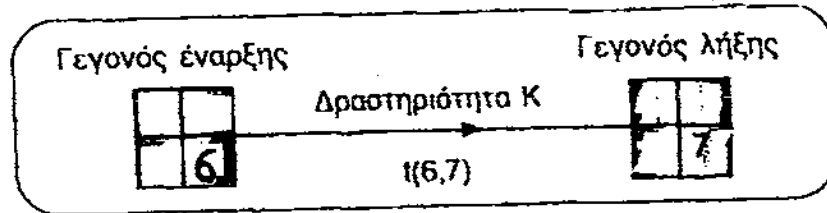
Είναι ένα από τα πολλά καθήκοντα, λειτουργίες ή επιμέρους εργασίες που συνιστούν ένα έργο. Παριστάνεται με ένα ευθύγραμμο τμήμα που φέρει βέλος, η κατεύθυνση του οποίου δείχνει τη σχέση μεταξύ του αμέσως προηγούμενου γεγονότος i και του επόμενου γεγονότος j (βλ. σχήμα 2.1). Το μήκος του ευθυγράμμου τμήματος μίας δραστηριότητας δεν έχει καμία σχέση με τη διάρκειά της ή με κάποια χρονική κλίμακα. Η δραστηριότητα που συνδέει τα γεγονότα i και j συμβολίζεται (i,j) ή $i-j$ και η αντίστοιχη χρονική της διάρκεια $t(i,j)$ όπου πάντοτε $i < j$. Κάθε δραστηριότητα θεωρείται αδιαίρετη και ορίζεται μονοσήμαντα από τα γεγονότα έναρξης και λήξης της.

- **Γεγονός**

Αποτελεί έναν κόμβο που δηλώνει τη χρονική στιγμή, στην οποία θα πρέπει να έχουν ήδη ολοκληρωθεί όλες οι δραστηριότητες που οδηγούν σε αυτόν. Η έννοια του γεγονότος δεν αποτελεί συγκεκριμένη ενέργεια στη διαδικασία εκτέλεσης του έργου. Συμβολίζει απλά τη χρονική στιγμή έναρξης ή λήξης μίας ή περισσότερων δραστηριοτήτων. Το γεγονός παριστάνεται με ένα τετράγωνο, το οποίο χωρίζεται με δύο κάθετες γραμμές σε τέσσερα

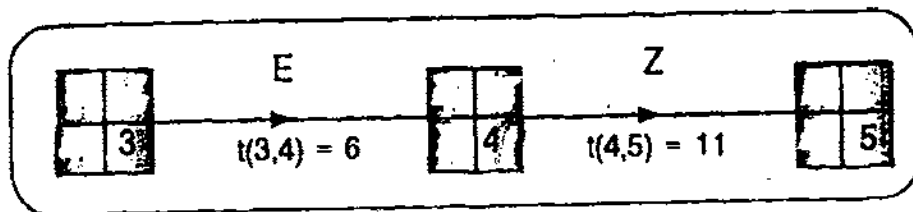
ισομεγέθη τμήματα. Στο κάτω δεξιό τμήμα του τετραγώνου σημειώνεται ο αύξων αριθμός του γεγονότος (βλ. σχήμα 2.1).

- **Δραστηριότητες σε σειρά**



Σχήμα 2.1: Σχηματική παράσταση δραστηριότητας και των γεγονότων έναρξης και λήξης

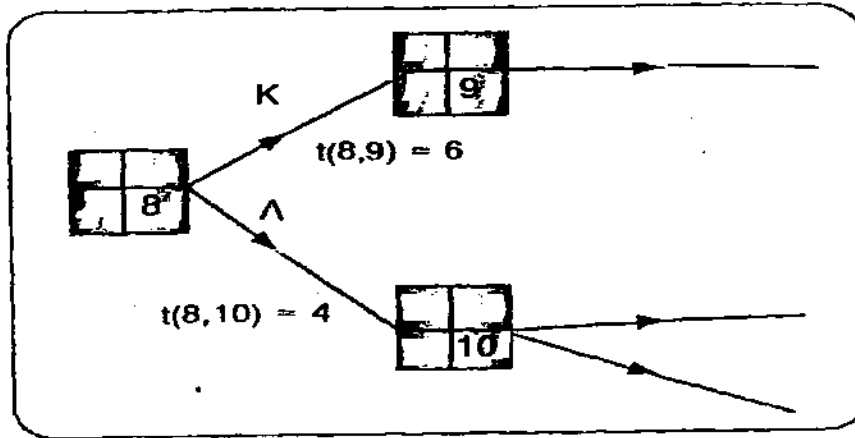
Δύο δραστηριότητες θεωρείται ότι είναι σε σειρά όταν η πρώτη από αυτές πρέπει να έχει ολοκληρωθεί πριν αρχίσει η επόμενη. Για παράδειγμα στο σχήμα 2.2 η εκτέλεση της δραστηριότητας $Z(4,5)$ δεν μπορεί να ξεκινήσει πριν τελειώσει η εκτέλεση της δραστηριότητας $E(3,4)$.



Σχήμα 2.2: Δραστηριότητες σε σειρά

- **Δραστηριότητες παράλληλες**

Δύο ή περισσότερες δραστηριότητες ονομάζονται παράλληλες όταν μπορούν να εκτελούνται ταυτόχρονα, χωρίς δηλαδή η εκτέλεση της μίας να επηρεάζει την άλλη. Πρακτικά οι παράλληλες δραστηριότητες έχουν είτε κοινό γεγονός έναρξης είτε κοινό γεγονός λήξης. Έτσι, στο σχήμα 2.3 οι δραστηριότητες K και L είναι ανεξάρτητες και μπορούν να εκτελούνται παράλληλα.

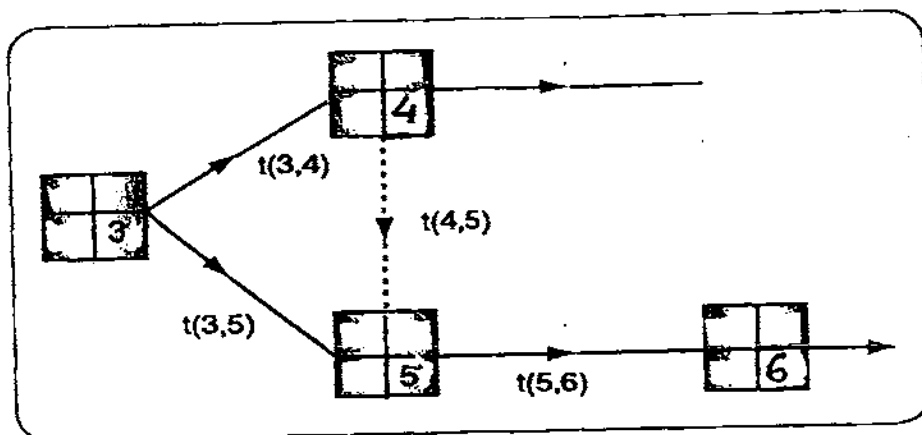


Σχήμα 2.3: Παράλληλες δραστηριότητες

- Πλασματικές δραστηριότητες

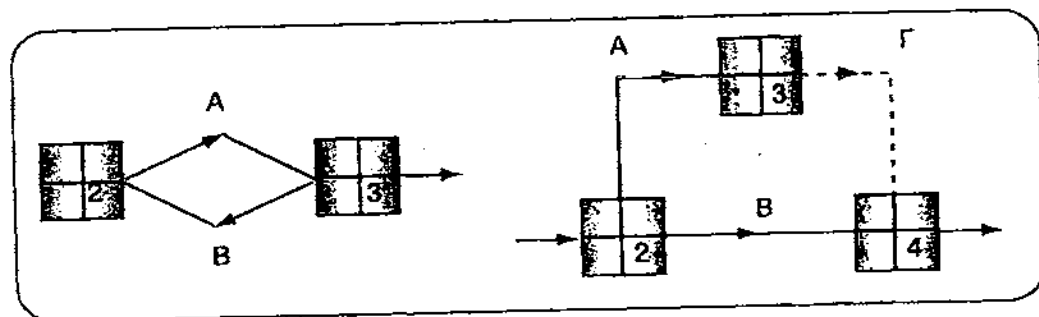
Είναι δραστηριότητες, οι οποίες δεν έχουν πραγματική υπόσταση, δεν καταναλώνουν χρόνο, δεν απαιτούν απασχόληση δυναμικού ούτε καταβολή οποιασδήποτε προσπάθειας. Συχνά όμως η παρουσία τους είναι απαραίτητη είτε για να διατηρηθεί η λογική του δικτύου (βλ. σχήμα 2.4) είτε για να αποφευχθεί τυχόν αμφιβολία όταν δύο ή περισσότερες δραστηριότητες καθορίζονται από τα ίδια γεγονότα έναρξης και λήξης (βλ. σχήματα 2.5α και 2.5β). Οι πλασματικές δραστηριότητες συμβολίζονται με διακεκομμένη γραμμή.

Αξίζει πάντως να σημειωθεί ότι παρά την αναμφισβήτητη χρησιμότητα των πλασματικών δραστηριοτήτων κατά τη διαμόρφωση ενός δικτύου πρέπει κατά το δυνατό να αποφεύγεται η χρησιμοποίησή τους, επειδή επιβαρύνουν σημαντικά το απαιτούμενο υπολογιστικό έργο.



Σχήμα 2.4: Πλασματική δραστηριότητα ...

[Η εκτέλεση της (5,6) δεν μπορεί να αρχίσει πριν ολοκληρωθούν οι (3,4) και (3,5). Η συσχέτιση αυτή παριστάνεται με την προσθήκη της πλασματικής δραστηριότητας (4,5).]



Σχήμα 2.5α

Σχήμα 2.5β

Σχήμα 2.5α: Λανθασμένο.

[Υπάρχει ασάφεια επειδή οι δραστηριότητες A και B έχουν το ίδιο γεγονός έναρξης και λήξης (2 και 3 αντίστοιχα), οπότε δεν υπάρχει μονοσήμαντος ορισμός τους.]

Σχήμα 2.5β: Σωστό.

[Η προσθήκη της πλασματικής δραστηριότητας Γ διευκρινίζει κάθε αμφιβολία, διατηρώντας μονοσήμαντο ορισμό για όλες τις δραστηριότητες. Α (2,3), Β (2,4), Γ (3,4).]

2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Είναι ίσως η δυσκολότερη και πλέον υπεύθυνη διαδικασία κατά την εφαρμογή των τεχνικών της δικτυωτής ανάλυσης. Απαιτείται σωστή κρίση, εμπειρία και άριστη γνώση του έργου, το οποίο πρόκειται να σχεδιασθεί και να προγραμματισθεί. Η διαδικασία διαμόρφωσης του δικτύου συνίσταται από τα παρακάτω στάδια.

1. Καταμερισμός του έργου σε επιμέρους εργασίες.

Δεν υπάρχει κάποιο ποσοτικό κριτήριο που να υπαγορεύει το σωστό αριθμό των εργασιών, στις οποίες πρέπει να αναλυθεί ένα έργο. Ο λόγος είναι απλός. Τα έργα που μπορούν να προγραμματισθούν με τη βοήθεια της δικτυωτής ανάλυσης είναι πολλών ειδών με διαφορετικά χαρακτηριστικά και ιδιομορφίες. Ακόμη όμως και για το ίδιο έργο δεν μπορεί να δοθεί κάποιος συγκεκριμένος κανόνας καταμερισμού του, γιατί αυτός εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως:

- Το πρόσωπο, το φορέα ή πιο συχνά το επίπεδο διοίκησης για την εξυπηρέτηση των αναγκών του οποίου διαμορφώνεται το δίκτυο.
- Τις εκάστοτε ανάγκες του εργοδότη ή του χρηματοδότη του έργου.
- Τις τεχνικές γνώσεις αυτού που αναλαμβάνει τη διαμόρφωση του δικτύου.
- Τον αντικειμενικό στόχο, για τον οποίο αναλύεται και σχεδιάζεται το συγκεκριμένο έργο.

2. Καθορισμός της σειράς εκτέλεσης των δραστηριοτήτων καθώς και των μεταξύ τους αλληλεξαρτήσεων.

Για κάθε δραστηριότητα είναι απαραίτητο να απαντηθούν τα ακόλουθα ερωτήματα:

1. Ποιες δραστηριότητες πρέπει να έχουν ολοκληρωθεί αμέσως πριν την έναρξή της.
2. Ποιες δραστηριότητες δεν μπορούν να αρχίσουν πριν την ολοκλήρωσή της.
3. Ποιες δραστηριότητες μπορούν να εκτελούνται ταυτόχρονα με αυτήν.

3. Σχεδιασμός του δικτύου έτσι ώστε να παριστάνονται όλες οι αλληλοσυσχετίσεις μεταξύ των δραστηριοτήτων.

Το δίκτυο πρέπει να σχεδιασθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να έχει ένα και μόνο γεγονός έναρξης και ένα γεγονός λήξης. Επίσης είναι απαραίτητο να παριστάνονται όλες οι υπάρχουσες αλληλοσυσχετίσεις μεταξύ των δραστηριοτήτων του έργου. Τα γεγονότα πρέπει να αριθμούνται κατά αύξουσα τάξη, κάθε δηλαδή προηγούμενο γεγονός να έχει οπωσδήποτε μικρότερο αύξοντα αριθμό από τον αύξοντα αριθμό οποιουδήποτε από τα γεγονότα που ακολουθούν. Τέλος, πρέπει κατά το σχεδιασμό να αποφεύγονται οι διασταυρώσεις μεταξύ των ευθυγράμμων τμημάτων των δραστηριοτήτων.

2.3 ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

2.3.1 Ορισμοί

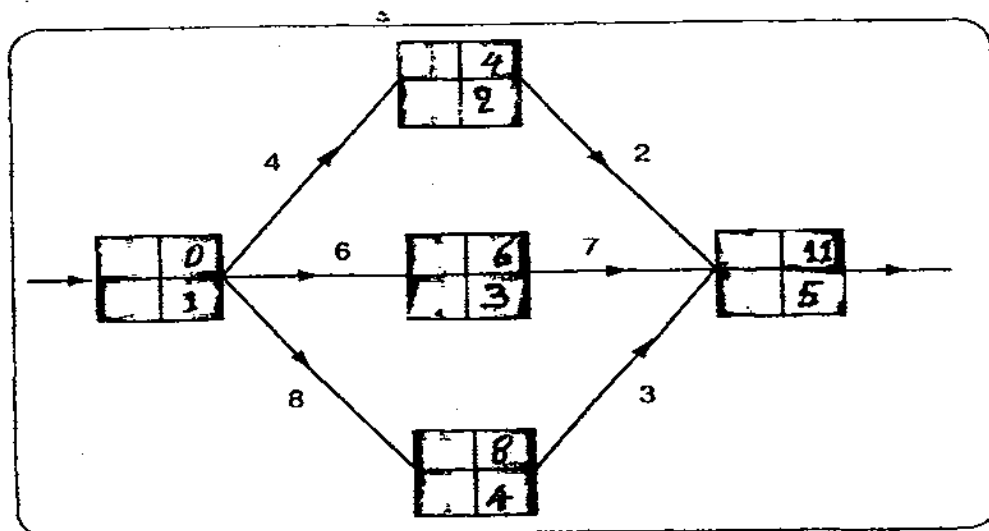
- **Νωρίτερος Χρόνος Γεγονότος. $N(j)$**

Είναι ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται για την εκτέλεση όλων των δραστηριοτήτων που ανήκουν σε όλες τις διαδρομές από την αρχή του έργου έως το συγκεκριμένο γεγονός. Υπολογίζεται από τη χρονικά μέγιστη διαδρομή

ανάμεσα στην αρχή του δικτύου και στο γεγονός j και υπολογίζεται με τη βοήθεια της σχέσης:

$$N(j) = \max_{(i,j)} \{N(i) + t(i,j)\} \quad (2.1)$$

$\forall i \in \Sigma$, όπου Σ είναι το σύνολο των γεγονότων που προηγούνται του γεγονότος j και συνδέονται άμεσα μ' αυτό. Προφανώς ισχύει ότι $1 \leq i \leq j < n$ και $N(1) = 0$, όπου 1 και n οι αύξοντες αριθμοί των γεγονότων έναρξης και λήξης αντίστοιχα. Ο $N(j)$ σημειώνεται στο επάνω δεξιό τετράγωνο του συμβόλου του γεγονότος j . Στο σχήμα 2.6 σημειώνονται οι νωρίτεροι χρόνοι των γεγονότων του αρχικού τμήματος ενός δικτύου, οι οποίοι υπολογίζονται ως εξής:



Σχήμα 2.6: Υπολογισμός νωρίτερων χρόνων γεγονότων

Εξ ορισμού $N(1) = 0$. Εύκολα υπολογίζεται ότι:

$$N(2) = N(1) + t(1,2) = 0 + 4 = 4$$

$$N(3) = N(1) + t(1,3) = 0 + 6 = 6 \text{ και}$$

$$N(4) = N(1) + t(1,4) = 0 + 8 = 8$$

Για το νωρίτερο χρόνο του γεγονότος 5 έχουμε:

$$N(5) = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} N(2) + t(2,5) = 4 + 2 = 6 \\ N(3) + t(3,5) = 6 + 7 = 13 \\ N(4) + t(4,5) = 8 + 3 = 11 \end{array} \right\}$$

Άρα $N(1) = 0$, $N(2) = 4$, $N(3) = 6$, $N(4) = 8$ και $N(5) = 13$

• **Αργότερος Χρόνος Γεγονότος, $A(i)$**

Είναι ο μέγιστος χρόνος που απαιτείται για την εκτέλεση όλων των δραστηριοτήτων, οι οποίες ανήκουν σε όλες τις διαδρομές από την αρχή έως το συγκεκριμένο γεγονός, χωρίς τελικά να καθυστερήσει το έργο. Βρίσκεται από τη χρονικά μικρότερη διαδρομή ανάμεσα στο γεγονός i και στο γεγονός λήξης του δικτύου και υπολογίζεται με τη σχέση:

$$A(i) = \min_{(i,j)} \{ A(j) - t(i,j) \} \quad (2.2)$$

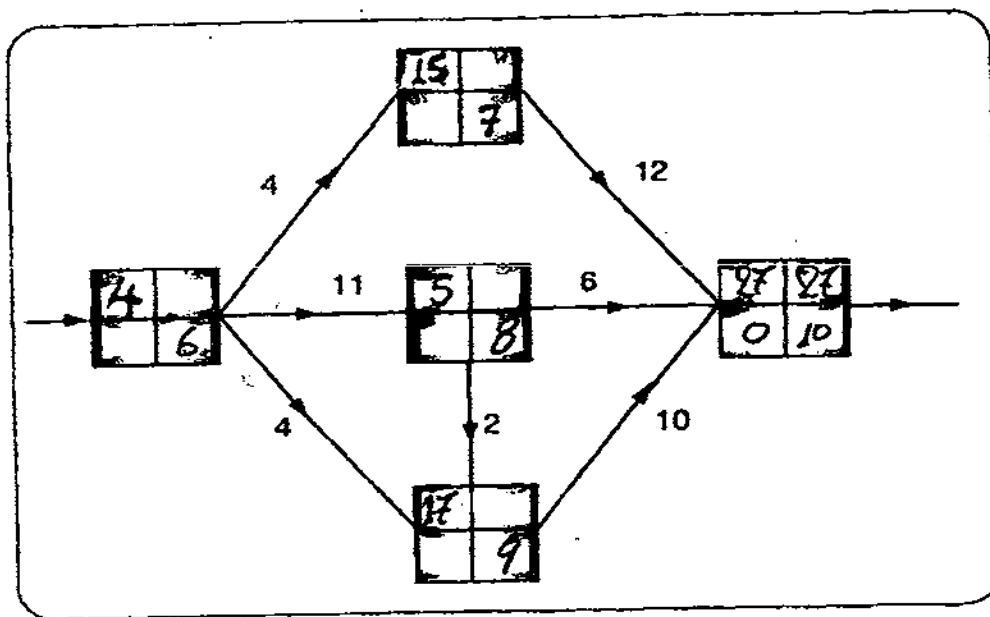
$\forall i \in \Sigma$, όπου Σ είναι το σύνολο των γεγονότων που ακολουθούν το γεγονός i και συνδέονται άμεσα με αυτό.

Θεωρείται ότι $1 \leq i < j \leq n$, $A(i) \geq N(i)$ και $N(n) = A(n)$. δηλαδή το έργο πρέπει να τελειώσει μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Ο αργότερος χρόνος σημειώνεται στο επάνω αριστερό τετράγωνο του συμβόλου του γεγονότος i . Στο τελευταίο τετράγωνο κάθε γεγονότος (κάτω αριστερά) σημειώνεται η διαφορά αργότερου και νωρίτερου χρόνου $A(i) - N(i)$. Στο σχήμα 2.7 σημειώνονται οι αργότεροι χρόνοι των γεγονότων του τελικού τμήματος ενός δικτύου. Ο αργότερος χρόνος του γεγονότος λήξης ενός έργου ισούται συνήθως (όχι όμως απαραίτητα, ειδικά σε περίπτωση που υπάρχει ελαστικότητα ως προς το χρόνο παράδοσής του) με τον αντίστοιχο νωρίτερο χρόνο, δηλαδή $A(10) = N(10) = 27$.

Έχουμε λοιπόν:

$$\begin{aligned} A(7) &= A(10) - t(7,10) = 27 - 12 = 15 \\ A(9) &= A(10) - t(9,10) = 27 - 10 = 17 \text{ και} \\ A(8) &= \text{Min} \begin{cases} A(10) - t(8,10) = 27 - 6 = 21 \\ A(9) - t(8,9) = 17 - 2 = 15 \end{cases} \\ A(6) &= \text{Min} \begin{cases} A(7) - t(6,7) = 15 - 4 = 11 \\ A(8) - t(6,8) = 15 - 11 = 4 \\ A(9) - t(6,9) = 17 - 4 = 13 \end{cases} \end{aligned}$$

Άρα $A(6) = 4$, $A(7) = 15$, $A(8) = 21$, $A(9) = 17$, και $A(10) = 27$.



Σχήμα 2.7: Αργότεροι χρόνοι γεγονότων

• **Νωρίτερος Χρόνος Έναρξης Δραστηριότητας, NE(i,j)**

Αποτελεί τη νωρίτερη δυνατή χρονική στιγμή, κατά την οποία μπορεί να αρχίζει μία δραστηριότητα. Ισούται με το νωρίτερο χρόνο του γεγονότος έναρξης της δραστηριότητας, δηλαδή:

$$NE(i,j) = N(i) \tag{2.3}$$

• **Νωρίτερος Χρόνος Λήξης Δραστηριότητας, ΝΛ(i,j)**

Αποτελεί τη νωρίτερη δυνατή χρονική στιγμή που μπορεί να τελειώσει μία δραστηριότητα. Ισούται με το άθροισμα του νωρίτερου χρόνου του γεγονότος έναρξης και της διάρκειας της δραστηριότητας, δηλαδή:

$$N\Lambda(i,j) = N(i) + t(i,j) \tag{2.4}$$

- **Αργότερος Χρόνος Έναρξης Δραστηριότητας, $AE(i,j)$**

Είναι η αργότερη χρονική στιγμή, κατά την οποία μπορεί να αρχίσει μία δραστηριότητα παραμένοντας όμως μέσα στον προγραμματισμό του έργου. Ισούται με τη διαφορά του αργότερου χρόνου του γεγονότος λήξης και της διάρκειας της δραστηριότητας, δηλαδή:

$$AE(i,j) = A(j) - t(i,j) \quad (2.5)$$

- **Αργότερος Χρόνος Λήξης Δραστηριότητας, $AL(i,j)$**

Είναι η αργότερη χρονική στιγμή, κατά την οποία μπορεί να τελειώσει μια δραστηριότητα χωρίς να προκαλέσει την καθυστέρηση ολόκληρου του έργου. Ισούται με τον αργότερο χρόνο του γεγονότος λήξης, δηλαδή:

$$AL(i,j) = A(j) \quad (2.6)$$

- **Ανεξάρτητο Χρονικό Περιθώριο Δραστηριότητας, $A(i,j)$**

Ανήκει ολόκληρο στη συγκεκριμένη δραστηριότητα και συμβολίζει το χρονικό διάστημα, κατά το οποίο μπορεί να αυξηθεί η διάρκειά της χωρίς καμία επίπτωση στις προηγούμενες ή στις επόμενες δραστηριότητες. Ορίζεται από τη σχέση:

$$A(i,j) = N(j) - A(i) - t(i,j) \quad (2.7)$$

- **Ελεύθερο Χρονικό Περιθώριο Δραστηριότητας, $E(i,j)$**

Είναι ο χρόνος που διατίθεται για κάθε δραστηριότητα πέρα από τη διάρκειά της $t(i,j)$, χωρίς να επηρεασθούν οι επόμενες δραστηριότητες.

Ορίζεται από τη σχέση:

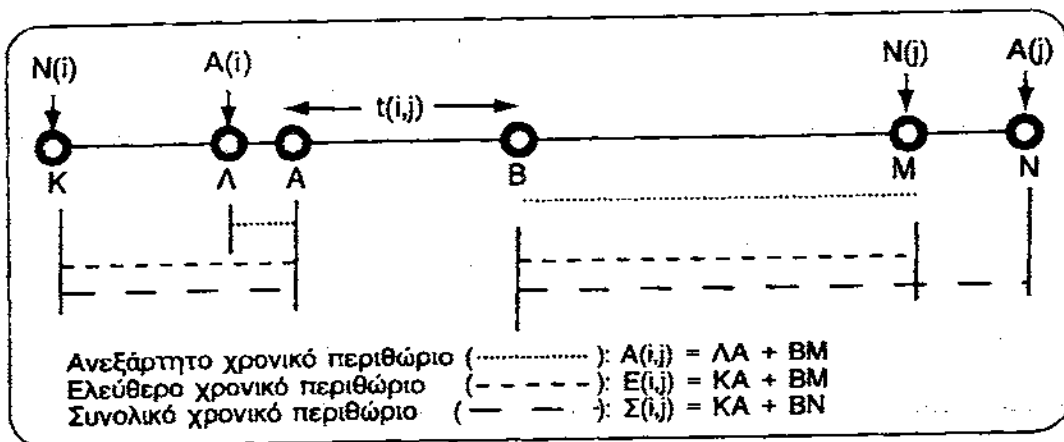
$$E(i,j) = N(j) - N(i) - t(i,j) \quad (2.8)$$

• **Συνολικό Χρονικό Περιθώριο Δραστηριότητας, $\Sigma(i,j)$**

Παριστάνει το μέγιστο χρόνο, κατά τον οποίο μπορεί να καθυστερήσει η έναρξη μίας δραστηριότητας πέραν του νωρίτερου χρόνου έναρξής της χωρίς να αυξηθεί ο συνολικός χρόνος εκτέλεσης του έργου. Είναι ο μέγιστος διαθέσιμος χρόνος για τη δραστηριότητα (i,j) πέρα από την κανονική διάρκειά της και δίνεται από τη σημαντική σχέση:

$$\Sigma(i,j) = A(j) - N(i) - t(i,j) \tag{2.9}$$

Αν $\Sigma(i,j) = 0$ η δραστηριότητα πρέπει να αρχίσει τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή που καθορίζεται από το νωρίτερο χρόνο έναρξής της. Σ' αυτή την περίπτωση έχουμε: $NE(i,j) = AE(i,j) = N(i)$ και $N\Lambda(i,j) = \Lambda A(i,j) = A(j)$. Μία δραστηριότητα, της οποίας το συνολικό χρονικό περιθώριο ισούται με μηδέν, ονομάζεται κρίσιμη δραστηριότητα. Οποιαδήποτε καθυστέρηση στην έναρξη μίας τέτοιας δραστηριότητας έχει ως άμεσο επακόλουθο ισόχρονη καθυστέρηση της διάρκειας εκτέλεσης ολόκληρου του έργου. Αυτό συμβαίνει όταν $\Sigma(i,j) < 0$. Αρνητικό συνολικό χρονικό περιθώριο μίας δραστηριότητας δείχνει το πόσο πρέπει να μειωθεί η διάρκειά της, προκειμένου να ολοκληρωθεί έγκαιρα το έργο. Τα τρία χρονικά περιθώρια μίας δραστηριότητας παριστάνονται γραφικά στο σχήμα 2.8.



Σχήμα 2.8: Χρονικά περιθώρια δραστηριότητας

Κρίσιμη Διαδρομή

Είναι η διαδρομή, η οποία αρχίζει από το γεγονός έναρξης του έργου περιλαμβάνοντας κρίσιμες μόνο δραστηριότητες. Η κρίσιμη διαδρομή τελειώνει στο γεγονός λήξης του έργου. Κάθε δίκτυο έχει τουλάχιστον μία κρίσιμη διαδρομή.

Η σπουδαιότητα της κρίσιμης διαδρομής καθίσταται πασιφανής αν ληφθεί υπόψη ότι:

- Οποιαδήποτε καθυστέρηση δραστηριοτήτων που ανήκουν στην κρίσιμη διαδρομή συνεπάγεται ισόχρονη καθυστέρηση ολόκληρου του έργου.
- Ο μοναδικός τρόπος ελάττωσης της διάρκειας του συνολικού έργου είναι η εξέταση μίας προς μία όλων των κρίσιμων δραστηριοτήτων και η εξεύρεση τρόπου μείωσης της διάρκειάς τους.

2.3.2 Διαδικασία επίλυσης του δικτύου

Οι βασικές φάσεις της διαδικασίας επίλυσης ενός δικτύου είναι:

1) Εκτίμηση των διαρκειών όλων των δραστηριοτήτων του έργου.
Είναι μία διαδικασία πολύ δυσκολότερη απ' όσο θα φανταζόταν κανείς και απαιτεί συντονισμένη προσπάθεια για την επίτευξη όσο το δυνατό μεγαλύτερης ακρίβειας. Για το σκοπό αυτό μπορεί να αποβεί χρήσιμη η συλλογή και επεξεργασία σχετικών στατιστικών στοιχείων, η χρήση της εμπειρίας ειδικών πάνω στην εκτέλεση των διαφόρων εργασιών καθώς και η γνώση των ταχυτήτων και των αποδόσεων του εξοπλισμού και των άλλων μέσων που θα χρησιμοποιηθούν.

2) Υπολογισμός των νωρίτερων και αργότερων χρόνων γεγονότων και δραστηριοτήτων.

Αρκεί η εφαρμογή των τύπων 2.1 και 2.2 για τους χρόνους των γεγονότων και ακολούθως των σχέσεων 2.3, 2.4, 2.5 και 2.6 για τον υπολογισμό των

βασικών χρόνων κάθε δραστηριότητας. Σε μεγάλου μεγέθους έργα είναι απαραίτητη η χρήση Η/Υ.

3)Υπολογισμός των χρονικών περιθωρίων των δραστηριοτήτων.

Η διαδικασία αυτή συνίσταται στον υπολογισμό των τριών χρονικών περιθωρίων (συνολικό, ανεξάρτητο, ελεύθερο) για κάθε δραστηριότητα. Πάντως απόλυτα απαραίτητος είναι μόνον ο υπολογισμός των συνολικών χρονικών περιθωρίων.

4)Προσδιορισμός των κρίσιμων δραστηριοτήτων και της κρίσιμης διαδρομής του δικτύου.

Οι κρίσιμες δραστηριότητες εντοπίζονται από το γεγονός ότι το συνολικό χρονικό περιθώριο τους ισούται με μηδέν. Η κρίσιμη διαδρομή αναγνωρίζεται εύκολα επειδή αποτελείται από δραστηριότητες που έχουν όλες συνολικό χρονικό περιθώριο ίσο με μηδέν.

2.3.3 Αναθεώρηση του δικτύου.

Η διαδικασία επίλυσης του δικτύου είναι στην πράξη απλή και αποτελεσματική, δεν λύνει όμως ορισμένα από τα προβλήματα που σχεδόν σίγουρα θα παρουσιασθούν στην πράξη. Τέτοιου είδους προβλήματα αφορούν συνήθως στη νέα κατάσταση που θα προκύψει από τυχόν προσθήκη ή κατάργηση κάποιων δραστηριοτήτων ή ακόμη και από τη μεταβολή της διάρκειας μίας ή περισσότερων από αυτές. Απαιτείται περιοδική επανεξέταση και πιθανή αναθεώρηση όλων των στοιχείων του έργου, ακόμη και αν η εκτέλεσή του έχει προχωρήσει σημαντικά. Χωρίς σε καμιά περίπτωση να αποτελεί κανόνα συνίσταται η τήρηση της ακόλουθης διαδικασίας:

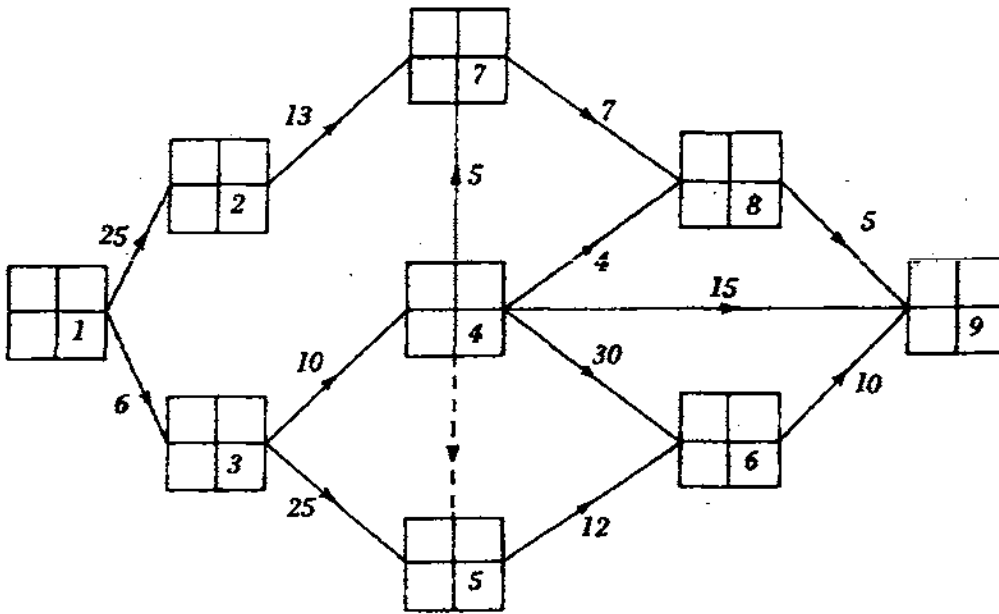
- Μηδενισμός των διαρκειών όλων των δραστηριοτήτων των οποίων η εκτέλεση έχει ήδη ολοκληρωθεί.
- Επανεκτίμηση της υπολειπόμενης διάρκειας των δραστηριοτήτων, των οποίων η εκτέλεση συνεχίζεται κατά τη στιγμή της αναθεώρησης.

- Προσθήκη επιπλέον δραστηριοτήτων ή κατάργηση κάποιων απ' αυτές που είχε προγραμματισθεί να εκτελεστούν, προκειμένου να προσομοιωθεί με ακρίβεια η τρέχουσα κατάσταση.
- Πιθανή μεταβολή της διάρκειας δραστηριοτήτων που δεν εκτελέστηκαν ακόμη.
- Διαμόρφωση του νέου δικτύου που περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες που αποκτήθηκαν.
- Επίλυση του διαμορφωθέντος δικτύου σαν αυτό να αρχίζει μόλις τώρα.

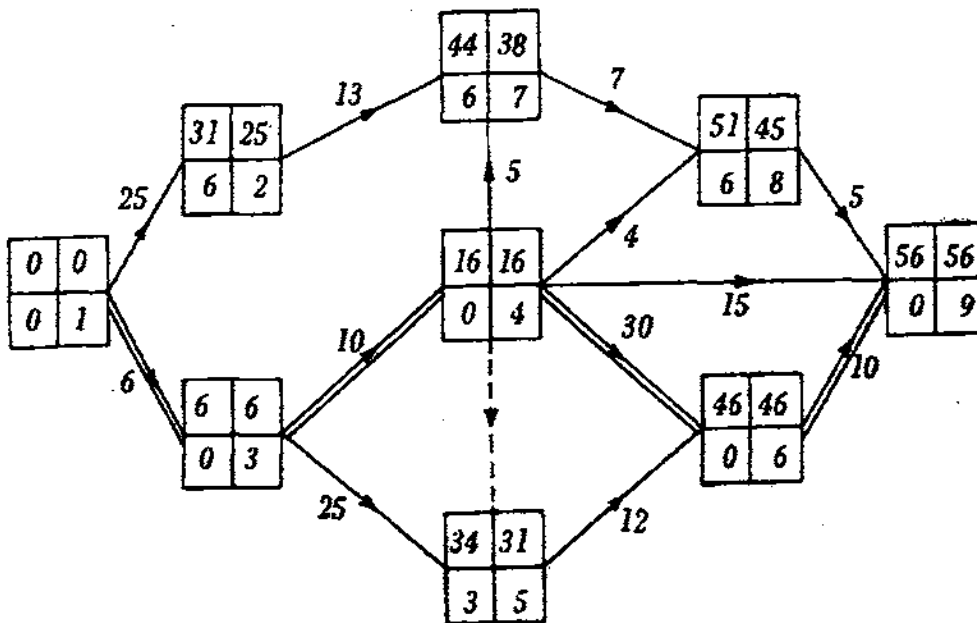
Ως γεγονός έναρξης του νέου δικτύου θεωρείται η χρονική στιγμή της αναθεώρησής του. Το χρονικό διάστημα που πέρασε από τη στιγμή της πραγματικής έναρξης του όλου έργου συμβολίζεται με μία πλασματική δραστηριότητα ευνόητης διάρκειας.

2.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΔΙΚΤΥΟΥ

Στο δίκτυο του σχήματος 2.9 παρουσιάζονται οι δραστηριότητες που πρέπει να εκτελεστούν για να συναρμολογηθεί ένα μηχανολογικό συγκρότημα. Οι αριθμοί πάνω στις δραστηριότητες είναι οι διάρκειές τους σε ημέρες. Με βάση τα στοιχεία αυτά, ζητείται να υπολογιστούν τα χρονικά περιθώρια των γεγονότων και των δραστηριοτήτων και να καθοριστούν η κρίσιμη ή οι κρίσιμες διαδρομές του δικτύου. Ορίζεται ο νωρίτερος χρόνος του γεγονότος 1 ίσος με το 0, δηλαδή $N(1)=0$. Αυτός ο χρόνος είναι η αρχή μετρήσεως όλων των άλλων χρόνων του δικτύου. Οι νωρίτεροι χρόνοι των άλλων γεγονότων υπολογίζονται με τη βοήθεια της σχέσεως 2.1. Ο νωρίτερος χρόνος για να ολοκληρωθεί ολόκληρο το πρόγραμμα του δικτύου είναι 56 ημέρες, αφού αυτός είναι ο νωρίτερος χρόνος του γεγονότος λήξης.



Σχήμα 2.9. Το δίκτυο του παραδείγματος 2.4.



Σχήμα 2.10. Λύση του δικτύου του παραδείγματος 2.4.

Ο αργότερος χρόνος του γεγονότος λήξεως εκλέγεται ίσος με το νωρίτερο χρόνο του γεγονότος αυτού, δηλαδή $N(9)=A(9)=56$ ημέρες. Αρχίζοντας από το βραδύτερο χρόνο του γεγονότος λήξεως, με βάση τη σχέση 2.2 υπολογίζονται οι βραδύτεροι χρόνοι των γεγονότων.

Στον πίνακα 2.11 παρουσιάζονται οι υπολογισμοί των χρονικών περιθωρίων των δραστηριοτήτων. Οι δραστηριότητες που είναι κρίσιμες και επομένως αυτές που δημιουργούν την κρίσιμη διαδρομή είναι οι 1-3, 3-4, 4-6 και 6-9. Αυτές σημειώνονται στον πίνακα με έναν αστερίσκο. Τα συνολικά χρονικά περιθώρια των γεγονότων σημειώνονται στο κάτω αριστερό τετράγωνο του συμβόλου του γεγονότος.

Δραστ/τα (ij)	Διάρκεια t(ij)	Νωρίτεροι Χρόνοι		Αργότεροι Χρόνοι		Χρονικά Περιθώρια		
		Ενάρξης NE(i)	Λήξης NL(j)	Ενάρξης AE(i)	Λήξης AL(j)	Ανεξάρ- τητο	Ελευ- θερο	Συνο- λικό
1-2	25	0	25	6	31	0	0	6
1-3	6	0	6	0	6	0	0	0*
2-7	13	25	38	31	44	6	0	6
3-4	10	6	16	6	16	0	0	0*
3-5	25	6	31	9	34	0	0	3
4-5	0	16	16	34	34	15	15	18
4-6	30	16	46	16	46	0	0	0*
4-7	5	16	21	39	44	17	17	23
4-8	4	16	20	47	51	25	25	31
4-9	15	16	31	41	56	25	25	25
5-6	12	31	43	34	46	0	3	3
6-9	10	46	56	46	56	0	0	0*
7-8	7	38	45	44	51	6	0	6
8-9	3	45	50	51	56	0	6	6

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.11. Νωρίτεροι, αργότεροι χρόνοι και χρονικά περιθώρια δραστηριοτήτων.

3. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΙΚΤΥΩΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει αναλυτική αναφορά στις τεχνικές PERT και C.P.M. Οι δύο αυτές τεχνικές είναι οι βασικότερες τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην δικτυωτή ανάλυση.

3.1 ΤΕΧΝΙΚΗ PERT

3.1.1 Γενικά

Στις προηγούμενες αναλύσεις θεωρήθηκε ότι οι διάρκειες των δραστηριοτήτων είναι καθοριστικά μεγέθη, οι τιμές τους δηλαδή παραμένουν αμετάβλητες. Η υπόθεση αυτή είναι σε πολλές περιπτώσεις ανακριβής ή ακόμη και ανέφικτη για διάφορους λόγους, όπως:

- Είναι συχνά αδύνατο να εκτιμηθούν επακριβώς οι διάρκειες ορισμένων δραστηριοτήτων εξαιτίας της ίδιας της φύσης τους (π.χ. ερευνητικές εργασίες, ερευνητικά ή πολυσύνθετα έργα, δραστηριότητες που εξαρτώνται από εξωγενείς απρόβλεπτους παράγοντες κλπ).
- Υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις, όπου η υπάρχουσα πείρα είναι πολύ μικρή ή ανύπαρκτη.
- Δεν υπάρχουν καθόλου στατιστικά στοιχεία από παρεμφερείς εργασίες που εκτελέστηκαν στο παρελθόν.
- Η επακριβής εκτίμηση της διάρκειας μίας ή περισσότερων δραστηριοτήτων είναι συχνά ασύμφορη (συνήθως επειδή πρέπει να συμπεριληφθούν στη διαδικασία της πρόβλεψης πολλές μεταβλητές).

Η τεχνική PERT ([3]) που παρουσιάζεται σε αυτή την ενότητα λύνει αυτό ακριβώς το πρόβλημα της αδυναμίας εκτίμησης των διαρκειών κάποιων δραστηριοτήτων με συγκεκριμένες καθοριστικές τιμές. Η τεχνική αυτή βασίζεται στην αντίληψη ότι οι διάρκειες των δραστηριοτήτων είναι στοχαστικά μεγέθη. Κατόπιν με τη χρήση στατιστικών μοντέλων και τη βοήθεια ορισμένων

απλουστεύσεων λύνεται το δίκτυο και προγραμματίζεται κατάλληλα το αντίστοιχο έργο.

3.1.2 Μέση διάρκεια και μεταβλητότητα κρίσιμης διαδρομής- Επίλυση δικτύου

Η όλη διαδικασία επίλυσης του δικτύου με την τεχνική PERT δε διαφέρει πολύ από την ήδη γνωστή μεθοδολογία, η οποία θεωρεί τις διάρκειες των δραστηριοτήτων ως καθοριστικές:

1. Καθορίζονται οι τρεις χρονικές εκτιμήσεις για κάθε δραστηριότητα (αισιόδοξη, πιθανότερη και απαισιόδοξη).
2. Υπολογίζονται για κάθε δραστηριότητα η μέση τιμή και η μεταβλητότητά της.
3. Διαμορφώνεται το δίκτυο και λύνεται κατά τα γνωστά χρησιμοποιώντας τις μέσες τιμές των διαρκειών των δραστηριοτήτων. Τα διάφορα χρονικά στοιχεία του δικτύου που υπολογίσθηκαν υπόκεινται στην επίδραση της αβεβαιότητας που προκύπτει από τις εκτιμήσεις.
4. Θεωρείται ότι ολόκληρο το δίκτυο αντιπροσωπεύεται από την κρίσιμη διαδρομή, εφόσον η οποιαδήποτε μεταβολή στους χρόνους των δραστηριοτήτων της προκαλεί ανάλογη διαφοροποίηση στους χρόνους όλου του έργου. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη της κρίσιμης διαδρομής υπολογίζονται με τη βοήθεια των σχέσεων:

$$\text{Μέση διάρκεια κρίσιμης διαδρομής: } N_k = \sum_{(i,j) \in \Delta} t_e(i,j)$$

$$\text{Μεταβλητότητα κρίσιμης διαδρομής: } \sigma_{NK}^2 = \sum_{(i,j) \in \Delta} \sigma_i^2(i,j)$$

όπου Δ είναι το σύνολο των δραστηριοτήτων της κρίσιμης διαδρομής.

5. Έχοντας υπολογίσει τα θεμελιώδη μεγέθη N_k και σ_{NK}^2 η ανάλυση μπορεί να προχωρήσει περισσότερο προκειμένου να εκτιμηθούν:

α) Η πιθανότητα ολοκλήρωσης του συνολικού έργου σε ορισμένο χρόνο ή

β) Ο χρόνος πραγματοποίησης του έργου με ορισμένη πιθανότητα.

Για τον προσδιορισμό των παραπάνω μεγεθών απαιτείται η εύρεση της στατιστικής κατανομής, την οποία ακολουθεί η διάρκεια της κρίσιμης διαδρομής. Ο προσδιορισμός της απόλυτα αντιπροσωπευτικής κατανομής είναι πολύ δύσκολος αν όχι αδύνατος. Η ανοιγμένη μεταβλητή Z της κανονικής κατανομής δίνεται από τη θεμελιώδη σχέση της Στατιστικής:

$$Z = \frac{T - N_K}{\sigma_{NK}} - \frac{\sum t(i,j) - \sum t_s}{\sqrt{\sum \sigma_i^2(i,j)}}$$

όπου $T = \sum t(i,j)$ η ζητούμενη ή προγραμματισμένη διάρκεια της κρίσιμης διαδρομής.

N_K η μέση διάρκεια της κρίσιμης διαδρομής

σ_{NK} η τυπική απόκλιση της κρίσιμης διαδρομής.

Από την παραπάνω σχέση υπολογίζονται :

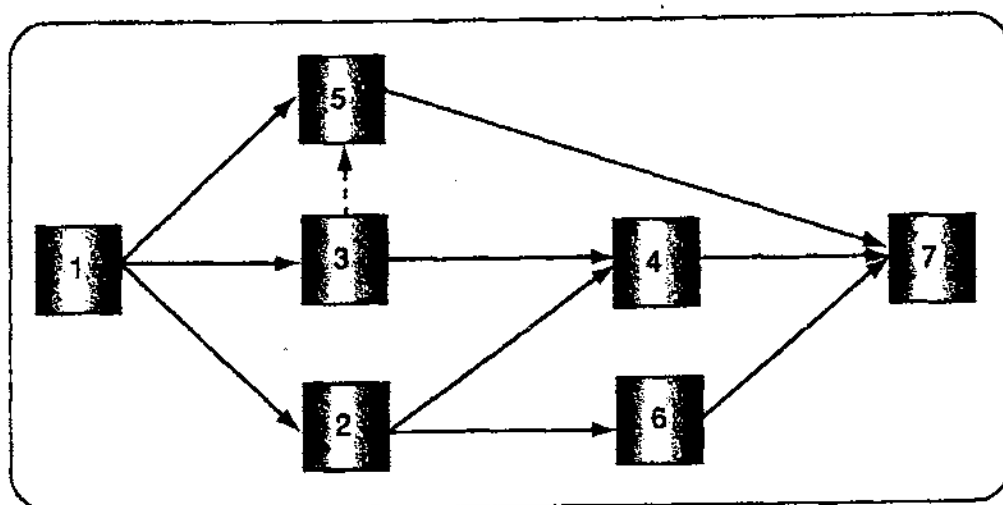
1. Η πιθανότητα εκτέλεσης του έργου σε ορισμένο χρόνο και
2. Ο απαιτούμενος χρόνος ολοκλήρωσης του έργου με ορισμένη πιθανότητα.

Για τους υπολογισμούς αυτούς απαιτείται η χρήση των πινάκων της τυπικής κανονικής κατανομής. Στην πρώτη περίπτωση είναι γνωστή η προγραμματισθείσα διάρκεια T της κρίσιμης διαδρομής, η μέση τιμή N και η τυπική απόκλιση σ_{NK} . Από τα μεγέθη αυτά υπολογίζεται η ανηγμένη μεταβλητή Z και κατόπιν με τη βοήθεια των στατιστικών πινάκων προσδιορίζεται η ζητούμενη πιθανότητα. Στη δεύτερη περίπτωση η δεδομένη επιθυμητή πιθανότητα πραγματοποίησης του έργου μετατρέπεται - με τους πίνακες της κανονικής κατανομής - στην αντίστοιχη τιμή της μεταβλητής Z και η παραπάνω σχέση λύνεται ως προς T που αποτελεί τη ζητούμενη διάρκεια εκτέλεσης του έργου.

3.1.3 Εφαρμογή της Τεχνικής PERT

Το ακόλουθο δίκτυο (βλ. σχήμα 3.1) παριστάνει τη διαδικασία εμφιάλωσης που ακολουθείται σε ένα εργοστάσιο προτοποΐας. Στον πίνακα 3.2 δίνονται τρεις χρονικές εκτιμήσεις για τη διάρκεια κάθε δραστηριότητας του έργου. Ζητείται η επίλυση του δικτύου με τη χρήση της τεχνικής PERT και ο υπολογισμός:

- α) της πιθανότητας εκτέλεσης του έργου σε 20 και 23 μέρες αντίστοιχα και
- β) του χρόνου ολοκλήρωσης του έργου με πιθανότητα 80% και 90% αντίστοιχα.



Σχήμα 3.1: Δίκτυο του έργου εμφιάλωσης

Για την επίλυση του Παραπάνω προβλήματος ακολουθείται η μεθοδολογία της τεχνικής PERT:

- 1) Για κάθε δραστηριότητα του έργου υπολογίζεται η μέση τιμή $t_a(i,j)$ και η μεταβλητότητα $\sigma_i^2(i,j)$ της διάρκειάς της, με τη βοήθεια των σχέσεων:

$$t_a(i,j) = \frac{t_e(i,j) + 4t_p(i,j) + t_m}{6} \quad \text{και} \quad \sigma_i^2(i,j) = \left(\frac{t_p(i,j) - t_e(i,j)}{6} \right)^2$$

Δραστηριότητα (i,j)	Αισιόδοξη εκτίμηση (t_e)	Πιθανότερη εκτίμηση (t_{π})	Απαισιόδοξη εκτίμηση (t_{μ})
1-2	3	6	15
1-3	0,5	1	7,5
1-5	1	2	9
2-4	0,5	1	7,5
2-6	2	3	10
3-4	1	3	11
3-5	0	0	0
4-7	6	10	32
5-7	10	15	50
6-7	3	5	25

Πίνακας 3.2: Δεδομένες χρονικές εκτιμήσεις δραστηριοτήτων του έργου εμφιάλωσης

2) Υπολογίζονται οι νωρίτεροι και οι αργότεροι χρόνοι πραγματοποίησης των γεγονότων και δραστηριοτήτων του έργου. Κατόπιν εξετάζονται όλες οι δραστηριότητες προκειμένου να διαπιστωθεί ποιες από αυτές είναι κρίσιμες με κριτήριο την τιμή του συνολικού χρονικού περιθωρίου. Ο πίνακας 3.3 και το σχήμα 3.1 περιέχουν όλα τα μεγέθη που υπολογίσθηκαν και τη λύση του δικτύου με την κρίσιμη διαδρομή.

Δραστηριότητα (i,j)	Διάρκειες			Μέση τιμή $t_a(i,j)$	Τυπική απόκλιση $\sigma_t(i,j)$	Συνολικό Χρονικό Περιθώριο
	t_e	t_p	t_m			
1-2	3	6	15	7	2	1
1-3	0,5	1	7,5	2	7/6	1
1-5	1	2	9	3	4/3	0*
2-4	0,5	1	7,5	2	7/6	1
2-6	2	3	10	4	4/3	4
3-4	1	3	11	4	5/3	4
3-5	0	0	0	0	0	1
4-7	6	10	32	13	13/3	1
5-7	10	15	50	20	20/3	0*
6-7	3	5	25	8	11/3	4

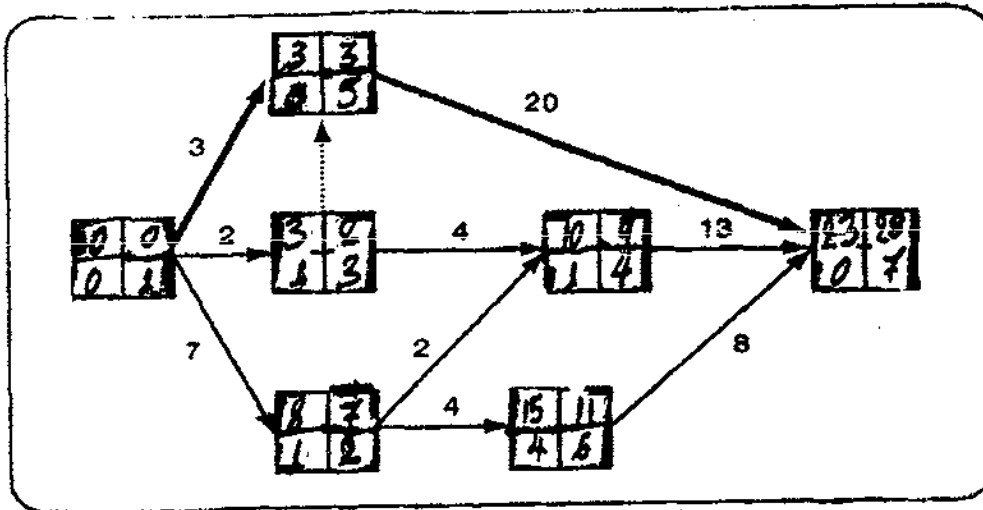
Πίνακας 3.3: Χρονικά στοιχεία δραστηριοτήτων.

3) Υπολογίζονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη της κρίσιμης διαδρομής:

$$\sigma_{NK}^2 = \sum_{(i,j)} \sigma_t^2(i,j) = \sigma_t^2(1,5) + \sigma_t^2(5,7)$$

$$N_K = \sum_{(i,j) \in \Delta} t_a(1,5) + t_a(5,7)$$

4) Υποθέτοντας ότι η διάρκεια της κρίσιμης διαδρομής ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή N_K και μεταβλητότητα σ_{NK}^2 έχουμε:



Σχήμα 3.4: Λύση του δικτύου του έργου εμφιάλωσης

α) Υπολογισμός πιθανότητας εκτέλεσης του έργου σε συγκεκριμένο χρόνο: Ο άγνωστος είναι η ανηγμένη κανονική μεταβλητή Z .

Για ολοκλήρωση του έργου σε 20 ημέρες: $Z_1 = (20-23)/6,80 \Rightarrow Z_1 = -0,44$
 Για ολοκλήρωση του έργου σε 23 ημέρες: $Z_2 = (23-23)/6,80 \Rightarrow Z_2 = 0$
 Από τους στατιστικούς πίνακες της κανονικής κατανομής υπολογίζεται ότι για $Z_1=0,44$, $P_1 = 0,33$ και για $Z_2=0$, $P_2=0,50$.

β) Υπολογισμός χρόνου ολοκλήρωσης του έργου για συγκεκριμένη πιθανότητα:

Για πιθανότητες 0,80 και 0,90 χρησιμοποιώντας τους ίδιους πίνακες έχουμε $Z_{0,80}=0,84$ και $Z_{0,90} = 1,28$ αντίστοιχα.

Οπότε $T_1=Z_{0,80} \cdot \sigma_{NK} + N_K = 0,84 \cdot 6,80+23$. Άρα $T_1=29$ ημέρες και $T_2=Z_{0,90} \cdot \sigma_{NK} + N_K = 1,28 \cdot 6,80+23$. Άρα $T_2=32$ ημέρες
 Εξάγονται συνεπώς τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. Οι πιθανότητες ολοκλήρωσης του έργου σε 20 και 23 μέρες είναι 33% και 50% αντίστοιχα.
2. Το έργο θα εκτελεστεί με πιθανότητα 80% σε 29 μέρες και με πιθανότητα 90% σε 32 μέρες περίπου.

3.1.4 Κριτική της τεχνικής PERT

Η μεθοδολογία της τεχνικής PERT είναι αναμφίβολα απλή και σαφής τόσο στην κατανόηση όσο και στην εφαρμογή της. Όσον αφορά όμως στην εγκυρότητα και στην αξιοπιστία της, παρουσιάζει τις εξής αδυναμίες:

- 1) Η μέση τιμή της διάρκειας του έργου θεωρείται ίση με το άθροισμα των μέσων τιμών των διαρκειών των δραστηριοτήτων που συνιστούν την κρίσιμη διαδρομή. Αυτή η παραδοχή είναι σωστή μόνον όταν το έργο αποτελείται από μία απλή αλυσίδα δραστηριοτήτων. Σε περίπτωση που το έργο είναι μεγάλο και σύνθετο, η εφαρμογή της τεχνικής PERT «υποτιμά» σταδιακά τη μέση διάρκειά του. Έχει παρατηρηθεί ([3]) ότι η εκτίμηση της διάρκειας του έργου με την παραπάνω διαδικασία είναι σχεδόν πάντα μικρότερη από την πραγματική, σε ποσοστό έως και 30%.
- 2) Η παραδοχή της τεχνικής PERT, ότι η μεταβλητότητα της διάρκειας του έργου ισούται με το άθροισμα των μεταβλητοτήτων των κρίσιμων δραστηριοτήτων, δίνει ακριβή αποτελέσματα μόνο σε απλά δίκτυα και αυτή η εκτίμηση είναι σχεδόν πάντα μικρότερη της πραγματικής της τιμής.
- 3) Παρά το ότι η κατανομή Β έχει χαρακτηριστικά που 'ταιριάζουν' με την αβεβαιότητα της διάρκειας μίας δραστηριότητας, έχουν επανειλημμένα εκφραστεί σοβαρές αμφιβολίες και αντιρρήσεις όσον αφορά στην καταλληλότητά της ([3]). Πιο συγκεκριμένα, δεν είναι δυνατό να αποδειχθεί κατά πόσο η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής Β είναι σε θέση να ανταποκριθεί ικανοποιητικά στο ιδιαίτερα δύσκολο πρόβλημα της μαθηματικής προσέγγισης της διάρκειας μίας δραστηριότητας, ως στοχαστικού μεγέθους.
- 4) Σε ένα δίκτυο, ιδίως όταν αυτό είναι μεγάλο και σύνθετο, πιθανώς υπάρχουν διαδρομές «σχεδόν κρίσιμες», τέτοιες δηλαδή που ολοκληρώνονται σε χρόνο ελάχιστα μικρότερο από αυτόν της κρίσιμης διαδρομής. Εφόσον όμως οι διάρκειες των δραστηριοτήτων είναι στοχαστικά μεγέθη, αναπόφευκτα υπάρχει αβεβαιότητα όσον αφορά στον ακριβή χρόνο πραγματοποίησης αυτών των σχεδόν κρίσιμων διαδρομών και συνεπώς

ολόκληρου του έργου. Η τεχνική PERT δεν παίρνει υπόψη της την πιθανότητα ολοκλήρωσης κάποιας άλλης τέτοιας διαδρομής σε χρόνο μεγαλύτερο από αυτόν της κρίσιμης διαδρομής.

Η αδυναμία της τεχνικής PERT να συμπεριλάβει στους υπολογισμούς της αυτό το ενδεχόμενο - της ολοκλήρωσης κάποιας σχεδόν κρίσιμης διαδρομής αργότερα από την κρίσιμη - αποτελεί το σοβαρότερο μειονέκτημά της ([3]). Αυτός είναι ο κύριος λόγος της συνεχούς υποτίμησης της πραγματικής στατιστικής διάρκειας του έργου μέχρι και 30%. Ο μοναδικός ικανοποιητικός τρόπος εύρεσης της πραγματικής διάρκειας του έργου είναι η χρήση της προσομοίωσης. Υπάρχουν μάλιστα ειδικά προγράμματα Η/Υ γι' αυτό το σκοπό.

Παραδόξως η τεχνική PERT δίνει στην πράξη πολύ καλά αποτελέσματα και δεν είναι δύσκολο να βρεθεί ο λόγος για το γεγονός αυτό. Όλη η δύναμη των Τεχνικών της Δικτυωτής Ανάλυσης έγκειται στην ικανότητά τους να ερευνούν και να ανακαλύπτουν αποκλίσεις από τον αρχικό προγραμματισμό. Η χρήση τους εξασφαλίζει την ύπαρξη καλύτερου ελέγχου των έργων. Η συνεχής παρακολούθηση ήδη εκτελούμενων δραστηριοτήτων αποκαλύπτει γρήγορα αποκλίσεις από τον υπάρχοντα προγραμματισμό και είναι πλέον δυνατό να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα και να γίνουν οι κατάλληλες ενέργειες, προκειμένου να επανέλθει το έργο στον προσχεδιασμένο χρόνο ολοκλήρωσής του. Έτσι ο όρος πραγματική στατιστική διάρκεια του έργου είναι μία έννοια χωρίς νόημα. Δεν υπάρχει λόγος προσομοίωσης των επιδράσεων τυχαίων παραγόντων, όπως π.χ. οι καιρικές συνθήκες, στην εκτέλεση ενός έργου, εκτός και αν περιληφθούν στο μοντέλο της προσομοίωσης τα μέτρα ελέγχου που πρέπει να υιοθετηθούν για την αντιμετώπιση τέτοιων καταστάσεων. Έχει αποδειχθεί στην πράξη ότι ο σχεδιασμός και ο προγραμματισμός των έργων μπορεί να είναι απόλυτα επιτυχής ακόμη και σε καταστάσεις μεγάλης αβεβαιότητας.

3.2 ΤΕΧΝΙΚΗ C.P.M.

3.2.1 Γενικά

Η τεχνική C.P.M. δέχεται τις διάρκειες των δραστηριοτήτων ως καθοριστικά μεγέθη και τα δίκτυα λύνονται με τη μέθοδο που περιγράφηκε στον πρόλογο. Παράλληλα όμως παίρνει υπόψη της ότι οι διάρκειες αυτές μπορούν να μεταβάλλονται ανάλογα με το διατιθέμενο δυναμικό (προσωπικό, μηχανήματα, υλικά, χρηματικοί πόροι κλπ). Όλες σχεδόν οι εργασίες μπορούν να εκτελεστούν σε μικρότερο χρόνο αν διατεθεί γι' αυτές περισσότερο δυναμικό, το οποίο μπορεί να εκφραστεί ως κόστος.

Μπορεί λοιπόν να θεωρηθεί ότι η διάρκεια μιας δραστηριότητας είναι συνάρτηση του κόστους της. Επειδή όμως συγκεκριμένες διάρκειες των δραστηριοτήτων συνεπάγονται ορισμένη διάρκεια του έργου το οποίο συνιστούν, συνάγεται εύκολα το συμπέρασμα ότι η συνολική διάρκεια του έργου είναι κι αυτή συνάρτηση του κόστους εκτέλεσής του. Το συνολικό κόστος ενός έργου συνίσταται από το άμεσο κόστος, τις δαπάνες δηλαδή που απαιτούνται για την εκτέλεση κάθε μίας από τις δραστηριότητές του και από το έμμεσο κόστος, τις δαπάνες δηλαδή που προκύπτουν από αυτή καθαυτή την ύπαρξη και εκτέλεση του έργου (γενικά έξοδα, ασφάλιστρα, ενοίκια, αποσβέσεις, έξοδα διεύθυνσης και διοίκησης κλπ). Και τα δύο αυτά στοιχεία κόστους εξαρτώνται άμεσα από τη διάρκεια του έργου.

Αντικείμενο αλλά και στόχος της τεχνικής C.P.M ([2]) είναι ο προγραμματισμός του έργου, έτσι ώστε να προσδιορισθεί η διάρκεια, η οποία ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος εκτέλεσής του, αλλά και να εκτιμηθούν οι οικονομικές συνέπειες κάθε παρέκκλισης απ' αυτή τη βέλτιστη διάρκεια.

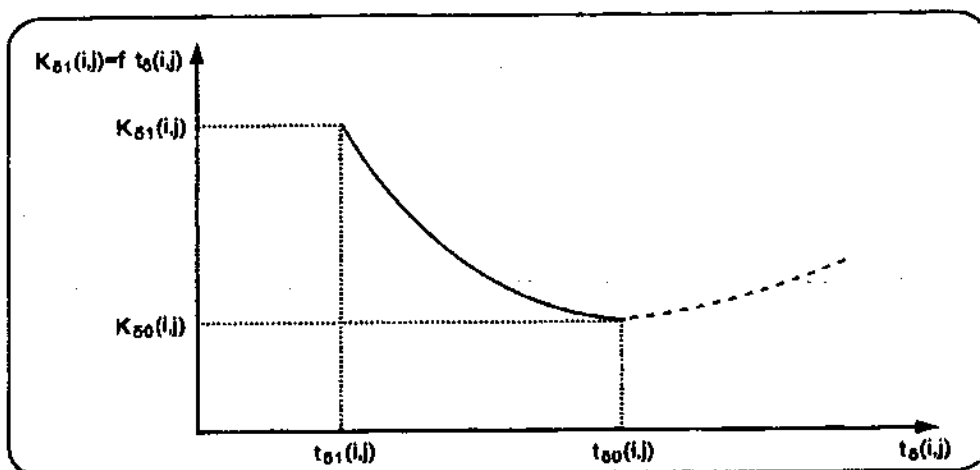
3.2.2 Κόστος δραστηριότητας

Για την πραγματοποίηση μίας δραστηριότητας απαιτείται η διάθεση των υπηρεσιών προσωπικού, μηχανών, υλικών μέσων κλπ. Η χρήση αυτών των υπηρεσιών συνεπάγεται ορισμένες δαπάνες, οι οποίες συνιστούν το κόστος εκτέλεσης της δραστηριότητας. Η χρονική διάρκεια μίας δραστηριότητας

εξαρτάται άμεσα από το μέγεθος των υπηρεσιών που διατίθενται γι' αυτήν, δηλαδή από το κόστος της.

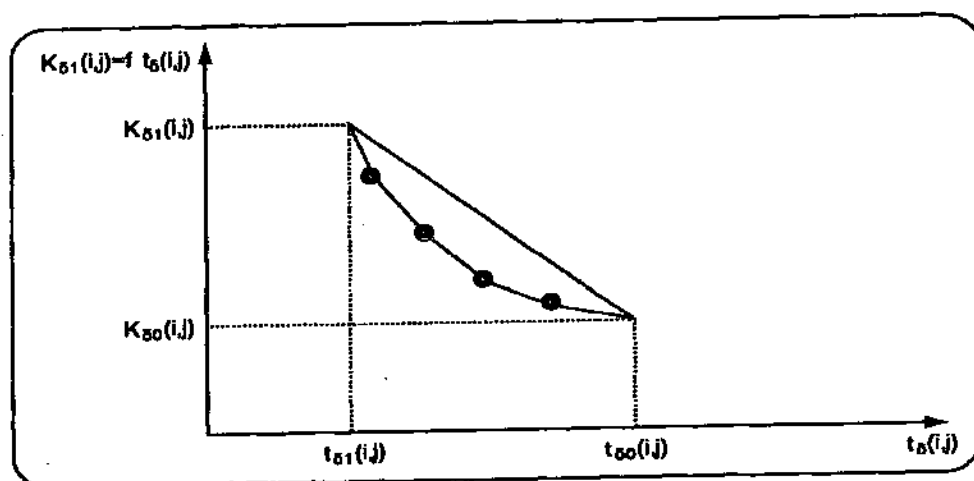
Η τεχνική C.P.M. θεωρεί ότι κάποιες ή όλες οι δραστηριότητες ενός έργου μπορούν να εκτελεστούν σε διάφορα εναλλακτικά χρονικά διαστήματα με αντίστοιχες διάρκειες. Συγκεκριμένα, για τη δραστηριότητα (i,j) υπάρχει ο ελάχιστος χρόνος εκτέλεσής της $t_{δ1}(i,j)$ που αντιστοιχεί στο μέγιστο κόστος $K_{δ1}(i,j)$ και ο μέγιστος χρόνος $t_{δ0}(i,j)$ που αντιστοιχεί στο ελάχιστο δυνατό κόστος $K_{δ0}(i,j)$.

Η συνάρτηση κόστους - χρόνου μίας δραστηριότητας, έστω $K_{δ}(i,j) = f_{δ}(i,j)$ είναι γενικά μία καμπύλη που έχει τη μορφή του σχήματος 3.5. Από το σχήμα αυτό συνάγεται ότι σε κάθε δραστηριότητα αντιστοιχεί ένα 'ιδανικό' - με το μέγιστο βαθμό απόδοσης - δυναμικό με το ελάχιστο δυνατό κόστος $K_{δ0}(i,j)$. Οποιαδήποτε μεταβολή του δυναμικού αυτού προκαλεί αύξηση του κόστους της δραστηριότητας. Αν το δυναμικό αυξηθεί, αυξάνεται και το κόστος της δραστηριότητας και ταυτόχρονα ελαττώνεται η διάρκειά της. Ακόμη όμως και αν ελαττωθεί το ιδανικό αυτό δυναμικό, αυξάνει εκτός από τη διάρκεια της δραστηριότητας και το κόστος της, επειδή συνήθως ελαττώνεται ο βαθμός απόδοσης του δυναμικού. Στην πράξη βέβαια ποτέ δεν ενδιαφέρει η ταυτόχρονη αύξηση διάρκειας και κόστους, γι' αυτό και η ασύμφορη αυτή περιοχή σημειώνεται με διακεκομμένη γραμμή και δε λαμβάνεται υπόψη στην περαιτέρω ανάλυση.



Σχήμα 3.5: Συνάρτηση κόστους – διάρκειας δραστηριότητας

Η συνέχεια της καμπύλης του σχήματος 3.5 δικαιολογείται μόνον εφόσον υπάρχουν άπειροι εναλλακτικοί τρόποι εκτέλεσης της δραστηριότητας. Επειδή όμως αυτό δεν συμβαίνει σχεδόν ποτέ στην πράξη, δεν τη σχεδιάζουμε. Μία τέτοια μεταβολή παριστάνεται με μία τεθλασμένη γραμμή, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.6. Στην ανάλυση που ακολουθεί, θεωρείται ότι τόσο η θεωρητική καμπύλη όσο και η πρακτική τεθλασμένη γραμμή προσεγγίζονται ικανοποιητικά από μία ευθεία που ενώνει τα σημεία $(t_{δ1}(i,j), K_{δ1}(i,j))$ και $(t_{δ0}(i,j), K_{δ0}(i,j))$ του ορθογώνιου συστήματος κόστους - διάρκειας δραστηριότητας. Άλλωστε, όπως φαίνεται στο σχετικό διάγραμμα (βλ. σχήμα 3.6) η προσέγγιση της καμπύλης ή της τεθλασμένης με ευθεία δίνει κόστος μεγαλύτερο από το πραγματικό, οπότε δεν υπάρχει ο κίνδυνος να εξαχθούν λανθασμένα συμπεράσματα.



Σχήμα 3.6: Προσεγγιστική συνάρτηση κόστους - διάρκειας δραστηριότητας

Η τεχνική C.P.M. λοιπόν θεωρεί ότι η σχέση κόστους - διάρκειας είναι γραμμική ανάμεσα στα δύο οριακά σημεία $t_{δ0}(i,j)$ και $t_{δ1}(i,j)$ και ότι μπορεί να επιτευχθεί οποιαδήποτε ενδιάμεση διάρκεια με ανάλογο κόστος. Η αύξηση (μείωση) του κόστους της δραστηριότητας για κάθε μονάδα χρόνου που μειώνεται (αυξάνεται) η διάρκειά της, εκφράζεται από την κλίση της προσεγγιστικής ευθείας, η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$c_{\delta}(i,j) = \frac{K_{\delta_1}(i,j) - K_{\delta_0}(i,j)}{t_{\delta_0}(i,j) - t_{\delta_1}(i,j)}$$

Η μεταβλητή $c_{\alpha}(i,j)$ ονομάζεται συντελεστής μεταβολής κόστους της δραστηριότητας (i,j) ανά μονάδα χρόνου.

3.2.3 Κόστος έργου

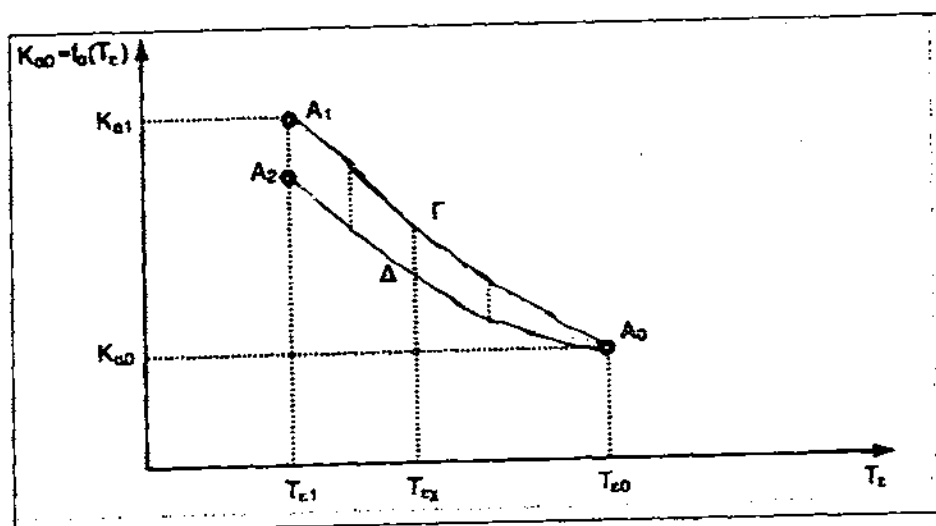
Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα (βλ. ενότητα 3.2.1) το συνολικό κόστος του έργου ισούται με το άθροισμα δυο επιμέρους στοιχείων κόστους: του άμεσου και του έμμεσου.

1. Άμεσο κόστος έργου

Κάθε δραστηριότητα απαιτεί για την εκτέλεσή της ορισμένες δαπάνες. Το άθροισμα των απαιτούμενων δαπανών για την πραγματοποίηση όλων των δραστηριοτήτων του έργου είναι το άμεσο κόστος του έργου.

Λύνοντας το δίκτυο με βάση τις διάρκειες των δραστηριοτήτων που αντιστοιχούν στο ελάχιστο κόστος, υπολογίζεται μία συνολική διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου, έστω $T_{\alpha 0}$, και το αντίστοιχο ελάχιστο άμεσο κόστος $K_{\alpha 0}$. Αν λυθεί το δίκτυο με βάση τις ελάχιστες δυνατές διάρκειες των δραστηριοτήτων που αντιστοιχούν στο μέγιστο κόστος, υπολογίζεται η ελάχιστη διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου, έστω $T_{\alpha 1}$, και το αντίστοιχο μέγιστο κόστος $K_{\alpha 1}$. Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία για ενδιάμεσες διάρκειες των δραστηριοτήτων, προκύπτουν ανάλογες διάρκειες ολοκλήρωσης του έργου με διαφορετικό κάθε φορά κόστος.

Η συνάρτηση άμεσου κόστους - διάρκειας ολοκλήρωσης του έργου, έστω $K_{\alpha 0} = f_{\alpha}(T_{\alpha})$, παριστάνεται από την τεθλασμένη γραμμή A_1A_0 του σχήματος 3.7. Για να εκτελεστεί όμως ένα έργο στον ελάχιστο δυνατό χρόνο $T_{\alpha 1}$ δεν είναι απαραίτητο να εκτελεστούν όλες οι δραστηριότητες στον ελάχιστο χρόνο τους. Υπάρχουν δραστηριότητες - όχι βέβαια κρίσιμες - με χρονικά περιθώρια μεγαλύτερα του μηδενός. Αυτά επιτρέπουν την αύξηση του χρόνου εκτέλεσής τους με ταυτόχρονη μείωση του κόστους τους, χωρίς όμως να μεταβάλλεται η συνολική διάρκεια εκτέλεσης του έργου.



Σχήμα 3.7: Συνάρτηση άμεσου κόστους – συνολικής διάρκειας έργου
 [Η τεθλασμένη γραμμή A_2A_0 βρίσκεται χαμηλότερα από την A_1A_0 ,
 επειδή χρησιμοποιήθηκαν τα χρονικά περιθώρια των δραστηριοτήτων.]

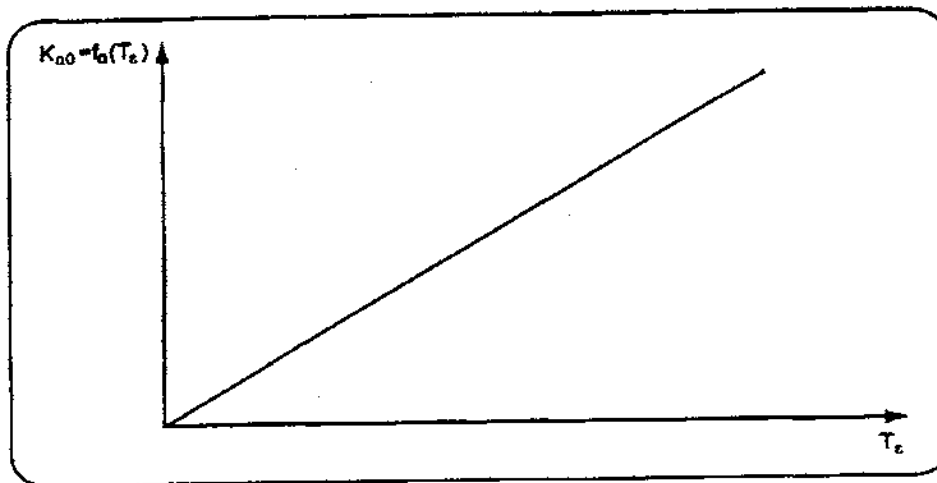
Εφόσον λοιπόν το κόστος ορισμένων δραστηριοτήτων μπορεί να ελαττωθεί - αυξάνοντας τη διάρκειά τους χωρίς επιπτώσεις στο όλο έργο - το συνολικό άμεσο κόστος του έργου μπορεί να γίνει μικρότερο από το μέγιστο που αντιστοιχεί στους ελάχιστους χρόνους εκτέλεσης των δραστηριοτήτων (σημείο A_2 του σχήματος 3.7). Με ανάλογη εκμετάλλευση των χρονικών περιθωρίων των μη κρίσιμων δραστηριοτήτων εκτελώντας αυτές σε ενδιάμεσες χρονικές διάρκειες, ελαττώνεται το αντίστοιχο άμεσο κόστος του έργου. Ορίζεται έτσι η τεθλασμένη γραμμή A_2A_0 , κάθε σημείο της οποίας βρίσκεται χαμηλότερα από την αντίστοιχη κορυφή της τεθλασμένης A_1A_0 . Για παράδειγμα, το ευθύγραμμο τμήμα $\Gamma\Delta$ παριστάνει τη μείωση του άμεσου κόστους του έργου αν γίνει κατάλληλη εκμετάλλευση των χρονικών περιθωρίων των μη κρίσιμων δραστηριοτήτων, χωρίς να μεταβληθεί ο χρόνος εκτέλεσης του έργου $T_{ε1}$ που αντιστοιχεί σε κάποιες ενδιάμεσες διάρκειες των δραστηριοτήτων (βλ. σχήμα 3.7).

Για τη σταδιακή ελάττωση της διάρκειας του έργου από τη μέγιστη τιμή της $T_{ε0}$ έως την ελάχιστη $T_{ε1}$ απαιτείται η ελάττωση της διάρκειας μίας ή περισσότερων από τις κρίσιμες δραστηριότητες. Κάθε φορά συμφέρει να

επιλέγεται η κρίσιμη δραστηριότητα με το μικρότερο συντελεστή μεταβολής κόστους $c_8(i,j)$.

2. Έμμεσο κόστος έργου

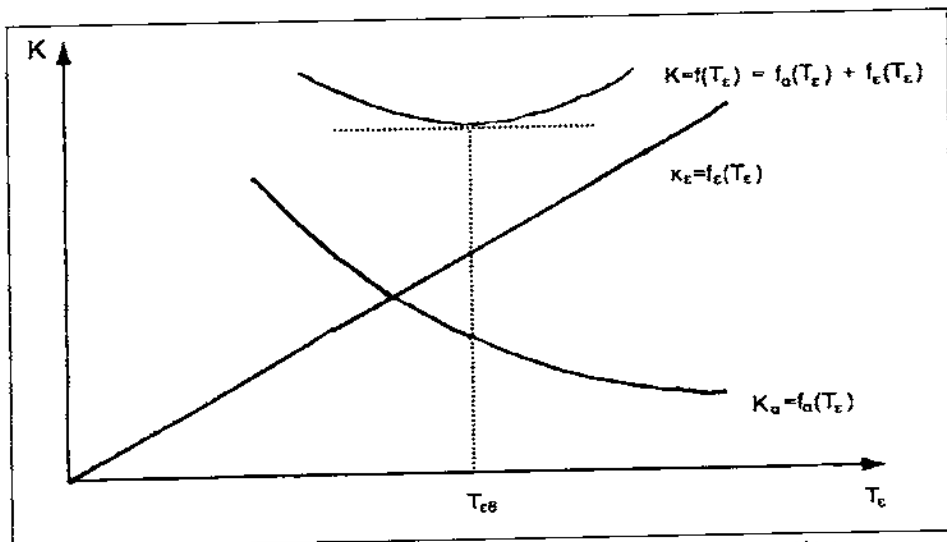
Αποτελείται από τα στοιχεία κόστους που συνδέονται με αυτή καθαυτή την ύπαρξη του έργου, δηλαδή τα γενικά έξοδα, τις αποσβέσεις, τα ενοίκια, τα έξοδα διεύθυνσης και ελέγχου, τα ασφάλιστρα κλπ. Από τη φύση του το έμμεσο κόστος αυξάνεται όσο μεγαλώνει η διάρκεια εκτέλεσης του έργου. Συνήθως η συνάρτηση έμμεσου κόστους - διάρκειας του έργου, έστω $K_{\alpha\alpha}=f_{\alpha}(T_e)$, θεωρείται αύξουσα γραμμική συνάρτηση (βλ. σχήμα 3.8).



Σχήμα 3.8: Συνάρτηση έμμεσου κόστους - συνολικής διάρκειας έργου

3. Συνολικό Κόστος έργου

Για ορισμένη διάρκεια εκτέλεσης ενός έργου, το συνολικό του κόστος ισούται με το άθροισμα του άμεσου και του έμμεσου κόστους που αντιστοιχούν σ' αυτή τη διάρκεια. Η συνάρτηση του συνολικού κόστους, έστω $K=f(T_e)$, καθώς και οι μεταβολές όλων των στοιχείων κόστους σε σχέση με τη διάρκεια εκτέλεσης του έργου παρουσιάζονται στο σχήμα 3.9. Ο χρόνος, ο οποίος αντιστοιχεί στο ελάχιστο συνολικό κόστος του έργου είναι ο βέλτιστος χρόνος εκτέλεσής του, έστω $T_{εβ}$. Ο αντικειμενικός σκοπός της τεχνικής C.P.M. είναι ο προσδιορισμός του βέλτιστου αυτού χρόνου ([1]).



Σχήμα 3.9: Συνάρτηση συνολικού κόστους – διάρκειας εκτέλεσης του έργου

3.2.4 Προσδιορισμός του βέλτιστου χρόνου

Τα βασικά στάδια ([2]) της διαδικασίας προσδιορισμού της διάρκειας εκτέλεσης ενός έργου που αντιστοιχεί στο ελάχιστο δυνατό συνολικό κόστος είναι τα εξής:

- 1) Διαμόρφωση του δικτύου με τη γνωστή διαδικασία.
- 2) Επίλυση του δικτύου με τις διάρκειες των δραστηριοτήτων που αντιστοιχούν στο μέγιστο κόστος τους. Προσδιορισμός της κρίσιμης διαδρομής, της διάρκειας εκτέλεσης του έργου και υπολογισμός του αντίστοιχου συνολικού κόστους.
- 3) Επίλυση του δικτύου με τις διάρκειες των δραστηριοτήτων που αντιστοιχούν στο ελάχιστο κόστος τους. Προσδιορισμός όλων των βασικών στοιχείων του δικτύου (όπως στο βήμα 2).
- 4) Ελάττωση της συνολικής διάρκειας του δικτύου του βήματος 3 κατά μία χρονική μονάδα. Αυτό επιτυγχάνεται ελαττώνοντας κατά μία χρονική μονάδα τη διάρκεια της κρίσιμης δραστηριότητας, η οποία έχει το μικρότερο συντελεστή μεταβολής κόστους $c_b(i,j)$. Με τον τρόπο αυτό το άμεσο κόστος αυξάνεται κατά την ελάχιστη δυνατή ποσότητα.

5) Επίλυση του δικτύου που διαμορφώθηκε στο βήμα 4 και υπολογισμός των βασικών του στοιχείων.

6) Η διάρκεια του έργου ελαττώνεται διαδοχικά ανά μία χρονική μονάδα, έως ότου αυτό αποκτήσει διάρκεια ίση με την ελάχιστη δυνατή. Κάθε φορά επιλέγεται, προκειμένου να ελαττωθεί η διάρκειά της, η κρίσιμη δραστηριότητα με τον ελάχιστο συντελεστή μεταβολής κόστους (ή οι κρίσιμες δραστηριότητες με το ελάχιστο άθροισμα των $c_{s(i,j)}$ σε περίπτωση που το αντίστοιχο δίκτυο έχει περισσότερες από μία κρίσιμες διαδρομές).

7) Ως βέλτιστος χρόνος εκτέλεσης του έργου επιλέγεται εκείνος, ο οποίος αντιστοιχεί στο μικρότερο συνολικό του κόστος. Επομένως το έργο πρέπει να προγραμματισθεί, έτσι ώστε κάθε επιμέρους δραστηριότητά του να εκτελεστεί μέσα σε χρονικό διάστημα ίσο προς τη διάρκειά της που αντιστοιχεί στο δίκτυο με το ελάχιστο συνολικό κόστος.

Οι σχετικά απλοί, αλλά οπωσδήποτε πολυάριθμοι, υπολογισμοί της παραπάνω διαδικασίας μπορούν να ελαττωθούν κατά πολύ, αν κατά την εφαρμογή της ληφθεί υπόψη ότι η συνάρτηση συνολικού κόστους - διάρκειας έργου, παρουσιάζει μόνον ένα ελάχιστο (βλ. σχήμα 3.9). Αν λοιπόν κατά τη διαδικασία αυτή βρεθεί μία διάρκεια έργου, έστω T_x , για την οποία το συνολικό κόστος είναι μικρότερο απ' ό,τι για διάρκειες του έργου ίσες με T_x-1 και T_x+1 , τότε το συνολικό κόστος είναι το ελάχιστο δυνατό και η εφαρμογή της τεχνικής C.P.M. μπορεί να σταματήσει εκ του ασφαλούς σ' αυτό το σημείο.

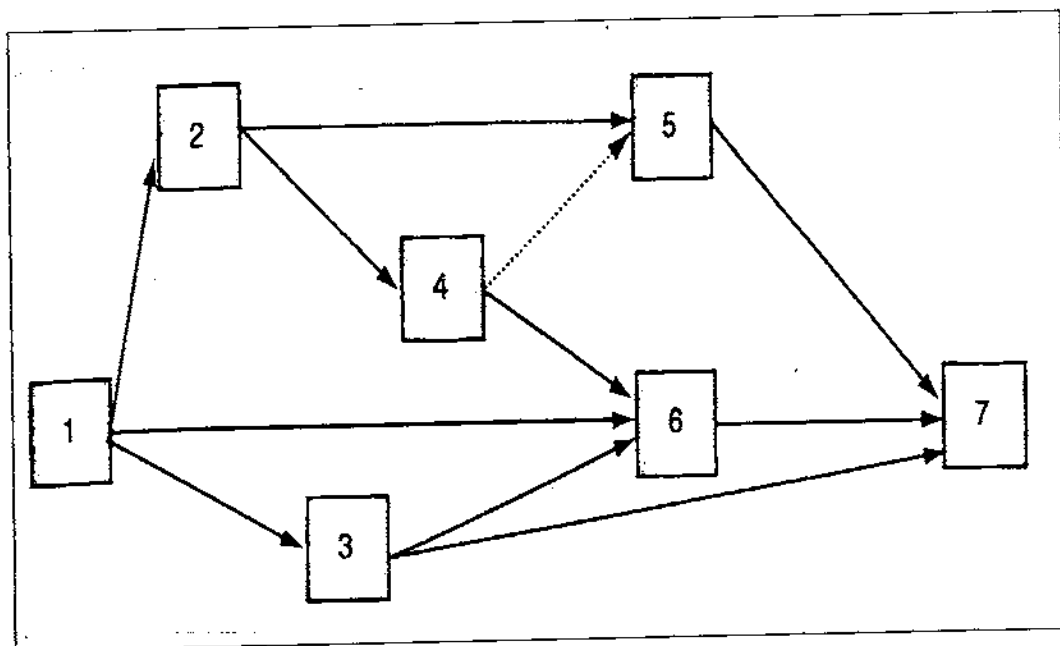
Επίσης για την ευκολία καταγραφής των επιμέρους αποτελεσμάτων που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια των υπολογισμών, συνιστάται η δημιουργία ενός πίνακα, ο οποίος περιλαμβάνει όλα τα απαιτούμενα στοιχεία και συμπληρώνεται σταδιακά μετά από κάθε διαδοχική επίλυση του δικτύου.

3.2.5 Εφαρμογή της τεχνικής C.P.M.

Το έργο της εγκατάστασης τεχνολογικού εξοπλισμού σ' ένα εμπορικό πλοίο συνίσταται από 11 βασικές εργασίες και συμβολίζεται με το δίκτυο του σχήματος 3.10. Για τις επιμέρους δραστηριότητες του δικτύου αυτού

διατίθενται οι πληροφορίες που περιέχονται στον πίνακα 3.11 (οι διάρκειες είναι εκφρασμένες σε μέρες και τα κόστη σε €). Αν τα γενικά έξοδα του έργου είναι 4€ για κάθε μέρα που διαρκεί η εκτέλεσή του, ζητείται να υπολογισθεί ο χρόνος εκτέλεσης του έργου για τον οποίο το συνολικό κόστος καθίσταται ελάχιστο.

Πριν αναπτυχθεί η διαδικασία της τεχνικής C.P.M. είναι σκόπιμο να αναλυθούν οι διαθέσιμες πληροφορίες για τη δραστηριότητα 6-7. Υπάρχουν δύο διαφορετικοί συντελεστές μεταβολής του κόστους της, που αναφέρονται σε διάρκειές της από 12 έως 10 μέρες και από 10 έως 7 μέρες αντίστοιχα. Επομένως η συνάρτηση κόστους - διάρκειας της δραστηριότητας αυτής συνίσταται από δύο ευθείες με διαφορετική κλίση (βλ. σχήμα 3.12).



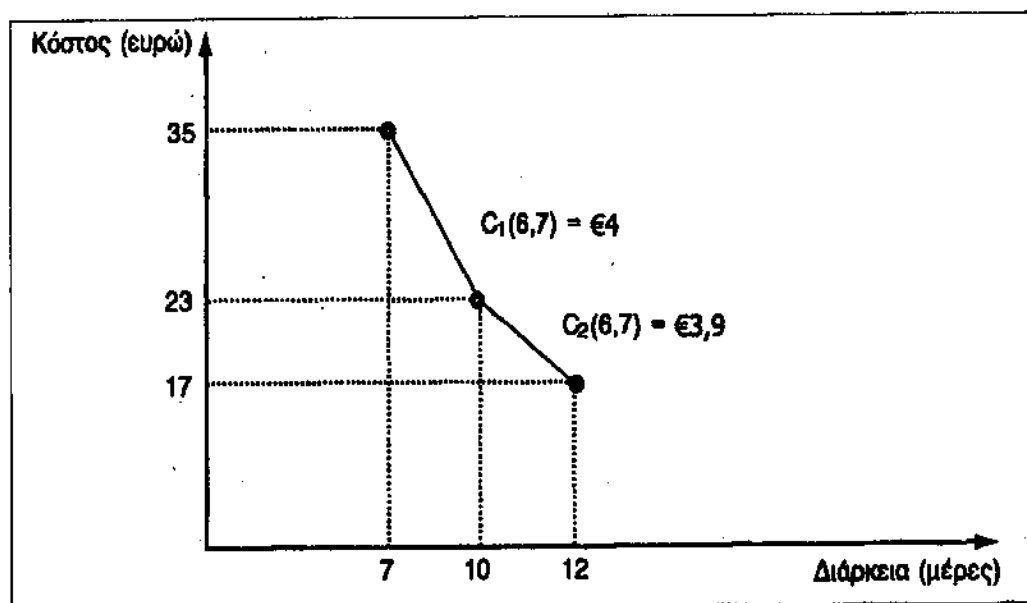
Σχήμα 3.10: Δίκτυο του έργου εγκατάστασης εξοπλισμού πλοίου

Δραστηριότητα (i,j)	Μέγιστη Διάρκεια $t_{80}(i,j)$	Ελάχιστο Κόστος $K_{80}(i,j)$	Ελάχιστη Διάρκεια $t_{81}(i,j)$	Μέγιστο Κόστος $K_{81}(i,j)$
1-2	15	30	12	39
1-6	20	40	17	49
1-3	15	10	14	15
2-5	5	10	3	20
2-4	3	5	2	16
3-6	7	8	6	10
3-7	17	30	13	38
4-6	8	15	6	25
4-5	0	0	0	0
5-7	16	10	14	12
6-7	12	17	10	23
6-7	10	23	7	35

Πίνακας 3.11: Στοιχεία δραστηριοτήτων του έργου εξοπλισμού πλοίου

Ακολουθείται η διαδικασία προσδιορισμού του βέλτιστου χρόνου εκτέλεσης του έργου:

- Υπολογισμός των συντελεστών μεταβολής κόστους όλων των δραστηριοτήτων και καταχώρησή τους στον πίνακα 3.19.



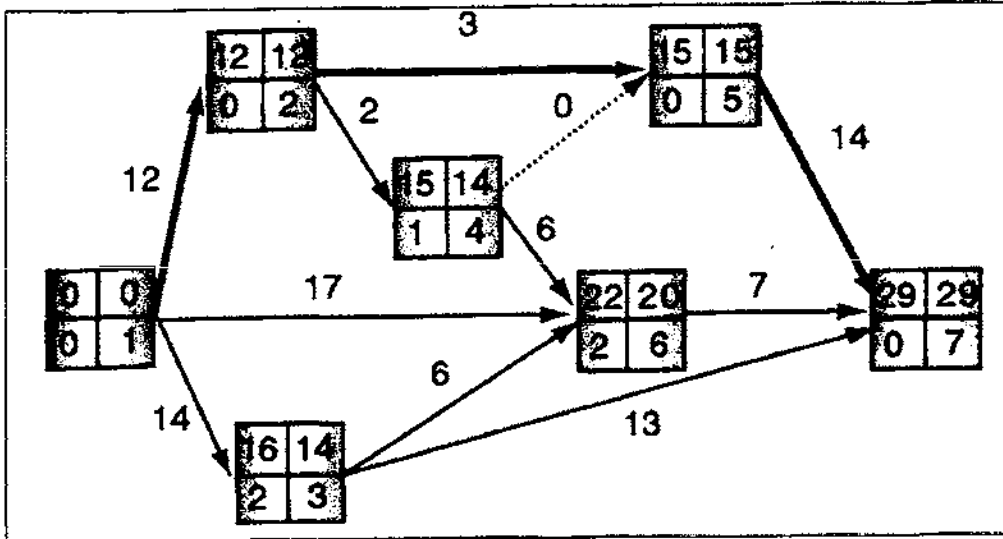
Σχήμα 3.12: Συνάρτηση κόστους – διάρκειας της δραστηριότητας 6 - 7

2. Επίλυση του δικτύου με τις ελάχιστες διάρκειες των δραστηριοτήτων, οι οποίες αντιστοιχούν στο μέγιστο κόστος (βλ. σχήμα 3.13). Ο χρόνος ολοκλήρωσης του έργου είναι 29 μέρες, η κρίσιμη διαδρομή είναι η 1-2-5-7, το άμεσο κόστος 282€, το έμμεσο 116€ και το συνολικό κόστος 398€.

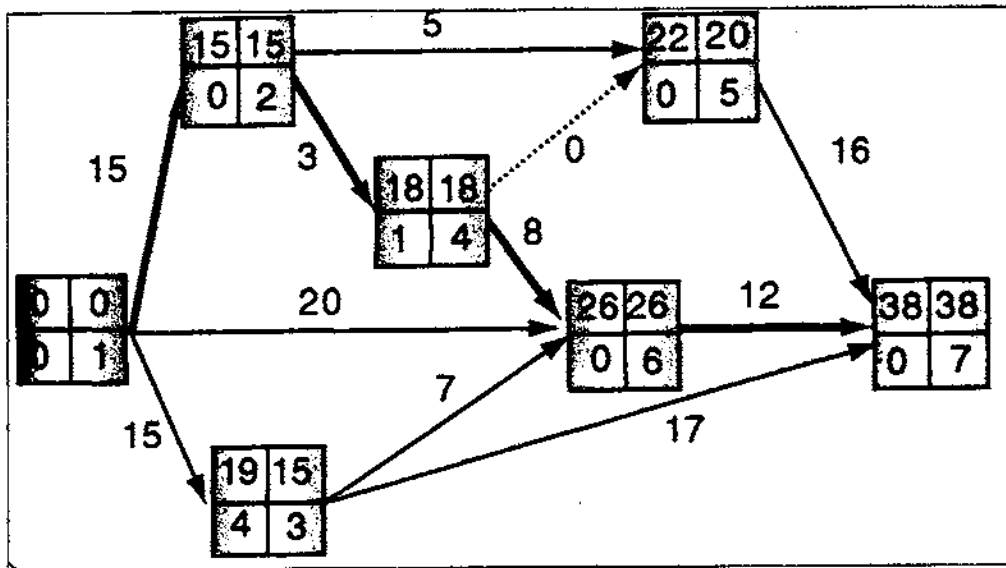
3. Επίλυση του δικτύου με τις διάρκειες που αντιστοιχούν στο ελάχιστο άμεσο κόστος (βλ. σχήμα 3.14). Το έργο μπορεί να τελειώσει σε 38 μέρες με άμεσο κόστος 175€ και έμμεσο 152€, δηλαδή με συνολικό κόστος 327€. Η κρίσιμη διαδρομή του αντίστοιχου δικτύου είναι η 1-2-4-6-7.

4. Ελάττωση της μέγιστης διάρκειας του έργου κατά μία μέρα. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει να μειωθεί κατά μία μέρα η διάρκεια μίας από τις κρίσιμες δραστηριότητες. Επιλέγεται να ελαττωθεί η δραστηριότητα με το μικρότερο συντελεστή κόστους. Επίλυση του νέου δικτύου και υπολογισμός των στοιχείων κόστους του. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται τόσες φορές, όσες απαιτούνται για να προσδιορισθεί τελικά η ελάχιστη δυνατή διάρκεια εκτέλεσης του έργου (η οποία έχει ήδη υπολογισθεί με βάση τους ελάχιστους χρόνους). Όλα τα βασικά στοιχεία που παίρνουν μέρος στην υπολογιστική διαδικασία καταχωρούνται στον πίνακα 3.19 (οι αστερίσκοι δηλώνουν ότι - στη συγκεκριμένη διάρκεια εκτέλεσης του έργου - η αντίστοιχη δραστηριότητα είναι κρίσιμη).

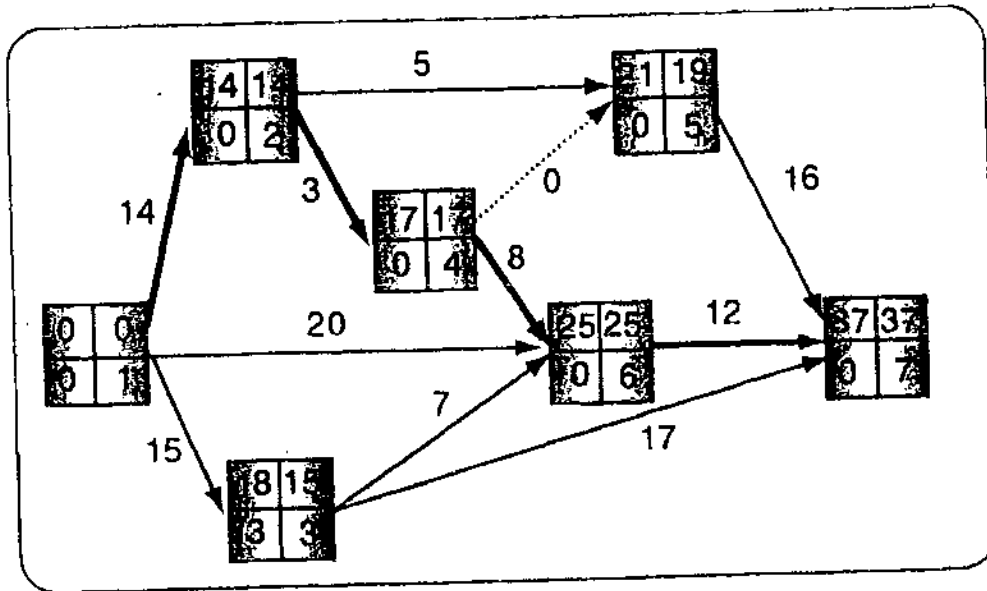
Η κρίσιμη δραστηριότητα του δικτύου του σχήματος 3.14 με το μικρότερο συντελεστή είναι η 1-2 με $c(1,2) = 3€$. Επομένως για να μειωθεί ο χρόνος εκτέλεσης του έργου από 38 σε 37 μέρες, ελαττώνεται η διάρκεια της δραστηριότητας 1-2 κατά μία μέρα, θεωρείται δηλαδή ίση με 14 μέρες και λύνεται το νέο δίκτυο (βλ. σχήμα 3.15). Το συνολικό κόστος του έργου είναι πλέον 326€ (άμεσο 178€ και έμμεσο 148€) και η κρίσιμή του διαδρομή είναι πάλι η 1-2-4-6-7.



Σχήμα 3.13: Επίλυση του δικτύου με ελάχιστες διάρκειες

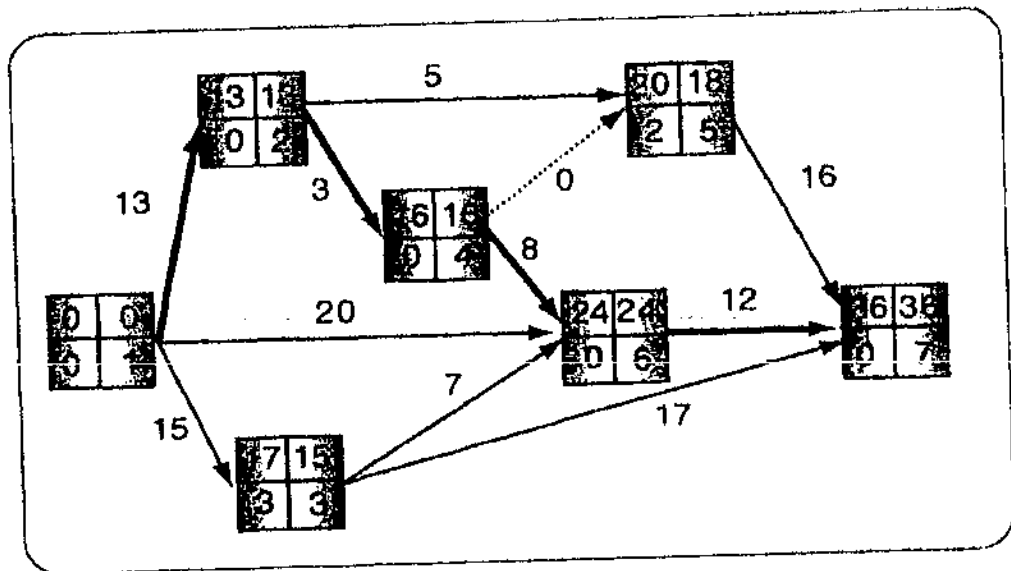


Σχήμα 3.14: Επίλυση του δικτύου με ελάχιστο κόστος (μέγιστες διάρκειες)

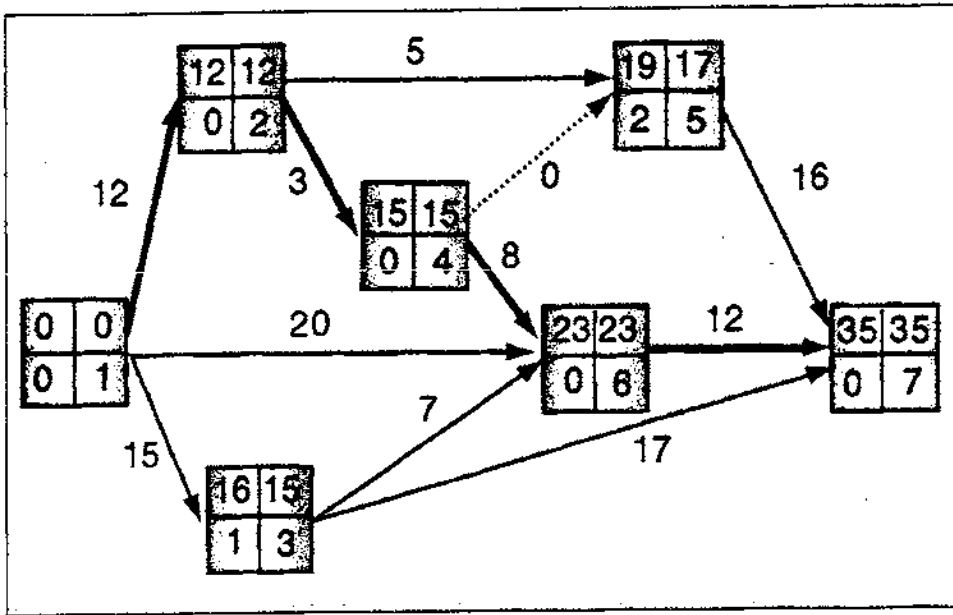


Σχήμα 3.15: Επίλυση του δικτύου με διάρκεια έργου 37 μέρες

Ελαττώνεται η διάρκεια της δραστηριότητας 1-2 κατά μία μέρα ακόμη - $t(1,2) = 13$ ημέρες - και επιλύεται το νέο δίκτυο (βλ. σχήμα 3.15). Το συνολικό κόστος του έργου ισούται τώρα με 325€ (άμεσο 181€, έμμεσο 144€) και η κρίσιμη διαδρομή παραμένει η ίδια.

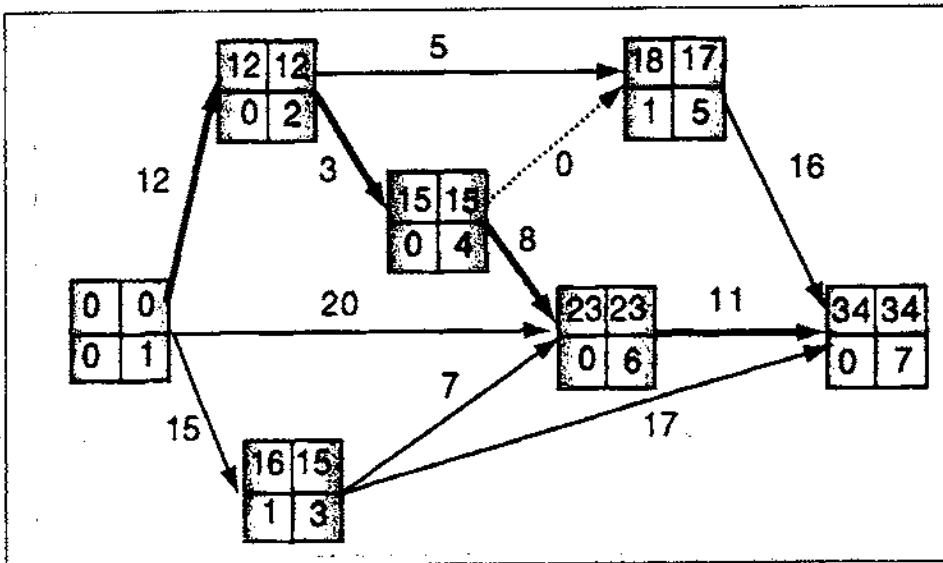


Σχήμα 3.16: Επίλυση του δικτύου με διάρκεια έργου 36 μέρες



Σχήμα 3.17: Επίλυση του δικτύου με διάρκεια έργου 35 μέρες

Ελαττώνεται - για τελευταία φορά - η διάρκεια της δραστηριότητας 1-2 στις 12 μέρες και επιλύεται το νέο δίκτυο που έχει συνολική διάρκεια ίση με 35 μέρες (βλ. σχήμα 3.17). Το συνολικό κόστος ελαττώνεται κατά 1€ ακόμη και η κρίσιμη διαδρομή παραμένει η ίδια. Ωστόσο η διάρκεια της 1-2 δεν μπορεί να ελαττωθεί περισσότερο γι' αυτό επιλέγεται τώρα η δραστηριότητα 6-7 με τον ίδιο συντελεστή μεταβολής κόστους, $c(6,7) = c(1,2) = 3€$.

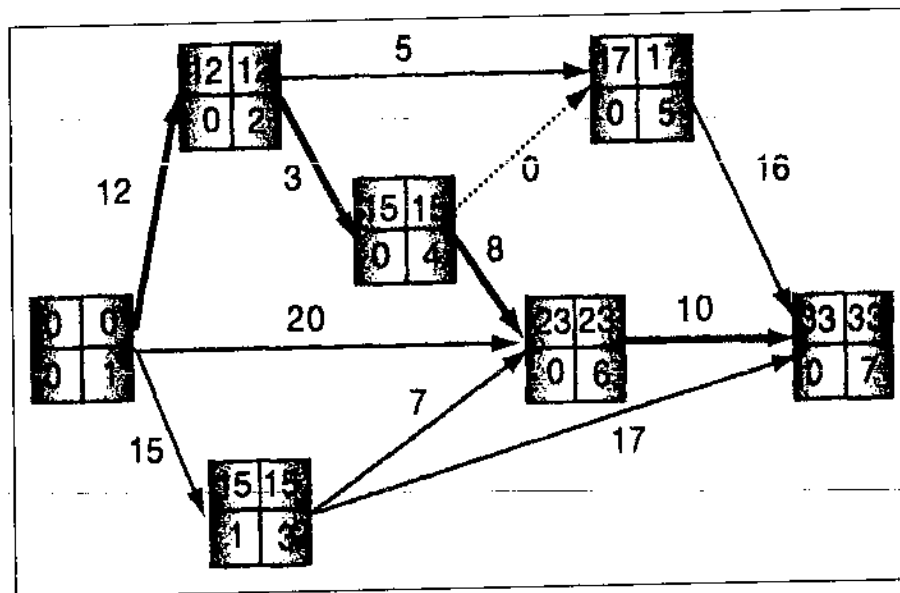


Σχήμα 3.18: Επίλυση του δικτύου με διάρκεια έργου 34 μέρες

Δραστηριότητα (i,j)	$t_{so}(i,j)$	$t_{sl}(i,j)$	$c_{so}(i,j)$	Διάρκεια έργου								
				38	37	36	35	34	33	32	31	
1-2	15	12	€3	*	€3*	€3*	€3*			*		
1-3	15	14	€5							*		
1-6	20	17	€3									
2-4	3	2	€11	*	*	*	*	*	*	*		
2-5	5	3	€5							*		
3-6	7	6	€2									
3-7	17	13	€2								€2	
4-5	0	0	-							*		
4-6	8	6	€5	*	*	*	*					
5-7	16	14	€1							€1*	€1	
6-7	12	10	€3	*	*	*	*	€3*	€3*			
		7	€4							€4*	€4	
Άμεσο κόστος $K_a = f_a(T_e)$				€175	€178	€181	€184	€187	€190	€195	€202	
Έμμεσο κόστος $K_e = f_e(T_e)$				€152	€148	€144	€140	€136	€132	€128	€124	
Συνολικό κόστος $K = f(T_e)$				€327	€326	€325	€324	€323	€322	€323	€326	

Πίνακας 3.19: Ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους εκτέλεσης του έργου με την τεχνική C.P.M.

Η επίλυση του νέου δικτύου με $t(6,7) = 11$ και συνολική διάρκεια 34 μέρες παριστάνεται στο σχήμα 3.18. Η κρίσιμη διαδρομή είναι πάλι η 1-2-4-6-7, επομένως ελαττώνεται η διάρκεια της δραστηριότητας 6-7 κατά μία ακόμα μέρα. Το δίκτυο που προκύπτει λύνεται κατά τα γνωστά (βλ. σχήμα 3.20).



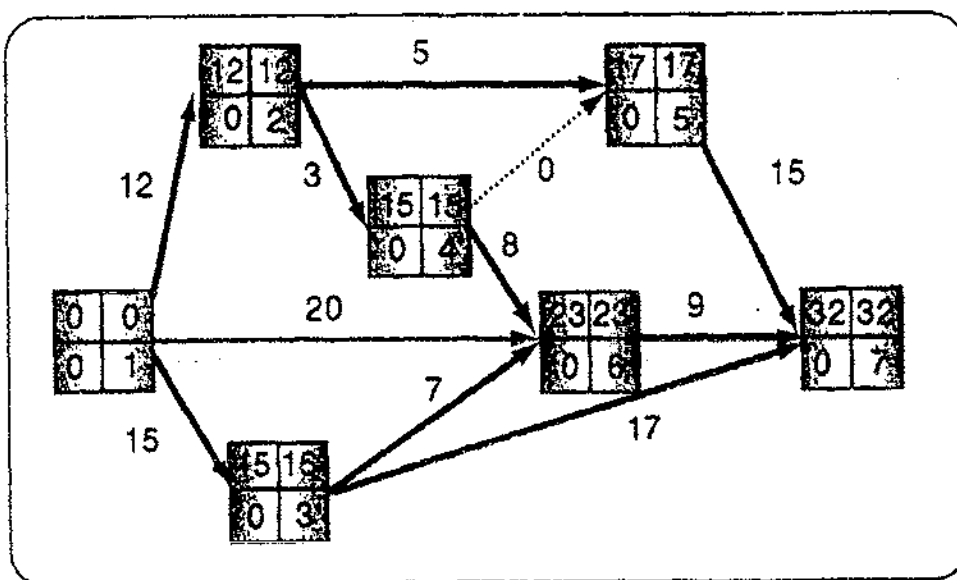
Σχήμα 3.20: Επίλυση του δικτύου με διάρκεια έργου 33 μέρες

Το συνολικό κόστος ελαττώθηκε ακόμη περισσότερο (είναι πλέον 322€), αλλά τώρα υπάρχουν δύο κρίσιμες διαδρομές η 1-2-4-6-7 και η 1-2-5-7. Για να ελαττωθεί η διάρκεια του έργου κατά μία μέρα ακόμη πρέπει να μειωθεί κατά ίσο χρονικό διάστημα κάθε μία από τις κρίσιμες διαδρομές.

Επιλέγονται για το σκοπό αυτό οι κρίσιμες δραστηριότητες με το ελάχιστο άθροισμα συντελεστών μεταβολής κόστους, δηλαδή η 6-7 (με $c=4€$) της πρώτης κρίσιμης διαδρομής και η 5-7 (με $c=1€$) της δεύτερης. Οι καινούργιες διάρκειές τους είναι 9 και 15 μέρες αντίστοιχα (βλ. σχήμα 3.21).

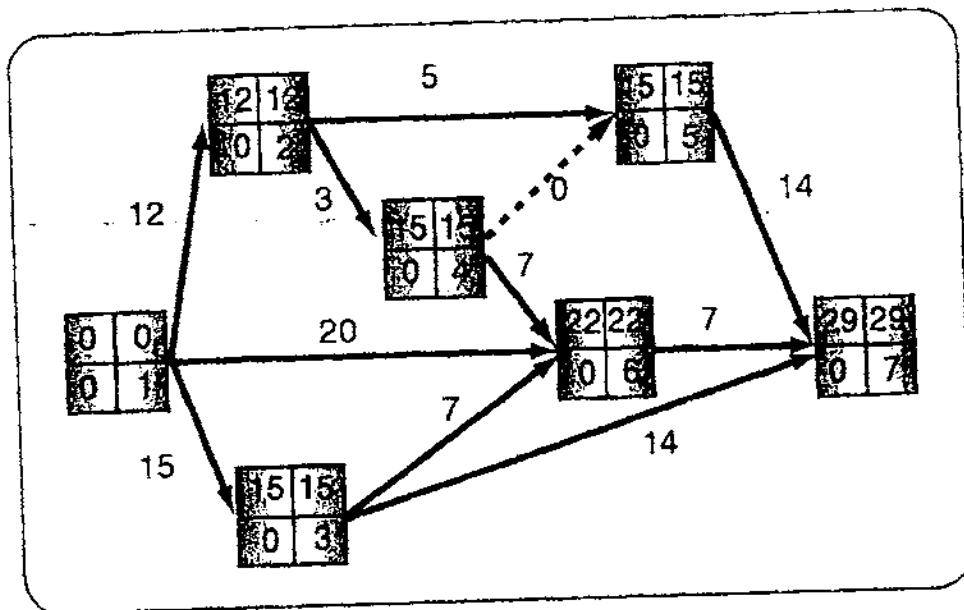
Το τελευταίο αυτό δίκτυο έχει τρεις κρίσιμες διαδρομές που είναι η 1-2-4-6-7, η 1-2-5-7 και τέλος η 1-3-7. Ο οικονομικότερος συνδυασμός δραστηριοτήτων, των οποίων η διάρκεια θα ελαττωθεί κατά μία μέρα, συνίσταται από τις δραστηριότητες 3-7, 5-7 και 6-7 με συντελεστές μεταβολής ίσους με 2€, 1€ και 4€ αντίστοιχα. Η ταυτόχρονη αυτή ελάττωση των διαρκειών τους έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του άμεσου κόστους κατά 7€.

Ήδη όμως το κόστος εκτέλεσης του έργου έχει αυξηθεί σημαντικά (άμεσο κόστος 202€, έμμεσο 124€ και συνολικό 326€) και δεν υπάρχει λόγος να συνεχισθεί η διαδικασία της C.P.M.



Σχήμα 3.21: Επίλυση του δικτύου με διάρκεια έργου 32 μέρες

Πιο συγκεκριμένα, αν παρατηρηθούν τα στοιχεία κόστους του πίνακα 3.19, είναι φανερό ότι η βέλτιστη διάρκεια εκτέλεσης του έργου είναι οι 33 μέρες επειδή $K(33)=322\text{€} < K(34)=323\text{€}$ και επίσης $K(33) < K(32)=323\text{€}$. Για την ακρίβεια μάλιστα οι τελευταίοι υπολογισμοί - για διάρκεια έργου ίση με 31 μέρες - ήταν περιττοί, αφού το συνολικό κόστος είχε ήδη αρχίσει να αυξάνεται.



Σχήμα 3.22: Επίλυση τελικού δικτύου για διάρκεια έργου 29 μέρες

Ο βασικός λόγος για τον οποίο συμπεριλήφθηκαν στην όλη διαδικασία ήταν για να γίνει περισσότερο κατανοητός ο τρόπος επιλογής των κρίσιμων δραστηριοτήτων με το ελάχιστο άθροισμα των συντελεστών μεταβολής κόστους $c(i,j)$.

Επομένως το ελάχιστο συνολικό κόστος ισούται με 322€. Συνίσταται από 190€ άμεσο κόστος και 132€ έμμεσο κόστος, αντιστοιχεί δε σε διάρκεια έργου ίση με 33 μέρες. Οι βέλτιστες διάρκειες των δραστηριοτήτων που συνιστούν το έργο είναι αυτές που σημειώνονται στο σχήμα 3.20.

Αξίζει τέλος να αναφερθεί κάποιο παράδοξο που συμβαίνει αν συνεχισθεί η επίλυση διαδοχικών δικτύων με διαφορά διάρκειας ίση με μία μόνο μέρα κάθε φορά. Το τελικό δίκτυο που θα προκύψει είναι αυτό του σχήματος 3.22. Σχεδόν όλες οι δραστηριότητες αυτού του δικτύου είναι κρίσιμες και το συνολικό κόστος εκτέλεσης του έργου ισούται τώρα με 333€

(άμεσο κόστος 225€ και έμμεσο 108€). Συγκρίνοντας το κόστος αυτό με το αντίστοιχο κόστος του δικτύου του σχήματος 3.13 - όπου το έργο είχε την ίδια διάρκεια εκτέλεσης - παρατηρούμε ότι τώρα το έργο στοιχίζει κατά πολύ φθηνότερα (διαφορά ίση με 65€). Η σημαντική αυτή διαφορά οφείλεται προφανώς στην καθολική εκμετάλλευση των χρονικών περιθωρίων των δραστηριοτήτων, πράγμα το οποίο ήταν αδύνατο να γίνει ευθύς εξαρχής, χωρίς δηλαδή να επιλυθούν ένα προς ένα όλα τα ενδιάμεσα δίκτυα. Αυτό και μόνο το μέγεθος της διαφοράς καθιστά φανερή τη μεγάλη σπουδαιότητα των χρονικών περιθωρίων καθώς και τις ωφέλειες που προκύπτουν από τη σωστή εκμετάλλευσή τους.

4. Η ΔΙΚΤΥΩΤΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΗΝ ΠΡΑΞΗ (ΕΝΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΑΠΟ ΤΟ ΝΟΜΟ ΑΧΑΪΑΣ)

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια εκτενής αναφορά σε ένα πραγματικό πρόβλημα δικτυωτής ανάλυσης. Το πρόβλημα το οποίο θα μελετηθεί είναι το εξής: «Δικτυωτή ανάλυση έργου οδοποιίας και ύδρευσης – πλήρης χρονικός και οικονομικός προγραμματισμός της διανοίξεως δρόμου και ύδρευσης συνδέσμου κοινοτήτων Πλατάνου – Καλαμιάς Βούτσιμου – Παραλίας Πλατάνου (Νομού Αχαΐας)».

Το πρόβλημα αυτό αποτέλεσε αντικείμενο επεξεργασίας των Σ. Οικονομόπουλου και Λ. Σπηλιόπουλου στα πλαίσια της διπλωματικής τους εργασίας στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών ([4]). Φυσικά το πρόβλημα είναι δύσκολο και επίπονο στην επίλυση του και έχει πολλά επίπεδα ανάλυσης. Εδώ θα γίνει εστίαση κυρίως στο οικονομικό σκέλος με στόχο να φανούν στην πράξη οι δυνατότητες των τεχνικών της δικτυωτής ανάλυσης.

4.1 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

α) Εγκατάσταση

- Έργα υποδομής (δρόμοι, διαμόρφωση χώρου, ηλεκτρισμός, νερό, τηλέφωνο).
- Γραφεία, αποθήκες, κατοικίες συνεργείων.
- Μέτρα προστασίας (περίφραξη, αντιστηρίξεις, πινακίδες)
- Διάταξη εργοταξίου
- Γενικά προβλήματα κατασκευής

β) Τεχνικές εργασίες

- Ειδικά προβλήματα κάθε δραστηριότητας
- Προσωπικό, υπερβολαβίες, εξοπλισμός, υλικά

γ) Ανάγκες κατασκευής

- Χρηματοδότηση

δ) Οργανωτικές σχέσεις προσωπικού

- Κεντρικό γραφείο
- Εργοτάξιο

- Στελέχη
- ε) Έλεγχοι
- Προόδου εργασιών
- Ποιότητας κατασκευής
- Κόστος κατασκευής

4.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Η διάνοιξη του δρόμου και η κατασκευή ύδρευσης του συνδέσμου κοινοτήτων Πλατάνου - Βούτσιμου - Παραλίας Πλατάνου έχει συνολικό μήκος 10000 m. Κατά μήκος του έργου και συγκεκριμένα από Χ.Θ.(χιλιομετρική θέση) 0.00 έως Χ.Θ. 1993,15 το έδαφος ήταν γαιώδες - ημιβραχώδες ενώ από Χ.Θ. 1993,15 έως Χ.Θ. 5536,20 το έδαφος ήταν βραχώδες και εν συνεχεία από Χ.Θ. 5536,20 μέχρι το τέλος του έργου το έδαφος ήταν γαιώδες - ημιβραχώδες.

4.3 ΜΕΛΕΤΗ ΕΡΓΟΥ

Τα απαιτούμενα στοιχεία μελέτης είναι:

1. Η οριζοντιογραφία

Η οριζοντιογραφία περιλαμβάνει σε κλίμακα τις ισουψείς καμπύλες και την πορεία του υπό κατασκευή δρόμου.

2. Η μηκοτομή

Η μηκοτομή γίνεται κατά μήκος του άξονα του δρόμου και περιλαμβάνει την "ερυθρά" γραμμή της κυκλοφορίας και πάνω σ' αυτή αναγράφεται η θέση και η απόσταση μεταξύ των κατά πλάτος τομών.

3. Κατά πλάτος τομές

Οι κατά πλάτος τομές μας δείχνουν το πλάτος του δρόμου και μας επιτρέπουν τον υπολογισμό της επιφάνειας (m^2) και του όγκου (m^3) του εκχώματος και αντίστοιχα τον υπολογισμό της επιφάνειας (m^2) και του όγκου

(m³) του επιχώματος. Ο υπολογισμός αυτός είναι βασικός διότι πλέον γνωρίζουμε τον όγκο χωμάτων, κατά μήκος του δρόμου, που πρέπει να σκαφτεί για να χαραχτεί ο δρόμος.

Κατά τον παραπάνω υπολογισμό στο έργο μας βρέθηκαν:

- Από Χ.Θ. 0.00 έως Χ.Θ. 1993,15m

Όγκος εκχωμάτων = 41140,243 m³

Όγκος επιχωμάτων = 5474,125 m³

- Από Χ.Θ. 1993,15 έως Χ.Θ. 5536,20 m

Όγκος εκχωμάτων = 23926,773 m³

Όγκος επιχωμάτων = 5117,883 m³

- Από Χ.Θ. 5536,20 έως Χ.Θ. 10.000

Όγκος εκχωμάτων = 62976,964 m³

Όγκος επιχωμάτων = 8415,872 m³

4. Τοπικές συνθήκες

Στις τοπικές συνθήκες εξετάζονται οι δυνατότητες:

α) Πρόσβασης στην περιοχή του έργου. β) Προμήθειας και επάρκειας δομικών υλικών. γ) Εξεύρεσης εξειδικευμένου εργατοτεχνικού προσωπικού.

5. Κλιματολογικές συνθήκες

Τα απαραίτητα στοιχεία για τη μελέτη είναι:

α) Η ανώτατη και η κατώτατη στάθμη νερού του ρεύματος ή του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. β) Η περίοδος ξηρασίας και βροχοπτώσεων. γ) Η μέγιστη και η ελάχιστη θερμοκρασία και η περίοδος παγετού.

6. Μορφολογία του περιβάλλοντος

Εξετάζεται αν η περιοχή που πρόκειται να γίνει το έργο είναι:

α) Ορεινή ή πεδινή. β) Πυκνοκατοικημένη ή αραιοκατοικημένη. γ) Βιομηχανική ή περιοχή πόλεως. δ) Αισθητικές απαιτήσεις του περιβάλλοντος.

4.4 ΧΑΡΑΞΗ ΟΔΟΥ

A. ΠΟΛΥΓΩΝΟΜΕΤΡΙΑ

Το πολυγωνικό δίκτυο που θα εγκατασταθεί, θα έχει μήκος πλευρών από 50 έως και 200 μέτρα ανάλογα με την μορφολογία του εδάφους. Η σήμανση των πρωτευόντων σημείων γίνεται με στύλο και εν συνεχεία γίνεται η εξασφάλιση των κορυφών της πολυγωνικής όδευσης.

B. ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΣΗ

Το χωροσταθμικό δίκτυο θα αποτελείται από το δίκτυο των πρωτευουσών αφετηριών και το δίκτυο των δευτερευουσών χωροσταθμικών αφετηριών. Η χωροστάθμιση γίνεται με χωροβάτη υψηλής ακρίβειας, τουλάχιστον εικοσαπλής μεγέθυνσης και ευαισθησίας ακροστάθμης 30" X2.

4.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

4.5.1 Γενικά

Η εκτέλεση ή μη ενός έργου εξαρτάται από 2 βασικούς παράγοντες:

α) από την σκοπιμότητα του έργου και

β) από την δαπάνη κατασκευής του

Η δαπάνη κατασκευής εξαρτάται από τις εργασίες που προβλέπονται από τη μελέτη. Ειδικά τη δαπάνη κατασκευής μιας οδού τη διαμορφώνουν κατά κύριο λόγο τα χωματουργικά και τεχνικά έργα. Με τα έργα αυτά επιτυγχάνεται η δημιουργία της υποδομής της οδού σε κατάλληλη μορφή για

την ομαλή αποχέτευση των νερών και την ασφαλή υποδοχή του οδοστρώματος.

Χωματουργικά καλούνται τα έργα εκείνα μέσω των οποίων υπερυψώνουμε ή χαμηλώνουμε την επιφάνεια του φυσικού εδάφους μέχρι το προβλεπόμενο ύψος. Το χαμήλωμα της επιφάνειας του φυσικού εδάφους πραγματοποιείται με εκσκαφή του (έκχωμα) ενώ η υπερύψωση με επίχωση (επίχωμα).

Επειδή ο όγκος των εκσκαφών και επιχώσεων, δηλαδή ο όγκος των χωματουργικών έργων επηρεάζει το ύψος της δαπάνης κατασκευής της οδού, επιβάλλεται ο εκ των προτέρων υπολογισμός του όγκου και χαρακτηρισμός του είδους των χωματουργικών εργασιών.

Ως συνολικός όγκος χωματουργικών λαμβάνεται το άθροισμα των επιμέρους μεταξύ δυο διαδοχικών διατομών της οδού.

4.5.2 Χωματουργικά Έργα

Πρώτη εργασία είναι η εκσκαφή που περιλαμβάνει την αφαίρεση φυτικής γης κάτω από τα επιχώματα και την εκσκαφή των ορυγμάτων. Στη συνέχεια ακολουθεί η αποκομιδή των προϊόντων εκσκαφής και η διαμόρφωση του εδάφους που στη συνέχεια θα δεχθεί τα επιχώματα και τις άλλες κατασκευές του έργου (π.χ τεχνικά έργα).

4.5.3 Προσμέτρηση Εργασιών

Για την προσμέτρηση των χωματουργικών εργασιών εργαζόμαστε ως εξής: παίρνουμε τις διατομές του δρόμου και καταστρώνουμε τον παρακάτω πίνακα:

Αριθμός Διατομής	Απόσταση μεταξύ (m)	Εφαρμοστέο μήκος (m)	Εκχώμα		Επιχώμα	
			Επιφάνεια (m ²)	Όγκος (m ³)	Επιφάνεια (m ²)	Όγκος (m ³)
Φ ₁		7.30	11.40	83.22	4.40	32.12
Κ ₁	14.60					
	7.80	11.20	-	-	9.80	109.76
3	12.30	10.05	4.40	44.22	-	-
4		11.20	13.20	147.84	-	-

Ο πίνακας αυτός περιλαμβάνει όλες τις διατομές της οδού και τελικά βρίσκουμε : Όγκος εκχωμάτων : 128053,98 m³
Όγκος επιχωμάτων: 19007,88 m³

Πίνακας 4.1: Προσμέτρηση εργασιών

4.6 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ

Η εκτέλεση των χωματουργικών εργασιών περιλαμβάνει βασικά την κατασκευή των προβλεπόμενων εκχωμάτων και επιχωμάτων. Πριν από κάθε χωματουργική εργασία, επιβάλλεται η εκτέλεση ορισμένων προκαταρκτικών εργασιών. Οι εργασίες αυτές είναι:

1) Τοπογραφικές εργασίες

Με αυτές επιτυγχάνεται η νέα πασσάλωση του άξονα της οδού καθώς και η πασσάλωση των οριογραμμών της ζώνης καταλήψεως της και καθορίζεται πάνω στο έδαφος η λωρίδα πάνω στην οποία θα εκτελεστούν οι χωματουργικές εργασίες. Ακόμη λαμβάνονται όλα τα απαιτούμενα υψομετρικά στοιχεία για την ασφαλή παρακολούθηση και επιμέτρηση των χωματουργικών εργασιών.

2) Εργασίες απομακρύνσεως ή εξασφάλισης των διαφόρων εγκαταστάσεων

Όταν μέσα στην πιο πάνω καθοριζόμενη εδαφική ζώνη υπάρχουν εγκαταστάσεις συγκοινωνιακές, τηλεφωνικές, μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας κ.λ.π. επιβάλλεται η απομάκρυνσή τους σε συνεργασία πάντοτε με την αρμόδια υπηρεσία. Όμοια επιβάλλεται η εξασφάλιση των κατασκευών και

εγκαταστάσεων οι οποίες βρίσκονται έξω από τη ζώνη κατάληψης της οδού κινδυνεύουν όμως άμεσα ή έμμεσα από τις εργασίες που θα εκτελεστούν.

3) Εργασίες κατεδαφίσεως ακινήτων

Οι εργασίες κατεδαφίσεων των απαλλοτριωμένων ακινήτων πρέπει να εκτελούνται με βάση τους κανόνες ασφάλειας και τις σχετικές αστυνομικές διατάξεις.

4) Εργασίες καθαρισμού και εκρίζωσης

Καθαρισμός είναι η αφαίρεση του επιφανειακού στρώματος της "φυτικής γης". Αυτό ή απομακρύνεται, ή αφού κοπεί κατάλληλα χρησιμοποιείται για την επένδυση των πρηνών. Σε εδάφη θαμνώδη και δασώδη πρέπει να γίνεται η εκθάμνωση και η εκρίζωση των δένδρων. Ειδικότερα στις θέσεις των επιχωμάτων επιβάλλεται η αφαίρεση και των ριζών των δένδρων σε βάθος 0,5 μέτρα.

Ο καθαρισμός και η εκρίζωση πρέπει να εκτελούνται όχι μόνο μέσα στη ζώνη καταλήψεως της οδού αλλά και πέρα από αυτή τουλάχιστον 2 μέτρα από κάθε οριογραμμή και από τις δύο πλευρές. Τέλος τα κάθε φύσεως ακατάλληλα υλικά τα οποία λαμβάνονται κατά τον καθορισμό, την εκρίζωση των δένδρων, την αφαίρεση φρακτών, λίθων κ.λ.π. πρέπει να απομακρύνονται από την περιοχή του έργου και να μεταφέρονται σε ειδικές καθορισμένες για το σκοπό αυτό θέσεις.

Ως αυτό το σημείο έγινε μια περιγραφή του προβλήματος οδοποιίας. Στη συνέχεια το πρόβλημα εστιάζετε σε καθαρά μηχανικούς όρους, κάτι που ξεφεύγει απ' τα ενδιαφέροντα μας. Θα γίνει όμως αναφορά στο οικονομικό μέρος του προβλήματος, καθώς και στο τελικό δίκτυο και θα παρουσιαστούν οι πίνακες και τα διαγράμματα των νωρίτερων και αργότερων χρονών.

	ΕΡΓΑΣΙΕΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ(ημέρες)	Α.Μ ΠΡΟΗΓ.
1α	Εκσκαφή-μεταφ.φωτ.Γης απο Χ.Θ.000 εως Χ.Θ.1993.15	4,5	-
2α	Εκσκαφή Εκχωμάτων-Κατασκευή επιχ. " " "	152	1α
3α	Διάνοιξη τάφρου για την τοποθέτηση των αγωγών υδρ.	9.5	1α
4α	Προετοιμασία της τάφρου για την ομαλή τοποθέτηση των αγωγών ύδρευσης- Τοπο- θέτηση και επίχωση αυτών	13	3α
5α	Ισοπέδωση - Διαμόρφωση - Διάνοιξη τά- φρων ομβρίων	10	4α
6α	Κατασκευή υπόβασης απο Χ.θ000 εως Χθ. 1993.15	17	5α
7α	Κατασκευή βάσης απο Χθ.000 ως Χθ.1993. 15	17	6α
1β	Εκσκαφή με αεριοσυμπιεστής και τοποθέτη- ση φουρνέλων γ.α την διάνοιξη βραχιδών πετρωμάτων απο Χ.θ.1993.15 ως Χθ.5536.20	38	1α
2β	Προώθηση εκχωμάτων - Κατασκευή επιχωμάτων απο Χθ.1993.15 εως Χ.θ.5536.20	70	1β, 2α
3β	Διάνοιξη τάφρου για την τοποθέτηση των αγωγών ύδρευσης	17	3α, 1β
4β	Προετοιμασία της τάφρου για την ομαλή τοποθέτηση των αγωγών ύδρευσης - τοπο- θέτηση και επίχωση αυτών	22	4α, 3β
5β	Ισοπέδωση-Διαμόρφωση-Διάνοιξη τάφρων ομβρίων	21	5α, 4β
6β	Κατασκευή υπόβασης απο Χθ.1993.15 εως 5536.20	29	7α, 5β
7β	Κατασκευή βάσης απο Χθ:1993.15 εως Χθ. 5536,20	29	6β

1γ	Εκσκαφή-Μεταφορά Φυτ.Γης απο Χθ.5536,20 εως 10.000	8	28
2γ	Εκσκαφή Εκχωμάτων - Κατασκευή επιχωμάτων	275	1γ
3γ	Διάνοιξη τάφρων για την τοποθέτηση των αγωγών ύδρευσης	21	3β,1
4γ	Προετοιμασία της τάφρου για την ομαλή τοπο- θέτηση των αγωγών ύδρευσης-τοποθέτηση και επίχωση αυτών	34	4β,3
5γ	Ισοπέδωση-Διαμόρφωση-Διάνοιξη τάφρων ομβρίων	28	5β,4
6γ	Κατασκευή Υπόβασης απο Χ.θ5536.20 εως Χ.θ. 10.000	36.50	5γ,7
7γ	Κατασκευή βάσης απο Χθ.5536.20 εως Χθ.10.000	36.50	6γ
1δ	Ασφαλτική προεπάλειψη	9	7γ
2δ	Κατασκευή ασφαλτικής στρώσης βάσης	16	1δ
3δ	Συγκολλητική επάλειψη βάσης	10	2δ
4δ	Ασφαλτόστρωση κυκλοφορίας	10.50	3δ

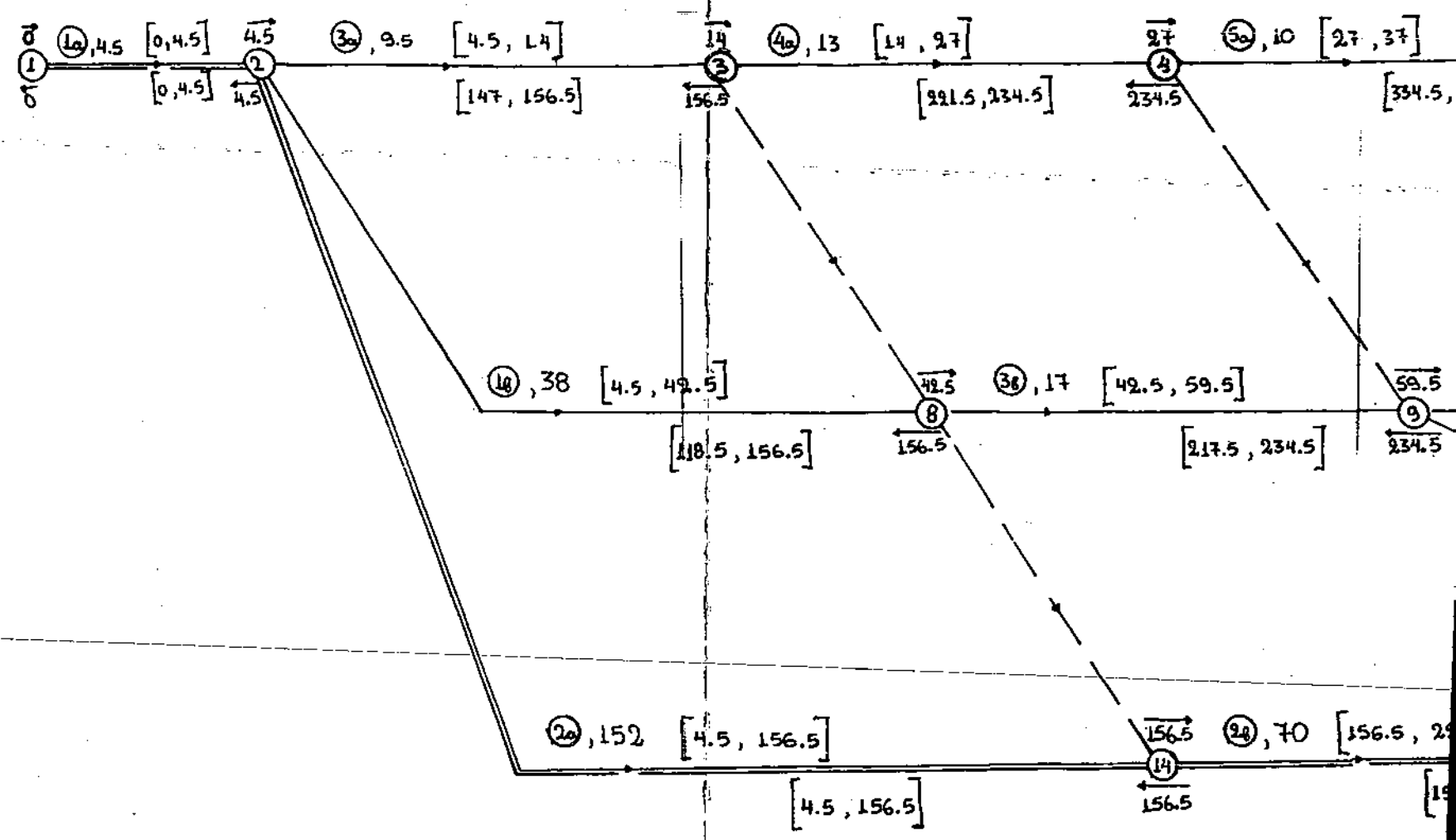
Πίνακας 4.2 : Τελικό δίκτυο εργασιών

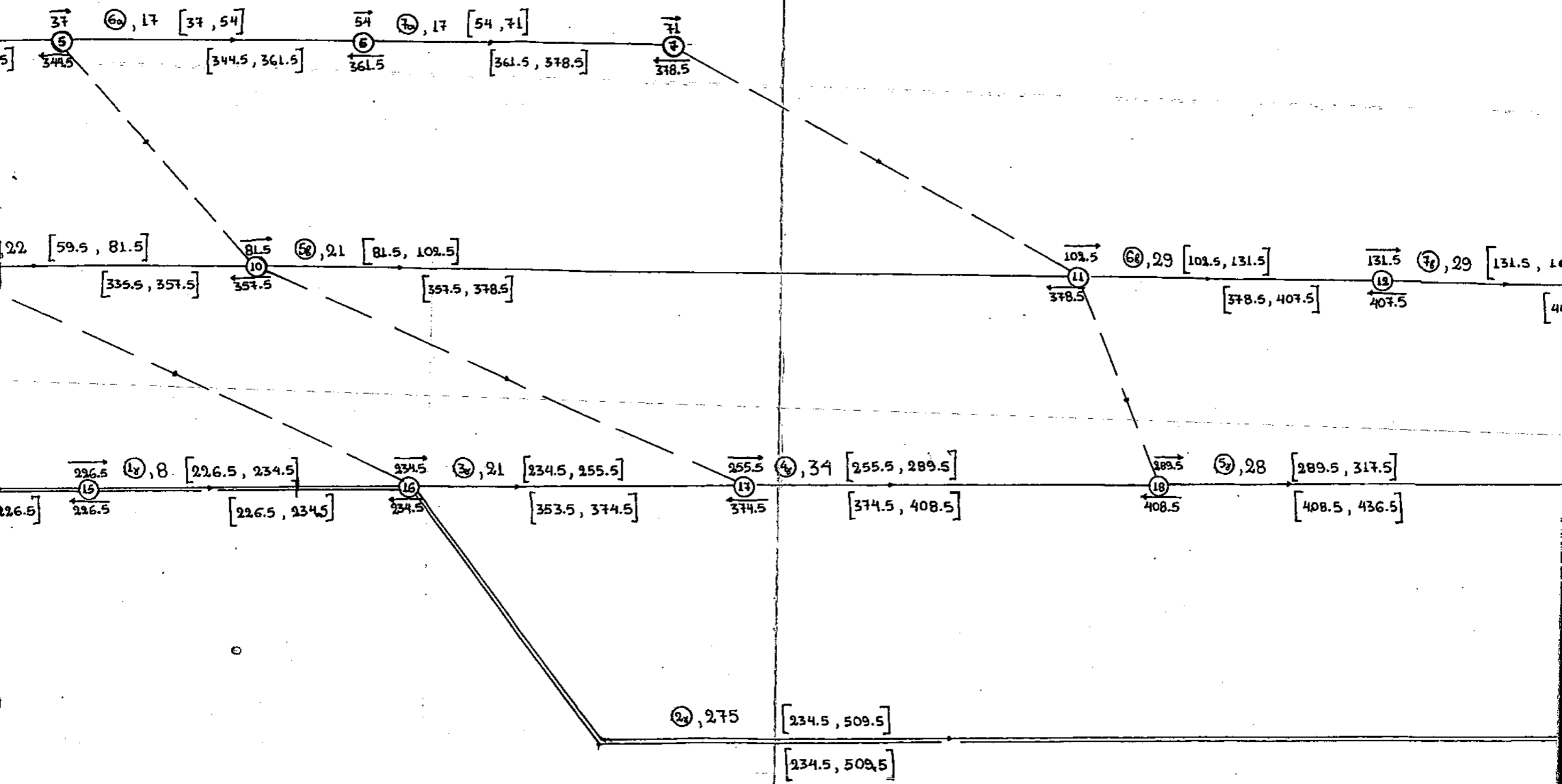
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΝΩΡΙΤΕΡΩΝ ΚΑΙ ΒΡΑΔΥΤΕΡΩΝ						
ΧΡΟΝΩΝ						
ΦΑΣΤ/ΤΗΤΕΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	ΕΝΩΡΙΤ. ΕΝΑΡΞΗ	ΧΡΟΝΟΣ ΠΕΡΑΤΟΣ	ΒΡΑΔΥΤ. ΕΝΑΡΞΗ	ΧΡΟΝΟΣ ΠΕΡΑΤΟΣ	ΠΕΡΙΘ/ΡΙΟ ΚΡΙΣΙΜΕΙ
1-2	4.5	0	4.5	0	4.5	0 *
2-3	9.5	4.5	14	147	156.5	142.5
3-4	13	14	27	221.5	234.5	207.5
4-5	10	27	37	334.5	344.5	307.5
17-6	17	37	54	344.5	361.5	307.5
16-7	17	54	71	361.5	378.5	307.5
2-8	38	4.5	42.5	118.5	156.5	114
8-9	17	42.5	59.5	217.5	234.5	175
9-10	22	59.5	81.5	335.5	357.5	276
10-11	21	81.5	102.5	357.5	378.5	276
11-12	29	102.5	131.5	378.5	407.5	276
12-13	29	131.5	160.5	407.5	436.5	276
2-14	152	4.5	156.5	4.5	156.5	0 *
14-15	70	156.5	226.5	156.5	226.5	0 *
15-16	8	226.5	234.5	226.5	234.5	0 *
16-17	21	234.5	255.5	353.5	374.5	119
17-18	34	255.5	289.5	374.5	408.5	119
18-19	28	289.5	317.5	408.5	436.5	119
19-20	36.5	317.5	354	436.5	473	119
20-21	36.5	354	390.5	473	509.5	119
16-21	275	234.5	509.5	234.5	509.5	0 *
21-22	9	509.5	518.5	509.5	518.5	0 *
22-23	16	518.5	532.5	518.5	532.5	0 *
23-24	10	532.5	524.5	534.5	544.5	0 *
24-25	10,5	544.5	555	541.5	535	0 *

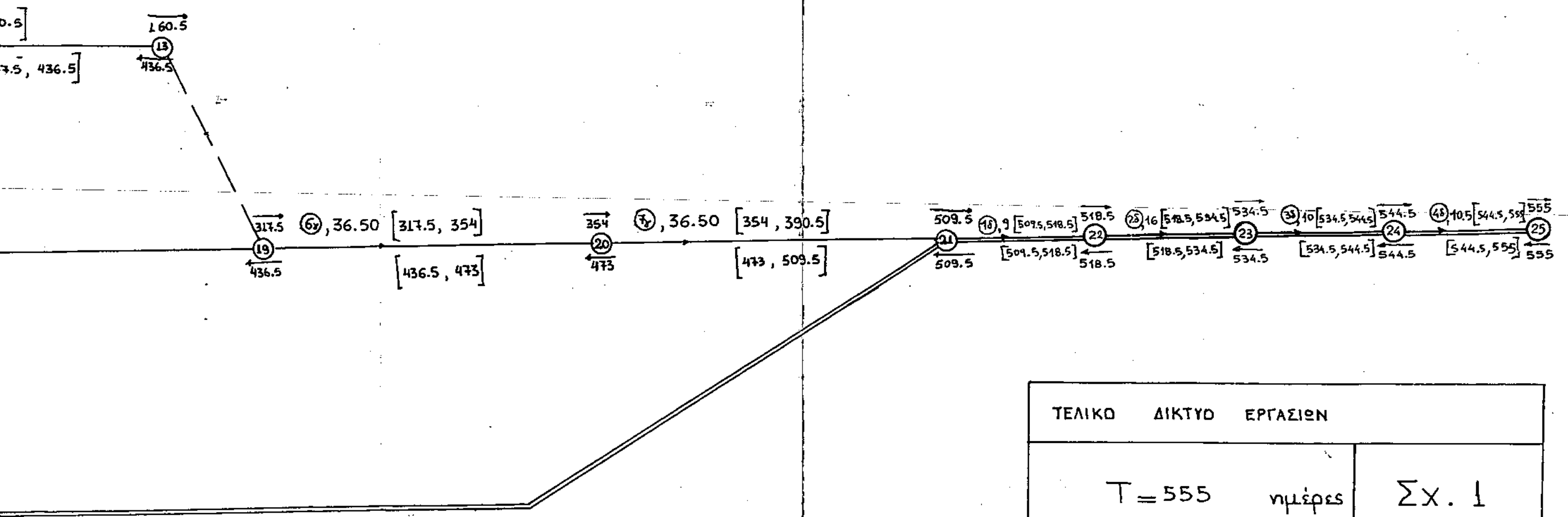
ΕΙΚΟΝΙΚΕΣ

3-8	8-14
4-9	9-16
5-10	10-17
7-11	11-18
	13-19

Πίνακας 4.3 : Υπολογισμός νωρίτερων και αργότερων χρόνων







ΤΕΛΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΡΓΑΣΙΩΝ		
$T = 555$	ημέρες	Σχ. 1

ΕΡΓΑΣΙΑ	ΚΟΣΤΟΣ/ΧΜ
1α	54976,67
2α	66437,25
3α	44431,60
4α	145738,46
5α	51510
6α	105312,52
7α	105312,52
1β	63995,60
2β	41507,40
3β	62631,88
4β	182950
5β	50591,67
6β	114855,99
7β	114855,99
1γ	53391,40
2γ	62651,36
3γ	53800
4γ	157473,50
5γ	50500
6γ	114903,25
7γ	114903,25
1δ	77500
2δ	370500
3δ	110500
4δ	475000

Πίνακας 4.4: Κόστος ανά εργασία

<u>ΚΟΣΤΟΣ ΜΕ ΤΟΝ ΕΝΩΡΙΤΕΡΟ ΧΡΟΝΟ ΕΝΑΡΣΗΣ</u>		
ΗΜΕΡΑ	ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ
1	54.976,67	54976,67
2	54.976,67	109953,34
3	54.976,67	164930,01
4	54.976,67	219906,68
5	114920,56	334827,24
6	174864,45	509691,69
7	174864,45	684556,14
8	174864,45	859420,59
9	174864,45	1034285
10	174864,45	1209149,5
11	174864,45	1384013,9
12	174864,45	1558878,40
13	174864,45	1733742,8
14	174864,45	1908607,3
15	276171,31	2184778,60
16	276171,31	2466949,90
17	276171,31	2737121,20
18	276171,31	3013292,50
19	276171,31	3289463,80
20	276171,31	3565635,20
21	276171,31	3841806,50
22	276171,31	4117977,80
23	276171,31	4394149,10
24	276171,31	4670320,40
25	276171,31	4946491,70
26	276171,31	5222663
27	176171,31	5498834,30
28	181942,85	5680777,20
29	181942,85	5862720
30	181942,85	6044662,90
31	181942,85	6226605,70
32	181942,85	6408548,60

33	181942,85	6590491,40
34	181942,85	6772434,30
35	181942,85	6954377,10
36	181942,85	7136320
37	181942,85	7318262,80
38	235745,37	7554008,20
39	235745,37	7789753,60
40	235745,37	8025498,90
41	235745,37	8261244,30
42	235745,37	8496989,70
43	235063,51	8732053,20
44	234381,65	9866434,80
45	234381,65	9200816,50
46	234381,65	9435198,10
47	234381,65	9669579,80
48	234381,65	9903961,50
49	234381,65	101383443
50	234381,65	10372725
51	234381,65	10607106
52	234381,65	10841488
53	234381,65	11075870
54	234381,65	11310251
55	234381,65	11544633
56	234381,65	11779015
57	234381,65	12013396
58	234381,65	12247778
59	234381,65	12482160
60	294549,71	12776701
61	354699,77	13131400
62	354699,77	13486100
63	354699,77	13840800
64	354699,77	14195500
65	354699,77	14550200
66	354699,77	14904899
67	354699,77	15259599

68	354699,77	15614299
69	354699,77	15968999
70	354699,77	16323698
71	354699,77	16678398
72	249387,25	16927785
73	249387,25	17177173
74	249387,25	17426560
75	249387,25	17675947
76	249387,25	17925334
77	249387,25	18174722
78	249387,25	18424109
79	249387,25	18673496
80	249387,25	18922883
81	249387,25	19172271
82	183208,09	19355479
83	117028,92	19472508
84	117028,92	19589537
85	117028,92	19706566
86	117028,92	19823594
87	117028,92	19940623
88	117028,92	20057652
89	117028,92	20174681
90	117028,92	20291710
91	117028,92	20408739
92	117028,92	20525768
93	117028,92	20642797
94	117028,92	20759826
95	117028,92	20876855
96	117028,92	20993884
97	117028,92	21110913
98	117028,92	21227941
99	117028,92	21344970
100	117028,92	21461999
101	117028,92	21579028
102	117028,92	21696057

103	149161,08	21845218
104	181293,24	22026511
105	181293,24	22207805
106	"	22389098
107	"	22570391
108	"	22751684
109	"	22932978
110	"	23114271
111	"	23295564
112	"	23476857
113	"	23658151
114	"	23839444
115	"	24020737
116	"	24202030
117	"	24383324
118	"	24564617
119	"	24745910
120	"	24927203
121	"	25108497
122	"	25289790
123	"	25471083
124	"	25652376
125	"	25833670
126	"	26014963
127	"	26106256
128	"	26377549
129	"	26558842
130	"	26740136
131	"	26921429
132	"	27102722
133	"	27284015
134	"	27465309
135	"	27646602
136	"	27827895
137	"	28009188

138	181293,24	28190482
139	"	28371775
140	"	28553068
141	"	28734361
142	"	28915655
143	"	29096948
144	"	29278241
145	"	29459534
146	"	29640828
147	"	29822121
148	"	30003414
149	"	30184707
150	"	30366001
151	"	30547294
152	"	30728587
153	"	30909880
154	"	31091173
155	"	31272467
156	"	31453760
157	168828,32	31622588
158	156363,39	31778952
159	156363,39	31935315
160	156363,39	32091678
161	98935,395	32190614
162	41507,40	32232121
163	41507,40	32273629
164	"	32315136
165	"	32356643
166	"	32398151
167	"	32439658
168	"	32481166
169	"	32522673
170	"	32564180
171	"	32605688
172	"	32647195

173	41507,40	32688703
174	"	32730210
175	"	32771717
176	"	32813225
177	"	32854732
178	"	32896240
179	"	32937747
180	"	32979254
181	"	33020762
182	"	33062269
183	"	33103777
184	"	33145284
185	"	33186791
186	"	33228299
187	"	33269806
188	"	33311314
189	"	33352821
190	"	33394328
191	"	33435836
192	"	33477343
193	"	33518851
194	"	33560358
195	"	33601865
196	"	33643373
197	"	33684880
198	"	33726386
199	"	33767895
200	"	33809402
201	"	33850910
202	"	33892417
203	"	33933925
204	"	33975432
205	"	34016939
206	"	34058447
207	"	34099954

208	41507,40	34141461
209	"	34182969
210	"	34224476
211	"	34265984
212	"	34307491
213	"	34348998
214	"	34390506
215	"	34432013
216	"	34473521
217	"	34515028
218	"	34556535
219	"	34598043
220	"	34639550
221	"	34681058
222	"	34722565
223	"	34764072
224	"	34805580
225	"	34847087
226	"	34888595
227	47449,40	34936044
228	53391,40	34989435
229	53391,40	35042827
230	"	25096218
231	"	35149610
232	"	35203001
233	"	35256392
234	"	35309784
235	84921,38	35394705
236	116451,36	35511157
237	116451,36	35627608
238	116451,36	35744059
239	116451,36	35860511
240	116451,36	35976962
241	116451,36	36093413
242	116451,36	36209863

243	116451,36	36326316
244	"	36442767
245	"	36559219
246	"	36675670
247	"	36792122
248	"	36908573
249	"	37025024
250	"	37141476
251	"	37257927
252	"	37374378
253	"	37490830
254	"	37607281
255	"	37723732
256	168288,11	37892020
257	220124,86	38112145
258	220124,86	38332270
259	"	38552395
260	"	38772520
261	"	38992645
262	"	39212770
263	"	39432895
264	"	39653019
265	"	39873144
266	"	40093269
267	"	40313394
268	"	40533519
269	"	40753644
270	"	40973769
271	"	41193893
272	"	41414018
273	"	41634143
274	"	41854268
275	"	42074393
276	"	42294518
277	"	42514643

278	220124,86	42734767
279	"	42954892
280	"	43175017
281	"	43395142
282	"	43615267
283	"	43835392
284	"	44055517
285	"	44275641
286	"	44495766
287	"	44715891
288	"	44936016
289	"	45156141
290	166638,11	45323779
291	113151,36	45435930
292	113151,36	45549082
293	"	45662233
294	"	45775384
295	"	45888536
296	"	46001687
297	"	46114839
298	"	46227990
299	"	46341141
300	"	46454293
301	"	46567444
302	"	46680595
303	"	46793747
304	"	46906898
305	"	47020049
306	"	47133201
307	"	47246352
308	"	47359503
309	"	47472655
310	"	47585806
311	"	47698958
312	"	47812109

313	113151,36	47925260
314	"	48038412
315	"	48151563
316	"	48264714
317	"	48377866
318	145352,99	48523219
319	177554,61	48700773
320	"	48878328
321	"	49055883
322	"	49233437
323	"	49410992
324	"	49588546
325	"	49766101
326	"	49943656
327	"	50121210
328	"	50298765
329	"	50476319
330	"	50653874
331	"	50831429
332	"	51008983
333	"	51186538
334	"	51364092
335	"	51541647
336	"	51719202
337	"	51896756
338	"	52074311
339	"	52251866
340	"	52429420
341	"	52606975
342	"	52784529
343	"	52962084
344	"	53139639
345	"	43317193
346	"	53494748
347	"	53672302

348	177554,61	53849857
349	"	54027412
350	"	54204966
351	"	54382521
352	"	54560075
353	"	54737630
354	"	54915185
355	"	55092739
356	"	55270294
357	"	55447848
358	"	55625403
359	"	55802938
360	"	55980512
361	"	56158067
362	"	56335622
363	"	56513176
364	"	56690731
365	"	56868285
366	"	57045840
367	"	57223395
368	"	57400950
369	"	57578504
370	"	57756058
371	"	57933613
372	"	58111168
373	"	57288722
374	"	58466277
375	"	58643831
376	"	58821386
377	"	58998941
378	"	59176495
379	"	59354050
380	"	59531605
381	"	59709159
382	"	59886714

383	177554,61	60064268
384	"	60241823
385	"	60419378
386	"	60596932
387	"	60774487
388	"	60952041
389	"	61129596
390	"	61307151
391	120102,99	61427254
392	62651,36	61489905
393	62651,36	61552556
394	62651,36	61615208
395	"	61677859
396	"	61740510
397	"	61803162
398	"	61865813
399	"	61928465
400	"	61991116
401	"	62053767
402	"	62116419
403	"	62179070
404	"	62241721
405	"	62304373
406	"	62367024
407	"	62429675
408	"	62492327
409	"	62554978
410	"	62617630
411	"	62680281
412	"	62742932
413	"	62805584
414	"	62868235
415	"	62930886
416	"	62993538
417	"	63056189

418	62651,36	63118840
419	"	63181492
420	"	63244143
421	"	63306794
422	"	63369446
423	"	63432097
424	"	63494749
425	"	63557400
426	"	63620051
427	"	63682703
428	"	63745354
429	"	63808005
430	"	63870657
431	"	63933308
432	"	63995959
433	"	64058611
434	"	64121262
435	"	64183914
436	"	64246565
437	"	64309216
438	"	64371868
439	"	64434519
440	"	64497171
441	"	64559822
442	"	64622473
443	"	64685125
444	"	64747776
445	"	64810428
446	"	64873079
447	"	64935730
448	"	64998382
449	"	65061033
450	"	65123684
451	"	65186336
452	"	65248987

453	62651,36	65311638
454	"	65374290
455	"	65436941
456	"	65499592
457	"	65562244
458	"	65624895
459	"	65687547
460	"	65759198
461	"	65812849
462	"	65875501
463	"	65938152
464	"	66000803
465	"	66063455
466	"	66126106
467	"	66188757
468	"	66251409
469	"	66314060
470	"	66376712
471	"	66439362
472	"	66502014
473	"	66564666
474	"	66627317
475	"	66689968
476	"	66752620
477	"	66815271
478	"	66877922
479	"	66940574
480	"	67003225
481	"	67065876
482	"	67128528
483	"	67191179
484	"	67253830
485	"	67316482
486	"	67379133
487	"	67441784

488	62651,36	67504436
489	"	67567087
490	"	67629739
491	"	67692390
492	"	67755041
493	"	67817693
494	"	67880344
495	"	67942995
496	"	68005647
497	"	68068298
498	"	68130949
499	"	68193601
500	"	68256252
501	"	68318903
502	"	68381555
503	"	68444206
504	"	68506858
505	"	68569509
506	"	68632160
507	"	68694812
508	"	68757463
509	"	68820114
510	3132,68	68851440
511	77500	68928940
512	"	69006440
513	"	69083940
514	"	69161440
515	"	69238940
516	"	69316440
517	"	69393940
518	"	69471440
519	"	69548940
520	370500	69919440

549	"	78481940
550	"	78956940
551	"	79431940
552	"	79906940
553	"	80381940
554	"	80856940
555	"	81331940

Πίνακας 4.5 : Κόστος έργου σε δραχμές με τον νωρίτερο χρόνο

<u>ΚΟΣΤΟΣ ΜΕ ΤΟΝ ΑΡΓΟΤΕΡΟ ΧΡΟΝΟ ΕΝΑΡΞΗΣ</u>		
ΗΜΕΡΑ	ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ
1	54976,67	54976,67
2	54976,67	109953,34
3	54976,67	164930,01
4	54976,67	219906,68
5	60706,96	280613,64
6	66437,25	347050,89
7	66437,25	413488,14
8	"	479925,39
9	"	546362,64
10	"	612799,89
11	"	679237,14
12	"	745674,39
13	"	812111,64
14	"	878548,89
15	"	944986,14
16	"	1011423,40
17	"	1077860,60
18	"	1144297,90
19	"	1210735,10
20	"	1277172,40
21	"	1343609,60
22	"	1410046,90
23	"	1476484,10
24	"	1542921,40
25	"	1609358,60
26	"	1675795,90
27	"	1742233,10
28	"	1808670,40
29	"	1875107,60
30	"	1941544,90
31	"	2007982,10
32	"	2074419,40
33	"	2140856,60

34	66437,25	2207293,90
35	"	2273731,10
36	"	2340168,40
37	"	2406605,60
38	"	2473042,90
39	"	2539480,10
40	"	2605917,40
41	"	2672354,60
42	"	2738791,90
43	"	2805229,10
44	"	2871666,40
45	"	2938103,60
46	"	3004540,90
47	"	3070978,10
48	"	3137415,40
49	"	3203852,60
50	"	3270289,90
51	"	3336227,10
52	"	3403164,40
53	"	3469601,60
54	"	3536038,90
55	"	3602476,10
56	"	3668913,40
57	"	3735350,60
58	"	3801787,90
59	"	3868225,10
60	"	3934662,40
61	"	4001099,60
62	"	4067536,90
63	"	4133974,10
64	"	4200411,40
65	"	4266848,60
66	"	4333285,90
67	"	4399723,10
68	"	4466160,40

69	66437,25	4532597,60
70	"	4599034,90
71	"	4665472,10
72	"	4731909,40
73	"	4798346,60
74	"	4864783,90
75	"	4931221,10
76	"	4997658,40
77	"	5064095,60
78	"	5130532,90
79	"	5196970,10
80	"	5263407,40
81	"	5329844,60
82	"	5396281,90
83	"	5462719,10
84	"	5529156,40
85	"	5595593,60
86	"	5662030,90
87	"	5728468,10
88	"	5794905,40
89	"	5861342,60
90	"	5927779,90
91	"	5994217,10
92	"	6060654,40
93	"	6127091,60
94	"	6193528,90
95	"	6259966,10
96	"	6326403,40
97	"	6392840,60
98	"	6459277,90
99	"	6525715,10
100	"	6592152,40
101	"	6658589,60
102	"	6725026,90
103	"	6791464,10

104	66437,25	6857901,40
105	"	6924338,60
106	"	6990775,90
107	"	7057213,10
108	"	7123650,40
109	"	7190087,60
110	"	7256524,90
111	"	7322962,10
112	"	7389399,40
113	"	7455836,60
114	"	7522273,90
115	"	7588711,10
116	"	7655148,40
117	"	7721585,60
118	"	7788022,90
119	98435,05	7886457,90
120	130432,85	8016890,80
121	130432,85	8147323,60
122	"	8277756,50
123	"	8408189,30
124	"	8538622,20
125	"	8669055
126	"	8799487,90
127	"	8929920,70
128	"	9060353,60
129	"	9190786,40
130	"	9321219,30
131	"	9451652,10
132	"	9582085
133	"	9712517,80
134	"	9842950,70
135	"	9973383,50
136	"	10103816
137	"	10234249
138	"	10364682

139	130432,85	10495115
140	"	10625548
141	"	10755981
142	"	10886413
143	"	11016846
144	"	11147279
145	"	11277712
146	"	11408145
147	"	11538578
148	174864,45	11713442
149	"	11888307:
150	"	12063171
151	"	12238036
152	"	12412900
153	"	12587764
154	"	12762629
155	"	12937493
156	"	13112358
157	108185,93	13220544
158	41507,40	13262051
159	"	13303559
160	"	13345066
161	"	13386573
162	"	13428081
163	"	13469588
164	"	13511096
165	"	13552603
166	"	13594110
167	"	13635618
168	"	13677125
169	"	13718633
170	"	13760140
171	"	13801647
172	"	13843155
173	"	13884662

174	41507,40	13926170
175	"	13967677
176	"	14009184
177	"	14050692
178	"	14092199
179	"	14133707
180	"	14175214
181	"	14216721
182	"	14258229
183	"	14299736
184	"	14341244
185	"	14382751
186	"	14424258
187	"	14465766
188	"	14507273
189	"	14548781
190	"	14590288
191	"	14631795
192	"	14673303
193	"	14714810
194	"	14756318
195	"	14797825
196	"	14839332
197	"	14880840
198	"	14922347
199	"	14963855
200	"	15005362
201	"	15046869
202	"	15088377
203	"	15129884
204	"	15171392
205	"	15212899
206	"	15254406
207	"	15295914
208	"	15337421

209	41507,40	15378929
210	"	15420436
211	"	15461943
212	"	15503450
213	"	15544958
214	"	15586465
215	"	15627973
216	"	15669480
217	"	15710987
218	52069,64	15763057
219	104139,28	15867196
220	104139,28	15971336
221	104139,28	16075475
222	177008,51	16252483
223	249877,74	16502361
224	249877,74	16752239
225	249877,74	17002117
226	249877,74	17251994
227	255819,74	17507814
228	261761,74	17769576
229	261761,74	18031338
230	"	18239099
231	"	18554861
232	"	18816623
233	"	19078385
234	"	19340146
235	162206,55	19502353
236	62651,36	19565004
237	"	19627656
238	"	19690307
239	"	19752958
240	"	19815610
241	"	19878261
242	"	19940912
243	"	20003564

244	62651,36	20066215
245	"	20128866
246	"	20191518
247	"	20254169
248	"	20316821
249	"	20379472
250	"	20442123
251	"	20504775
252	"	20567426
253	"	20630077
254	"	20692729
255	"	20755380
256	"	20818031
257	"	20880683
258	"	20943334
259	"	21005985
260	"	21068637
261	"	21131288
262	"	21193940
263	"	21256591
264	"	21319242
265	"	21381894
266	"	21444545
267	"	21507196
268	"	21569848
269	"	21632499
270	"	21695150
271	"	21757802
272	"	21820453
273	"	21883105
274	"	21945756
275	"	22008407
276	"	22071059
277	"	22133710
278	"	22196361

279	62651,36	22259013
280	"	22321664
281	"	22384315
282	"	22446967
283	"	22509618
284	"	22572269
285	"	22634921
286	"	22697572
287	"	22760224
288	"	22822875
289	"	22885526
290	"	22948178
291	"	23010829
292	"	23073480
293	"	23136132
294	"	23198783
295	"	23261434
296	"	23324086
297	"	23386737
298	"	23449389
299	"	23512040
300	"	23574691
301	"	23637343
302	"	23699994
303	"	23762645
304	"	23825297
305	"	23887948
306	"	23950599
307	"	24013251
308	"	24075902
309	"	24138553
310	"	24201205
311	"	24263856
312	"	24326508
313	"	24389159

314	62651,36	24451810
315	"	24514462
316	"	24577113
317	"	24639764
318	"	24702416
319	"	24765067
320	"	24827718
321	"	24890370
322	"	24953021
323	"	25015673
324	"	24078324
325	"	25140975
326	"	25203627
327	"	25266278
328	"	25328929
329	"	25391581
330	"	25454232
331	"	25516883
332	"	25579535
333	"	25642186
334	"	25704837
335	88406,36	25793244
336	205636,36	25998880
337	297111,36	26295992
338	"	26593103
339	"	26890214
340	"	27187326
341	"	27484437
342	"	27781548
343	"	28078660
344	"	28375771
345	324012,62	28699784
346	350913,88	29050698
347	350913,88	29401611
348	350913,88	29752525

349	350913,88	30103439
350	"	30454353
351	"	30805267
352	"	31156181
353	"	31507095
354	377813,88	31884909
355	"	32262722
356	"	32640536
357	"	33018350
358	338534,72	33356885
359	272355,55	33629241
360	272355,55	33901596
361	272355,55	34173952
362	"	34446307
363	"	34718663
364	"	34991018
365	"	35263374
366	"	35535729
367	"	35808085
368	"	36080440
369	"	36352796
370	"	36625152
371	"	36897507
372	"	37169863
373	"	37442218
374	"	37714574
375	324192,30	38038766
376	376029,05	38414795
377	"	38790824
378	"	39166853
379	355504,95	39522358
380	334980,85	39857339
381	"	40192320
382	"	40527301
383	"	40862282

384	334980,85	41197262
385	"	41532243
386	"	41867224
387	"	42202205
388	"	42537186
389	"	42872167
390	"	43207148
391	"	43542128
392	"	43877109
393	"	44212090
394	"	44547071
395	"	44882052
396	"	45217033
397	"	45552013
398	"	45886994
399	"	46221975
400	"	46556956
401	"	46891937
402	"	47226918
403	"	47561899
404	"	47896879
405	"	48231860
406	"	48566841
407	"	48901822
408	"	49236803
409	281494,10	49518297
410	228007,35	49746304
411	"	49974312
412	"	50202319
413	"	50430326
414	"	50658334
415	"	50886341
416	"	51114348
417	"	51342356
418	"	41570363

419	228007,35	51798370
420	"	52026378
421	"	52254385
422	"	52482392
423	"	52710400
424	"	52938407
425	"	53166415
426	"	53394422
427	"	53622429
428	"	53850437
429	"	54078444
430	"	54306451
431	"	54534459
432	"	54762466
433	"	54990473
434	"	55218481
435	"	55446488
436	"	55674495
437	202780,98	55877276
438	177554,61	56054831
439	"	56232386
440	"	56409940
441	"	56587495
442	"	56765049
443	"	56942604
444	"	57120159
445	"	57297713
446	"	57475268
447	"	57652822
448	"	57830377
449	"	58007932
450	"	58185486
451	"	58363041
452	"	58540595
453	"	58718150

454	177554,61	58895705
455	"	59073259
456	"	59250814
457	"	59428369
458	"	59605923
459	"	59783478
460	"	59961032
461	"	60138587
462	"	60316142
463	"	60493696
464	"	60671251
465	"	60848805
466	"	61026360
467	"	61203915
468	"	61381469
469	"	61559024
470	"	61736578
471	"	61914133
472	"	62091688
473	"	62269242
474	"	62446797
475	"	62624352
476	"	62801906
477	"	62979461
478	"	63157015
479	"	63334570
480	"	63512125
481	"	63689679
482	"	63867234
483	"	64044788
484	"	64222343
485	"	64399898
486	"	64577452
487	"	64755007
488	"	64932561

489	177554,61	65110116
490	"	65298671
491	"	65465225
492	"	65642780
493	"	65820334
494	"	65997889
495	"	66175444
496	"	66352998
497	"	66530553
498	"	66708107
499	"	66885662
500	"	67063217
501	"	67240771
502	"	67418326
503	"	67595881
504	"	67773435
505	"	67950990
506	"	68128544
507	"	68306099
508	"	68483654
509	"	68762663
510	88777,3	68851440
511	77500	68928940
512	77500	69006440
513	"	69083940
514	"	69161440
515	"	69238940
516	"	69316440
517	"	69393940
518	"	69471440
519	"	69548940
520	"	69919440
521	"	70289940

522	"	70660440
523	"	71030940
524	"	71401440
525	"	71771940
526	"	72142440
527	"	72512940
528	"	72883440
529	"	73253940
530	"	73624440
531	"	73994940
532	"	74365440
533	"	74735940
534	"	75106440
535	"	75476940
536	110500	75587440
537	"	75697940
538	"	75808440
539	"	75918940
540	"	76029440
541	"	76139940
542	"	76250440
543	"	76360940
544	"	76471440
545	"	76581940
546	475000	77056940
547	"	77531940
548	"	78006940
549	"	78481940

550	"	78956940
551	"	79431940
552	"	79906940
553	"	80381940
554	"	80856940
555	"	81331940

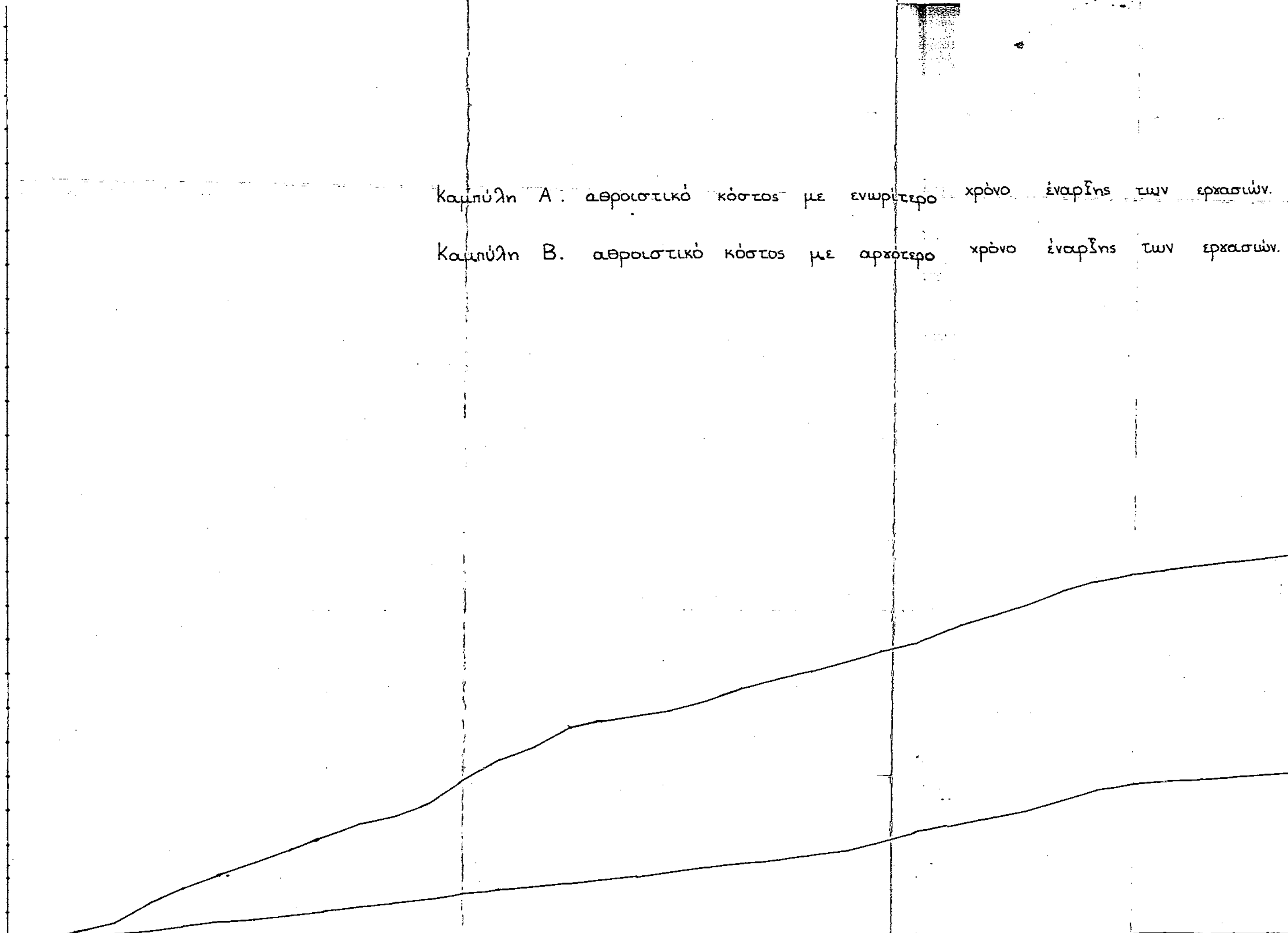
Πίνακας 4.6: Κόστος έργου σε δραχμές με τον αργότερο χρόνο έναρξης

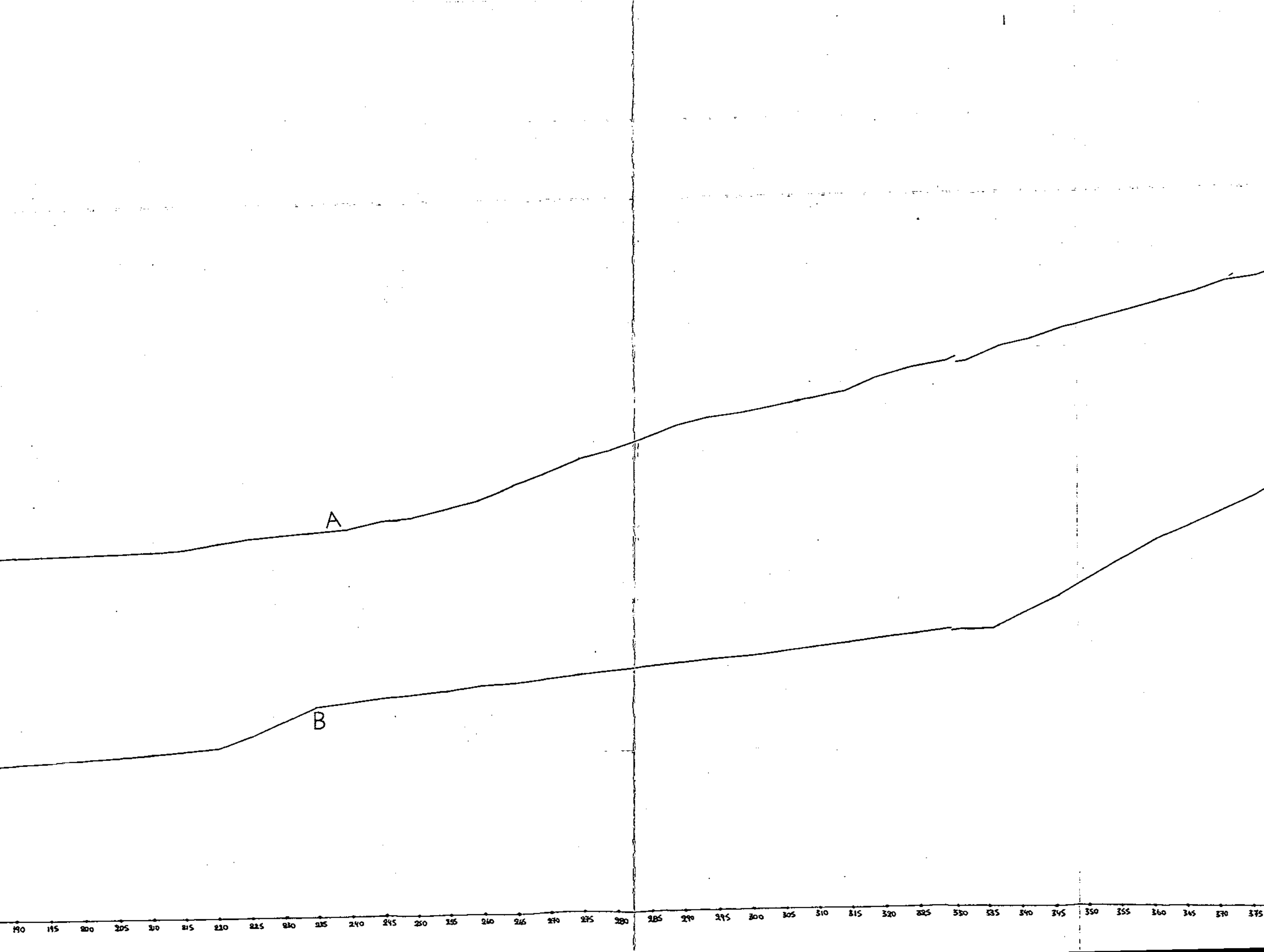
Κόστος ($\times 10^6$ δραχ)

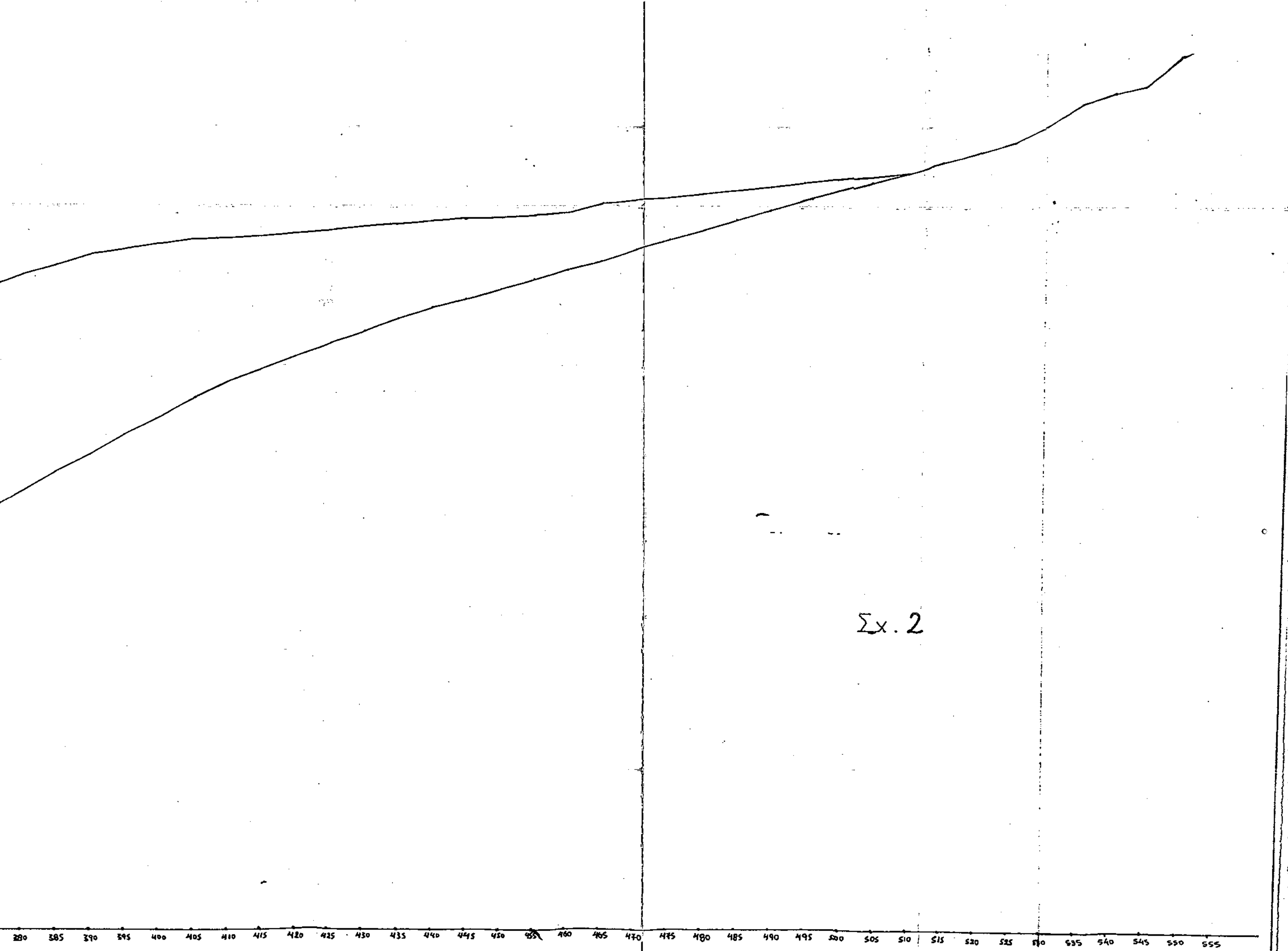
81
78
75
72
69
66
63
60
57
54
51
48
45
42
39
36
33
30
27
24
21
18
15
12
9
6
3
0

5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100 105 110 115 120 125 130 135 140 145 150 155 160 165 170 175 180

Καμπύλη Α. αθροιστικό κόστος με ενωρίτερο χρόνο έναρξης των εργασιών.
Καμπύλη Β. αθροιστικό κόστος με αργότερο χρόνο έναρξης των εργασιών.







$\Sigma x.2$

4.7 ΤΕΛΙΚΟ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Μετά τον οικονομικό και χρονικό προγραμματισμό καταλήγουμε ότι το συνολικό κόστος του έργου θα ανέλθει στο ποσό των 96.266.571 δρχ. και η ολοκλήρωση των εργασιών θα απαιτήσει χρονικό διάστημα 555 ημέρες. Για την ολοκλήρωση του έργου θα χρειασθεί να επενδυθούν τα πρηνή με φυτική γη και να κατασκευαστούν όλα τα απαραίτητα, μικρά τεχνικά έργα, καθώς και η σήμανση της οδού.

Πέρα όμως από τη συνολική χρονική διάρκεια και το συνολικό κόστος από το χρονικό και οικονομικό προγραμματισμό ενός έργου, παρέχεται ένα ακόμη ουσιώδες στοιχείο του έργου το οποίο καθιστά τον χρονικό και οικονομικό προγραμματισμό απαραίτητο στάδιο στο σχεδιασμό και τον έλεγχο, κάθε μεγάλου έργου.

Το στοιχείο αυτό είναι ο εντοπισμός των κρίσιμων εργασιών, οι οποίες είναι χρονικά ακλόνητες μέσα στο δίκτυο και οποιαδήποτε χρονική καθυστέρηση της εκτέλεσης τους έχει άμεση επίπτωση στη χρονική διάρκεια του έργου.

Κατά συνέπεια και εφόσον η κατασκευαστική εταιρεία επιθυμεί την έγκαιρη αποπεράτωση του έργου ή αποβλέπει στη συμπίεση της συνολικής χρονικής διάρκειας του, πρέπει αυτές οι εργασίες να είναι γνωστές, ώστε να ληφθούν οι κατάλληλες αποφάσεις.

<u>ΣΥΝΟΠΤΙΚΟΣ ΠΡΟΫΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ</u>	
Εκσκαφή μετ.φυτικής γης απο Χθ.000 εως Χ.θ.1993.15	247395,02 δρχ.
Εκσκαφή εκχωμάτων - Κατασκευή επιχωμάτων	10098462,00
Διάνοιξη τάφρου για την τοποθέτηση αγωγών ύδρευσης	422100,20
Προετ. της τάφρου για την ομαλή τοποθ. των αγωγών ύδρευσης	
Τοποθ. & επιχ.αυτών	1894600,00
Ίσοπέδωση - Διαμόρφωση - Διάνοιξη τάφρων ομβρίων	515100,00
Κατασκευή υπόβασης απο Χθ.0.00 εως Χθ.1993.15	1790312,80
Κατασκευή βάσης απο Χ.θ.0.00 εως Χ.θ.1993.15	1790312,80
Κατασκευή με αεροσυμπιεστές & τοποθ.φουρνέλων	2431832,80
Προώθηση εκχωμάτων-Κατασκευή επιχωμάτων απο Χθ.1993,15 εως 5536,20	2905518,00
Διάνοιξη τάφρων για την τοποθ. των αγωγών ύδρευσης	1064742,00
Προετ, της τάφρου για την ομαλή τοποθ. των αγωγών υδρ.	
Τοποθ.αυτών	4024900,00
Ίσοπέδωση-Διαμόρφωση Διάνοιξη τάφρων ομβρίων	1062425,10
Κατασκευή υπόβασης απο Χθ.1993,15 εως Χθ.5536,20	3330823,70
Κατασκευή βάσης απο Χθ.1993,15 εως Χθ.5536,20	3330821,70
Εκσκαφη μετ.φυτικής γης απο Χθ.5536,20 εως Χθ.10000	427131,20
Εκσκαφή εκχωμάτων - Κατασκευή επιχωμάτων	17229124,00
Διάνοιξη τάφρων για την τοποθέτηση των αγωγών ύδρευσης	1129800,00
Προετοιμασία της τάφρου για την ομαλή τοποθ. των αγωγών ύδρευσης	5354099,00
Ίσοπέδωση Διαμόρφωση Διάνοιξη τάφρων ομβρίων	1414000,00
Κατασκευή υπόβασης απο Χθ.5536,20 εως Χθ.10000	4193968,60
Κατασκευή βάσης απο Χθ.5536,20 εως Χθ.10000	4193968,60
Ασφαλτική προεπάλειψη	709900
Κατασκευή ασφαλτικής στρώσης βάσης	5928000
Συγκολλητική επάλειψη βάσης	1105000
Ασφαλτόστρωση κυκλοφορίας	<u>4987500</u>
Αθροισμα	81581840 δρχ.
Εργολαβικό Κέρδος 18%	<u>14684731 δρχ.</u>
Συνολική δαπάνη	96266571 δρχ.

Πίνακας 4.7: Συνοπτικός προϋπολογισμός έργου

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Για την δημιουργία της παραπάνω πτυχιακής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα βιβλία ή εργασίες καθώς και πληροφορίες από το internet.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

1. Παντελή Γ. Υψηλάντη (1998), *Επιχειρησιακή Έρευνα*, Εκδόσεις «ΕΛΛΗΝ».
2. Βασίλης Κώστογλου (1996), *Επιχειρησιακή Έρευνα*, Εκδόσεις Τζιόλα.
3. Δ. Π. Ψωινός (1993), *Ποσοτική Ανάλυση*, Εκδόσεις Ζήτη.
4. Σ. Οικονομόπουλου και Λ. Σπηλιόπουλου (1991), *Δικτυωτή ανάλυση έργου οδοποιίας και ύδρευσης – πλήρης χρονικός και οικονομικός προγραμματισμός της διανοίξεως δρόμου και ύδρευσης συνδέσμου κοινοτήτων Πλατάνου – Καλαμιάς Βούτσιμου – Παραλίας Πλατάνου (Νομού Αχαΐας)*, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστήμιο Πατρών.
5. Σεραφείμ Αλεξόπουλος (2002), *Μαθηματικός Προγραμματισμός*, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας.

ΞΕΝΗ

6. Look – Gower (1996), *Διαχείριση Έργου (Project Management)*.

INTERNET

7. http://www.ktirio.gr/gr/_dynoP/articles/arhra_det.asp?KATEGORY_COD E=1&offset=40&ARTHRO_NAME=55-27.TXT

