



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΚΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών

Διαχείριση Τεχνικών Έργων

Διπλωματική Εργασία

«Συγκριτική Αξιολόγηση των Μεθόδων του Χρονικού και
Οικονομικού Προγραμματισμού με Μελέτη Εφαρμογής σε Έργο
Εκμετάλλευσης ενός γεωθερμικού πεδίου»

Τηλέμαχος Κούρτης

A.M:153242

Επιβλέπων Καθηγήτρια: Δρ. Μαρία

Μπακατσάκη

Πάτρα, Ιούλιος 2024

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Τηλέμαχου Κούρτη που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

«Συγκριτική Αξιολόγηση των Μεθόδων του Χρονικού και
Οικονομικού Προγραμματισμού με Μελέτη Εφαρμογής σε Έργο
Εκμετάλλευσης ενός γεωθερμικού πεδίου»

ΤΗΛΕΜΑΧΟΣ ΚΟΥΡΤΗΣ

A.M:153242

Επιτροπή Επίβλεψης Πτυχιακής / Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Δρ. Μαρία Μπακατσάκη

ΕΔΙΠ, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και
Διοίκησης Πολυτεχνείο Κρήτης

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Κωσταντίνος Κηρυττόπουλος

Καθηγητής, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Πάτρα, Ιούλιος 2024

Περίληψη

Η διπλωματική εργασία αναλύει και συγκρίνει τις μεθόδους οικονομικού και χρονικού προγραμματισμού, εξετάζοντας την εφαρμογή τους σε ένα έργο εκμετάλλευσης γεωθερμικού πεδίου. Αρχικά, στο πρώτο μέρος παρουσιάζεται η δομή της εργασίας. Στο δεύτερο μέρος, εξηγούνται λεπτομερώς οι γενικές αρχές και οι μέθοδοι του χρονικού προγραμματισμού. Στο τρίτο μέρος, παρουσιάζεται η εφαρμογή των μεθόδων σε τεχνικά έργα και στο εργολαβικό περιβάλλον της εκμετάλλευσης γεωθερμικού πεδίου. Στο τέταρτο μέρος, γίνεται η συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων. Στο πέμπτο μέρος, αναλύεται ο οικονομικός προγραμματισμός του έργου. Τέλος, στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της εργασίας.

Λέξεις – Κλειδιά

Μέθοδοι Χρονικού Προγραμματισμού, Μέθοδοι Οικονομικού Προγραμματισμού, Γεωθερμία

Comparative Evaluation of the Scheduling and Economic Planning Methods with an Application Study in a Geothermal Field Development Project

Tilemachos Kourtis

A.M:153242

Abstract

The thesis analyses and compares economic and scheduling methods, examining their application in a geothermal field exploitation project. Initially, the first part presents the structure of the thesis. In the second part, the general principles and methods of time scheduling are explained in detail. The third part presents the application of the methods to technical projects and the contracting environment of geothermal field exploitation. In the fourth part the comparative evaluation of the methods is presented. In the fifth part the economic planning of the project is done. Finally, the last section presents the conclusions of the study, followed by the bibliography used.

Keywords

Time scheduling methods, Economic Planning Methods, Geothermal Field

Περιεχόμενα

Περίληψη	iv
Abstract.....	v
Περιεχόμενα	vi
Κατάλογος Εικόνων	viii
Κατάλογος Πινάκων	ix
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Αντικείμενο Εργασίας-Πεδίο Εφαρμογής	1
1.2 Δομή της εργασίας.....	1
2. Μέθοδοι Χρονικού Προγραμματισμού στην Διαχείριση των Τεχνικών Έργων.....	3
2.1 Ο ρόλος του προγραμματισμού στην Διαχείριση τεχνικών έργων	3
2.2 Η μέθοδος της Κρίσιμης Διαδρομής(CPM Method).....	4
2.3 Διάγραμμα GANTT	10
2.4 Μέθοδος PERT(Program Evaluation and Review Technique)	14
2.5 Μέθοδος SIPOC (Lean six sigma)	20
3. Μέθοδοι Χρονικού προγραμματισμού με εφαρμογή σε έργο Εκμετάλλευσης Γεωθερμίας	25
3.1 Σύντομη Τεχνική Περιγραφή του Έργου Εκμετάλλευσης Γεωθερμίας	25
3.2 Προβλήματα Διαχείρισης Χρόνου και Οικονομίας του έργου Εκμετάλλευσης Γεωθερμίας.	27
3.3 Δομική Ανάλυση του Έργου-Κατάλογος Εργασιών στο έργο εκμετάλλευσης ενός Γεωθερμικού πεδίου	29
3.4 Εκτίμηση Διάρκειας Δραστηριοτήτων.....	39
3.5 Σχέσεις Αλληλουχίας -Κατάλογος εργασιών του Έργου.....	41
3.6 Εφαρμογή της μεθόδου CPM στο έργο Εκμετάλλευσης ενός Γεωθερμικού Πεδίου	46
3.7. Εφαρμογή της μεθόδου PERT στο έργο Εκμετάλλευσης ενός Γεωθερμικού Πεδίου	53
3.8. Εφαρμογή της Μεθόδου SIPOC (Lean six sigma) στο έργο Εκμετάλλευσης ενός Γεωθερμικού Πεδίου	Error! Bookmark not defined.
4. Συγκριτική Αξιολόγηση των Μεθόδων	59
4.1. Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα των Μεθόδων Χρονικού Προγραμματισμού.....	59
4.1.1 Πλεονεκτήματα μεθόδων χρονικού προγραμματισμού	59
4.1.1.1 Μέθοδος CPM (Critical path method)	59
4.1.1.2 Μέθοδος PERT (Program Evaluation and Review Technique)	60
4.1.1.3 Διάγραμμα Gantt	61
4.1.1.4 Μέθοδος SIPOC((Suppliers-Inputs-Process-Outputs-Costumers)	62

4.1.2 Μειονεκτήματα των μεθόδων χρονικού προγραμματισμού	62
4.1.2.1 Μέθοδος CPM (Critical path method)	62
4.1.2.2 Μέθοδος PERT (Program Evaluation and Review Technique)	63
4.1.2.3 Διάγραμμα Gantt	64
4.1.2.4 Μέθοδος SIPOC((Suppliers-Inputs-Process-Outputs-Costumers)	64
4.2. Επιλογή της καταλληλότερης Μεθόδου στο έργο εκμετάλλευσης του Γεωθερμικού πεδίου.....	65
5. Οικονομικός προγραμματισμός στο έργο εκμετάλλευσης του Γεωθερμικού.....	66
5.1 Διαχείριση Πόρων -Διαδικασία Εξομάλυνσης Πόρων	66
5.2 Διαχείριση Κόστους	78
5.3 Μέθοδος Δεδουλεμένης Αξίας(Earned Value Method)	80
6. Συμπεράσματα	86
Αναφορές.....	88

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1. Ομόρροπος και Αντίρροπος Υπολογισμός Χρονικών Μεγεθών	5
Εικόνα 2. Κομβικό Δίκτυο	6
Εικόνα 3. Ιστόγραμμα Συχνοτήτων Διάρκειας Εργασίας	15
Εικόνα 4. Στατιστικός Πίνακας Τυπικής Κανονικής Κατανομής	17
Εικόνα 5. Παράδειγμα Μεθόδου SIPOC	23
Εικόνα 6 Δομική ανάλυση του έργου σε κύρια τμήματα	30
Εικόνα 7 Δομική ανάλυση του έργου σε υποεργασίες	31
Εικόνα 8 Δομική ανάλυση των κύριων εργασιών του έργου σε υποεργασίες	32
Εικόνα 9 Δομική ανάλυση των κύριων εργασιών του έργου σε υποεργασίες	33
Εικόνα 10 Δομική ανάλυση των κύριων εργασιών του έργου σε υποεργασίες	34
Εικόνα 11 CPM με δικτυωτά γραφήματα-Κρίσιμη διαδρομή του έργου	47
Εικόνα 12 Ιστόγραμμα Κατανομής πόρων	69
Εικόνα 13 Ιστόγραμμα Κατανομής Πόρων-Παραδοχή 1	71
Εικόνα 14 Ιστόγραμμα Κατανομής Πόρων-Παραδοχή 2	73
Εικόνα 15 Ιστόγραμμα Κατανομής Πόρων στο Έργο Εκμετάλλευσης του Γεωθερμικού Πεδίου	76

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Διάρκειες και Διαδοχές Δραστηριοτήτων του Έργου	6
Πίνακας 2 Μεγέθη Χρονικού Προγραμματισμού Έργου	10
Πίνακας 3 Διάγραμμα GANTT Ισόγειας Οικοδομής	11
Πίνακας 4 Διάγραμμα Gantt Χρονικές Καθυστερήσεις- Δαπάνες Έργου	12
Πίνακας 5 Διάγραμμα Gantt Σχέσεις Αλληλουχίας& Κρίσιμη Διαδρομή	13
Πίνακας 6 Υπολογισμός Διάρκειας PERT	18
Πίνακας 7 Υπολογισμός Χρονικών Μεγεθών	19
Πίνακας 8 Κτήρια Καταναλωτών	25
Πίνακας 9 Κατάλογος Εργασιών-Σχέσεις Αλληλουχίας.....	45
Πίνακας 10 Διάρκειες Εργασιών στο Έργο Εκμετάλλευσης του Γεωθερμικού Πεδίου	46
Πίνακας 11 Υπολογισμός Χρονικών Μεγεθών του Έργου Εκμετάλλευσης του Γεωθερμικού Πεδίου...	52
Πίνακας 12 Εκτίμηση Διάρκειας -Μέθοδος PERT στο έργο Εκμετάλλευσης του Γεωθερμικού Πεδίου	53
Πίνακας 13 Υπολογισμός Μέσης Τιμής-Τυπικής Απόκλισης Μέθοδος PERT	55
Πίνακας 14 Υπολογισμός Χρονικών Μεγεθών-Μέθοδος PERT	56
Πίνακας 15 Εκτίμηση Πόρων Εργασιών-Υπολογισμός Χρονικών Μεγεθών	68
Πίνακας 16 Διάγραμμα Gantt-Πόροι ανά Εβδομάδα	69
Πίνακας 17 Εξομάλυνση Πόρων- Παραδοχή 1.....	70
Πίνακας 18 Εξομάλυνση Πόρων- Παραδοχή 2.....	72
Πίνακας 19 Υπολογισμός Εργατο/Εβδομάδας	74
Πίνακας 20 Διάγραμμα Gantt-Πόροι ανά Εβδομάδα	75
Πίνακας 21 Εξομάλυνση των Πόρων του Έργου-Χρονική Μετατόπιση των Εργασιών.....	77
Πίνακας 22 Διάγραμμα Gantt-Κόστος ανά εβδομάδα.....	82
Πίνακας 23 Πραγματικό Κόστος Εργασιών στο Σημείο Ελέγχου	83
Πίνακας 24 Μέθοδος Παραχθείσας Αξίας-Υπολογισμός Μεγεθών	84

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο Εργασίας-Πεδίο Εφαρμογής

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναλύει τη συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων οικονομικού και χρονικού προγραμματισμού με μελέτη εφαρμογής σε έργο εκμετάλλευσης γεωθερμικού πεδίου. Η έρευνα εστιάζεται στην ανάλυση της διαχείρισης χρόνου και κόστους σε τεχνικά έργα. Επιπλέον, εξετάζεται το γενικότερο πλαίσιο διαχείρισης έργου, με έμφαση στην αντιμετώπιση χρονικών υπερβάσεων και οικονομικής ζημίας. Η εργασία προορίζεται να βοηθήσει εργολήπτες, ελεύθερους επαγγελματίες και στελέχη επιχειρήσεων στην κατανόηση και εφαρμογή μεθόδων χρονικού προγραμματισμού, καθώς και στην ανάλυση της κατάλληλης μεθόδου για το συγκεκριμένο έργο. Ο σκοπός είναι ο ορθολογικός προγραμματισμός του έργου, ο εντοπισμός κρίσιμων δραστηριοτήτων και η μείωση μη παραγωγικής απασχόλησης. Με αντικείμενο την εφαρμογή των μεθόδων CPM, PERT και SIPOC, η έρευνα προσφέρει πρακτικές κατευθυντήριες γραμμές για τη βελτίωση της διαχείρισης έργων, προωθώντας την ορθή προετοιμασία και εκτέλεση κάθε δραστηριότητας και την αποτελεσματική διαχείριση πόρων. Η πρόσβαση στην παρούσα διπλωματική εργασία θα ενισχύσει την κατανόηση των μεθόδων προγραμματισμού και την εφαρμογή τους σε τεχνικά έργα, βελτιώνοντας έτσι τη διαχείριση του χρόνου και του κόστους στο πλαίσιο εξειδικευμένων τεχνικών έργων όπως αυτό. Στοχεύουμε στην ολοκλήρωση του συγκεκριμένου έργου χωρίς καμία μέρα καθυστέρησης ή παράτασης καθώς και στον οικονομικό προγραμματισμό του με το λιγότερο δυνατό κόστος. Στη συνέχεια, θα συγκρίνουμε τις μεθόδους που αναπτύξαμε για να δούμε ποια είναι η πιο αποδοτική και κατανοητή στην εφαρμογή της, ώστε και η συγκεκριμένη επιχείρηση, αλλά και άλλες εργοληπτικές επιχειρήσεις, να είναι σε θέση να εφαρμόζουν μεθόδους χρονικού προγραμματισμού και να κρίνουν ποια μέθοδος είναι η πιο κατάλληλη και αποδοτική για ένα έργο εκμετάλλευσης γεωθερμικού πεδίου μέσω δικτύων τηλεθέρμανσης, αλλά και για οποιοδήποτε τεχνικό έργο.

1.2 Δομή της εργασίας

Η διπλωματική εργασία με τίτλο "Συγκριτική Αξιολόγηση των Μεθόδων Οικονομικού και Χρονικού Προγραμματισμού με Μελέτη Εφαρμογής σε Έργο Εκμετάλλευσης Γεωθερμικού Πεδίου" αναλύει τις διάφορες μεθόδους προγραμματισμού και αξιολογεί την αποτελεσματικότητά τους σε ένα συγκεκριμένο έργο εκμετάλλευσης γεωθερμικού πεδίου. Η εργασία χωρίζεται σε διάφορα κεφάλαια, καθένα από τα οποία εστιάζει σε διαφορετικά θέματα που αφορούν τη μελέτη. Αρχικά, το πρώτο

κεφάλαιο εισάγει το θέμα, περιγράφοντας το αντικείμενο της εργασίας και το πεδίο εφαρμογής της. Στη συνέχεια, το δεύτερο κεφάλαιο εξετάζει διάφορες μεθόδους χρονικού προγραμματισμού, όπως η μέθοδος CPM, το διάγραμμα Gantt, η μέθοδος PERT. Εξετάζει την μέθοδο SIPOC εστιάζοντας και τον ρόλο της στη διαχείριση τεχνικών έργων,. Στο τρίτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται μέθοδοι χρονικού προγραμματισμού που εφαρμόζονται σε έργο εκμετάλλευσης γεωθερμικού πεδίου, με συγκεκριμένη ανάλυση του έργου και εκτίμηση της διάρκειας και του κόστους των εργασιών. Το τέταρτο κεφάλαιο προβαίνει σε συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων προγραμματισμού, εξετάζοντας τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε μεθόδου και προτείνοντας την καταλληλότερη για το συγκεκριμένο έργο. Στο πέμπτο κεφάλαιο, εξετάζεται ο οικονομικός προγραμματισμός στο έργο εκμετάλλευσης γεωθερμικού πεδίου, με έμφαση στη διαχείριση των πόρων και του κόστους. Τέλος, το τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζει τα συμπεράσματα της εργασίας, ενώ ακολουθεί η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε.

2. Μέθοδοι Χρονικού Προγραμματισμού στην Διαχείριση των Τεχνικών Έργων

2.1 Ο ρόλος του προγραμματισμού στην Διαχείριση τεχνικών έργων

Η διαδικασία του προγραμματισμού έργων συνίσταται στην εκπόνηση ενός κατάλληλου σχεδίου εργασίας, προκειμένου να πραγματοποιηθεί ένα έργο. Κύριος στόχος είναι ο καθορισμός του χρονοδιαγράμματος εργασιών, εξασφαλίζοντας την έγκαιρη και οικονομική ολοκλήρωση του εκάστοτε έργου. Ένα βασικό στάδιο είναι επίσης ο έλεγχος των έργων, που απαιτεί την εφαρμογή του προγραμματισμού κατά τη φάση υλοποίησης, και αναπτύσσεται με την ίδια αφοσίωση που απαιτείται για τον ίδιο τον προγραμματισμό των έργων. Οι κυριότεροι λόγοι που εξηγούν την ανάγκη του προγραμματισμού στα τεχνικά έργα είναι οι εξής:

- Ο προγραμματισμός οδηγεί σε πλήρη κατανόηση του σκοπού και της διαδικασίας υλοποίησης του έργου, επιτυγχάνοντας αυτό στο αρχικό στάδιο του προγραμματισμού. Κατά τη διαδικασία ανάλυσης της δομής του έργου, δημιουργείται ένας αναλυτικός κατάλογος εργασιών.
- Με τον προγραμματισμό, καθορίζονται οι συγκεκριμένοι στόχοι του έργου, ενώ παράλληλα προσδιορίζεται ποσοτικά η αναγκαία εργασία σχετικά με τον χρόνο, το κόστος και τα απαραίτητα παραγωγικά μέσα.
- Κατοχυρώνεται επίσης το χρονοδιάγραμμα εκτέλεσης του έργου, το οποίο προσαρμόζεται κατάλληλα ανάλογα με τους καθορισμένους χρονικούς περιορισμούς και τα διαθέσιμα παραγωγικά μέσα.
- Επιπλέον, καθορίζονται τα παραγωγικά εργαλεία που θα συμμετάσχουν σε κάθε εργασία, ενώ ταυτόχρονα γίνεται η κατανομή αρμοδιοτήτων και ευθυνών.
- Εκπονούνται αναφορές που αναλύουν το κόστος κάθε εργασίας ή ομάδας εργασιών, το συνολικό κόστος του έργου και τη χρονική διανομή του.
- Ο προγραμματισμός αναδεικνύει μια βάση για την οικονομική αξιολόγηση εναλλακτικών μεθόδων προγραμματισμού.
- Επιπρόσθετα, παρέχεται η δυνατότητα να περιληφθούν στα έγγραφα της σύμβασης οι περιορισμοί που αφορούν το κόστος, τον χρόνο και τους πόρους.
- Παρέχει επίσης ένα εργαλείο επικοινωνίας μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων υλοποίησης, για την παροχή πληροφοριών που αφορούν το σκοπό και τη διαδικασία εκτέλεσης των εργασιών, αλλά και τη ροή πληροφοριών ως προς την πορεία υλοποίησης των εργασιών.

- Παρέχει τη δυνατότητα παρακολούθησης του έργου κατά τη φάση υλοποίησης, καταγραφής των παραμέτρων εκτέλεσης και σύγκρισης αυτών με τα αντίστοιχα μεγέθη του προγραμματισμού. Αποκλίσεις ή προβλέψεις αποκλίσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αποφάσεις διορθωτικών κινήσεων που θα επαναφέρουν το έργο στην προγραμματισμένη του πορεία.
- Τέλος, μειώνει την αβεβαιότητα και αυξάνει την αξιοπιστία υλοποίησης του έργου εντός των προθεσμιών και των άλλων περιορισμών.

Ο προγραμματισμός και ο έλεγχος προόδου εφαρμόζονται σε οποιαδήποτε δραστηριότητα στη ζωή μας. Ο προγραμματισμός και ο έλεγχος προόδου εφαρμόζονται είτε σε μικρά έργα είτε σε μεγάλα. Σε μικρά έργα, ο προγραμματισμός και ο έλεγχος είναι μια σειρά σκέψεων και μπορούν να παραμείνουν ακόμη και στο μυαλό του κάθε υπευθύνου (Project Manager), ενώ στα μεγάλα έργα οι υπολογισμοί είναι αδύνατον να γίνουν μόνο με το μυαλό, γι' αυτό απαιτείται καταγραφή των παραμέτρων με μαθηματική ανάλυση (Χασιακός κ.α, 2003).

2.2 Η μέθοδος της Κρίσιμης Διαδρομής(CPM Method)

Η μέθοδος της κρίσιμης διαδρομής συνοδεύεται από την ανάλυση των δικτυωτών γραφημάτων, η οποία είναι η τεχνική που δημιουργεί τον προγραμματισμό του έργου και υπολογίζει τα χρονικά μεγέθη των δραστηριοτήτων, δηλαδή την ενωρίτερη και βραδύτερη έναρξη και λήξη κάθε δραστηριότητας, καθώς και τα χρονικά περιθώρια τους. Η κρίσιμη διαδρομή υπολογίζει τη μεγαλύτερη σε διάρκεια διαδρομή του δικτυωτού γραφήματος και καθορίζει το συντομότερο χρόνο που μπορεί να ολοκληρωθεί το έργο. Η διαδρομή με τη μεγαλύτερη χρονική διάρκεια ονομάζεται κρίσιμη διαδρομή. Κάθε δραστηριότητα πάνω στην κρίσιμη διαδρομή είναι κρίσιμη και έχει το χαρακτηριστικό ότι το ολικό περιθώριο χρόνου (Total float - slack) είναι μηδέν. Αυτό σημαίνει ότι οι εργασίες που είναι πάνω στην κρίσιμη διαδρομή και έχουν περιθώριο μηδέν δεν μπορούν να καθυστερήσουν καθόλου, διότι θα έχουμε συνολική καθυστέρηση όλου του έργου.

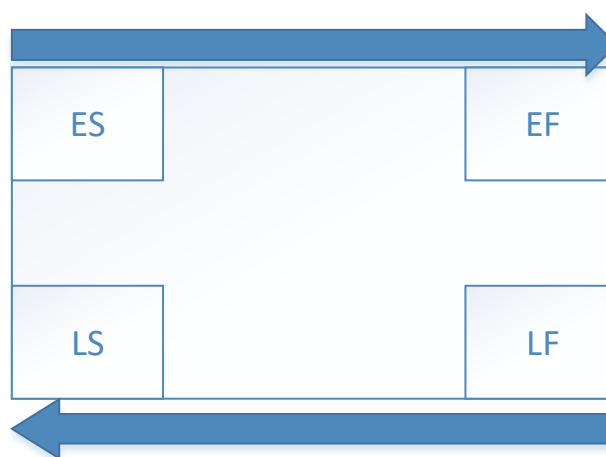
Για να εφαρμόσουμε την κρίσιμη διαδρομή θα χρειαστούμε:

- Έναν κατάλογο δραστηριοτήτων - εργασιών (Δομική Ανάλυση του Έργου).
- Την εμπειρική και σωστή εκτίμηση της διάρκειας κάθε δραστηριότητας.
- Τις εξαρτήσεις μεταξύ των δραστηριοτήτων.
- Τον υπολογισμό των χρονικών μεγεθών κάθε δραστηριότητας και πιο συγκεκριμένα:
- Την ενωρίτερη έναρξη που μπορεί να ξεκινήσει μια δραστηριότητα (Early Start - ES).

- Το ενωρίτερο πέρας, δηλαδή τον ενωρίτερο χρόνο που μπορεί να τελειώσει μια δραστηριότητα (Early Finish - EF).
- Την βραδύτερη έναρξη που μπορεί να ξεκινήσει μια δραστηριότητα (Late Start - LS).
- Το βραδύτερο πέρας, δηλαδή τον βραδύτερο χρόνο που μπορεί να τελειώσει μια δραστηριότητα (Late Finish - LF).
- Το ολικό περιθώριο (Total Float - Slack - TF): Τη χρονική διάρκεια που μπορεί να καθυστερήσει μια δραστηριότητα χωρίς να επηρεαστεί η συνολική διάρκεια του έργου, και δίνεται από τον τύπο: $TF = LS - ES$ ή $LF - EF$.
- Το ελεύθερο χρονικό περιθώριο (Free Float - FF): Τη χρονική διάρκεια που μπορεί να καθυστερήσει μια δραστηριότητα χωρίς να καθυστερήσει η ενωρίτερη έναρξη της επόμενης δραστηριότητας.

Οι διαδρομές που έχουν χρονική διάρκεια κοντά στην κρίσιμη διαδρομή καλούνται διαδρομές κοντά στην κρίσιμη διαδρομή (near critical path). Όσο αυξάνεται ο αριθμός των κρίσιμων διαδρομών, ο αριθμός των διαδρομών κοντά στην κρίσιμη και ο αριθμός των δραστηριοτήτων, τόσο αυξάνεται και η επικινδυνότητα σε ένα έργο, ενώ όσο αυξάνεται το περιθώριο της κάθε δραστηριότητας τόσο μειώνεται η επικινδυνότητα του έργου (Βαγιωνά, 2021).

Οι υπολογισμοί για τους ενωρίτερους χρόνους πραγματοποιούνται διαβάζοντας το δικτυωτό γράφημα από τα αριστερά προς τα δεξιά, ενώ για τον υπολογισμό των βραδύτερων χρόνων από τα δεξιά στα αριστερά.



Εικόνα 1. Ομόρροπος και Αντίρροπος Υπολογισμός Χρονικών Μεγεθών

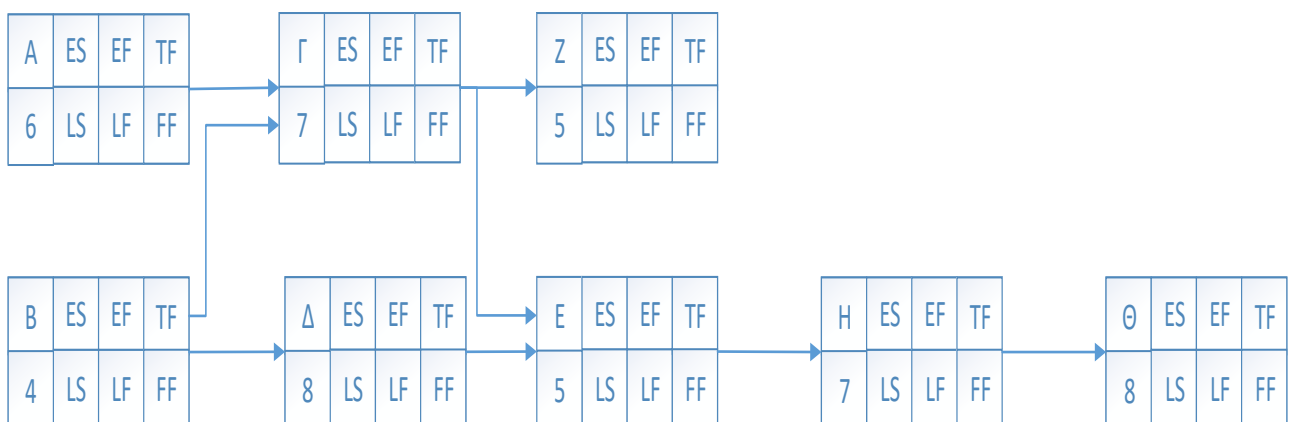
Στον ομόρροπο υπολογισμό (από αριστερά προς τα δεξιά) σε περίπτωση που σε μια δραστηριότητα καταλήγει σε περισσότερες από μια δραστηριότητες παίρνουμε την μέγιστη τιμή από τους

ενωρίτερους χρόνους που προκύπτουν, ενώ στον αντίρροπο υπολογισμό (από δεξιά προς τα αριστερά) στην ίδια περίπτωση, επιλέγεται ο μικρότερος από τους βραδύτερους χρόνους που προκύπτουν (Βλέπε Εικόνα 1).

Για την πλήρη κατανόηση και τον υπολογισμό όσων αναφέραμε παραπάνω παρουσιάζεται στον Πίνακα 1 ένα παράδειγμα ενός τεχνικού έργου, το οποίο αναλύεται σε 8 δραστηριότητες με τις ανάλογες σχέσεις αλληλουχίας των δραστηριοτήτων και τις εκτιμήσεις διάρκειας σε χρονικές μονάδες.

Δραστηριότητα	Προηγούμενη Δραστηριότητα	Διάρκεια(d)
A	Έναρξη	6
B	Έναρξη	4
Γ	A,B	7
Δ	B	8
E	Γ,Δ	5
Z	Γ	5
H	E	7
Θ	H	8
Λήξη	Θ,Z	-

Πίνακας 1 Διάρκειες και Διαδοχές Δραστηριοτήτων του Έργου



Εικόνα 2. Κομβικό Δίκτυο

Στην Εικόνα 2 παρουσιάζεται η γραφική απεικόνιση του δικτυωτού γραφήματος με κόμβους (Κομβικό Δίκτυο)

Πριν προχωρήσουμε στον υπολογισμό όλων των χρονικών μεγεθών ένας γρήγορος τρόπος για την εύρεση της κρίσιμης διαδρομής εφόσον γνωρίζουμε όλες τις συσχετίσεις αλλά και τις διάρκειες των δραστηριοτήτων είναι να αθροίσουμε τις χρονικές διάρκειές των δραστηριοτήτων κάθε διαδρομής ξεχωριστά. Η διαδρομή με την μεγαλύτερη διάρκεια, θα είναι και η κρίσιμη διαδρομή του κομβικού δικτύου.

Διαδρομές

$$A-G-Z:6+7+5=18$$

$$B-D-E-H-\Theta:4+8+5+7+8=32$$

$$A-G-E-H-\Theta:6+7+5+7+8=33(\text{Κρίσιμη διαδρομή})$$

$$B-G-Z:4+7+5=16$$

$$B-G-E-H-\Theta:4+7+5+7+8=31$$

Η διαδρομή με την μεγαλύτερη διάρκεια είναι η **A-G-E-H-Θ**

Σε περίπτωση που θέλαμε να αναδείξουμε την κρίσιμη διαδρομή στο δικτυωτό γράφημα όπως το κομβικό δίκτυο που δημιουργήσαμε στην εικόνα 2.2 θα μπορούσαμε είτε να χρωματίσουμε με κόκκινο χρώμα την συγκεκριμένη διαδρομή, είτε να κάνουμε πιο έντονη την συγκεκριμένη διαδρομή.

Ο δεύτερος τρόπος υπολογισμού είναι ο αναλυτικός υπολογισμός όλων των χρονικών μεγεθών που προαναφέραμε. Ο συγκεκριμένος τρόπος υπολογίζει μαθηματικά όλα τα χρονικά μεγέθη: Υπολογίζουμε αρχικά τις ενωρίτερες ενάρξεις όλων των δραστηριοτήτων βάση και των σχέσεων αλληλουχίας

$$\text{Νωρίτερη Έναρξη}(A)=0$$

$$\text{Νωρίτερη Έναρξη}(B)=0$$

$$\text{Νωρίτερο Πέρασ}(A)=\text{Νωρίτερη Έναρξη}(A)+\text{Διάρκεια}(A)=0+6=6$$

$$\text{Νωρίτερο Πέρασ}(B)=\text{Νωρίτερη Έναρξη}(B)+\text{Διάρκεια}(B)=0+4=4$$

$$\text{Νωρίτερη Έναρξη}(\Gamma)=\max\{\text{Νωρίτερο Πέρασ}(A), \text{Νωρίτερο Πέρασ}(B)\}=6$$

$$\text{Νωρίτερο Πέρασ}(\Gamma)=\text{Νωρίτερη Έναρξη}(\Gamma)+\text{Διάρκεια}(\Gamma)=6+7=13$$

$$\text{Νωρίτερη Έναρξη (Z)} = \text{Νωρίτερο Πέρασ (Γ)} = 13$$

$$\text{Νωρίτερο Πέρασ (Z)} = \text{Νωρίτερη Έναρξη (Z)} + \text{Διάρκεια (Z)} = 13 + 5 = 18$$

$$\text{Νωρίτερη Έναρξη (Δ)} = \text{Νωρίτερο Πέρασ (B)} = 4$$

$$\text{Νωρίτερο Πέρασ (Δ)} = \text{Νωρίτερη Έναρξη (Δ)} + \text{Διάρκεια (Δ)} = 4 + 8 = 12$$

$$\text{Νωρίτερη Έναρξη (E)} = \max\{\text{Νωρίτερο Πέρασ (Δ)}, \text{Νωρίτερο Πέρασ (Γ)}\} = 13$$

$$\text{Νωρίτερο Π. (E)} = \text{Νωρίτερη Έν.(E)} + \text{Διάρκεια (E)} = 13 + 5 = 18$$

$$\text{Νωρίτερη Έν.(H)} = \text{Νωρίτερο Π. (E)} = 18$$

$$\text{Νωρίτερο Π. (H)} = \text{Νωρίτερη Έν. (H)} + \text{Διάρκεια (H)} = 18 + 7 = 25$$

$$\text{Νωρίτερη Έν (Θ)} = \text{Νωρίτερο Π (H)} = 25$$

$$\text{Νωρίτερο Π (Θ)} = \text{Νωρίτερη Έν (Θ)} + \text{Διάρκεια (Θ)} = 25 + 8 = 33$$

Η συνολική διάρκεια του έργου είναι **33 χρονικές μονάδες**

Το επόμενο βήμα μας είναι να βρούμε τους βραδύτερους χρόνους των δραστηριοτήτων

Υπολογίζουμε τους βραδύτερους χρόνους όλων των δραστηριοτήτων βάση και των σχέσεων αλληλουχίας

$$\text{Νωρίτερο Π (Θ)} = \text{Βραδύτερο Πέρασ(Θ)} = 33$$

$$\text{Βραδύτερη Έναρξη (Θ)} = \text{Βραδύτερο Πέρασ (Θ)} - \text{Διάρκεια (Θ)} = 33 - 8 = 25$$

$$\text{Βραδύτερο Πέρασ (H)} = \text{Βραδύτερη Έν.(Θ)} = 25$$

$$\text{Βραδύτερη Έν.(H)} = \text{Βραδύτερο Π.(H)} - \text{Διάρκεια (H)} = 25 - 7 = 18$$

$$\text{Βραδύτερο Π (E)} = \text{Βραδύτερη Έν (H)} = 18$$

$$\text{Βραδύτερη Έν (E)} = \text{Βραδύτερο Π (E)} - \text{Διάρκεια (E)} = 18 - 5 = 13$$

$$\text{Βραδύτερο Π (Δ)} = \text{Βραδύτερη Έν (E)} = 13$$

$$\text{Βραδύτερη Έν (Δ)} = \text{Βραδύτερο Π (Δ)} - \text{Διάρκεια (Δ)} = 13 - 8 = 5$$

$$\text{Βραδύτερο Π (Z)} = \text{Βραδύτερο Π (Θ)} = 33$$

$$\text{Βραδύτερη Έν (Z)} = \text{Βραδύτερο Π (Z)} - \text{Διάρκεια (z)} = 33 - 5 = 28$$

$$\text{Βραδύτερο } \Pi (\Gamma) = \min \{ \text{Βραδύτερη Έν } (Z), \text{Βραδύτερη Έν } (E) \} = \{ \min(20, 13) \} = 13$$

$$\text{Βραδύτερη Έν } (\Gamma) = 13 - 7 = 6$$

$$\text{Βραδύτερο } \Pi (B) = \min \{ \text{Βραδύτερη Έν } (\Gamma), \text{Βραδύτερη Έν } (\Delta) \} = \min(6, 5) = 5$$

$$\text{Βραδύτερη Έν } (B) = \text{Βραδύτερο } \Pi (B) - \text{Διάρκεια } (B) = 5 - 4 = 1$$

$$\text{Βραδύτερο } \Pi (A) = \text{Βραδύτερη Έν } (\Gamma) = 6$$

$$\text{Βραδύτερη Έν } (A) = \text{Βραδύτερο } \Pi (A) - \text{Διάρκεια } (A) = 6 - 6 = 0$$

Υπολογίσουμε τα ολικά περιθώρια των δραστηριοτήτων

$$TF(A) = LF(A) - EF(A) = 6 - 6 = 0$$

$$TF(B) = LF(B) - EF(B) = 5 - 4 = 1$$

$$TF(\Gamma) = LF(\Gamma) - EF(\Gamma) = 13 - 13 = 0$$

$$TF(\Delta) = LF(\Delta) - EF(\Delta) = 13 - 12 = 1$$

$$TF(E) = LF(E) - EF(E) = 18 - 18 = 0$$

$$TF(Z) = LF(Z) - EF(Z) = 25 - 18 = 7$$

$$TF(H) = LF(H) - EF(H) = 25 - 25 = 0$$

$$TF(\Theta) = LF(\Theta) - EF(\Theta) = 33 - 33 = 0$$

Υπολογίζουμε το ελεύθερο περιθώριο των δραστηριοτήτων

$$FF(A) = ES(\Gamma) - EF(A) = 6 - 6 = 0$$

$$FF(B) = \min \{ ES(\Delta) - EF(B), ES(\Gamma) - EF(B) \} = \{ \min(4 - 4, 6 - 4) \} = 0$$

$$FF(\Gamma) = ES(Z) - EF(\Gamma) = 13 - 13 = 0$$

$$FF(\Delta) = ES(E) - EF(\Delta) = 13 - 12 = 1$$

$$FF(E) = ES(H) - EF(E) = 18 - 18 = 0$$

$$FF(Z) \text{ είναι Τελική Δραστηριότητα οπότε } FF(Z) = TF(Z) = 15$$

$$FF(H) = ES(\Theta) - EF(H) = 25 - 25 = 0$$

$$\text{Η } FF(\Theta) \text{ είναι Τελική Δραστηριότητα οπότε } FF(\Theta) = TF(\Theta) = 0$$

Στον Πίνακα 2 βλέπουμε όλα τα μεγέθη του χρονικού προγραμματισμού.

Δραστηριότητα	Προηγούμενη Δραστηριότητα	Διάρκεια	Νωρίτεροι Χρόνοι		Βραδύτεροι Χρόνοι		TF	FF
			ES	EF	LS	LF		
A	Έναρξη	6	0	6	0	6	0(κδ)	0
B	Έναρξη	4	0	4	1	5	1	0
Γ	A,B	7	6	13	6	13	0(κδ)	0
Δ	B	8	4	12	5	13	1	1
E	Γ,Δ	5	13	18	13	18	0	0
Z	Γ	5	13	18	28	33	15	15
H	E	7	18	25	18	25	0(κδ)	0
Θ	H	8	25	33	25	33	0(κδ)	0

Πίνακας 2 Μεγέθη Χρονικού Προγραμματισμού Έργου

Σε μικρά δίκτυα, η κρίσιμη διαδρομή μπορεί να καθοριστεί εποπτικά, σε πολύπλοκα όμως δίκτυα είναι απαραίτητο να προηγηθούν ο ομόρροπος και ο αντίρροπος υπολογισμός και να καθοριστούν οι ενωρίτεροι και βραδύτεροι χρόνοι των γεγονότων. (Χασιακός κ.α, 2003)

2.3 Διάγραμμα GANTT

Το διάγραμμα Gantt είναι η πρώτη προσπάθεια προγραμματισμού και πήρε το όνομά του από τον εμπνευστή του. Βασίζεται στην απεικόνιση με ευθύγραμμα τμήματα που αντιστοιχούν στις δραστηριότητες κάθε έργου. Για τη σύνταξή του απαιτείται η ανάλυση όλου του έργου στις επιμέρους δραστηριότητές του, ο προσδιορισμός της χρονικής διάρκειας κάθε δραστηριότητας, του κόστους κάθε δραστηριότητας και του απαιτούμενου δυναμικού για την εκτέλεσή της. Το διάγραμμα Gantt επικεντρώνεται στη διαδοχή των εργασιών που είναι αναγκαίες για την ολοκλήρωση του έργου. Είναι ουσιαστικά ένα οριζόντιο ραβδόγραμμα που απεικονίζει τη σχέση των διαφορετικών εργασιών του έργου μέσα στον χρόνο. Στον οριζόντιο άξονα του διαγράμματος τοποθετείται ο χρόνος, ενώ στον κατακόρυφο οι τίτλοι εργασιών του έργου. Η τοποθέτηση των δραστηριοτήτων μπορεί να είναι τυχαία ή να ακολουθεί διάφορα κριτήρια. Οι δραστηριότητες περιγράφονται είτε με τους τίτλους

τους είτε με τη χρήση κωδικών αριθμών που παραπέμπουν σε συγκεκριμένες εργασίες. Στο κύριο τμήμα του διαγράμματος τοποθετούνται, για κάθε δραστηριότητα και σε οριζόντια διάταξη, οι ράβδοι αποτύπωσης του χρόνου, με μήκος ανάλογο με τη χρονική διάρκεια που απαιτείται για την ολοκλήρωση κάθε δραστηριότητας. Κάθε ράβδος αρχίζει από το σημείο που στον οριζόντιο άξονα αντιστοιχεί στο χρονικό σημείο έναρξης της συγκεκριμένης δραστηριότητας (Βαγιωνά, 2021).

Ένα απλό παράδειγμα είναι ο πίνακας 3 για την κατασκευή ενός ισογείου μιας οικοδομής.

Εβδομ. A/A Εργασίες		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Εγκατάσταση Εργοταξίου													
2	Χωματουργικές Εργασίες													
3	Σκυροδέματα													
4	Τοιχοποιίες													
5	Επιχρίσματα													
6	Κουφώματα													
7	Δάπεδα													
8	Η/Μ Εγκατ/σεις													
9	Υδραυλικά													
10	Αύλειος Χώρος													

Πίνακας 3 Διάγραμμα GANTT Ισόγειας Οικοδομής

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, οι Σκυροδετήσεις μπορούν να αρχίσουν μετά από 2.5 μήνες εφόσον έχουν ολοκληρωθεί οι εκσκαφές, ενώ πριν ολοκληρωθούν οι Σκυροδετήσεις μπορεί να αρχίσει η εργασία της τοιχοποιίας. Το παραπάνω διάγραμμα ήταν ένα απλοϊκό παράδειγμα του διαγράμματος Gantt. Πολλές φορές οι χρόνοι που υλοποιούνται σε ένα έργο δεν είναι αυτοί που αρχικά είχαν καθοριστεί. Συνηθώς εμφανίζουν καθυστερήσεις και αυτές οι καθυστερήσεις μπορούν επίσης να απεικονιστούν σε ένα διάγραμμα Gantt.. Σε ένα τεχνικό έργο θέλουμε να γνωρίζουμε και τις δαπάνες-κόστος της κάθε δραστηριότητας από υλικά, προσωπικό και μηχανολογικό εξοπλισμό όπως και το αθροιστικό κόστος της κάθε ημέρας αλλά και το συνολικό Κόστος ολόκληρου του έργου. Στον Πίνακα 4 σε ένα έργο “Διαμόρφωση πλατείας” δημιουργούμε καινούργιο διάγραμμα με τις επιπλέον πληροφορίες που μόλις αναφέραμε.

Εβδομ. Δραστηρ. (Εργασίες) (Κόστος)			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Εγκατάσταση Εργοταξίου	500	500										
2	Χωματοργικ ά	3500		3500									
3	Σκυροδετήσε ις	4000			4000	4000	4000	4000					
4	Ηλεκτρολογι κά	5000					5000	5000					
5	Υδραυλικά	5500				5500	5500						
6	Πλακ/ρώσεις	6000							6000	6000	6000		
7	Μάρμαρα	6500							6500	6500			
8	Τοποθέτηση οργάνων	1500									1500		
9	Φύτευση	2500									2500	2500	
Συνολικό Κόστος/εβδομάδα(€)			500	3500	4000	9500	10504	9000	12500	12500	10000	2500	
Αθροιστικό Κόστος			500	4000	8000	17500	28004	37004	49504	62004	72004	74504	

Πίνακας 4 Διάγραμμα Gantt Χρονικές Καθυστερήσεις- Δαπάνες Έργου

Στον Πίνακα 4 βλέπουμε τα κόστη της κάθε εργασίας ανά εβδομάδα εργασίας καθώς και το συνολικό κόστος του έργου όπως είχε σχεδιαστεί στον αρχικό προγραμματισμό πριν ξεκινήσει το έργο. Η μαύρη γραμμή δείχνει την χρονική καθυστέρηση των εργασιών κατά μια εβδομάδα, κατά συνέπεια το κόστος της κάθε εργασίας θα αυξηθεί κατά μια εβδομάδα. Τέλος, σε περίπτωση που θέλαμε να δείξουμε σε ένα Διάγραμμα Gantt τις κρίσιμες δραστηριότητες τις σχέσεις αλληλουχίας των εργασιών αλλά και τα ολικά περιθώρια (TF) που έχει η κάθε εργασία όπως βρήκαμε στην προηγούμενη υπό ενότητα, Μπορούμε να διαμορφώσουμε το διάγραμμα όπως στον πίνακα 5.

Εβδομ. Δραστηρ. (Εργασίες) (Κόστος)			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Εγκατάσταση Εργοταξίου	500	500										
2	Χωματουργικά	3500	FS	3500									
3	Σκυροδετήσεις	4000		FS	4000	4000	4000	4000					
4	Ηλεκτρολογικά	5000			SS+2		5000	5000					
5	Υδραυλικά	5500			SS+1	5500	5500						
6	Πλακ/ρώσεις	6000					FS		6000	6000	6000		
7	Μάρμαρα	6500								6500	6500		
8	Τοποθέτηση οργάνων	1500							FS		1500		
9	Φύτευση	2500									2500	2500	
Συνολικό Κόστος/εβδομάδα(€)			500	3500	4000	9500	10504	9000	6000	12500	16500	2500	
Αθροιστικό Κόστος			500	4000	8000	17500	28004	37004	43004	55504	72004	74504	

Πίνακας 5 Διάγραμμα Gantt Σχέσεις Αλληλουχίας & Κρίσιμη Διαδρομή

Όπως βλέπουμε σε περίπτωση που θέλουμε το έργο συνολικά να τελειώσει στις 10 εβδομάδες, η εγκατάσταση εργοταξίου είναι μια κρίσιμη δραστηριότητα καθώς είναι απαραίτητη για να ξεκινήσουν οι εργασίες κατασκευής. Οι χωματουργικές εργασίες μπορούν να ξεκινήσουν αμέσως μετά την εγκατάσταση εργοταξίου και είναι κρίσιμη εργασία για την προετοιμασία του εδάφους για την κατασκευή της πλατείας. Ακολουθούν οι σκυροδετήσεις της πλατείας καθώς είναι το βασικό στοιχείο του έργου για να προχωρήσουν και οι επόμενες εργασίες. Οι ηλεκτρολογικές και υδραυλικές εργασίες μπορούν να κατασκευαστούν παράλληλα εν μέρη με τις σκυροδετήσεις. Πιο συγκεκριμένα τα υδραυλικά μπορούν να αρχίσουν μια εβδομάδα αφότου έχουν αρχίσει οι σκυροδετήσεις ενώ οι Ηλεκτρολογικές εργασίες αφότου ολοκληρωθεί το 50% της σκυροδετησης. Η κρίσιμη διαδρομή όπως αναλύσαμε στην προηγούμενη ενότητα είναι χρωματισμένη με κόκκινο χρώμα και το περιθώριο της κάθε εργασίας είναι με πράσινο χρώμα.

Το διάγραμμα Gantt συνδυάζεται με τα δικτυωτά γραφήματα σε λογισμικά που χρησιμοποιούνται σαν εργαλεία σε κάθε κατασκευαστική εταιρεία όπως (MS PROJECT) και

με αυτόν τον τρόπο δίνουν τα μέγιστα αποτελέσματα στο χρονικό προγραμματισμό (Πολύζος, 2018).

2.4 Μέθοδος PERT(Program Evaluation and Review Technique)

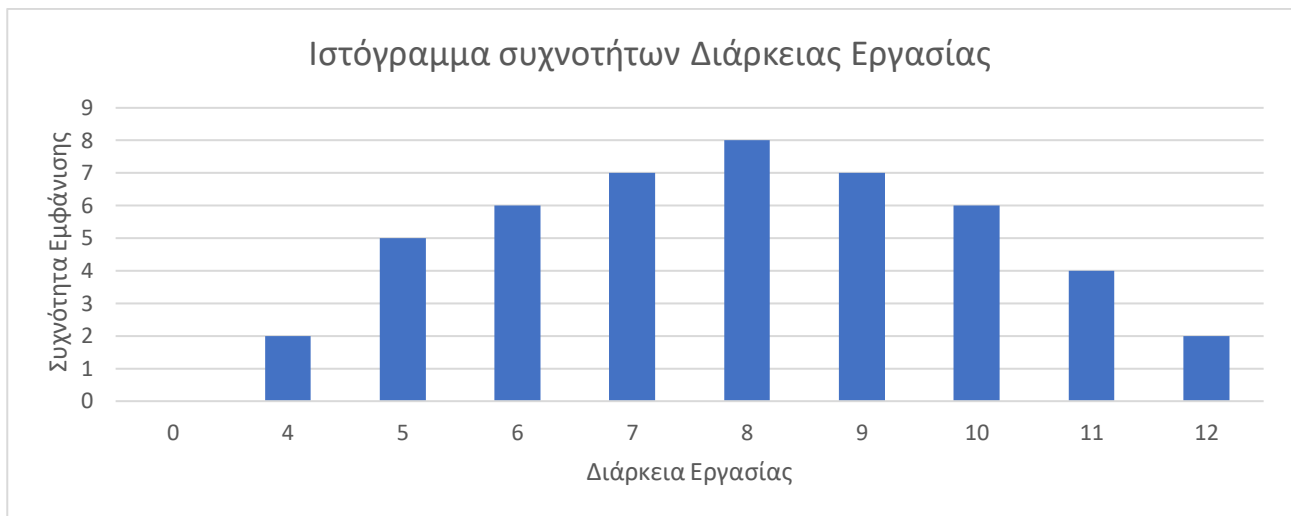
Η μέθοδος PERT είναι μια στατιστική προσέγγιση για την επίλυση προβλημάτων στον χρονικό προγραμματισμό έργων. Συχνά δεν μπορούμε να εκτιμήσουμε με ακρίβεια τη διάρκεια μιας εργασίας, κυρίως στην πράξη, λόγω έλλειψης εμπειρίας. Για παράδειγμα, ένας Project Manager σε μια εταιρεία μπορεί να κληθεί να διαχειριστεί πολλά έργα που διαφέρουν μεταξύ τους. Είναι πιθανό να μην έχει γνώση για όλες τις εργασίες και, ως εκ τούτου, να μην μπορεί να εκτιμήσει με ακρίβεια τη διάρκειά τους ή μπορεί μια εργασία να παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις καθώς δεν εκτελείται πάντα υπό τις ίδιες συνθήκες. Η ακριβής εκτίμηση μιας εργασίας απαιτεί εμπειρία σε αυτήν. Η μέθοδος PERT παρέχει έναν τρόπο να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, υπολογίζοντας:

- 1) Την πιθανότητα να ολοκληρωθεί ένα έργο σε δεδομένο χρόνο.
- 2) Την απαιτούμενη διάρκεια ώστε να ολοκληρωθεί ένα έργο.

Όπως αναφέραμε μια εργασία παρουσιάζει πολλές φορές σημαντικές διακυμάνσεις στην διάρκεια της, δηλαδή αν επαναληφθεί πολλές φορές δεν θα μας δώσει συγκεκριμένη τιμή για την διάρκειά της αλλά μια κατανομή διαρκείων. Μερικοί από τους λόγους αυτούς είναι :

- Το επίπεδο εξειδίκευσης του προσωπικού από την Διοίκηση έως το Εργατικό Προσωπικό
- Οι συνθήκες εκτέλεσης και ο χρόνος, π.χ. κακές καιρικές συνθήκες, αν μιλάμε για εξωτερικές εργασίες.
- Η κατάσταση του μηχανικού εξοπλισμού (Φθορές μηχανημάτων, κακή συντήρηση κ.λπ.)
- Απρόβλεπτες καταστάσεις (ατυχήματα, αργίες, Φυσικές καταστροφές κ.λπ.)

Στη συγκεκριμένη μέθοδο η εκτίμηση της διάρκειας μιας εργασίας βασίζεται σε παρατηρήσεις, μια εργασία που εκτελέστηκε πολλές φορές και καταγράψαμε τη διάρκεια της και βάση αυτών δημιουργείται ένα ιστόγραμμα συχνότητας (Χασιακός κ.α, 2003).



Εικόνα 3. Ιστόγραμμα Συχνοτήτων Διάρκειας Εργασίας

Στην πράξη σύμφωνα με την μέθοδο PERT η διάρκεια μιας εργασίας ακολουθεί κατανομή Βήτα μέσης τιμής μ και τυπικής απόκλισης σ . Για να προσδιοριστούν αυτές οι τιμές χρειάζεται να γνωρίζουμε τους παρακάτω χρόνους:

- Την αισιόδοξη διάρκεια a (Ελάχιστη διάρκεια που έχει παρατηρηθεί, 1 στις 100 παρατηρήσεις)
- Την απαισιόδοξη διάρκεια b (Μέγιστη διάρκεια που έχει παρατηρηθεί, 1 στις 100 παρατηρήσεις)
- Την πιθανότερη διάρκεια m , (Η διάρκεια που έχει παρατηρηθεί τις περισσότερες φορές και αντιστοιχεί σε κανονικές συνθήκες εκτέλεσης)

Εφόσον γνωρίζουμε τις τιμές αυτές η μέση τιμή μ δίνεται από την σχέση:

$$\mu = \frac{a + 4m + b}{6}$$

Και η τυπική απόκλιση σ δίνεται από την σχέση:

$$\sigma = \frac{b - a}{6}$$

Σε πολλές περιπτώσεις, υπάρχουν έργα με πολλές μεταβλητές (εργασίες) που δεν ακολουθούν κανονική κατανομή και μπορεί να είναι ασύμμετρες μεταξύ τους. Σύμφωνα με το κεντρικό οριακό θεώρημα, ακόμη και αν οι αρχικές μεταβλητές δεν ακολουθούν κανονική κατανομή, ο μέσος όρος τους θα ακολουθεί όταν ο αριθμός των παρατηρήσεων είναι μεγάλος. Συνεπώς, παρόλο που οι

διάρκειες ενός έργου ακολουθούν κατανομή Βήτα, συνολικά η διάρκεια του έργου θα ακολουθεί κανονική κατανομή. Το άθροισμα των μέσων τιμών ενός μεγάλου αριθμού ανεξάρτητων παρατηρήσεων ακολουθεί κατά προσέγγιση κανονική κατανομή, ανεξαρτήτως της κατανομής των αρχικών παρατηρήσεων. Η μέση τιμή μ καθώς και η τυπική απόκλιση σ δίνονται από τις σχέσεις:

$$\mu = \mu_1 + \mu_2 + \mu_3 \dots + \mu_N$$

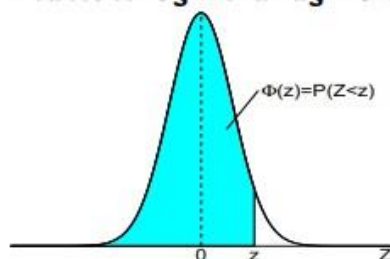
$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_N^2}$$

Όπως είπαμε στην αρχή της υποενότητας, στη μέθοδο αυτή, υπολογίζουμε την πιθανότητα ένα έργο να τελειώσει σε χρόνο μικρότερο ή ίσο μιας δεδομένης τιμής τ και προκύπτει από την σχέση :

$$P(d \leq t) = P\left(\frac{d - \mu}{\sigma} \leq \frac{\tau - \mu}{\sigma}\right) = P(z \leq \frac{\tau - \mu}{\sigma})$$

Όπου η τυχαία μεταβλητή z ακολουθεί την τυποποιημένη κανονική κατανομή. Το z είναι ένας αδιάστατος αριθμός που δείχνει την απόκλιση της εξεταζόμενης διάρκειας d από τη μέση τιμή μ σε μονάδες τυπικής απόκλισης σ . Η ζητούμενη πιθανότητα προκύπτει από τον πίνακα της κανονικής κατανομής όπως φαίνεται στην εικόνα.4 (Χασιακός κ.α, 2003).

Στατιστικός Πίνακας Τυπικής Κανονικής Κατανομής



Παράδειγμα:

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

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

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

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

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

Εικόνα 4. Στατιστικός Πίνακας Τυπικής Κανονικής Κατανομής

Πάμε όμως να δούμε ένα παράδειγμα της μεθόδου για καλύτερη κατανόηση της θεωρίας. Έστω ότι παίρνουμε το παράδειγμα στον πίνακα 1 και ότι θέλουμε να βρούμε την πιθανότητα το έργο να τελειώσει i) σε λιγότερο από 35 χρονικές μονάδες, ii) από 30 έως 36 χρονικές μονάδες και iii) σε λιγότερο από 31 χρονικές μονάδες, αυτή την φορά οι διάρκειες των δραστηριοτήτων θα έχουν

αισιόδοξη διάρκεια(a), Μέση διάρκεια(m) και απαισιόδοξη διάρκεια(b) και το πρώτο μας βήμα είναι να υπολογίσουμε την μέση τιμή αλλά και την τυπική απόκλιση της κάθε δραστηριότητας

Δραστηριότητα	Προηγούμενη Δραστηριότητα	Αισιόδοξη Διάρκεια(a)	Πιθανότερη διάρκεια(m)	Απαισιόδοξη Διάρκεια(b)	Μέση τιμή(μ)	Τυπική Αποκλιση (σ)
A	Έναρξη	5	6	10	7	0.83
B	Έναρξη	2	4	6	4	0.67
Γ	A,B	6	7	8	7	0.33
Δ	B	7	8	10	8	0.50
E	Γ,Δ	3	5	6	5	0.50
Z	Γ	2	5	7	5	0.83
H	E	4	7	10	7	1.00
Θ	H	6	8	10	8	0.67
Λήξη	Θ,Z		-			

Πίνακας 6 Υπολογισμός Διάρκειας PERT

Από τις συσχετίσεις μπορούμε να υπολογίσουμε και να βρούμε την κρίσιμη διαδρομή βάση των μέσων τιμών:

Διαδρομές

A-Γ-Z: $7+7+5=19$

B-Δ-E-H-Θ: $4+8+5+7+8=32$

A-Γ-E-H-Θ: $7+7+5+7+8=34$ (Κρίσιμη διαδρομή)

B-Γ-Z: $4+7+5=16$

B-Γ-E-H-Θ: $4+7+5+7+8=31$

Στην συνέχεια βρίσκουμε εκ νέου τα χρονικά μεγέθη βάση των μέσων τιμών των δραστηριοτήτων όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα

Δραστηριότητα	Προηγούμενη Δραστηριότητα	Διάρκεια	Νωρίτεροι Χρόνοι		Βραδύτεροι Χρόνοι		TF	FF
			ES	EF	LS	LF		
A	Έναρξη	7	0	7	0	7	0(κδ)	0
B	Έναρξη	4	0	4	2	6	2	0
Γ	A,B	7	7	14	7	14	0(κδ)	0
Δ	B	8	4	12	6	14	2	2
E	Γ,Δ	5	14	19	14	19	0(κδ)	0
Z	Γ	5	14	19	29	34	15	0
H	E	7	19	26	19	26	0(κδ)	0
Θ	H	8	26	34	26	34	0(κδ)	0

Πίνακας 7 Υπολογισμός Χρονικών Μεγεθών

Σε σχέση με την μέθοδο της κρίσιμης διαδρομής αλλά και την ανάλυση του κομβικού δικτύου στην υπό ενότητα 2.2 η κρίσιμη διαδρομή παραμένει η ίδια, με την συνολική διάρκεια του έργου να αυξάνεται κατά μια χρονική μονάδα(Ημέρα, Εβδομάδα, Μήνας).

Επομένως έχουμε Κρίσιμη διαδρομή μέσω των τιμών μΑ-μΓ-μΕ-μΗ-μΘ:**34(Χρονικές μονάδες)**

Με τυπική απόκλιση $\sigma = \sigma_A^2 + \sigma_\Gamma^2 + \sigma_E^2 + \sigma_H^2 + \sigma_\Theta^2 = 0.83^2 + 0.33^2 + 0.50^2 + 1^2 + 0.67^2 = \sqrt{2.50} = \mathbf{1.58(χρονικές μονάδες)}$

Για να βρούμε πόσες πιθανότητες το έργο έχει να τελειώσει σε λιγότερο από 35 χρονικές μονάδες ή λιγότερο

Παίρνουμε τη σχέση:

$$P(d \leq 35) = P\left(\frac{d - \mu}{\sigma} \leq \frac{\tau - \mu}{\sigma}\right) = P\left(z \leq \frac{\tau - \mu}{\sigma}\right) = P\left(z \leq \frac{35 - 34}{1.58}\right) = P(z \leq 0.63)$$

$$= 0.7357 \text{ ή } \mathbf{73.57\%}$$

Στη συνέχεια υπολογίζουμε την πιθανότητα το έργο να τελειώσει από 30 έως 36 χρονικές μονάδες

$$P(d \leq 30) = P\left(\frac{d - \mu}{\sigma} \leq \frac{\tau - \mu}{\sigma}\right) = P\left(z \leq \frac{30 - 34}{1.58}\right) = P\left(z \leq \frac{-4}{1.58}\right) = P(z \leq -2.53)$$

$$= 1 - \Phi(2.53) = 1 - 0.9943 = 0.0057$$

$$P(d \leq 36) = P\left(\frac{d - \mu}{\sigma} \leq \frac{\tau - \mu}{\sigma}\right) = P\left(z \leq \frac{36 - 34}{1.58}\right) = P\left(z \leq \frac{2}{1.58}\right) = P(z \leq 1.26) = 0.8962$$

$$P(30 \leq d \leq 36) = 0.8962 - 0.0057 = 0.8905 \text{ ή } \mathbf{89.05\%}$$

Ομοίως για να βρούμε την πιθανότητα να τελειώσει το έργο σε λιγότερο από 31 χρονικές μονάδες

$$\begin{aligned} P(d \leq 31) &= P\left(\frac{d - \mu}{\sigma} \leq \frac{\tau - \mu}{\sigma}\right) = P\left(z \leq \frac{31 - 34}{1.58}\right) = P\left(z \leq \frac{-3}{1.58}\right) = P(z \leq -1.89) \\ &= 1 - \Phi(1.89) = 1 - 0.9706 = 0.0294 \text{ ή } \mathbf{2.94\%} \end{aligned}$$

Σήμερα υπάρχουν εργαλεία και λογισμικά Project Management Που συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα και των δυο μεθόδων PERT/CPM. Η αβεβαιότητα για τις διάρκειες των εργασιών συναντάται κυρίως σε έργα καινοτόμα χωρίς καμία προηγούμενη εμπειρία. Η συγκεκριμένη μέθοδος (αισιόδοξη, απαισιόδοξη και πιθανότερη διάρκεια) είναι κατάλληλη για σενάρια αβεβαιότητας, ώστε να μην επηρεάσει την συνολική διάρκεια του έργου (Χασιακός κ.α, 2003).

2.5 Μέθοδος SIPOC (Lean six sigma)

Στη συγκεκριμένη ενότητα θα αναλύσουμε τι είναι το SIPOC (Suppliers-Inputs-Process-Outputs-Costumers)? Πριν αναλύσουμε τι είναι η συγκεκριμένη μέθοδος θα πρέπει να δούμε τι είναι η Lean six Sigma και ποιος ο λόγος ύπαρξης της. Η Lean Six Sigma είναι μια πρωτοποριακή μεθοδολογία με εργαλεία και τεχνικές που έχουν ως στόχο την βελτίωση της ποιότητας και της αποτελεσματικότητας μιας επιχείρησης. Στις μέρες μας κάθε επιχείρηση που θέλει να επιβιώσει στο ανταγωνιστικό κλίμα της αγοράς στοχεύει στην αποτελεσματικότητα, στις σχέσεις της με τους πελάτες και στην Διαχείριση αποδόσεων δηλαδή στην αποτελεσματική διαχείριση των πόρων της καθώς και στην βελτίωση όλων των διαδικασιών της. Η ονομασία της είναι αποτέλεσμα του Lean και του Six Sigma, το Lean επικεντρώνεται στην εξάλειψη των μη αξιοποιημένων και των αστοχιών στις διαδικασίες, με στόχο την αύξηση της αποτελεσματικότητας την μείωση του χρόνου και του κόστους ενώ η Six sigma στο να μειώσει αβεβαιότητες και μεταβλητότητες από διαδικασίες, ελαττώματα και να αυξήσει την ποιότητα.

Η Lean Six Sigma διαθέτει κάποιες τεχνικές και κάποια εργαλεία όπως:

- Value stream Mapping: Χρησιμοποιείται για την αναγνώριση των τμημάτων της διαδικασίας που προσθέτουν αξία και την εξάλειψη της σπατάλης
- Fishbone Diagram: Ένα οπτικό εργαλείο για την αναγνώριση των αιτιών ενός προβλήματος

- Kanban: Σύστημα διαχείρισης ροής εργασίας με χρήση οπτικών σημάτων, πολλές τεχνικές περιλαμβάνουν τη χρήση οπτικών στοιχείων για την παρακολούθηση της διαδικασίας και των στόχων(π.χ. πίνακες, γραφήματα).
- Pareto Analysis: Τεχνική για τον εντοπισμό των πιο σημαντικών αιτιών σε ένα σύνολο δεδομένων, συχνά οπτικοποιείται με το γράφημα Pareto.
- Projects Charters: Συνήθως χρησιμοποιείται στο πλαίσιο του Six Sigma για να καθορίσει το εύρος, τους στόχους και τα ορόσημα ενός έργου
- Rapid improvement workshops (RIW): Συνεδρίες γρήγορη βελτίωσης όπου ομάδες εργάζονται εντατικά για να βελτιώσουν συγκεκριμένες διαδικασίες σε σύντομο χρονικό διάστημα.
- DMAIC (Define Measure Analyze Improve Control):
- Define (βοηθάει στους βασικούς στόχους του έργου ,καθορίζει βασικά ορόσημα στο έργο)
- Measure (Συλλέγεις δεδομένα για το έργο και οι ομάδες μπορούν να προσδιορίσουν την χρονική διάρκεια των δραστηριοτήτων και βοηθάει στην Διαχείριση του χρόνου.
- Analyze (Οι ομάδες μπορούν να διαχειρίζονται τους πόρους και τον χρόνο σωστά, καθώς εντοπίζουν καθυστερήσεις και προβλήματα)
- Improve (Βελτιστοποίηση των διαδικασιών για την εξαλείφει των καθυστερήσεων βελτιώνοντας συνολικά τον χρονικό προγραμματισμό του έργου)
- Control (Είναι η φάση του ελέγχου του έργου, που διατηρεί την βελτιστοποίηση του Improve για να μην γυρίσει καμία δραστηριότητα σε αναποτελεσματικές πρακτικές που θα φέρουν καθυστερήσεις στο έργο ((ASQ), n.d.) , (goskills, n.d.).

Η Lean Six Sigma χρησιμοποιεί και συνδυαστικά εργαλεία. Ένα από αυτά είναι το SIPOC (Suppliers-Inputs-Process-Outputs-Customers), το οποίο θα μας απασχολήσει σε αυτήν την ΜΔΕ. Πιο συγκεκριμένα, θα εξετάσουμε πώς λειτουργεί και πόσο χρήσιμη είναι η μέθοδος στα τεχνικά έργα, και σε επόμενη ενότητα θα δούμε πώς εφαρμόζεται σε ένα έργο εκμετάλλευσης ενός γεωθερμικού πεδίου.

Το SIPOC, αν και αποτελεί συνδυαστικό εργαλείο, χρησιμοποιείται συνήθως ως προπαρασκευαστικό εργαλείο σε προγράμματα βελτίωσης και εφαρμόζεται συχνά στο πλαίσιο της μεθοδολογίας. Το συγκεκριμένο εργαλείο παρέχει μια δομή για την αναγνώριση των βασικών στοιχείων μιας διαδικασίας, καθιστώντας τα ορατά από τις εισροές του προμηθευτή έως τα προϊόντα ή τις υπηρεσίες που λαμβάνει ο πελάτης.

Τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από ένα διάγραμμα SIPOC είναι τα εξής:

Αντιλαμβάνεται και καταγράφει όλους τους σημαντικούς παράγοντες και τις απαιτήσεις για την ποιότητα, τις εισροές, τις διαδικασίες και τις εκροές.

1. Καταγράφει τους προμηθευτές που εμπλέκονται στις διαδικασίες.
2. Καταγράφει τα αποτελέσματα και τους αποδέκτες αυτών των αποτελεσμάτων.
3. Καταγράφει τις δυσκολίες μιας διαδικασίας και τους κρίσιμους παράγοντες.
4. Με αυτόν τον τρόπο, το SIPOC βοηθά στην καλύτερη κατανόηση και διαχείριση των διαδικασιών, βελτιώνοντας την ποιότητα και την αποδοτικότητα των έργων.

Ένα διάγραμμα SIPOC έχει τα εξής βασικά στάδια:

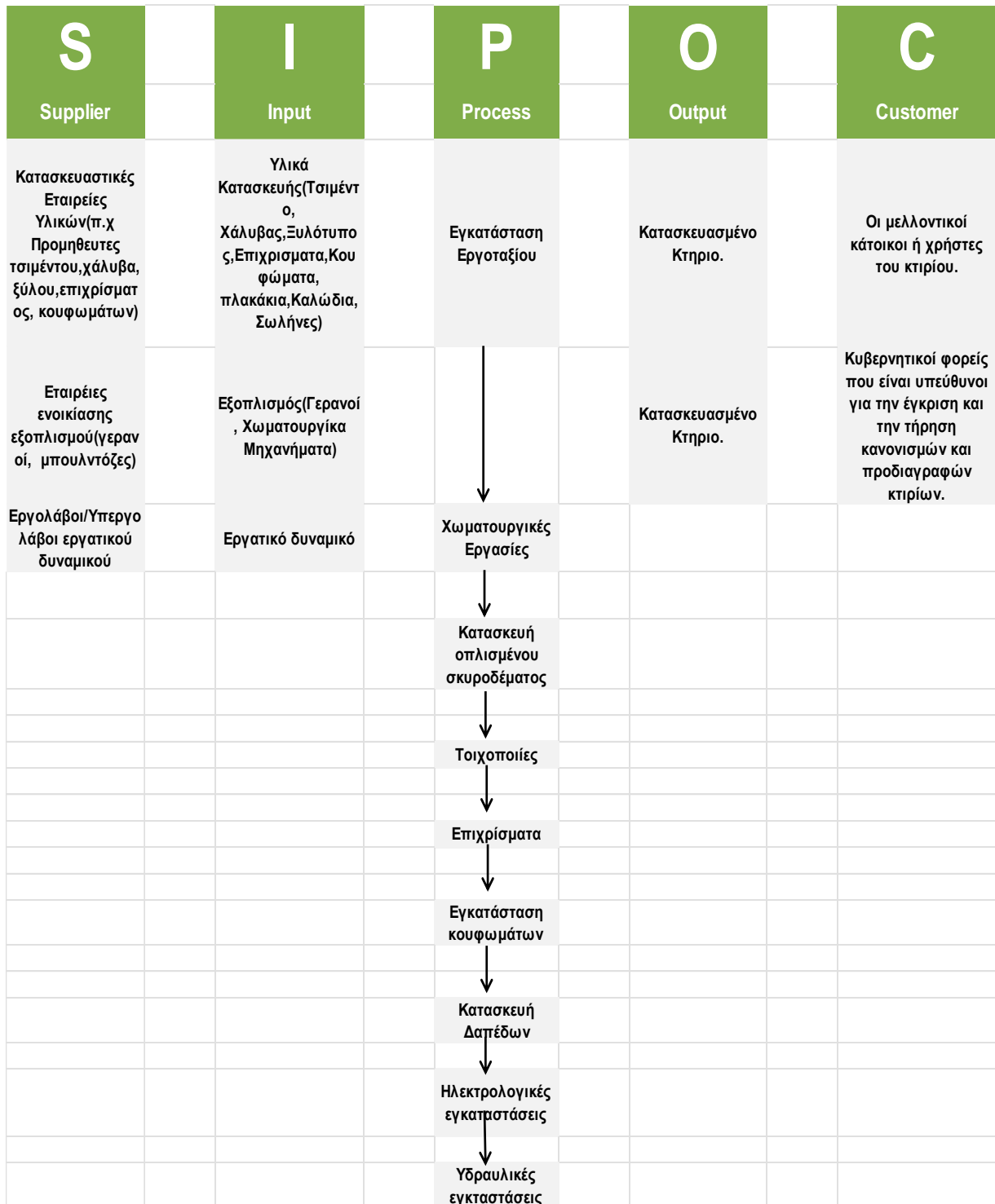
- **Ορισμός της διαδικασίας:** Δίνουμε έναν απλό και κατανοητό ορισμό για τη διαδικασία που εξετάζουμε.
- **Καθορισμός των σημαντικών βημάτων:** Προσδιορίζουμε τα κύρια στάδια της διαδικασίας.
- **Καταγραφή εισροών και εκροών:** Καταγράφουμε τις βασικές εισροές και εκροές που αφορούν τη διαδικασία.
- **Εντοπισμός Προμηθευτών και Πελατών:** Εντοπίζουμε ποιοι είναι οι προμηθευτές για τις εισροές και ποιοι οι πελάτες για κάθε εκροή.

Αφού έχουμε προσαρμόσει τη διαδικασία που θέλουμε να αναλύσουμε σε ένα διάγραμμα SIPOC, εντοπίζουμε τυχόν λάθη ή περιττά βήματα και εργαζόμαστε για την βελτίωσή τους. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής αυτής της μεθόδου παρουσιάζονται καλύτερα σε ένα διάγραμμα ροής (Χριστακόπουλος, 2016).

Ας εφαρμόσουμε τη μέθοδο σε ένα τεχνικό έργο, όπως η κατασκευή ενός κτιρίου με τις παρακάτω εργασίες (Εγκατάσταση Εργοταξίου, Χωματοουργικές εργασίες, Σκυροδετήσεις, Τοιχοποιίες, Επιχρίσματα, Κουφώματα, Δάπεδα, Ηλεκτρολογικά, Υδραυλικά). Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές ερωτήσεις που θα μας βοηθήσουν στη εφαρμογή του SIPOC (Ρουχωτάς, 2012):

1. Ποιος είναι ο σκοπός της διαδικασίας;
2. Ποια είναι η αρχή και το τέλος κάθε βήματος της διαδικασίας;
3. Με ποια σειρά εκτελούνται τα βήματα της διαδικασίας;
4. Ποια προϊόντα ή υπηρεσίες παράγει η συγκεκριμένη διαδικασία;
5. Ποιος είναι ο προμηθευτής;
6. Ποιος χρησιμοποιεί το τελικό προϊόν;
7. Ποια υλικά ή πληροφορίες είναι απαραίτητα για την παραγωγή των προϊόντων;

8. Από πού προέρχεται το εισερχόμενο υλικό ή η πληροφορία;



Εικόνα 5. Παράδειγμα Μεθόδου SIPOC

Η παραπάνω προσέγγιση επιτρέπει την ανάλυση και την αξιολόγηση των στοιχείων σε περίπτωση που χρειαστεί βελτίωση ή αλλαγή. Είναι ιδανική για την αξιολόγηση συγκεκριμένων λύσεων σε οργανωτικό επίπεδο, με στόχο την αύξηση της αποτελεσματικότητας των ρυθμιστικών διαδικασιών. Οι πληροφορίες που συλλέγονται για κάθε διαδικασία είναι πολύτιμες για τη διαχείριση των πόρων και την ανάπτυξη των διαδικασιών, ειδικά όταν τα επιθυμητά αποτελέσματα δεν έχουν επιτευχθεί επαρκώς. Αυτή η προσέγγιση βοηθά στην αναγνώριση και την επίλυση τυχόν προβλημάτων ή περιττών βημάτων στη διαδικασία κατασκευής ενός κτιριακού έργου, επιτρέποντας τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας για την καλύτερη ικανοποίηση των αναγκών των πελατών.

3. Μέθοδοι Χρονικού προγραμματισμού με εφαρμογή σε έργο Εκμετάλλευσης Γεωθερμίας

3.1 Σύντομη Τεχνική Περιγραφή του Έργου Εκμετάλλευσης Γεωθερμίας

Για το έργο στο οποίο θα εφαρμόσουμε μεθόδους για τη σωστή διαχείριση, τον έλεγχο και την έγκαιρη ολοκλήρωση, έχει ήδη γίνει η προσωρινή παραλαβή του και αφορά την εκμετάλλευση ενός γεωθερμικού πεδίου υψηλών θερμοκρασιών (90°C) σε ένα χωριό της Θράκης. Στα πλαίσια αυτής της εκμετάλλευσης, θα κατασκευαστεί ένα σύστημα τηλεθέρμανσης για τα δημοτικά κτίρια του χωριού καθώς και δύο θερμοκήπια, το οποίο θα αντλεί τη θερμική ενέργεια από το γεωθερμικό πεδίο με παθητικό τρόπο μέσω γεωθερμικών ρευστών. Η μέγιστη μεταφερόμενη θερμική ισχύς θα είναι περίπου 10 MW για την θέρμανση των δημοτικών κτηρίων. Όσον αφορά στο σχεδιασμό του συστήματος, το γεωθερμικό ρευστό θα μεταφέρεται με υπόγειο προμονωμένο σωλήνα PPR από τις παραγωγικές γεωτρήσεις σε έναν κεντρικό θερμικό σταθμό που θα κατασκευαστεί εντός του χωριού. Το γεωθερμικό ρευστό, αφού παραδώσει θερμότητα μέσω εναλλάκτη θερμότητας σε ένα δευτερεύον δίκτυο νερού, θα οδηγείται με υπόγεια όδευση προς δύο γεωτρήσεις επανέγχυσης, κλείνοντας το πρωτεύον δίκτυο με επιστροφή του ρευστού στον ταμιευτήρα.

Το δευτερεύον δίκτυο θα είναι κλειστό δίκτυο τηλεθέρμανσης και θα διανέμει τη θερμότητα στους καταναλωτές (Δημοτικά κτίρια και Θερμοκήπιο)

Τα κτήρια στα οποία θα γίνει η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας θα είναι τα παρακάτω:

A/A	ΚΤΙΡΙΟ	Επιφάνεια(τ.μ.)
1	Ιατρείο	300
2	Γυμνάσιο	1636
3	Δημοτικού Σχολείου	145
4	Ιερός Ναός	150
5	Θερμοκήπιο	1300
	ΣΥΝΟΛΟ	3531

Πίνακας 8 Κτήρια Καταναλωτών

Το έργο σε γενικές γραμμές αποτελείται από τρία διακριτά τμήματα:

A) Δίκτυα για την διακίνηση του γεωθερμικού ρευστού

Αποτελείται από το Πρωτεύων δίκτυο 2530m που το ένα τμήμα του δικτύου(1300m) είναι σε αγροτική οδοποιία και θα διακινεί το γεωθερμικό ρευστό από τις παραγωγικές γεωτρήσεις στον κατασκευασμένο Θερμικό Σταθμό και το δευτερεύων δίκτυο περιλαμβάνει το δίκτυο σωληνώσεων από τον κεντρικό θερμικό σταθμό και μέχρι το οικόπεδο του κάθε καταναλωτή και των 2 θερμοκηπίων(9280m),το οποίο θα είναι ένα κλειστό δισωλήνιο σύστημα ,δηλαδή με έναν σωλήνα προσαγωγής και έναν σωλήνα επιστροφής.

B) Κτίριο Θερμικού Σταθμού

Το κτήριο, που θα αποτελεί την καρδιά του συστήματος τηλεθέρμανσης, θα είναι μια ορθογώνια κατασκευή 220 m², με τον φέροντα οργανισμό του να είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα και τους τοίχους πλήρωσης από ορθομπλόκ 25 εκατοστών. Το κτήριο θα επενδυθεί με θερμοπρόσοψη 8 εκατοστών και για λόγους ηχομόνωσης θα σοβαντιστεί με έγχρωμο ανοιχτόχρωμο σοβά. Η στέγη θα είναι τετράριχτη, μεταλλική με επικάλυψη κόκκινων ρωμαϊκών κεραμιδιών. Τα κουφώματα του κτηρίου θα είναι αλουμινίου με διπλούς υαλοπίνακες. Το δάπεδο θα είναι βιομηχανικό, εκτός από τις τουαλέτες όπου θα καλυφθούν με κεραμικά πλακίδια. Το ταβάνι θα διαμορφωθεί με ανθυγρά και πυράντοχη γυψοσανίδα με θερμομόνωση πετροβάμβακα. Για τη βέλτιστη αξιοποίηση του γεωθερμικού ρευστού, θα χρησιμοποιηθούν εναλλάκτες θερμότητας τύπου πλακών, με μεταλλικές πλάκες που σχηματίζουν μικρά κανάλια για τη διέλευση των ρευστών. Επιπλέον, θα εγκατασταθούν όλα τα παρεμφερή υλικά για τη σωστή λειτουργία των εναλλακτών, όπως αντλίες θερμότητας, φίλτρα, μανόμετρα, διαχωριστές σωματιδίων, θερμομέτρα, διακοπτικό υλικό και συλλέκτες διανομής ζεστού νερού. Επιπλέον, θα πραγματοποιηθούν Η/Μ εργασίες για τη σωστή λειτουργία του θερμικού σταθμού. Δίπλα στον Θερμικό Σταθμό, θα κατασκευαστεί ανοιχτή δεξαμενή από οπλισμένο σκυρόδεμα, όπου το γεωθερμικό ρευστό θα επιστρέφει προτού καταλήξει στο δίκτυο επανεισαγωγής και στις γεωτρήσεις επανέγχυσης.

Γ) Γεωτρήσεις Επανέγχυσης

Αφορά την ανόρυξη δυο τηλεσκοπικών γεωθερμικών γεωτρήσεων επανεισαγωγής γεωθερμικών ρευστών σωληνωμένες έως τα 550 μέτρα βάθους καθώς και μετά την κατασκευή τους θα γίνουν όλες οι δοκιμές αντλήσεις που απαιτούνται για 5την σωστή λειτουργία των γεωτρήσεων. Οι γεωτρήσεις θα ανορυχθούν για να καλυφθούν οι ανάγκες επανεισαγωγής του γεωθερμικού ρευστού που θα αντλείται από τις παραγωγικές γεωτρήσεις.

3.2 Προβλήματα Διαχείρισης Χρόνου και Οικονομίας του έργου Εκμετάλλευσης Γεωθερμίας.

Παρόλο που ο ανάδοχος ολοκλήρωσε το έργο, υπήρξε τεράστια οικονομική ζημία στην επιχείρησή του, καθώς δεν έγινε σωστά ο χρονικός και οικονομικός προγραμματισμός του έργου. Πιο συγκεκριμένα, δεν εκτιμήθηκαν σωστά η διαδοχή και η διάρκεια των εργασιών, καθώς και τα κόστη αυτών. Το έργο είχε συνολική προθεσμία 10 μηνών, αλλά η προσωρινή παραλαβή του έργου έγινε στους 20 μήνες. Στον ανάδοχο χορηγήθηκε συνολικός χρόνος παράτασης 6 μηνών. Ωστόσο, η παράταση δεν ήταν αρκετή, καθώς η προσωρινή παραλαβή του έργου από την υπογραφή της σύμβασης έγινε στους 20 μήνες. Η υπηρεσία, με έγγραφη αιτιολογημένη επιστολή, ενημέρωσε τον ανάδοχο ότι θα υπάρξουν ποινικές ρήτρες για κάθε ημέρα καθυστέρησης στην ολοκλήρωση του έργου, οι οποίες θα κρατηθούν από τον τελευταίο λογαριασμό του αναδόχου. Ο Διευθύνων σύμβουλος της εργοληπτικής επιχείρησης πριν γίνει η προσωρινή παραλαβή υπολόγισε βάση του **Άρθρου τις 148 παρ.2 «Ποινικές ρήτρες για παραβίαση Προθεσμιών Έργου»** τις ποινικές ρήτρες όπως βλέπουμε παρακάτω:

Σύμφωνα με το προαναφερόμενο άρθρο, η ποινική ρήτρα για κάθε ημέρα υπέρβασης ορίζεται στο 15% της μέσης ημερήσιας αξίας του έργου και επιβάλλεται για αριθμό ημερών ίσο με το 20% της προβλεπόμενης από τη σύμβαση αρχικής συνολικής προθεσμίας. Για τις επόμενες ημέρες μέχρι το 15% της αρχικής συνολικής προθεσμίας, η ποινική ρήτρα ορίζεται για κάθε ημέρα ορίζεται σε 20% της μέσης ημερήσιας αξία του έργου. **Υπολογίζουμε την μέση ημερήσια αξία ως εξής:**

Ως μέση ημερήσια αξία ορίζουμε το πηλίκο της αξίας της σύμβασης, δηλαδή του συνολικού χρηματικού ποσού της σύμβασης, μαζί με το ποσό των συμπληρωματικών συμβάσεων και χωρίς τον φόρο προστιθέμενης αξίας προς την εγκεκριμένη προθεσμία του έργου δηλαδή τη συνολική προθεσμία και όλες τις παρατάσεις που έχουν εγκριθεί. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, η αξία της

σύμβασης χωρίς το ΦΠΑ είναι 6.200.000 € και η προθεσμία του έργου με τις παρατάσεις που πήρε η εργοληπτική επιχείρηση είναι 16 μήνες, άρα :

$$16 \text{ μήνες} * 30 \text{ ημέρες} = 480 \text{ ημέρες}$$

$$\text{Μέση ημερήσια αξία} = 6.200.000 \text{ €} / 480 \text{ ημέρες} = 12916.66 \text{ €/ημέρα}$$

Η ποινική ρήτρα που επιβάλλεται στον ανάδοχο για κάθε ημέρα υπέρβασης της εγκεκριμένης προθεσμίας ορίζεται σε 15% της μέσης ημερήσιας αξίας του έργου δηλαδή $12916.66 \text{ €} * 15\% = 1937.49 \text{ €/ημέρα}$ και θα επιβληθεί για το 20% της προβλεπόμενης από την σύμβαση αρχικής συνολικής προθεσμίας δηλαδή $300 * 20\%$ αρά για τις πρώτες **60 ημέρες** καθυστέρησης η ποινική ρήτρα θα είναι **1937.49 €/ημέρα** και για τις υπόλοιπες μέρες δηλαδή για το επόμενο 15% της αρχικής συνολικής προθεσμίας άρα $10 \text{ μήνες} * 30 = 300$, $300 * 15\% = 45$ όποτε για τις μέρες καθυστέρησης η ποινική ρήτρα για κάθε ημέρα θα ορίζεται σε $12916.66 \text{ €} * 20\% = 2583.3 \text{ €/ημέρα}$

Εφόσον η Αναθέτουσα Αρχή με την σύμφωνη γνωμοδότηση του Τεχνικού Συμβουλίου αλλά και του Υπουργείου Υποδομών και Μεταφορών επίσημά ενέκριναν παράταση 4 μηνών της σύμβασης τότε συνήθως η ποινή καθυστέρησης υπολογίζεται βάση του πραγματικού χρόνου υπέρβασης από την τελευταίας εγερθείσα προθεσμία άρα οι ποινικές ρήτρες θα επιμεριστούν στους 4 μήνες αυτούς άρα $4 \text{ μήνες} * 30 \text{ ημέρες} = 120 \text{ μέρες}$ βάση των υπολογισμών που κάναμε για τις πρώτες 60 ημέρες η ποινική ρήτρα θα είναι:

$$60 * 1937.49 = 116249.4 \text{ €}$$

Για τις επόμενες 60 μέρες

$$60 * 2583.3 = 154998 \text{ €}$$

ΣΥΝΟΛΟ

$$154998 \text{ €} + 116249.4 \text{ €} = 271247.4 \text{ €}$$

Οι ποινικές ρήτρες δεν θα πρέπει να ξεπερνούν το 6% της αξίας της σύμβασης χωρίς ΦΠΑ δηλαδή δεν πρέπει να ξεπερνούν $6.200.000 \text{ €} * 6\% = 372000 \text{ €}$

Όποτε βάση του παραπάνω υπολογισμού η εργοληπτική Επιχείρηση κλήθηκε να πληρώσει στην Αναθέτουσα Αρχή **271247.4€ μόνο από ποινικές ρήτρες.** (Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, 2016)

Ένα άλλο πρόβλημα που οδήγησε στην καθυστέρηση του έργου ήταν η λανθασμένη κατανομή και διαχείριση των πόρων του έργου, που θα διασφάλιζε ότι οι κατάλληλοι πόροι θα είναι διαθέσιμοι στον διαχειριστή και την ομάδα έργου τη σωστή χρονική στιγμή και στο σωστό μέρος. Ο λόγος ήταν ότι η εταιρεία χρησιμοποιούσε ίδιους πόρους και σε άλλο έργο, οπότε η διαχείριση των πόρων από τον Project Manager της εργοληπτικής επιχείρησης ήταν αναποτελεσματική. Αυτό, βέβαια,

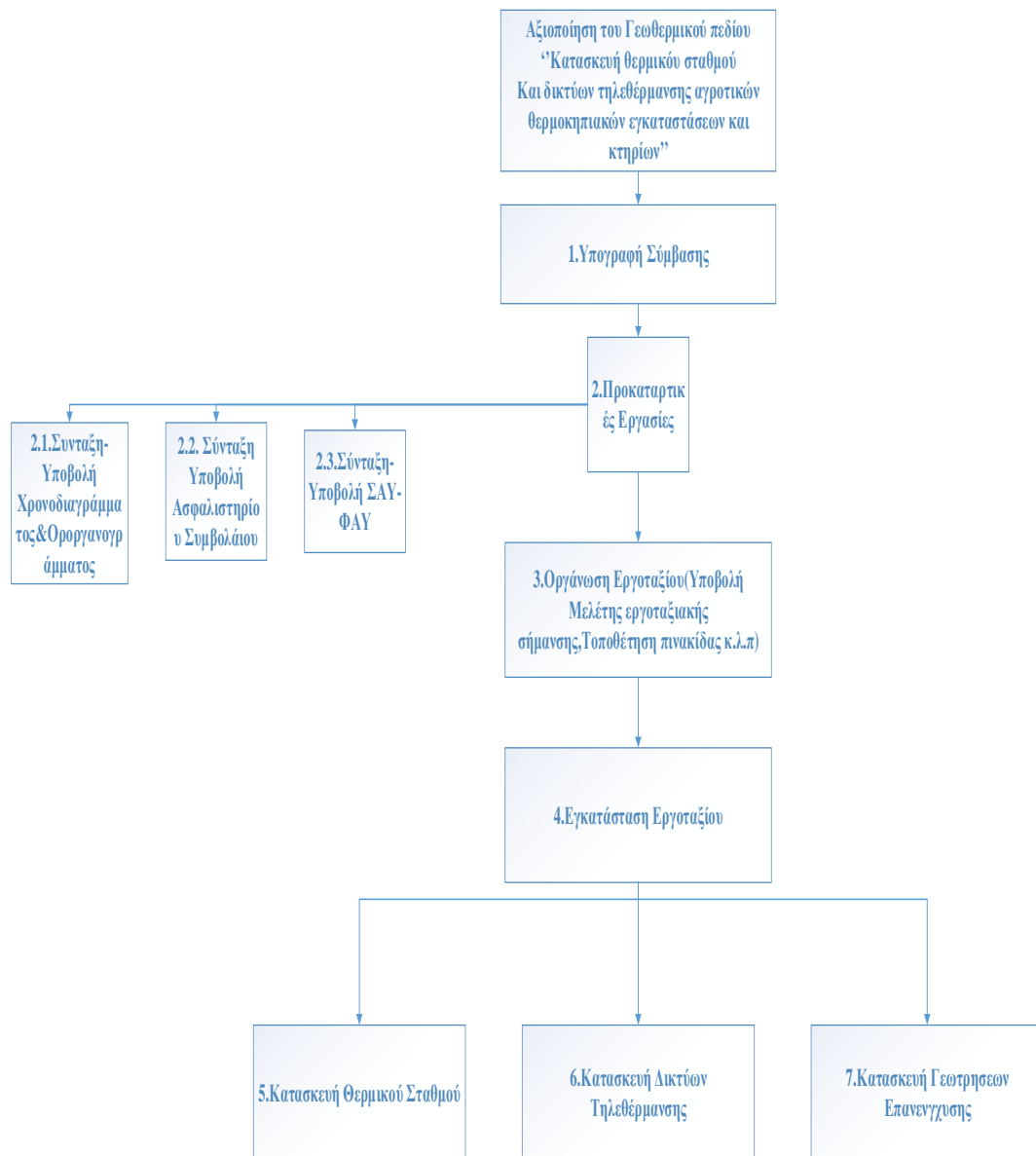
συνδέεται με τον κακό χρονικό προγραμματισμό των εργασιών των δύο έργων, που απορροφούσαν τους ίδιους πόρους. Η επιχείρηση διέθετε λογισμικά χρονικού και οικονομικού προγραμματισμού (MS Project), αλλά ήταν απαξιωμένα και δεν τα χρησιμοποιούσαν. Η διαδοχή των εργασιών, οι διάρκειες των εργασιών, καθώς και το κόστος των εργασιών δεν εκτιμήθηκαν σωστά από τον Project Manager της επιχείρησης, και γι' αυτό τον λόγο προέκυψε η μεγάλη καθυστέρηση στην εκτέλεση του έργου και, κατ' επέκταση, η μεγάλη οικονομική ζημία λόγω των ποινικών ρητρών.

3.3 Δομική Ανάλυση του Έργου-Κατάλογος Εργασιών στο έργο εκμετάλλευσης ενός Γεωθερμικού πεδίου

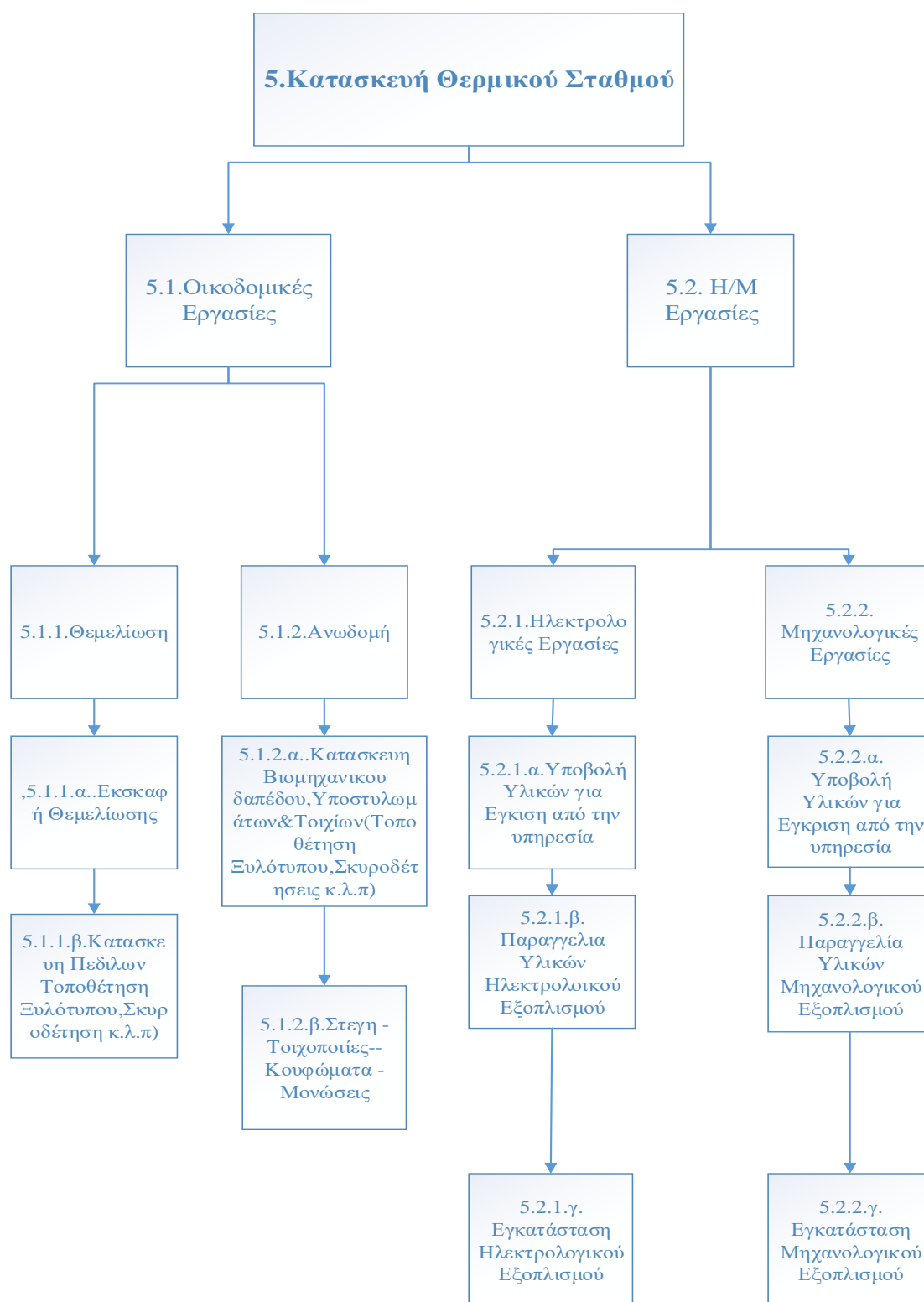
Η δομική ανάλυση του έργου (Work Breakdown Structure) αποτελεί θεμέλιο για τον χρονικό και οικονομικό προγραμματισμό, τον έλεγχο της προόδου του έργου και την ενημέρωση της διεύθυνσης του έργου. Ένα έργο προσανατολίζεται προς έναν τελικό στόχο και περιλαμβάνει ένα σύνολο ενδιάμεσο στόχων -βημάτων που υποστηρίζουν τον κύριο στόχο και οδηγούν σε αυτόν. Ο τελικός και οι ενδιάμεσοι στόχοι αποτελούν αναφορικά σημεία προς τα οποία πρέπει να συγκλίνουν οι εργασίες κάθε τμήματος ή του συνολικού έργου (Χασιακός κ.α, 2003).

Όπως βλέπουμε στην Εικόνα 6, ένα project αρχικά θα διασπαστεί σε κύρια τμήματα ή αλλιώς subprojects. Η δομική ανάλυση θα πρέπει να είναι απλή και κατανοητή χωρίς να προκαλεί σύγχυση, καθώς επίσης όλες οι εργασίες να είναι κωδικοποιημένες.

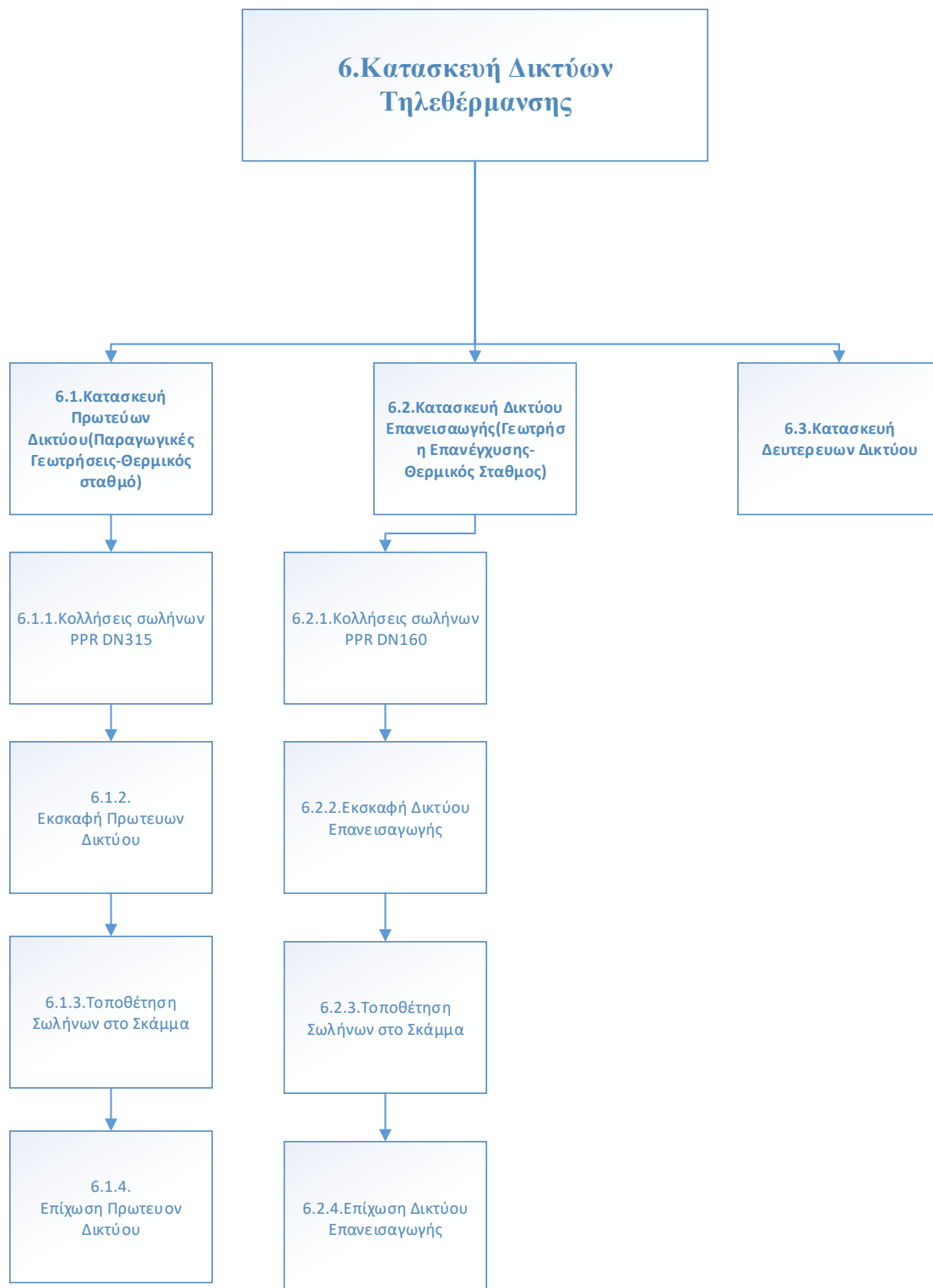
Στη συνέχεια καθένα από τα κύρια τμήματα θα διασπαστούν σε μικρότερα τμήματα (tasks) και σε ορισμένες περιπτώσεις όπως το συγκεκριμένο έργο λόγω της εξειδίκευσης του θα χρειαστεί να γίνει μια λεπτομερέστερη ανάλυση όπως θα δούμε στις εικόνες 7, 8, 9 και 10. Όσο πιο λεπτομερέστερα αναλύεται η εκτίμηση των εργασιών όσο αναφορά τον χρόνο και το κόστος, τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια επιτυγχάνεται.



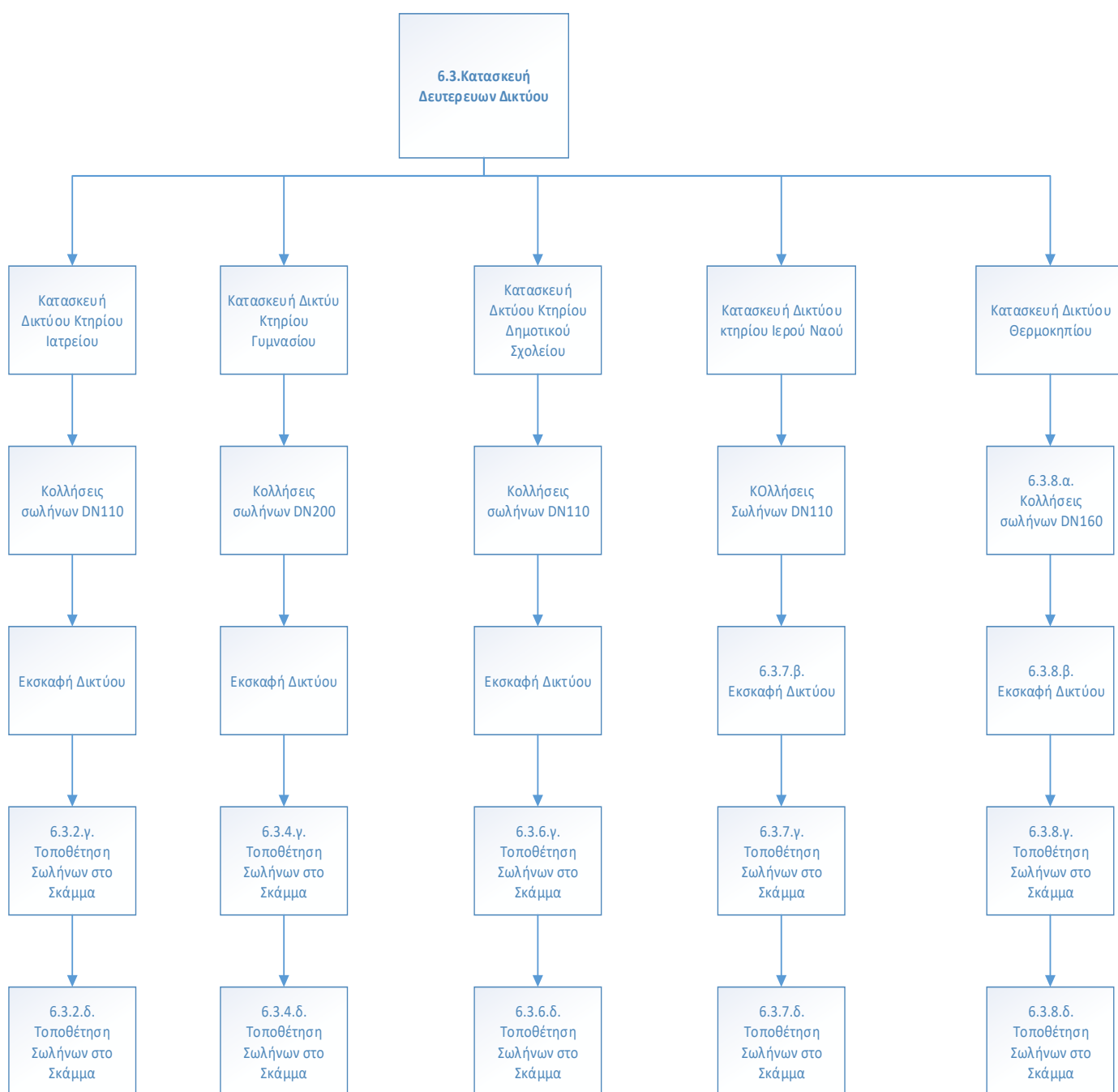
Εικόνα 6 Δομική ανάλυση του έργου σε κύρια τμήματα



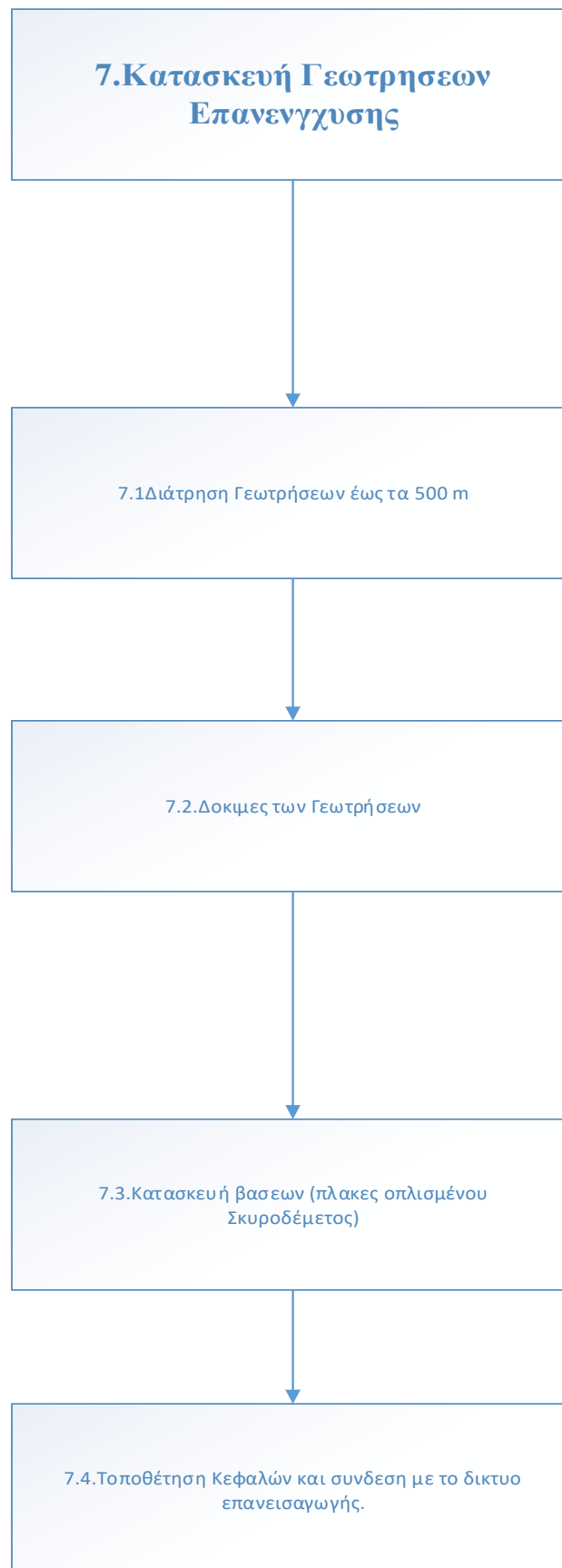
Εικόνα 7 Δομική ανάλυση του έργου σε υποεργασίες



Εικόνα 8 Δομική ανάλυση των κύριων εργασιών του έργου σε υποεργασίες



Εικόνα 9 Δομική ανάλυση των κύριων εργασιών του έργου σε υποεργασίες



Εικόνα 10 Δομική ανάλυση των κύριων εργασιών του έργου σε υποεργασίες

Η διαδικασία αυτή θα δώσει τις εξής δυνατότητες στο έργο:

1. Θα καθοριστούν πιο εύκολα οι υπεύθυνοι σε κάθε τμήμα ή εργασία που θα επικεντρώνονται στην περιοχή ευθύνης τους.
2. Η επιχείρηση θα μπορεί να εκτιμήσει το κόστος αλλά και την διάρκεια των εργασιών με μεγαλύτερη ακρίβεια.
3. Η δομική ανάλυση μπορεί σε έναν μικρό βαθμό να δείξει και τις σχέσεις αλληλουχίας μεταξύ των εργασιών. Ένας έμπειρος μηχανικός που θα σχεδιάσει σωστά την δομική ανάλυση και θα εκτιμήσει τις διάρκειες με ακρίβεια στο έργο θα μπορέσει να βοηθήσει και έναν άλλο μηχανικό στο έργο χωρίς να χρειάζεται να ξέρει λεπτομέρειες πάνω στο έργο θα μπορέσει να συμπληρώσει πληροφορίες για την πρόοδο των εργασιών ή για κάποιες εργασίες που έχουν ξεχαστεί.
4. Τέλος με την δομική ανάλυση του έργου φτιάχνουμε τον κατάλογο των εργασιών, που όπως είπαμε στην αρχή του κεφαλαίου θα αποτελεί τα θεμέλια του χρονικού και οικονομικού προγραμματισμού, όπως θα δούμε και τις επόμενες ενότητες της ΜΔΕ.

3.4. Εφαρμογή της Μεθόδου SIPOC (Lean six sigma) στο έργο Εκμετάλλευσης ενός Γεωθερμικού Πεδίου

Ύστερα από όσα είδαμε για τη μέθοδο SIPOC (Suppliers-Inputs-Process-Outputs-Costumers) στην ενότητα 2.5 και με το παράδειγμα της κατασκευής του κτιρίου, ας εφαρμόσουμε τη μέθοδο στο έργο που μας ενδιαφέρει στην παρούσα ΜΔΕ. Θέλουμε ουσιαστικά να διαπιστώσουμε αν αυτό το εργαλείο προγραμματισμού μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα σε μεγάλα και πολύπλοκα τεχνικά έργα, ώστε να παρέχει στην ομάδα μιας κατασκευαστικής εταιρείας όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για την εκτέλεση του έργου.

5.

S Supplier	I Input	P Process	O Output	C Customer
Ανάδοχος του Έργου Εκμετάλλευσης του Γεωθερμικού Πεδίου(Εργολάβος Διοικητικοί Υπάλληλοι,Μηχανικοί, Εργατικό Δυναμικό)	Πολιτικοί Μηχανικοί, Μηχανολόγοι Μηχανικοί, Τοπογράφοι, Εργοδηγός, Εργατοτεχνικό προσωπικό κ.λ.π	Προκαταρκτικές Εργασίες(Σύνταξη ΣΑΥ,ΦΑΥ&Υποβολή Χρονοδιαγράμματος)	Θερμικός Σταθμός	Τα Δημόσια Κτήρια του Χωριού
Κατασκευαστικές Εταιρείες Υλικών (Προμηθευτές)	Κατασκευαστικά Υλικά(Σωλήνες PPR,Άμμος,θραυστό υλικό Λατομείου, Ενναλακτες,Αντλίες θερμότητας, Καλώδια,Υδραυλικά Υλικά,Σκυρόδεμα, Οπλισμός,Επιχρίσματα,Κουφώματα	Οργάνωση Εργοταξίου(Σύνταξη και υποβολή εργοταξιακής σήμανσης, Υποβολή Υλικών Εργοταξίου προς Έγκριση)	Δίκτυα Σωληνώσεων PPR	Κάτοικοι του χωριού
Εταιρείες ενοικίασης εξοπλισμού(γερανοί, Μηχανήματα Έργου)	Γερανοί,Φορτωτές,JCB(Εκσκαφέας-Φορτωτής), Τροχοφόρος Εκσκαφέας,Φορητά με ανατροπή κ.λ.π	Εγκατάσταση Εργοταξίου,(Διάνοιξη δρόμου, Διαμόρφωση Εργοταξίου Γεωτρήσεων, Διαμόρφωση Εργοταξίου Θερμικού Σταθμού, Αποθηκευτικοί Χώροι Υλικών, Εγκατάσταση εργοταξιακού γραφείου)	Γεωτρήσεις Επανεισαγωγής	
		Θεμελίωση Θερμικού Σταθμού (Παραλαβή Υλικών στο εργοτάξιο, Εκσκαφή Θεμελίων Θερμικού Σταθμού, Κατασκευή Πεδύλων&Πεδιλοδοκών, Εφαρμογή Ξυλότυπου, Σκυροδέτηση)		
		Εξόρυξη 1ης Γεώτρησης Επανεγγυσης(Παραλαβή Υλικών στο εργοτάξιο, Διάτρηση στα 500 m.Δοκιμή Γεώτρησης, Κατασκευή βάσης από σκυρόδεμα & Τοποθέτηση Κεφαλής		
		Κατασκευή Δικτύου Επανεισαγωγής PPR (Παραλαβή Υλικών στο εργοτάξιο, Μετωπικές Κολλήσεις PPR Δικτύου, Εκσκαφή Δικτύου Επανεισαγωγής, Τοποθέτηση Σωλήνων,Επίχωση Δικτύου)		
		Εξόρυξη 2ης Γεώτρησης Επανεγγυσης(Παραλαβή Υλικών στο εργοτάξιο, Διάτρηση στα 500 m Κατασκευή βάσης από σκυρόδεμα & Τοποθέτηση Κεφαλής)		

Κατασκευή Δευτερέων Δικτύου PPR Γυμνασίου (Παραλαβή Υλικών στο εργοτάξιο, Μετωπικές Κολλήσεις PPR Δικτύου, Εκσκαφή Δικτύου Επανεισαγωγής, Τοποθέτηση Σωλήνων,Επιχωση Δικτύου)
Ανωδομή Θερμικού Σταθμού (Παραλαβή Υλικών στο εργοτάξιο, Κατασκευή Βιομηχανικού δαπέδου, Υποστυλωμάτων &Τοιχίων, Στέγη -Τοιχοποιίες--Κουφώματα -Μονώσεις, Διαμόρφωσή του Άυλειου χώρου)
Ηλεκτρομηχανολογικές(Η/Μ)Εργασίες Θερμικού Σταθμού(Παραλαβή Υλικών στο Εργοτάξιο, Εγκατάσταση εναλλακτών, αντλίες θερμότητας, φίλτρα, μανόμετρα, διαχωριστές σωματιδίων, θερμόμετρα, διακοπτικό υλικό και συλλέκτες διανομής ζεστού νερού, Καλώδια, φωτισμός κ.λ.π)
Κατασκευή Δευτερέων Δικτύου PPR Ιατρείου (Παραλαβή Υλικών στο Εργοτάξιο, Μετωπικές Κολλήσεις PPR Δικτύου, Εκσκαφή Δικτύου, Τοποθέτηση Σωλήνων,Επιχωση Δικτύου)
Κατασκευή Δευτερέων Δικτύου PPR Ιερού Ναού (Παραλαβή Υλικών στο Εργοτάξιο,Μετωπικές Κολλήσεις PPR Δικτύου, Εκσκαφή Δικτύου, Τοποθέτηση Σωλήνων,Επιχωση Δικτύου)

Κατασκευή Δευτερέων Δικτύου PPR
Θερμοκηπίου(Παραλαβή Υλικών στο
εργοτάξιο, Μετωπικές Κολλήσεις PPR
Δικτύου, Εκσκαφή Δικτύου ,
Τοποθέτηση Σωλήνων,Επιχωση
Δικτύου)

Κατασκευή Πρωτεύων Δικτύου PPR
Θερμοκηπίου(Παραλαβή Υλικών στο
εργοτάξιο, Μετωπικές Κολλήσεις PPR
Δικτύου, Εκσκαφή Δικτύου ,
Τοποθέτηση Σωλήνων,Επιχωση
Δικτύου)

Παρατηρούμε ότι η εφαρμογή της SIPOC λειτουργεί ως ένα διάγραμμα ροής, το οποίο μοιάζει πολύ με τη δομική ανάλυση του έργου που παρουσιάζεται στην υποενότητα 3.3. Και η SIPOC και η Δομική ανάλυση προσφέρουν μια σαφή, συνολική εικόνα των κύριων στοιχείων που καθορίζουν την επιτυχία ενός έργου. Στη δομική ανάλυση των τεχνικών έργων, εξετάζονται οι βασικοί παράγοντες, όπως οι πόροι, τα δεδομένα εισόδου, οι διαδικασίες, τα αποτελέσματα και οι ενδιαφερόμενοι φορείς, με στόχο τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού και της εκτέλεσης του έργου. Παρομοίως, το SIPOC αναλύει τους κρίσιμους παράγοντες κάθε διαδικασίας, προσδιορίζοντας τις σχέσεις μεταξύ προμηθευτών, εισροών, διαδικασιών, εκροών και πελατών, ώστε να διασφαλιστεί η αποδοτική λειτουργία και ο έλεγχος της διαδικασίας. Και στις δύο περιπτώσεις, η προσέγγιση είναι συστημική, οργανωμένη και επικεντρώνεται στη μεγιστοποίηση της απόδοσης μέσω σαφούς κατανόησης των εμπλεκόμενων στοιχείων. Αυτή η ανάλυση προσφέρει μια σαφή εικόνα του έργου, διευκολύνοντας την κατανόησή του ακόμη και από άτομα που δεν διαθέτουν εξειδικευμένες γνώσεις. Όπως βλέπουμε η μέθοδος SIPOC είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται για την χαρτογράφηση των διαδικασιών και τη βελτίωση της ποιότητας. Σε συνδυασμό με την μέθοδο CPM είτε με άλλα εργαλεία της Lean Six Sigma όπως το DMAIC (Define Measure Analyze Improve Control) μπορεί να Βοηθήσει στον Χρονικό Προγραμματισμό. Όταν συνδυάζεται η μέθοδος SIPOC με το DMAIC, μπορεί να συμβάλει στο χρονικό προγραμματισμό λόγω της δομημένης προσέγγισης τους στην ανάλυση και βελτίωση των διαδικασιών

3.5 Εκτίμηση Διάρκειας Δραστηριοτήτων.

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, ένα από τα βασικά προβλήματα που συναντήσαμε και οδήγησε στην καθυστέρηση του έργου, ήταν η κακή εκτίμηση της διάρκειας κάποιων εργασιών από τον Project Manager της εταιρείας. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι αυτό της κατασκευής των δικτύων, όπως το πρωτεύον δίκτυο που ξεκινά από τις παραγωγικές γεωτρήσεις και καταλήγει στον θερμικό σταθμό, το οποίο είχε μήκος 2.530 μέτρα και κατασκευάστηκε με σωλήνα πολυπροπυλενίου διαμέτρου DN315, προμονωμένο με μόνωση πολουρεθάνης. Ο Project Manager υπολόγισε ότι η μετωπική κόλληση των σωλήνων πολυπροπυλενίου έχει μέση διάρκεια 40 λεπτά, λόγω της εμπειρίας του σε παρόμοια έργα. Ωστόσο, δεν έλαβε υπόψη του τις διαφορές στον χρόνο κόλλησης μεταξύ των διαφορετικών τύπων σωλήνων, καθώς και τη δυσκολία της τοποθέτησης αυτών των σωλήνων στη μηχανή και τη διαχείριση της προετοιμασίας τους. Έτσι, αυτές οι δύο παράμετροι μπορεί να αυξήσουν την εκτιμώμενη διάρκεια έως και 50 λεπτά, ανάλογα με τις συνθήκες εργασίας. Το

παράδειγμα που εξηγήσαμε αναδεικνύει ένα από τα προβλήματα στην εκτίμηση, το οποίο αναφέρουμε κυρίως για να κατανοήσουμε ότι η σωστή εκτίμηση της διάρκειας μιας εργασίας προκύπτει συχνά από την εμπειρία σε παρόμοιες εργασίες. Η εμπειρία συμβάλλει στην αξιολόγηση της πολυπλοκότητας του έργου και στη δυνατότητα πρόβλεψης πιθανών προκλήσεων, καθιστώντας την έμπειρη εκτίμηση πιο αξιόπιστη. Έτσι, ο Project Manager θα πρέπει, για εργασίες που δεν έχει εμπειρία, να συμβουλευέται μηχανικούς εργοταξίου ή αντίστοιχους τεχνίτες με εμπειρία σε παρόμοιες εργασίες, ώστε να εκτιμήσει πιο σωστά ένα τμήμα που δεν γνωρίζει καλά. Πολλές φορές, όμως, είναι δύσκολο να εκτιμήσει κανείς με ακρίβεια τη διάρκεια μιας εργασίας, καθώς εξαρτάται από πολλούς παράγοντες: επίπεδο εξειδίκευσης προσωπικού, σύνθεση της ομάδας εργασίας, αποτελεσματικότητα της διεύθυνσης, κατάσταση μηχανημάτων και εξοπλισμού, περιβάλλον εργασίας, καιρικές συνθήκες, πόσο εύκολα υλοποιείται ο στόχος που έχουμε θέσει, και απρόβλεπτα γεγονότα. Συνήθως, η πρόβλεψη αυτών των παραγόντων είναι δύσκολη και υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις στη διάρκεια της ίδιας εργασίας. Γι' αυτό καταγράφεται μια μέση διάρκεια που χρησιμοποιείται για τον χρονικό προγραμματισμό του έργου, ενώ άλλες φορές η διάρκεια παρουσιάζεται ελαφρώς φουσκωμένη για να συμπεριλάβει και τα απρόβλεπτα. Σε τέτοιες περιπτώσεις, αντιμετωπίζουμε το πρόβλημα στατιστικά, όπως θα δούμε σε επόμενη παράγραφο (Μέθοδος PERT). Στην ανάλυση των τεχνικών έργων, ο προγραμματισμός βασίζεται στη χρήση συγκεκριμένης διάρκειας για κάθε εργασία, η οποία προκύπτει από αναλυτικούς υπολογισμούς. Τα στοιχεία που απαιτούνται είναι η ποσότητα της εργασίας, η μέση ωριαία απόδοση και ο αριθμός των συνεργείων, και η διάρκεια προκύπτει από τον τύπο:

$$\text{Διάρκεια} = (\text{Ποσότητα Εργασίας}) / ((\text{Μέση Απόδοση Συνεργείου}) * (\text{Αριθμός ατόμων συνεργείου}))$$

Παράδειγμα:

Θέλουμε να κολλήσουμε με μηχανή μετωπικών κολλήσεων Δίκτυο σωληνώσεων PPR Φ315 του πρωτεύοντος Δικτύου 500m έχουμε 3 άτομα συνεργείο(1 Τεχνίτης και 2 εργάτες) η μέση απόδοση τους στο 8ωρο 7 κολλήσεις ή 8 σωλήνες (48m)

$$48/8=6\text{m/hr}$$

$$\text{Διάρκεια} = (500) / (6\text{m/hr}) * 3 = 27.77\text{hrs}/8 = 3.4 \text{ εργάσιμες μέρες}$$

Με την ίδια λογική υπολογίζεις τις διάρκειες των άλλων εργασιών.

Ομοίως, με τον ίδιο τρόπο μπορούμε να εκτιμήσουμε και τις υπόλοιπες εργασίες του συγκεκριμένου έργου. Αυτή η μέθοδος εκτίμησης δεν λαμβάνει υπόψη πιθανές απρόβλεπτες καθυστερήσεις, τεχνικά

προβλήματα ή αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μελών του συνεργείου. Επίσης, η μέση απόδοση του συνεργείου μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τις συνθήκες της εργασίας και την εμπειρία των μελών του. Για πιο ακριβείς εκτιμήσεις, συνήθως χρησιμοποιούνται πιο περίπλοκες μέθοδοι, όπως οι μέθοδοι PERT ή η μέθοδος Critical Path Method (CPM) που αναφέραμε στις προηγούμενες ενότητες, οι οποίες λαμβάνουν υπόψη περισσότερους παράγοντες και πιο λεπτομερείς προβλέψεις. Η αξιοπιστία αυτού του τύπου εξαρτάται από την ποιότητα της εκτίμησης της απόδοσης του συνεργείου, η οποία, όμως, επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως αναφέραμε σε προηγούμενη παράγραφο. Ο στόχος είναι να συλλεχθούν όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τις διάρκειες, με οδηγό την εμπειρία αλλά και τη σωστή κρίση του υπεύθυνου της συγκεκριμένης αρμοδιότητας (Χασιακός κ.ά., 2003).

3.6 Σχέσεις Αλληλουχίας -Κατάλογος εργασιών του Έργου

Το πρώτο στάδιο στη δημιουργία του χρονοδιαγράμματος αρχίζει με τη σύνταξη ενός καταλόγου δραστηριοτήτων, όπου καθορίζονται όλες οι δραστηριότητες που απαιτούνται για την επίτευξη των προϊόντων ή την υλοποίηση των παραδοτέων. Στη συνέχεια, αυτές οι δραστηριότητες οργανώνονται σε έναν κατάλογο. Έχει ιδιαίτερη σημασία η ακριβής καταμέτρηση των δραστηριοτήτων και η διακοπή της κατάτμησης όταν έχει επιτευχθεί επαρκές επίπεδο ανάλυσης που επιτρέπει την εκτίμηση του χρόνου και των πόρων που απαιτούνται για την εκτέλεση της εργασίας. Οι τεχνικές και τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται σε αυτήν τη διαδικασία περιλαμβάνουν την κρίση εξειδικευμένων, την αποδόμηση της εργασίας και τον σχεδιασμό συναντήσεων. Η κρίση των εξειδικευμένων βασίζεται σε εξειδικευμένες γνώσεις από παρόμοια προηγούμενα έργα και την εκτέλεση της εργασίας. Η κατάτμηση των εργασιών, όπως έχει προαναφερθεί, περιλαμβάνει την διαίρεση και υποδιαίρεση του φυσικού αντικείμενου του έργου σε μικρότερα διαχειρίσιμα μέρη. Η εμπλοκή των μελών της ομάδας των μηχανικών στην αποδόμηση της εργασίας μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερα και πιο ακριβή αποτελέσματα. Εργασίες που πρόκειται να εκτελεστούν άμεσα σχεδιάζονται με λεπτομέρεια ενώ η μελλοντική εργασία σχεδιάζεται με χαμηλότερο επίπεδο λεπτομέρειας.

Οι συναντήσεις πραγματοποιούνται μεταξύ των μελών της ομάδας ή μπορεί να συμμετέχουν και ειδικοί πάνω σε ζητήματα προσδιορισμού των κατάλληλων δραστηριοτήτων για την ολοκλήρωση της εργασίας. Τέτοιες συναντήσεις μπορεί να είναι δια ζώσης, εικονικές ανεπίσημες.

Βασικά αποτελέσματα διεργασίας του προσδιορισμού των δραστηριοτήτων είναι μεταξύ άλλων η λίστα δραστηριοτήτων, τα χαρακτηριστικά των δραστηριοτήτων και οι λίστα των ορόσημων του έργου που είναι στην ουσία τα σημαντικά γεγονότα και μπορεί να υποδηλώνουν και σημαντικές

ημερομηνίες παράδοσης. Όπως αναφέραμε και στην υποενότητα 3.3 όταν κάναμε την δομική ανάλυση του έργου εκμετάλλευσης της Γεωθερμίας, οι δραστηριότητες έχουν συγκεκριμένο όνομα και περιγραφή, συγκεκριμένο κωδικό αναγνώρισης που τις συνδέει. Επιπρόσθετα, χαρακτηριστικά των δραστηριοτήτων είναι οι διάφορες αλληλεξαρτήσεις των δραστηριοτήτων που θα μας απασχολήσουν και θα τις δούμε πιο συγκεκριμένα στο έργο που μας ενδιαφέρει. Κάθε δραστηριότητα εκτός από την πρώτη και την τελευταία, μπορεί να συνδεθεί με τουλάχιστον μια προκάτοχο και με μια διάδοχο δραστηριότητα με κατάλληλη λογική σχέση και μπορεί να εισαχθούν σε στις σχέσεις αυτές χρόνοι υστέρησης και προπόρευσης. Η αλληλεξάρτηση των δραστηριοτήτων μπορεί είτε να επιτευχθεί με κάποιο λογισμικό όπως θα δούμε παρακάτω, που είναι και το πιο σύνηθες για μεγάλα έργα π.χ. (Ms Project), είτε με κάποια άλλη μορφή αν μιλάμε για πιο μικρό έργο πχ(excel).Βασικές εισερχόμενες πληροφορίες στις αλληλεξαρτήσεις των δραστηριοτήτων είναι η λίστα δραστηριοτήτων, η λίστα ορόσημων, το σχέδιο διαχείρισης χρονοπρογραμματισμού, και η γραμμή βάσης του φυσικού αντικείμενου.

Υπάρχουν τέσσερα είδη αλληλεξαρτήσεων και περιλαμβάνουν:

i. Σχέση Τέλους-Αρχής (FS):

Η επόμενη δραστηριότητα αρχίζει με το πέρας της προηγούμενης

Παράδειγμα: Η εργασία του στρώματος ασφαλτοστρώσεων (τέλος) πρέπει να ολοκληρωθεί πριν από την έναρξη της εργασίας εφαρμογής του ασφάλτου (αρχής).

ii. Σχέση Αρχής-Αρχής (SS):

Η έναρξη της επόμενης εργασίας μπορεί να γίνει ταυτόχρονα με την έναρξη της προηγούμενης εργασίας

Παράδειγμα: Εκσκαφή Θεμελίωσης (Δραστηριότητα Α): Η εκσκαφή του χώρου για τη θεμελίωση των πυλώνων της γέφυρας δεν μπορεί να ξεκινήσει πριν από την έναρξη της προετοιμασίας του εργοτάξιου και της εκκαθάρισης της επιφάνειας του εδάφους (Δραστηριότητα Β). Οι δύο αυτές δραστηριότητες πρέπει να ξεκινήσουν ταυτόχρονα, καθώς είναι απαραίτητες για τη σωστή προετοιμασία του εργοτάξιου και την εκκίνηση της κατασκευής της γέφυρας.

iii. Σχέση Τέλους-Τέλους (FF):

Η ολοκλήρωση της εργασίας της δραστηριότητας που έπεται εξαρτάται από την ολοκλήρωση της εργασίας της δραστηριότητας που προηγείται.

Παράδειγμα: Οι εργασίες μεταφοράς χωματισμών τελειώνουν μόλις τελειώσει η διάστρωση τους για την δημιουργία επιχώματος.

iv. Σχέση Αρχής-Τέλους (SF):

Η ολοκλήρωση της εργασίας της δραστηριότητας που έπεται εξαρτάται από την έναρξη της εργασίας της δραστηριότητας που προηγείται

Παράδειγμα: Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών Πάρκων (Δραστηριότητα Α): Η ολοκλήρωση της εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών πάρκων στον εκάστοτε χώρο προορισμού (τέλος) εξαρτάται από την έναρξη της κατασκευής του ηλεκτρικού πίνακα ελέγχου και διανομής της παραγόμενης ενέργειας (αρχή). Μέχρι να ολοκληρωθεί η κατασκευή του ηλεκτρικού πίνακα, δεν είναι δυνατή η λειτουργία των φωτοβολταϊκών πάρκων, καθώς δεν υπάρχει σύστημα διανομής της παραγόμενης ενέργειας. Άρα, η έναρξη της δραστηριότητας του ηλεκτρικού πίνακα είναι απαραίτητη για την ολοκλήρωση της εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών πάρκων. Οι δραστηριότητες ενός έργου μπορούν, να συνδέονται ακόμη με κάποιον χρόνο υστέρησης (lag) ή προπορείας (lead) π.χ. FS+2 (Η επόμενη εργασία μπορεί να αρχίσει εφόσον περάσουν 2 μέρες από το τέλος της προηγούμενης εργασίας, ένα τέτοιο παράδειγμα μπορεί να είναι από την σκυροδέτηση ενός τοιχίου για να γίνει η καθαίρεση του ξυλότυπου πρέπει να περάσουν 2 μέρες για την στερεοποίηση του σκυροδέματος) ή SS+50% δηλαδή η δεύτερη δραστηριότητα θα ξεκινήσει μετά το 50% από την έναρξη της προηγούμενης δραστηριότητας (Βαγιωνά, 2021).

Με βάση όσων είπαμε για τον κατάλογο των δραστηριοτήτων αλλά και για τις σχέσεις αλληλουχίας πάμε να φτιάξουμε τον κατάλογο εργασιών του συγκεκριμένου έργου καθώς και τις σχέσεις αλληλουχίας των δραστηριοτήτων. Μια προεργασία για τον κατάλογο των εργασιών έχει γίνει ήδη από την Δομική ανάλυση του έργου εκμετάλλευσης του Γεωθερμικού πεδίου που μας ενδιαφέρει.

Στον Πίνακα 9 παρουσιάζεται ο κατάλογος εργασιών του έργου, καθώς και οι σχέσεις αλληλεξάρτησής των εργασιών:

A/A	Δραστηριότητα	Κωδική Ονομασία	Προ απαιτούμενη
1	Υπογραφή Σύμβασής	Υ.Σ	-
2	Προκαταρκτικές Εργασίες (Σύνταξη ΣΑΥ, ΦΑΥ & Υποβολή Χρονοδιαγράμματος)	Π.Ε 2	Έναρξη
3	Οργάνωση Εργοταξίου (Σύνταξη και υποβολή εργοταξιακής σήμανσης, υποβολή υλικών εργοταξίου προς έγκριση)	Ο.Ε 3	Έναρξη
4	Εγκατάσταση Εργοταξίου (Διάνοιξη δρόμου, Διαμόρφωση εργοταξίου	Ε.Ε 4	Π.Ε 2 ,Ο.Ε 3

	γεωτρήσεων, Διαμόρφωση εργοταξίου θερμικού σταθμού, Αποθηκευτικοί χώροι Υλικών, Εγκατάσταση εργοταξιακού γραφείου)		
5	Θεμελίωση Θερμικού Σταθμού (Παραλαβή υλικών στο εργοτάξιο, εκσκαφή θεμελίων θερμικού σταθμού, κατασκευή πέδινων & πεδιλοδοκών, εφαρμογή ξυλότυπου, σκυροδέτηση)	Θ.Σ.1	E.E 4
6	Εξόρυξη 1ης Γεώτρησης Επανεγγχυσης (Παραλαβή υλικών στο εργοτάξιο, διάτρηση στα 500 μ., δοκιμή γεώτρησης, κατασκευή βάσης από σκυρόδεμα & τοποθέτηση κεφαλής)	E.Γ 1	E.E 4
7	Κατασκευή Δικτύου Επανεισαγωγής PPR (Παραλαβή υλικών στο εργοτάξιο, μετωπικές κολλήσεις PPR δικτύου, εκσκαφή δικτύου επανεισαγωγής, τοποθέτηση σωλήνων, επίχωση δικτύου)	Δ.PPR 1	E.E 4, Θ.Σ.1
8	Εξόρυξη 2ης Γεώτρησης Επανεγγχυσης (Παραλαβή υλικών στο εργοτάξιο, διάτρηση στα 500 μ., κατασκευή βάσης από σκυρόδεμα & τοποθέτηση κεφαλής)	E.Γ 2	E.Γ 1
9	Κατασκευή Δευτερεύοντος Δικτύου PPR Γυμνασίου (Παραλαβή Υλικών στο εργοτάξιο, Μετωπικές Κολλήσεις PPR Δικτύου, Εκσκαφή Δικτύου Επανεισαγωγής, Τοποθέτηση Σωλήνων, Επίχωση Δικτύου)	Δ.PPR 2	Δ.PPR 1
10	Ανωδομή Θερμικού Σταθμού (Παραλαβή Υλικών στο εργοτάξιο, Κατασκευή Βιομηχανικού δαπέδου, Υποστρωμάτων & Τοιχίων, Στέγη -Τοιχοποιίες--Κουφώματα - Μονώσεις, Διαμόρφωσή του Άυλειου χώρου)	Θ.Σ 2	Θ.Σ.1
11	Ηλεκτρομηχανολογικές (Η/Μ) Εργασίες Θερμικού Σταθμού (Παραλαβή Υλικών στο Εργοτάξιο, Εγκατάσταση εναλλακτών, αντλίες θερμότητας, φίλτρα, μανόμετρα, διαχωριστές σωματιδίων, θερμόμετρα, διακοπτικό υλικό και συλλέκτες διανομής ζεστού νερού, Καλώδια, φωτισμός κ.λ.π)	Θ.Σ 3	Θ.Σ 2
12	Κατασκευή Δευτερέων Δικτύου PPR Ιατρείου (Παραλαβή Υλικών στο Εργοτάξιο, Μετωπικές Κολλήσεις PPR Δικτύου, Εκσκαφή Δικτύου, Τοποθέτηση Σωλήνων, Επίχωση Δικτύου)	Δ.PPR 3	Δ.PPR 2

13	Κατασκευή Δευτερέων Δικτύου PPR Ιερού Ναού (Παραλαβή Υλικών στο Εργοτάξιο, Μετωπικές Κολλήσεις PPR Δικτύου, Εκσκαφή Δικτύου, Τοποθέτηση Σωλήνων, Επίχωση Δικτύου)	Δ.PPR 4	Δ.PPR 3
14	Κατασκευή Δευτερέων Δικτύου PPR Θερμοκηπίου(Παραλαβή Υλικών στο εργοτάξιο, Μετωπικές Κολλήσεις PPR Δικτύου, Εκσκαφή Δικτύου , Τοποθέτηση Σωλήνων, Επίχωση Δικτύου)	Δ.PPR 5	Δ.PPR 4
15	Κατασκευή Πρωτεύων Δικτύου PPR Θερμοκηπίου (Παραλαβή Υλικών στο εργοτάξιο, Μετωπικές Κολλήσεις PPR Δικτύου, Εκσκαφή Δικτύου, Τοποθέτηση Σωλήνων, Επίχωση Δικτύου)	Δ.PPR 6	Δ.PPR 5
16	Παράδοση & Λειτουργία του Έργου	Π.Δ	Δ.PPR 6, Θ.Σ 3, Ε.Γ 2

Πίνακας 9 Κατάλογος Εργασιών-Σχέσεις Αλληλουχίας

Από τον κατάλογο εργασιών προκύπτει ότι με την υπογραφή της σύμβασης, ξεκινούν οι αρχικές προκαταρτικές εργασίες. Αυτές εστιάζουν κυρίως στην εκπόνηση των απαραίτητων εγγράφων που αφορούν το έργο που έχει ζητηθεί από την υπηρεσία ή τον κύριο του έργου. Χωρίς αυτά τα έγγραφα, η έναρξη του έργου είναι αδύνατη, καθώς αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της διαδικασίας. Στη συνέχεια, προχωρά η εγκατάσταση του εργοταξίου. Σε ένα μεγάλο έργο όπως αυτό, η εγκατάσταση περιλαμβάνει πολλαπλά εργοτάξια. Για παράδειγμα, η εξόρυξη των γεωτρήσεων απαιτεί την κατασκευή δρόμων προσέγγισης και τη δημιουργία αποθηκευτικών χώρων για τα χωματουργικά υλικά. Επιπλέον, απαιτούνται αποθηκευτικοί χώροι για τα εργαλεία και τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό. Αφού ολοκληρωθούν αυτές οι προετοιμασίες, μπορεί να ξεκινήσουν παράλληλα η θεμελίωση του θερμικού σταθμού και η κατασκευή του πρώτου δικτύου PPR επανεισαγωγής. Ταυτόχρονα, ξεκινά η εξόρυξη της πρώτης γεώτρησης. Στο σημείο αυτό να επισημάνουμε ότι η εταιρεία που έχει αναλάβει το έργο έδωσε υπεργολαβία, με μια σταθερή τιμή, την εξόρυξη γεωτρήσεων σε μια εταιρεία που ειδικεύεται σε τέτοιου είδους έργα. Ο υπεργολάβος διαθέτει 1 χειριστή, 1 τεχνίτη, 2 βοηθούς, 1 γεωτρύπανο και μηχανολογικό εξοπλισμό κατάλληλο για εξόρυξη γεωτρήσεων. Επομένως, θα πρέπει πρώτα να ολοκληρωθεί η μία εξόρυξη για να αρχίσει η επόμενη. Επιπλέον, υπάρχει 1 συνεργείο χωματουργικών εργασιών με 1 εκσκαφέα τροχοφόρο, 1 εκσκαφέα-φορτωτή, 1 φορτωτή και 2 τετραξονικά φορτηγά, καθώς και 1 συνεργείο κολλήσεων με 1 τεχνίτη και 4 βοηθούς-εργάτες. Το συνεργείο κολλήσεων πρέπει να ολοκληρώνει το ένα δίκτυο για να αρχίζει το επόμενο. Επίσης, υπάρχει ένα συνεργείο οικοδομικών εργασιών με 2 τεχνίτες και 5 εργάτες, και τέλος ένα συνεργείο ηλεκτρομηχανολογικών εργασιών με 1 ηλεκτρολόγο, 1 υδραυλικό, 1 τεχνίτη

ηλεκτροκολλήσεων και 3 εργάτες. Οι πληροφορίες αυτές, εκτός από τις σχέσεις αλληλουχίας, είναι σημαντικές και για το 5ο κεφάλαιο που θα δούμε παρακάτω, σχετικά με τον οικονομικό προγραμματισμό του έργου.

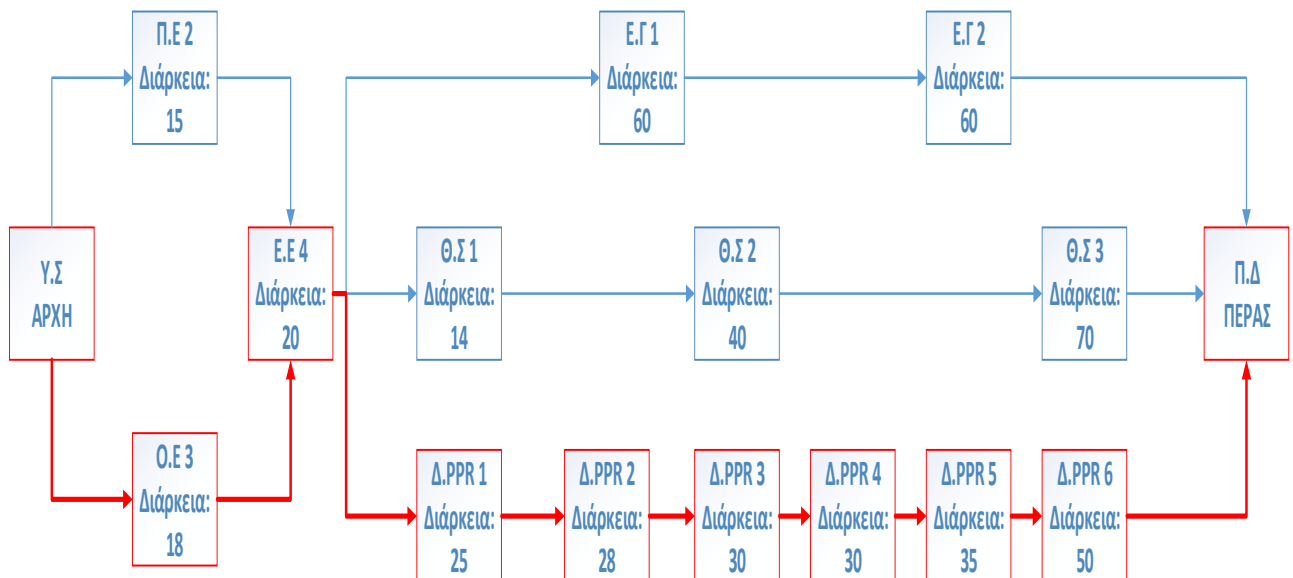
3.7 Εφαρμογή της μεθόδου CPM στο έργο Εκμετάλλευσης ενός Γεωθερμικού Πεδίου

Βάση όσων αναφέραμε στην υποενότητα 2.2 για την CPM μέθοδο , την 3.4 για την εκτίμηση της διάρκειας μιας εργασίας αλλά και στην υποενότητα 3.5 που δημιουργήσαμε τον κατάλογο εργασιών του έργου, Προχωράμε στην εφαρμογή της μεθόδου της κρίσιμης διαδρομής

<i>Δραστηριότητα</i>	<i>Προηγούμενη Δραστηριότητα</i>	<i>Διάρκεια (Ημέρες)</i>
Υ.Σ	Έναρξη	-
Π.Ε 2	Έναρξη	15
Ο.Ε 3	Έναρξη	18
Ε.Ε 4	Π.Ε 2 ,Ο.Ε 3	20
Θ.Σ.1	Ε.Ε 4	14
Ε.Γ 1	Ε.Ε 4	60
Δ.ΡΡΡ 1	Ε.Ε 4	25
Ε.Γ 2	Ε.Γ 1	60
Δ.ΡΡΡ 2	Δ.ΡΡΡ 1	28
Θ.Σ 2	Θ.Σ.1	40
Θ.Σ 3	Θ.Σ 2	70
Δ.ΡΡΡ 3	Δ.ΡΡΡ 2	30
Δ.ΡΡΡ 4	Δ.ΡΡΡ 3	30
Δ.ΡΡΡ 5	Δ.ΡΡΡ 4	35
Δ.ΡΡΡ 6	Δ.ΡΡΡ 5	50
Π.Δ	Δ.ΡΡΡ 6, Θ.Σ 3, Ε.Γ 2	-

Πίνακας 10 Διάρκειες Εργασιών στο Έργο Εκμετάλλευσης του Γεωθερμικού Πεδίου

Στην συνέχεια θα σχεδιάσουμε το κομβικό δίκτυο του έργου για να βρούμε αρχικά την κρίσιμη διαδρομή με τον πρώτο τρόπο που αναφέραμε στην υποενότητα 2.2 δηλαδή την διαδρομή με την μεγαλύτερη διάρκεια, χωρίς τον υπολογισμό των χρονικών μεγεθών:



Εικόνα 11 CPM με δικτυωτά γραφήματα-Κρίσιμη διαδρομή του έργου

Υπολογίζουμε την διαδρομή με την μεγαλύτερη διάρκεια με τον ίδιο τρόπο που είδαμε σε προηγούμενη ενότητα:

- 1) Υ.Σ-Π.Ε 2-Ε.Ε.4-Ε.Γ 1- Ε.Γ 2- Π.Δ:0+15+20+60+60+0=155
- 2) Υ.Σ-Π.Ε 2- Ε.Ε.4-Θ.Σ 1 Θ.Σ 2 -Θ.Σ 3-Π.Δ:0+15+20+14+40+70=159
- 3) Υ.Σ - Π.Ε 2 - Ε.Ε.4 - Δ.ΡΡ 1 - Δ.ΡΡ 2- Δ.ΡΡ 3 - Δ.ΡΡ 4 - Δ.ΡΡ 5 - Δ.ΡΡ 6- Π.Δ:0+15+20+25+28+30+30+35+50+0= 233
- 4) Υ.Σ - Ο.Ε 3 - Ε.Ε.4 - Δ.ΡΡ 1 - Δ.ΡΡ 2- Δ.ΡΡ 3 - Δ.ΡΡ 4 - Δ.ΡΡ 5 - Δ.ΡΡ 6- Π.Δ:0+18+20+25+28+30+30+35+50+0= 236(κ.δ)
- 5) Υ.Σ-Ο.Ε 3- Ε.Ε.4-Θ.Σ 1- Θ.Σ 2 -Θ.Σ 3-Π.Δ:0+18+20+14+40+70+0=162
- 6) Υ.Σ- Ο.Ε 3-Ε.Ε.4-Ε.Γ 1- Ε.Γ 2- Π.Δ:0+18+20+60+60+0=158

Η κόκκινη έντονη γραμμή σε ένα κομβικό δίκτυο όπως φαίνεται στην εικόνα 3.6.1 αναδεικνύει έναν σημαντικό δρόμο ή μονοπάτι που συνδέει κρίσιμες τοποθεσίες ή σημεία. Επιπλέον, η κόκκινη

γραμμή μπορεί να λειτουργεί ως οπτική ένδειξη για τους χρήστες του δικτύου, καθορίζοντας ξεκάθαρα τις προτεραιότητες ή τις κρίσιμες περιοχές που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Η διαδρομή με την μεγαλύτερη διάρκεια άρα και η κρίσιμη διαδρομή είναι η διαδρομή νούμερο 4.

Στη συνέχεια υπολογίζουμε τα χρονικά μεγέθη της εργασίας, τους ενωρίτερους και τους βραδύτερους χρόνους του έργου.

Υπολογίζουμε αρχικά τις ενωρίτερες ενάρξεις βάση των εκτιμήσεων της διάρκειας του έργου Εκμετάλλευσης της Γεωθερμίας και με βάση τις σχέσεις αλληλουχίας

$$ES(Y.\Sigma)=0$$

$$EF(Y.\Sigma)=0$$

$$ES(\Pi.E\ 2)=EF(Y.\Sigma)=0$$

$$ES(O.E\ 3)=EF(Y.\Sigma)=0$$

$$EF(\Pi.E\ 2)=ES(\Pi.E\ 2)+\text{διάρκεια}(\Pi.E\ 2)=0+15=15$$

$$EF(O.E\ 3)=ES(O.E\ 3)+\text{διάρκεια}(O.E\ 3)=0+18=18$$

$$ES(E.E.4)=\max\{EF(O.E\ 3),EF(\Pi.E\ 2)\}=18$$

$$EF(E.E.4)=ES(E.E.4)+\text{διάρκεια}(E.E.4)=18+20=38$$

$$ES(E.\Gamma\ 1)=EF(E.E.4)=38$$

$$EF(E.\Gamma\ 1)=ES(E.\Gamma\ 1)+\text{διάρκεια}(E.\Gamma\ 1)=38+60=98$$

$$ES(E.\Gamma\ 2)=EF(E.\Gamma\ 1)=98$$

$$EF(E.\Gamma\ 2)=ES(E.\Gamma\ 2)+\text{διάρκεια}(E.\Gamma\ 2)=98+60=158$$

$$ES(\Theta.\Sigma\ 1)=EF(E.E\ 4)=38$$

$$EF(\Theta.\Sigma\ 1)=ES(\Theta.\Sigma\ 1)+\text{διάρκεια}(\Theta.\Sigma\ 1)=38+14=52$$

$$ES(\Theta.\Sigma\ 2)=EF(\Theta.\Sigma\ 1)=52$$

$$EF(\Theta.\Sigma\ 2)=ES(\Theta.\Sigma\ 2)+\text{διάρκεια}(\Theta.\Sigma\ 2)=52+40=92$$

$$ES(\Theta.\Sigma\ 3)=EF(\Theta.\Sigma\ 2)=92$$

$$EF(\Theta.\Sigma\ 3)=ES(\Theta.\Sigma\ 3)+\text{διάρκεια}(\Theta.\Sigma\ 3)=92+70=162$$

$$ES(\Delta.PPR\ 1) = EF(E.E.4) = 38$$

$$EF(\Delta.PPR\ 1) = ES(\Delta.PPR\ 1) + \text{διάρκεια}(\Delta.PPR\ 1) = 38 + 25 = 63$$

$$ES(\Delta.PPR\ 2) = EF(\Delta.PPR\ 1) = 63$$

$$EF(\Delta.PPR\ 2) = ES(\Delta.PPR\ 2) + \text{διάρκεια}(\Delta.PPR\ 2) = 63 + 28 = 91$$

$$ES(\Delta.PPR\ 3) = EF(\Delta.PPR\ 2) = 91$$

$$EF(\Delta.PPR\ 3) = ES(\Delta.PPR\ 3) + \text{διάρκεια}(\Delta.PPR\ 3) = 91 + 30 = 121$$

$$ES(\Delta.PPR\ 4) = EF(\Delta.PPR\ 3) = 121$$

$$EF(\Delta.PPR\ 4) = ES(\Delta.PPR\ 4) + \text{διάρκεια}(\Delta.PPR\ 4) = 121 + 30 = 151$$

$$ES(\Delta.PPR\ 5) = EF(\Delta.PPR\ 4) = 151$$

$$EF(\Delta.PPR\ 5) = ES(\Delta.PPR\ 5) + \text{διάρκεια}(\Delta.PPR\ 5) = 151 + 35 = 186$$

$$ES(\Delta.PPR\ 6) = EF(\Delta.PPR\ 5) = 186$$

$$EF(\Delta.PPR\ 6) = ES(\Delta.PPR\ 6) + \text{διάρκεια}(\Delta.PPR\ 6) = 186 + 50 = 236$$

Η συνολική διάρκεια του έργου είναι **236 εργάσιμες ημέρες** \approx **7.8 μήνες**

Το επόμενο βήμα μας είναι να βρούμε τους βραδύτερους χρόνους των δραστηριοτήτων

Υπολογίζουμε τους βραδύτερους χρόνους όλων των δραστηριοτήτων βάση και των σχέσεων αλληλουχίας

$$EF(\Delta.PPR\ 6) = LF(\Delta.PPR\ 6) = 236$$

$$LS(\Delta.PPR\ 6) = LF(\Delta.PPR\ 6) - \text{διάρκεια}(\Delta.PPR\ 6) = 186$$

$$LF(\Theta.\Sigma\ 3) = LF(\Delta.PPR\ 6) = 236$$

$$LS(\Theta.\Sigma\ 3) = LF(\Theta.\Sigma\ 3) - \text{διάρκεια}(\Theta.\Sigma\ 3) = 236 - 70 = 166$$

$$LF(\Theta.\Sigma\ 2) = LS(\Theta.\Sigma\ 3) = 166$$

$$LS(\Theta.\Sigma\ 2) = LF(\Theta.\Sigma\ 2) - \text{διάρκεια}(\Theta.\Sigma\ 2) = 166 - 40 = 126$$

$$LF(\Theta.\Sigma\ 1) = LS(\Theta.\Sigma\ 2) = 126$$

$$LS(\Theta.\Sigma\ 1) = LF(\Theta.\Sigma\ 1) - \text{διάρκεια}(\Theta.\Sigma\ 1) = 126$$

$$-14=112$$

$$LF(E.\Gamma\ 2)=LF(\Delta.PPR\ 6)=236$$

$$LS(E.\Gamma\ 2)=LF(E.\Gamma\ 2)-\text{διάρκεια}(E.\Gamma\ 2)=236-60=176$$

$$LF(E.\Gamma\ 1)=LS(E.\Gamma\ 2)=176$$

$$LS(E.\Gamma\ 1)=LF(E.\Gamma\ 1)-\text{διάρκεια}(E.\Gamma\ 1)=176-60=116$$

$$LF(\Delta.PPR\ 5)=LS(\Delta.PPR\ 6)=186$$

$$LS(\Delta.PPR\ 5)=LF(\Delta.PPR\ 5)-\text{διάρκεια}(\Delta.PPR\ 5)=186-35=151$$

$$LF(\Delta.PPR\ 4)=LS(\Delta.PPR\ 5)=151$$

$$LS(\Delta.PPR\ 4)=LF(\Delta.PPR\ 4)-\text{διάρκεια}(\Delta.PPR\ 4)=151-30=121$$

$$LF(\Delta.PPR\ 3)=LS(\Delta.PPR\ 4)=121$$

$$LS(\Delta.PPR\ 3)=LF(\Delta.PPR\ 3)-\text{διάρκεια}(\Delta.PPR\ 3)=121-30=91$$

$$LF(\Delta.PPR\ 2)=LS(\Delta.PPR\ 3)=91$$

$$LS(\Delta.PPR\ 2)=LF(\Delta.PPR\ 2)-\text{διάρκεια}(\Delta.PPR\ 2)=91-28=63$$

$$LF(\Delta.PPR\ 1)=LS(\Delta.PPR\ 2)=63$$

$$LS(\Delta.PPR\ 1)=LF(\Delta.PPR\ 1)-\text{διάρκεια}(\Delta.PPR\ 1)=63-25=38$$

$$LF(E.E.4)=\min\{LS(\Delta.PPR\ 1), LS(\Theta.\Sigma\ 1), LS(E.\Gamma\ 1)\}=\min\{38, 126, 176\}=38$$

$$LS(E.E.4)=LF(E.E.4)-\text{διάρκεια}(E.E.4)=38-20=18$$

$$LF(O.E.3)=LS(E.E.4)=18$$

$$LS(O.E.3)=LF(O.E.3)-\text{διάρκεια}(E.E.4)=18-18=0$$

$$LF(\Pi.E\ 2)=LF(O.E.3)=18$$

$$LS(\Pi.E.2)=LF(\Pi.E\ 2)-\text{διάρκεια}(\Pi.E\ 2)=18-15=3$$

Υπολογίσουμε τα ολικά περιθώρια των δραστηριοτήτων

$$TF(\Pi.E.2)=LF(\Pi.E.2)-EF(\Pi.E.2)=18-15=3$$

$$TF(O.E.3)=LF(O.E.3)-EF(O.E.3)=18-18=0$$

$$TF(E.E.4)=LF(E.E.4)-EF(E.E.4)=38-38=0$$

$$TF(\Delta.PPR\ 1)=LF(\Delta.PPR\ 1)-EF(\Delta.PPR\ 1)=63-63=0$$

$$TF(\Delta.PPR\ 2)=LF(\Delta.PPR\ 2)-EF(\Delta.PPR\ 2)=91-91=0$$

$$TF(\Delta.PPR\ 3)=LF(\Delta.PPR\ 3)-EF(\Delta.PPR\ 3)=121-121=0$$

$$TF(\Delta.PPR\ 4)=LF(\Delta.PPR\ 4)-EF(\Delta.PPR\ 4)=151-151=0$$

$$TF(\Delta.PPR\ 5)=LF(\Delta.PPR\ 5)-EF(\Delta.PPR\ 5)=186-186=0$$

$$TF(\Delta.PPR\ 6)=LF(\Delta.PPR\ 6)-EF(\Delta.PPR\ 6)=186-186=0$$

$$TF(\Theta.\Sigma\ 1)=LF(\Theta.\Sigma\ 1)-EF(\Theta.\Sigma\ 1)=126$$

$$-52=74$$

$$TF(\Theta.\Sigma\ 2)=LF(\Theta.\Sigma\ 2)-EF(\Theta.\Sigma\ 2)=166-93=73$$

$$TF(\Theta.\Sigma\ 3)=LF(\Theta.\Sigma\ 3)-EF(\Theta.\Sigma\ 3)=236-162=74$$

$$TF(E.\Gamma\ 2)=LF(E.\Gamma\ 2)-EF(E.\Gamma\ 2)=236-158=78$$

$$TF(E.\Gamma\ 1)=LF(E.\Gamma\ 1)-EF(E.\Gamma\ 1)=176-98=78$$

Υπολογίζουμε το ελεύθερο περιθώριο των δραστηριοτήτων

$$FF(\Pi.E\ 2)=ES(E.E.4)-EF(\Pi.E\ 2)=18-15=3$$

$$FF(O.E\ 3)=ES(E.E.4)-EF(O.E\ 3)=18-18=0$$

$$FF(E.E.4)=\min\{ES(\Delta.PPR\ 1)-EF(E.E.4), ES(E.\Gamma\ 1)-EF(E.E.4), ES(\Theta.\Sigma\ 1)-EF(E.E.4)\}=0$$

$$FF(\Theta.\Sigma\ 1)=ES(\Theta.\Sigma\ 2)-EF(\Theta.\Sigma\ 1)=52-52=0$$

$$FF(\Theta.\Sigma\ 2)=ES(\Theta.\Sigma\ 3)-EF(\Theta.\Sigma\ 2)=92-92=0$$

Λόγω ότι η $\Theta.\Sigma\ 3$ τελική δραστηριότητα $FF(\Theta.\Sigma\ 3)=TF(\Theta.\Sigma\ 3)=74$

$$FF(\Delta.PPR\ 1)=ES(\Delta.PPR\ 2)-EF(\Delta.PPR\ 1)=63$$

$$-63=0$$

$$FF(\Delta.PPR2)=0, FF(\Delta.PPR3)=0, FF(\Delta.PPR4)=0, FF(\Delta.PPR5)=0, FF(\Delta.PPR6)=0,$$

$$FF(E.\Gamma\ 1)=0, \text{ Λόγω ότι η } E.\Gamma\ 2 \text{ τελική δραστηριότητα η } FF(E.\Gamma\ 2)=TF(E.\Gamma\ 2)=78$$

Στο Πίνακα 11 υπολογίζονται τα χρονικά μεγέθη, όπως έχει διαμορφωθεί με τις κρίσιμες δραστηριότητες, όπου το TF των κρίσιμων δραστηριοτήτων είναι 0.

Δραστηριότητα	Προηγούμενη Δραστηριότητα	Διάρκεια	Νωρίτεροι Χρόνοι		Βραδύτεροι Χρόνοι		TF	FF
			ES	EF	LS	LF		
Υ.Σ	Έναρξη	-	-	-	-	-	-	-
Π.Ε 2	Έναρξη	15	0	15	3	18	3	3
Ο.Ε 3	Έναρξη	18	0	18	0	18	0(κδ)	0
Ε.Ε 4	Π.Ε 2 ,Ο.Ε 3	20	18	38	18	38	0(κδ)	0
Θ.Σ.1	Ε.Ε 4	14	38	52	112	126	74	0
Ε.Γ 1	Ε.Ε 4	60	38	98	116	176	78	0
Δ.ΡΡ 1	Ε.Ε 4	25	38	63	38	63	0(κδ)	0
Ε.Γ 2	Ε.Γ 1	60	98	158	176	236	78	78
Δ.ΡΡ 2	Δ.ΡΡ 1	28	63	91	63	91	0(κδ)	0
Θ.Σ 2	Θ.Σ.1	40	52	92	126	166	73	0
Θ.Σ 3	Θ.Σ 2	70	92	162	166	236	74	74
Δ.ΡΡ 3	Δ.ΡΡ 2	30	91	121	91	121	0(κδ)	0
Δ.ΡΡ 4	Δ.ΡΡ 3	30	121	151	121	151	0(κδ)	0
Δ.ΡΡ 5	Δ.ΡΡ 4	35	151	186	151	186	0(κδ)	0
Δ.ΡΡ 6	Δ.ΡΡ 5	50	186	236	186	236	0(κδ)	0
Π.Δ	Δ.ΡΡ 6, Θ.Σ 3, Ε.Γ 2	-	-	-	-	-	-	-

Πίνακας 11 Υπολογισμός Χρονικών Μεγεθών του Έργου Εκμετάλλευσης του Γεωθερμικού Πεδίου

Η CPM method μας δείχνει ότι το ενωρίτερο αλλά και το βραδύτερο πέρας του έργου είναι 236 εργάσιμες ημέρες άρα περίπου 8 μήνες, με βάση τον χρονικό προγραμματισμό της συγκεκριμένης μεθόδου το έργο τελειώνει 2 μήνες νωρίτερα από την συμβατική προθεσμία των 10 μηνών.

3.8. Εφαρμογή της μεθόδου PERT στο έργο Εκμετάλλευσης ενός Γεωθερμικού Πεδίου

Μετά από όσα είδαμε για την μέθοδο PERT προχωράμε στην εφαρμογή της μεθόδου πάνω στο έργο που μας ενδιαφέρει σε αυτήν την ΜΔΕ.

Έχουμε λοιπόν παρακάτω τις αισιόδοξες, απαισιόδοξες και πιθανότερες διάρκειες των εργασιών.

<i>Δραστηριότητα</i>	<i>Προηγούμενη Δραστηριότητα</i>	<i>Αισιόδοξη Διάρκεια(a)</i>	<i>Πιθανότερη διάρκεια(m)</i>	<i>Απαισιόδοξη Διάρκεια(b)</i>
Υ.Σ	Έναρξη	-	-	-
Π.Ε 2	Έναρξη	12	15	17
Ο.Ε 3	Έναρξη	14	18	21
Ε.Ε 4	Π.Ε 2 ,Ο.Ε 3	16	20	24
Θ.Σ.1	Ε.Ε 4	11	14	17
Ε.Γ 1	Ε.Ε 4	55	60	69
Δ.ΡΡ 1	Ε.Ε 4	20	25	36
Ε.Γ 2	Ε.Γ 1	57	60	69
Δ.ΡΡ 2	Δ.ΡΡ 1	26	28	35
Θ.Σ 2	Θ.Σ 1	32	40	44
Θ.Σ 3	Θ.Σ 2	64	70	80
Δ.ΡΡ 3	Δ.ΡΡ 2	28	30	38
Δ.ΡΡ 4	Δ.ΡΡ 3	28	30	34
Δ.ΡΡ 5	Δ.ΡΡ 4	32	35	39
Δ.ΡΡ 6	Δ.ΡΡ 5	43	50	54
Π.Δ	Δ.ΡΡ 6, Θ.Σ 3, Ε.Γ 2		-	

Πίνακας 12 Εκτίμηση Διάρκειας -Μέθοδος PERT στο έργο Εκμετάλλευσης του Γεωθερμικού Πεδίου

Το επόμενο βήμα μας είναι να βρούμε την μέση τιμή των διαρκειών της κάθε δραστηριότητας:

$$\mu_{\text{Π.Ε 2}} = \frac{12 + 4 * 15 + 17}{6} = 14.83 \approx 15$$

$$\sigma_{\text{Π.Ε 2}} = \frac{17 - 12}{6} = 0.83$$

$$\mu_{\text{Ο.Ε 3}} = \frac{14 + 4 * 18 + 21}{6} = 17.83 \approx 18$$

$$\sigma_{\text{Ο.Ε 3}} = \frac{21 - 14}{6} = 1.17$$

$$\mu_{\text{Ε.Ε 4}} = \frac{18 + 4 * 20 + 27}{6} = 21$$

$$\sigma_{\text{Ε.Ε 4}} = \frac{27 - 18}{6} = 1.50$$

Ομοίως, υπολογίζουμε για τις επόμενες εργασίες τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση και τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στον Πίνακα 13.

Δραστηριότητα	Προηγούμενη Δραστηριότητα	Μέση τιμή(μ)	Τυπική Απόκλιση (σ)
Υ.Σ	Έναρξη	-	-
Π.Ε 2	Έναρξη	14.83	0.83
Ο.Ε 3	Έναρξη	17.83	1.17
Ε.Ε 4	Π.Ε 2 ,Ο.Ε 3	21	1.17
Θ.Σ.1	Ε.Ε 4	14	1.00
Ε.Γ 1	Ε.Ε 4	61	1.33
Δ.ΡΡ 1	Ε.Ε 4	25.50	1.17
Ε.Γ 2	Ε.Γ 1	60	1.33
Δ.ΡΡ 2	Δ.ΡΡ 1	28.67	1.33

Θ.Σ 2	Θ.Σ 1	39.83	1.33
Θ.Σ 3	Θ.Σ 2	70.83	1.33
Δ.PPR 3	Δ.PPR 2	31	1.33
Δ.PPR 4	Δ.PPR 3	30.33	1
Δ.PPR 5	Δ.PPR 4	35.17	1.17
Δ.PPR 6	Δ.PPR 5	50.17	1.17
Π.Δ	Δ.PPR 6, Θ.Σ 3, Ε.Γ 2	-	-

Πίνακας 13 Υπολογισμός Μέσης Τιμής-Τυπικής Απόκλισης Μέθοδος PERT

Βλέπουμε ότι οι τυπικές αποκλίσεις των εργασιών δεν έχουν μεταξύ τους μεγάλες διαφορές, ενώ στην περίπτωση που υπάρχει εργασία με μεγάλη διαφορά στην τυπική της απόκλιση σε σχέση με τις άλλες τυπικές αποκλίσεις, τότε σημαίνει ότι εκείνη η εργασία θα εγκυμονούσε κινδύνους για το σύνολο του έργου.

Βάση των μέσων τιμών της κάθε εργασίας υπολογίζουμε και τα χρονικά μεγέθη των εργασιών, όπως φαίνεται στον Πίνακα 14.

Δραστηριότητα	Προηγούμενη Δραστηριότητα	Διάρκεια	Νωρίτεροι Χρόνοι		Βραδύτεροι Χρόνοι		TF	FF
			ES	EF	LS	LF		
Υ.Σ	Έναρξη	-	-	-	-	-	-	-
Π.Ε 2	Έναρξη	15	0	15	3	18	3	3
Ο.Ε 3	Έναρξη	18	0	18	0	18	0(κδ)	0
Ε.Ε 4	Π.Ε 2 ,Ο.Ε 3	21	18	39	18	39	0(κδ)	0
Θ.Σ.1	Ε.Ε 4	14	39	53	115	129	76	0
Ε.Γ 1	Ε.Ε 4	61	39	100	119	180	80	0
Δ.PPR 1	Ε.Ε 4	26	39	65	39	65	0(κδ)	0
Ε.Γ 2	Ε.Γ 1	60	100	160	180	240	80	30
Δ.PPR 2	Δ.PPR 1	29	65	94	65	94	0(κδ)	0

Θ.Σ 2	Θ.Σ.1	40	53	93	129	169	76	0
Θ.Σ 3	Θ.Σ 2	71	93	164	169	240	76	26
Δ.PPR 3	Δ.PPR 2	31	94	125	94	125	0(κδ)	0
Δ.PPR 4	Δ.PPR 3	30	125	155	125	155	0(κδ)	0
Δ.PPR 5	Δ.PPR 4	35	155	190	155	190	0(κδ)	0
Δ.PPR 6	Δ.PPR 5	50	190	240	190	240	0(κδ)	0
Π.Δ	Δ.PPR 6, Θ.Σ 3, Ε.Γ 2	-	-	-	-	-	-	-

Πίνακας 14 Υπολογισμός Χρονικών Μεγεθών-Μέθοδος PERT

Για την κρίσιμη διαδρομή παίρνουμε όλες τις μέσες τιμές και βάση των συσχετίσεων βρίσκουμε εκ νέου την κρίσιμη διαδρομή.

$$1) \text{Υ.Σ-Π.Ε 2-Ε.Ε.4-Ε.Γ 1- Ε.Γ 2- Π.Δ:} 0+15+21+61+60+0=157$$

$$2) \text{Υ.Σ-Π.Ε 2- Ε.Ε.4-Θ.Σ 1- Θ.Σ 2 -Θ.Σ 3-Π.Δ:} 0+15+21+14+40+71=161$$

$$3) \text{Υ.Σ - Π.Ε 2 - Ε.Ε.4 - Δ.PPR 1 - Δ.PPR 2- Δ.PPR 3 - Δ.PPR 4 - Δ.PPR 5 - Δ.PPR 6- Π.Δ:} 0+15+21+26+29+31+30+35+50+0= 237$$

$$4) \text{Υ.Σ - Ο.Ε 3 - Ε.Ε.4 - Δ.PPR 1 - Δ.PPR 2- Δ.PPR 3 - Δ.PPR 4 - Δ.PPR 5 - Δ.PPR 6- Π.Δ:} 0+18+21+26+29+31+30+35+50+0= 240(\kappa.\delta)$$

$$5) \text{Υ.Σ-Ο.Ε 3- Ε.Ε.4-Θ.Σ 1- Θ.Σ 2 -Θ.Σ 3-Π.Δ:} 0+18+21+14+40+71+0=164$$

$$6) \text{Υ.Σ- Ο.Ε 3-Ε.Ε.4-Ε.Γ 1- Ε.Γ 2- Π.Δ:} 0+18+21+61+60+0=160$$

Όπως βλέπουμε η συνολική προθεσμία του έργου στην συγκεκριμένη μέθοδο αυξάνεται κατά 4 ημέρες σε σχέση με την μέθοδο της Κρίσιμης διαδρομής(CPM method) που βρήκαμε στην προηγούμενη ενότητα. Οπότε, σύμφωνα με το κεντρικό οριακό θεώρημα έχουμε:

Κρίσιμη διαδρομή μέσω τιμών μ Υ.Σ - μ Ο.Ε 3- μ Ε.Ε.4 - μ Δ.PPR 1- μ Δ.PPR 2- μ Δ.PPR 3- μ Δ.PPR 4- μ Δ.PPR 5- μ Δ.PPR 6- Π.Δ:**240(Ημέρες)** \approx **8 μήνες**

$$\begin{aligned} \text{Με τυπική απόκλιση } \sigma &= \sigma \text{Υ.Σ}^2 + \sigma \text{Ο.Ε 3}^2 + \sigma \text{Ε.Ε. 4}^2 + \sigma \text{Δ.PPR 1}^2 + \sigma \text{Δ.PPR 2}^2 - \\ &\sigma \text{Δ.PPR 3}^2 - \sigma \text{Δ.PPR 4}^2 - \sigma \text{Δ.PPR 5}^2 - \sigma \text{Δ.PPR 6}^2 - \sigma \text{Π.Δ}^2 = 0 + 1.17^2 + 1.17^2 + 1.17^2 + \\ &1.33^2 + 1.33^2 + 1^2 + 1.17^2 + 1.17^2 + 0 = \sqrt{7.245} = \mathbf{2.69(\eta\mu\acute{\epsilon}\rho\epsilon\varsigma)} \end{aligned}$$

Βάση του πίνακα κανονικής κατανομής στην υπό ενότητα 2.4, Έστω ότι θέλουμε να βρούμε πόσες πιθανότητες το έργο έχει να τελειώσει σε λιγότερο από 245 ημέρες δηλαδή να επιβεβαιώσουμε στην ουσία ότι σε 8 μήνες το έργο θα έχει τελειώσει.

Παίρνουμε την σχέση:

$$\begin{aligned} P(d \leq 245) &= P\left(\frac{d - \mu}{\sigma} \leq \frac{\tau - \mu}{\sigma}\right) = P\left(z \leq \frac{\tau - \mu}{\sigma}\right) = P\left(z \leq \frac{245 - 240}{2.69}\right) = P(z \leq 1.85) \\ &= 0.9687 \text{ ή } \mathbf{96.87\%} \end{aligned}$$

Στη συνέχεια θα υπολογίσουμε την πιθανότητα το έργο να τελειώσει από 230 έως 235 χρονικές μονάδες:

$$\begin{aligned} P(d \geq 233) &= P\left(\frac{d - \mu}{\sigma} \leq \frac{\tau - \mu}{\sigma}\right) = P\left(z \geq \frac{233 - 240}{2.69}\right) = P\left(z \geq \frac{-7}{2.69}\right) = P(z \geq -2.60) \\ &= 1 - \Phi(2.60) = 1 - 0.9953 = 0.0047 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(d \leq 235) &= P\left(\frac{d - \mu}{\sigma} \leq \frac{\tau - \mu}{\sigma}\right) = P\left(z \leq \frac{235 - 240}{\sigma}\right) = P\left(z \leq \frac{-5}{2.69}\right) = P(z \leq -1.85) \\ &= 1 - \Phi(1.85) = 1 - 0.9678 = 0.0322 \end{aligned}$$

$$P(233 \leq d \leq 235) = 0.0322 - 0.0047 = 0.0275 \text{ ή } \mathbf{2.75\%}$$

Ομοίως θα υπολογίσουμε την πιθανότητα να τελειώσει το έργο σε λιγότερο από 240 χρονικές μονάδες

$$\begin{aligned} P(d \leq 239) &= P\left(\frac{d - \mu}{\sigma} \leq \frac{\tau - \mu}{\sigma}\right) = P\left(z \leq \frac{239 - 240}{2.69}\right) = P\left(z \leq \frac{-1}{2.69}\right) = P(z \leq -0.37) \\ &= 1 - \Phi(0.37) = 1 - 0.6443 = 0.3557 \text{ ή } \mathbf{35.57\%} \end{aligned}$$

Βλέπουμε ότι με τα αποτελέσματα που βρήκαμε σίγουρα το έργο θα τελειώσει σε λιγότερες από 245 ημέρες, ότι σε λιγότερες από 239 ημέρες έχει λιγότερες πιθανότητες να τελειώσει, ενώ η πιθανότητα να τελειώσει σε λιγότερες από 235 μέρες είναι ελάχιστες.

Παρατηρούμε ότι η εφαρμογή της SIPOC λειτουργεί ως ένα διάγραμμα ροής, το οποίο μοιάζει πολύ με τη δομική ανάλυση του έργου που παρουσιάζεται στην υποενότητα 3.3. Αυτή η ανάλυση προσφέρει μια σαφή εικόνα του έργου, διευκολύνοντας την κατανόησή του ακόμη και από άτομα που δεν διαθέτουν εξειδικευμένες γνώσεις. Όπως βλέπουμε η μέθοδος SIPOC είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται για την χαρτογράφηση των διαδικασιών και τη βελτίωση της ποιότητας. Σε συνδυασμό με την μέθοδο CPM είτε με άλλα εργαλεία της Lean Six Sigma όπως το DMAIC (Define Measure Analyze Improve Control μπορεί να Βοηθήσει στον Χρονικό Προγραμματισμό. Όταν συνδυάζεται η μέθοδος SIPOC με το DMAIC, μπορεί να συμβάλει στο χρονικό προγραμματισμό λόγω της δομημένης προσέγγισης τους στην ανάλυση και βελτίωση των διαδικασιών).

4. Συγκριτική Αξιολόγηση των Μεθόδων

4.1. Πλεονεκτήματα & Μειονεκτήματα των Μεθόδων Χρονικού

Προγραμματισμού

Μετά την ανάλυση και την εφαρμογή κάθε μεθόδου (CPM, PERT, Gantt, SIPOC) στο έργο εκμετάλλευσης ενός γεωθερμικού πεδίου, είναι σημαντικό να εξετάσουμε συνολικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα αυτών των μεθόδων. Η κατανόηση αυτών των στοιχείων θα μας επιτρέψει να επιλέξουμε την κατάλληλη μέθοδο ή τον συνδυασμό μεθόδων για τη βέλτιστη διαχείριση χρόνου και πόρων στο έργο μας. Οι μέθοδοι χρονικού προγραμματισμού αποτελούν κρίσιμο εργαλείο στη διαχείριση έργων, ειδικά σε πολύπλοκα και μεγάλης κλίμακας έργα, όπως η εκμετάλλευση ενός γεωθερμικού πεδίου. Η σωστή εφαρμογή τους μπορεί να οδηγήσει σε βελτίωση της απόδοσης, μείωση του κόστους και έγκαιρη ολοκλήρωση των έργων. Παράλληλα όμως, κάθε μέθοδος φέρει τις δικές της προκλήσεις και περιορισμούς που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Στην συνέχεια, σκοπεύουμε να εξετάσουμε διεξοδικά τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε μεθόδου, προκειμένου να κατανοήσουμε καλύτερα πώς μπορούν να συνδυαστούν ή να προσαρμοστούν για την επιτυχή διαχείριση έργων εκμετάλλευσης γεωθερμικών πεδίων. Η σωστή επιλογή και εφαρμογή της κατάλληλης μεθόδου είναι καθοριστική για την επίτευξη των στόχων του έργου και τη διασφάλιση της βέλτιστης χρήσης των πόρων και του χρόνου.

5.1.1 Πλεονεκτήματα μεθόδων χρονικού προγραμματισμού

Παρακάτω αναλύονται τα πλεονεκτήματα για κάθε μέθοδο ξεχωριστά.

4.1.1.1 Μέθοδος CPM (Critical path method)

- Προσδιορίζει τις παράλληλες εκτελέσιμες δραστηριότητες: Όπως είδαμε και με το έργο που μας ενδιαφέρει, ορισμένες εργασίες μπορούν να διεξάγονται ταυτόχρονα για να επιτευχθεί καλύτερη αποδοτικότητα και διαχείριση του χρόνου του έργου, αλλά και πιο σωστή διαχείριση των πόρων του έργου π.χ. Ανέγερση κτηρίου Θερμικού Σταθμού-Κατασκευή δικτύων PPR-Εξόρυξη Γεωτρήσεων.
- Βοηθά στον εντοπισμό των κρίσιμων στοιχείων: Βοηθάει τον διαχειριστή του έργου να καταλάβει τα πιο σημαντικά αλλά και τα αδύναμα στοιχεία του έργου π.χ. Κατασκευή δικτύων PPR.
- Παρέχει πρακτική και πειθαρχημένη βάση: Προσφέρει μια συστηματική προσέγγιση για τον καθορισμό και την επίτευξη των στόχων του έργου.

- Είναι αποτελεσματική στη διαχείριση μεγάλων έργων: Αποδεικνύεται χρήσιμη και αποτελεσματική σε μεγάλα έργα με πολλές εργασίες, όπως το έργο που μας ενδιαφέρει στην παρούσα ΜΔΕ, εξασφαλίζοντας καλύτερο έλεγχο και πρόοδο.
- Ενισχύει την ομαδική αντίληψη: Όταν εφαρμόζεται μπορούν οι στόχοι του έργου να κατανοηθούν από όλες τις ομάδες του έργου για καλύτερη συνεργασία.
- Παρέχει μια λεπτομερή ανάλυση των σχέσεων εξάρτησης των δραστηριοτήτων: Δείχνει τις εξαρτήσεις μεταξύ των δραστηριοτήτων, διευκολύνοντας τον προγραμματισμό των μεμονωμένων εργασιών.
- Απεικονίζει δραστηριότητες και αποτελέσματα ως διάγραμμα δικτύου: Κάθε είδος εργασίας του έργου την παρουσιάζει σε μορφή δικτύου, κάτι που βοηθάει στην παρακολούθηση του έργου
- Παρέχει συνοπτική τεκμηρίωση: Προσφέρει μια σαφή και περιεκτική διαδικασία για την τεκμηρίωση του έργου.
- Βοηθά στον προσδιορισμό του ελεύθερου και του ολικού χρονικού περιθωρίου: Εντοπίζει το περιθώριο του χρόνου εκτέλεσης της κάθε εργασίας, έτσι ώστε να υπάρξουν στιγμές χαλάρωσης.
- Αναπτύσσει τεκμηριωμένη προσέγγιση επικοινωνίας: Παρέχει μια σαφή και λεπτομερή προσέγγιση για την επικοινωνία των σχεδίων, των χρονοδιαγραμμάτων, της απόδοσης χρόνου και κόστους.
- Χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία: Χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον σε όλες τις επιχειρήσεις και κυρίως έχει εφαρμογή σε τεχνικά έργα.
- Βοηθά στη βελτιστοποίηση της διάρκειας του έργου: Συνεισφέρει στη βελτιστοποίηση της συνολικής διάρκειας του έργου μέσω της σωστής διαχείρισης των κρίσιμων μονοπατιών.

4.1.1.2 Μέθοδος PERT (Program Evaluation and Review Technique)

- Αντιμετωπίζει την αβεβαιότητα στον χρόνο των δραστηριοτήτων: Για να γίνει ακριβής εκτίμηση της διάρκειας μιας δραστηριότητας, ο διαχειριστής του έργου χρειάζεται να έχει προηγούμενη εμπειρία σε παρόμοιες εργασίες. Η συγκεκριμένη μέθοδος βοηθά στην αποφυγή τέτοιων σφαλμάτων, καθώς η διάρκεια υπολογίζεται προσεγγιστικά με βάση τρεις χρονικές εκτιμήσεις (αισιόδοξη, πιθανότερη και απαισιόδοξη).
- Ακριβής Προγραμματισμός και Παρακολούθηση Προόδου: Με την χρήση του δικτύου PERT, οι διαχειριστές του έργου μπορούν να παρακολουθούν με μεγαλύτερη ακρίβεια την πρόοδο του έργου. Αυτό επιτρέπει να φανούν οποίες καθυστερήσεις μπορεί να προκύψουν στο έργο για την γρήγορη αντιμετώπιση τους, καθώς και την προσαρμογή σχεδίων για την επίτευξη των στόχων.

- Εντοπισμός Κρίσιμων Δραστηριοτήτων: Επιτρέπει στην ταυτοποίηση των κρίσιμων δραστηριοτήτων που επηρεάζουν άμεσα το συνολικό χρονοδιάγραμμα του έργου. Αυτό βοηθά τους διαχειριστές να επικεντρώνονται στις δραστηριότητες που απαιτούν προτεραιότητα και να λαμβάνουν προληπτικά μέτρα για την αποφυγή καθυστερήσεων.
- Διευκόλυνση στην λήψη αποφάσεων: Η συγκεκριμένη μέθοδος παρέχει σαφή και τεκμηριωμένα δεδομένα που βοηθούν τους υπεύθυνους έργου να λαμβάνουν ενημερωμένες αποφάσεις. Αυτό περιλαμβάνει την εκτίμηση των επιπτώσεων των πιθανών αλλαγών και την προσαρμογή των στρατηγικών.
- Συνεργασία μεταξύ των ομάδων: Η γραφική απεικόνιση των δραστηριοτήτων και των χρονοδιαγραμμάτων με την χρήση δικτυωτών γραφημάτων διευκολύνει την κατανόηση και την επικοινωνία των μελών της ομάδας του έργου, προάγοντας την καλύτερη συνεργασία.
- Αύξηση της πιθανότητας έγκαιρης ολοκλήρωσης: Με την αντιμετώπιση των αβεβαιοτήτων στον χρόνο, συμβάλει στην αύξηση της πιθανότητας έγκαιρης ολοκλήρωσης του έργου, μειώνοντας πιθανές καθυστερήσεις.
- Προσαρμογή και ευελιξία: Η μέθοδος PERT είναι ευέλικτη και μπορεί να προσαρμοστεί σε διαφορετικούς τύπους έργων και συνθήκες. Επιτρέπει την τροποποίηση των χρονοδιαγραμμάτων και των σχεδίων δράσης, ανάλογα με τις ανάγκες του έργου και τις αλλαγές που προκύπτουν (Μαγκλάρας, 2023).

4.1.1.3 Διάγραμμα Gantt

- Οπτική απεικόνιση Χρονοδιαγράμματος: Όπως είδαμε και στην ενότητα που αναλύσαμε το διάγραμμα Gantt, προσφέρει μια ξεκάθαρη οπτική απεικόνιση του χρονοδιαγράμματος που μπορεί να κατανοηθεί ακόμη και από προσωπικό χωρίς καμία ιδιαίτερη εξειδίκευση. Επίσης, βοηθάει στην εύκολη κατανόηση και της αλληλουχίας και της διάρκειας των δραστηριοτήτων.
- Ακριβής παρακολούθηση προόδου: Διευκολύνει την παρακολούθηση της προόδου του έργου και την ανίχνευση καθυστερήσεων, επιτρέποντας γρήγορες διορθωτικές ενέργειες.
- Κατανομή πόρων και αποτελεσματική διαχείριση του κόστους: Διευκολύνει τον προγραμματισμό και την κατανομή των πόρων, διασφαλίζοντας ότι οι απαραίτητοι πόροι είναι διαθέσιμοι όταν χρειάζονται. Επίσης όπως είδαμε στον πίνακα 2.3.2&2.3.3 μπορούμε να διαχειριστούμε το κόστος κάθε εργασίας ανά ημέρα αλλά και το συνολικό αθροιστικό κόστος ολόκληρου του έργου.
- Ευκολία προσαρμογής και διαχείρισης: Παρέχει δυνατότητα εύκολης τροποποίησης των χρονοδιαγραμμάτων με τη μεταφορά και απόθεση των εργασιών, βελτιώνοντας την προσαρμοστικότητα του έργου.

- Ενίσχυση της λήψης αποφάσεων: Παρέχει στους διαχειριστές έργων τα δεδομένα που χρειάζονται για να λαμβάνουν ενημερωμένες αποφάσεις και να προσαρμόζουν τη στρατηγική του έργου με βάση την πραγματική πρόοδο και τις ανάγκες.
- Συντονισμός ομάδας: Βελτιώνει τον συντονισμό και τη συνεργασία μεταξύ των μελών της ομάδας, διευκολύνοντας την επικοινωνία και την κοινή κατανόηση των στόχων και των προθεσμιών.
- Εντοπισμός κρίσιμων δραστηριοτήτων: Βοηθά στον εντοπισμό των κρίσιμων δραστηριοτήτων που επηρεάζουν το συνολικό χρονοδιάγραμμα του έργου, επιτρέποντας στους διαχειριστές να δώσουν προτεραιότητα σε αυτές.

4.1.1.4 Μέθοδος SIPOC((Suppliers-Inputs-Process-Outputs-Costumers)

- Εντοπισμός όλων των βασικών παραγόντων και απαιτήσεων: Καταγράφει τις κρίσιμες παραμέτρους που σχετίζονται με την ποιότητα, τις εισροές, τις διαδικασίες και τα παραγόμενα αποτελέσματα.
- Εντοπισμός προμηθευτών και εισροών: Στο παράδειγμά μας_ αναγνώρισε σαν suppliers την κατασκευαστική εταιρεία και τους προμηθευτές οικοδομικών και χωματουργικών υλικών και τις εισροές(υλικά) που είναι απαραίτητες για τις διαδικασίες π.χ. την κατασκευή του έργου της εκμετάλλευσης του γεωθερμικού πεδίου.
- Εντοπισμός εκροών και πελατών: Προσδιορίζει τα παραγόμενα αποτελέσματα και τους πελάτες που θα τα λάβουν π.χ. κάτοικοι του χωριού και δημόσια κτήρια.
- Εντοπισμός εμποδίων και βασικών παραγόντων: Αναγνωρίζει τα πιθανά εμπόδια σε μια διαδικασία καθώς και τους παράγοντες-κλειδιά για την επιτυχία της (Χριστακόπουλος, 2016).

4.1.2 Μειονεκτήματα των μεθόδων χρονικού προγραμματισμού

4.1.2.1 Μέθοδος CPM (Critical path method)

- Εστιάζει μόνο στον χρόνο: Από την εφαρμογή της CPM είδαμε ότι η μέθοδος εστιάζει μόνο στον χρονικό προγραμματισμό του έργου και όχι στην διαχείριση των πόρων και του κόστους π.χ.(Προγραμματισμό του προσωπικού, Κόστος υλικών κ.λ.π).Γι' αυτό και σήμερα σε λογισμικά όπως το MS PROJECT ή το Primavera συνδυάζει την συγκεκριμένη μέθοδο με διάγραμμα Gantt για την μέγιστη αποτελεσματικότητα στην διαχείριση ενός έργου.

- Πιθανότητα ανθρώπινων σφαλμάτων: Η δημιουργία και η ενημέρωση του CPM μπορεί να είναι επιρρεπής σε ανθρώπινα λάθη, τα οποία μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την ακρίβεια του προγραμματισμού.
- Εκτεταμένη συλλογή δεδομένων: Η μέθοδος απαιτεί αναλυτική και λεπτομερή συλλογή δεδομένων για κάθε δραστηριότητα, κάτι που μπορεί να είναι πολύ χρονοβόρο.
- Δύσκολη προσαρμοστικότητα σε τυχόν απρόβλεπτες αλλαγές: Σε περίπτωση αλλαγών όπως λάθος μελέτη ή προσθήκη νέων εργασιών από τον Κύριο του έργου, θα πρέπει να ξανά εφαρμοστεί η μέθοδος από την αρχή για να δούμε αν άλλαξε η κρίσιμη διαδρομή ή αν θέλει τροποποίηση το χρονοδιάγραμμα του έργου.
- Περιορισμένη προσαρμοστικότητα σε πολύπλοκα έργα: Για μεγαλύτερα έργα τα δίκτυα CPM μπορεί να είναι πολύπλοκα για τον αναγνώστη, καθώς επίσης και η ανάγκη για προσδιορισμό των σχέσεων αλληλουχίας μπορεί να γίνεται περίπλοκη.

4.1.2.2 Μέθοδος PERT (Program Evaluation and Review Technique)

- Αβεβαιότητα Εκτιμήσεων: Οι εκτιμήσεις χρόνου στην PERT βασίζονται σε προβλέψεις που μπορεί να μην είναι πάντα ακριβείς. Αυτό οφείλεται στο ότι στηρίζεται σε υποκειμενικές εκτιμήσεις των χρόνων ολοκλήρωσης, οι οποίες μπορεί να διαφέρουν σημαντικά από την πραγματικότητα. Ένα παράδειγμα που μπορούμε να αναλύσουμε για το έργο που εφαρμόσαμε στην μέθοδο είναι η εξόρυξη των γεωτρήσεων, η αρχική εκτίμηση είναι 60 ημέρες, βασισμένη σε προηγούμενα παρόμοια έργα. Ωστόσο, αν αντιμετωπιστούν τεχνικές δυσκολίες ή αν βρεθεί πιο σκληρό υπέδαφος από το αναμενόμενο, η διαδικασία μπορεί να παραταθεί σε τουλάχιστον 20 ημέρες για την καθεμία.
- Πολυπλοκότητα Διαχείρισης σε μεγάλα έργα: Η PERT μπορεί να είναι περίπλοκη στη διαχείριση, ειδικά για μεγάλα έργα με πολλές δραστηριότητες. Η ανάγκη για λεπτομερή ανάλυση και καταγραφή κάθε δραστηριότητας μπορεί να καταστήσει τη μέθοδο χρονοβόρα και δύσκολη στην εφαρμογή.
- Δυσκολία σε προσαρμογή και αλλαγή του χρονοδιαγράμματος: Σε περίπτωση αλλαγής σε ένα έργο, Η PERT μπορεί να δυσκολευτεί να προσαρμοστεί γρήγορα. Η αλλαγές προϋποθέτουν επανεκτίμηση της μεθόδου και του δικτύου κάτι που γίνεται πολύ χρονοβόρο, ένα παράδειγμα πάλι στην εξόρυξη κάποιας γεώτρησης, ίσως στις δοκιμές δεν έχουμε τα αναμενόμενα αποτελέσματα των κυβικών νερού που μπορεί να αποθηκεύσει η γεώτρηση της επανεισαγωγής, οπότε ίσως χρειαστεί η κατασκευή μιας επιπλέον γεώτρησης επηρεάζοντας πολλές από τις επόμενες δραστηριότητες.

- Αγνόηση ποιοτικών παραγόντων : Η μέθοδος επικεντρώνεται κυρίως στον χρόνο και στις χρονικές εκτιμήσεις και όχι σε παράγοντες όπως τους ανθρώπινους πόρους ή το κόστος. Έστω λοιπόν ότι εγκατάσταση στο εργοτάξιο ενός εξοπλισμού είναι σωστή στην χρονική εκτίμηση, αλλά το κόστος των υλικών έχει δραματική αύξηση λόγω απρόβλεπτων παραγόντων. Η PERT δεν μπορεί να εκτιμήσει καμία υπέρβαση κόστους για την συγκεκριμένη λοιπόν πρόβλεψη θα πρέπει να συνδυαστεί με άλλο εργαλείο προγραμματισμού για μέγιστα αποτελέσματα. (Μαγκλάρας, 2023).

4.1.2.3 Διάγραμμα Gantt

- Δυσχέρεια στη διαχείριση σχέσης χρόνου-κόστους: Δεν προσφέρει τη δυνατότητα βελτιστοποίησης της εκτέλεσης του έργου με τον κατάλληλο συνδυασμό χρόνου, ανθρώπινου δυναμικού και κόστους.
- Δυσκολίες στη διαχείριση εξαρτήσεων: Το διάγραμμα Gantt δεν απεικονίζει με σαφήνεια τις αλληλεξαρτήσεις των εργασιών. Η έναρξη μιας δραστηριότητας δεν φαίνεται να εξαρτάται από την ολοκλήρωση μιας άλλης, εκτός από τα μικρά διαγράμματα, όπως αναφέρθηκε στην υποενότητα 2.3, όπου οι αλληλεξαρτήσεις είναι ευκολότερο να προσδιοριστούν. Ωστόσο, σε μεγάλα έργα, όπου οι δραστηριότητες είναι εκατοντάδες, η απεικόνιση των αλληλεξαρτήσεων γίνεται πολύ δύσκολη και δεν αποδίδεται αποτελεσματικά στο διάγραμμα Gantt (Πολύζος, 2018).

4.1.2.4 Μέθοδος SIPOC((Suppliers-Inputs-Process-Outputs-Costumers)

- Πιθανή προβλεπόμενη πολυπλοκότητα ορισμένων διαδικασιών: Σε τεχνικά έργα, υπάρχει η πιθανότητα να παραλειφθούν σημαντικές τεχνικές λεπτομέρειες των διαδικασιών λόγω της εστίασης στα βασικά στοιχεία της μεθόδου SIPOC.
- Μειωμένη αποτελεσματικότητα σε πολύπλοκες διαδικασίες ή με πολλά επίπεδα διαδικασιών: Ορισμένες φορές, η μέθοδος SIPOC δεν παρέχει επαρκή αντιμετώπιση πολύπλοκων τεχνικών προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν κατά την εκτέλεση του τεχνικού έργου.
- Περιορισμένη ευελιξία στην προσαρμογή: Η SIPOC μπορεί να είναι λιγότερο ευέλικτη στην προσαρμογή σε αλλαγές ή προβλήματα που προκύπτουν κατά τη διάρκεια του τεχνικού έργου, καθώς δεν επικεντρώνεται σε αναλυτικές τεχνικές λύσεις.
 - Περιορισμένη προβλεψιμότητα του χρόνου: Η SIPOC δεν παρέχει επαρκή πρόβλεψη για τον χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση κάθε σταδίου της διαδικασίας.

4.2. Επιλογή της καταλληλότερης Μεθόδου στο έργο εκμετάλλευσης του Γεωθερμικού πεδίου

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενες ενότητες, η λανθασμένη εκτίμηση του προγραμματισμού του έργου εκμετάλλευσης ενός γεωθερμικού πεδίου από τον Project Manager της εταιρείας οδήγησε στη χρέωση της εταιρείας με ποινικές ρήτρες λόγω της υπέρβασης του χρόνου της συμβατικής προθεσμίας του έργου. Με την εφαρμογή των μεθόδων, καταφέραμε να δείξουμε ότι με τον σωστό προγραμματισμό αυτό δεν θα είχε συμβεί.

Για να βρούμε την καταλληλότερη μέθοδο, θα αποκλείσουμε μερικές μεθόδους.

Μέθοδος SIPOC: Παρόλο που είναι απλοϊκή στην εφαρμογή της και βοηθάει στην ανάλυση όλων των βασικών παραγόντων και απαιτήσεων που απαιτούνται για την εκτέλεση του έργου. Ωστόσο, για να θεωρηθεί μέθοδος χρονικού προγραμματισμού σε ένα τεχνικό έργο, θα πρέπει να συνδυαστεί με άλλα εργαλεία της Lean Six Sigma, καθώς η SIPOC δεν μπορεί να εκτιμήσει διάρκειες εργασιών, κάτι που για τεχνικά έργα είναι ουσιώδες.

Και η μέθοδος PERT αλλά και η μέθοδος CPM με δικτυωτά γραφήματα είναι πολύ χρήσιμες για τον χρονικό προγραμματισμό των τεχνικών έργων. Το ποια μέθοδος είναι η κατάλληλη απάντηση εξαρτάται από την εκτίμηση της διάρκειας των δραστηριοτήτων. Θα επέλεγα τη μέθοδο CPM (Critical Path Method) με δικτυωτά γραφήματα. Η CPM είναι καλύτερα προσαρμοσμένη για τη διαχείριση έργων, ενώ παρέχει σαφείς και ακριβείς προβλέψεις χρόνου για κάθε εργασία. Επιπλέον, η CPM επιτρέπει την εύκολη αναγνώριση του κρίσιμου μονοπατιού (Critical Path), που είναι το μονοπάτι με τη μεγαλύτερη διάρκεια και καθορίζει το συνολικό χρόνο ολοκλήρωσης του έργου. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε έργα με στενές προθεσμίες ή περιορισμένους πόρους, όπως η εκμετάλλευση γεωθερμικών πεδίων όπου ο χρόνος είναι κρίσιμος παράγοντας. Η PERT είναι πιο κατάλληλη για έργα όπου οι εκτιμήσεις των χρόνων είναι αβέβαιες ή πιθανόν να υπάρχουν πολλές διαφορετικές εκτιμήσεις για την ίδια εργασία.

Ως εκ τούτου, η PERT χρησιμοποιεί βάρη για τις εκτιμήσεις των χρόνων και προσφέρει μια πιο πιθανοτική προσέγγιση για τον χρονικό προγραμματισμό. Επιπλέον, η PERT μπορεί να αναδείξει τις πιθανές διακυμάνσεις στους χρόνους ολοκλήρωσης και να βοηθήσει στον προσδιορισμό της πιο πιθανής διαδρομής για το έργο. Λόγω του ότι τον χρονικό προγραμματισμό τον εφάρμοσα γνωρίζοντας τη διάρκεια της κάθε εργασίας, καθώς η εργασιακή μου εμπειρία ήταν πάνω σε ένα τέτοιο έργο, η πιο ασφαλής μέθοδος είναι στην παρούσα φάση **είναι η CPM με δικτυωτά γραφήματα**.

5. Οικονομικός προγραμματισμός στο έργο εκμετάλλευσης του Γεωθερμικού

5.1 Διαχείριση Πόρων -Διαδικασία Εξομάλυνσης Πόρων

Η διαχείριση πόρων περιλαμβάνει τις διαδικασίες εντοπισμού, απόκτησης και διαχείρισης των απαραίτητων πόρων για την επιτυχή ολοκλήρωση ενός έργου. Αυτές οι διαδικασίες διασφαλίζουν ότι οι κατάλληλοι πόροι είναι διαθέσιμοι στον διαχειριστή και την ομάδα του έργου, στον κατάλληλο χρόνο και τόπο. Η αποτελεσματικότητα του έργου και η δυνατότητα των ομάδων να απορροφούν γνώσεις εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις πρακτικές διαχείρισης των ανθρώπινων πόρων που εφαρμόζονται στο έργο. Υπάρχει διάκριση ανάμεσα στις ικανότητες και δεξιότητες που απαιτούνται από τον διαχειριστή έργου για τη διαχείριση των πόρων της ομάδας σε σχέση με τους φυσικούς πόρους. Οι φυσικοί πόροι περιλαμβάνουν τα εργαλεία, τα υλικά, τις εγκαταστάσεις και τις υποδομές. Οι πόροι της ομάδας ή το προσωπικό αναφέρονται στους ανθρώπινους πόρους. Το προσωπικό μπορεί να έχει ποικίλες δεξιότητες, να εργάζεται μερικώς ή πλήρως και να προστίθεται ή να αφαιρείται καθώς το έργο εξελίσσεται (Poraitoon κ.α, 2014).

Μερικές τεχνικές για την ορθή εκτίμηση των πόρων μιας εργασίας είναι:

- Κρίση εμπειρογνομόνων

Η εμπειρία αναζητείται από εκείνους που έχουν εξειδικευμένες γνώσεις ή έχουν κάνει αντίστοιχες εκτιμήσεις για παρόμοιες, προηγούμενες εργασίες. Ένα παράδειγμα είναι ο προσδιορισμός του εξοπλισμού για την κατασκευή ενός δικτύου PPR, όπου η μόνη διαφορά με την κατασκευή ενός δικτύου ύδρευσης είναι οι προδιαγραφές των σωλήνων. Ένας έμπειρος μηχανικός που έχει συμμετάσχει σε έργο ύδρευσης μπορεί να κρίνει τους πόρους που χρειάζονται για την κατασκευή του δικτύου PPR.

- Εκτίμηση από κάτω προς τα πάνω

Ένας διαχειριστής έργου, όσο έμπειρος και αν είναι, θα πρέπει να λαμβάνει τη γνώμη τόσο του τεχνίτη που θα εργαστεί όσο και του μηχανικού του εργοταξίου που έχει υπό την ευθύνη του κάποιες εργασίες. Με αυτόν τον τρόπο θα ελαχιστοποιήσει τυχόν παραλείψεις που μπορεί να επιφέρουν καθυστερήσεις στο έργο.

- Αναλογική εκτίμηση

Η αναλογική εκτίμηση χρησιμοποιεί πληροφορίες από προηγούμενα παρόμοια έργα. Είναι μια γρήγορη μέθοδος εκτίμησης και χρησιμοποιείται όταν έχουν προσδιοριστεί μόνο τα υψηλά επίπεδα της δομικής ανάλυσης των εργασιών.

- Συναντήσεις

Οι συναντήσεις περιλαμβάνουν συναντήσεις του διαχειριστή του έργου με τους διευθυντές λειτουργίας για την εκτίμηση των πόρων που απαιτούνται για κάθε δραστηριότητα. Συμμετέχοντες στις συναντήσεις μπορεί να είναι τα μέλη της ομάδας έργου που είναι υπεύθυνα για την εκτίμηση, εμπειρογνώμονες με γνώσεις στις τεχνικές εκτίμησης, και ο χορηγός του έργου (Βαγιωνά, 2021).

Οι πόροι ταξινομούνται με βάση το είδος (κατηγορία και τύπος πόρου, είδος εργασιών που εκτελεί, παραγωγικότητα, κόστος), τον τρόπο χρήσης (αναλώσιμοι πόροι, π.χ. υλικά, μη αναλώσιμοι πόροι, π.χ. προσωπικό), και τη διαθεσιμότητα (διαθέσιμοι: εξοπλισμός γενικής χρήσης, σπάνιοι: εξειδικευμένοι σύμβουλοι, δυσεύρετα υλικά, και τα τελευταία χρόνια ακόμα και ανειδίκευτοι εργάτες). Το ζήτημα της κατανομής πόρων προκύπτει όταν οι απαιτούμενοι πόροι για την κατασκευή του έργου είναι περιορισμένοι και, συνεπώς, ο χρονικός προγραμματισμός πρέπει να διασφαλίζει ότι σε κανένα σημείο του έργου δεν θα ξεπερνιέται η διαθεσιμότητά τους. Επιπλέον, ακόμη και αν οι διαθέσιμοι πόροι είναι επαρκείς, υπάρχει το ζήτημα της εξομάλυνσης των αιχμών απασχόλησης/χρήσης. Στόχος είναι να διατηρείται η απασχόληση/χρήση των πόρων όσο το δυνατόν σταθερή, αποφεύγοντας φαινόμενα υπεραπασχόλησης/υπερχρησιμοποίησης ή υποαπασχόλησης/υποχρησιμοποίησης.

Η ανάλυση πόρων απαιτεί αρχικό χρονοδιάγραμμα εκτέλεσης των εργασιών και περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

- Εκτίμηση του είδους και της ποσότητας των απαραίτητων πόρων για κάθε εργασία.
- Καθορισμός της συνολικής ανάγκης για πόρους του έργου σε κάθε χρονική περίοδο, βάσει του χρονοδιαγράμματος εκτέλεσης των εργασιών.
- Σχεδίαση του Ιστογράμματος κατανομής πόρων στον χρόνο.
- Καταγραφή του διαθέσιμου αριθμού πόρων κατά είδος.
- Σύγκριση των απαιτούμενων και διαθέσιμων πόρων ανά είδος και υπολογισμός της υποαπασχόλησης ή ανεπάρκειας των πόρων.
- Εξομάλυνση των διαγραμμάτων πόρων με χρονική μετατόπιση επιλεγμένων εργασιών μέσα στα χρονικά περιθώριά τους.

- Αναπρογραμματισμός των εργασιών σύμφωνα με τους περιορισμούς διαθεσιμότητας των πόρων, όπου χρειάζεται.
- Αναπρογραμματισμός των εργασιών βάσει των χρονικών περιορισμών ολοκλήρωσης του έργου, όπου απαιτείται (Χασιακός κ.α, 2003).

Παράδειγμα: Έστω ότι έχουμε ένα έργο με 9 δραστηριότητες και προθεσμία εκτέλεσης του έργου 19 ημερών. Παρακάτω ο πίνακας χρονικών μεγεθών των δραστηριοτήτων με τα ολικά περιθώρια τους.

Δραστηριότητα	Προ απαιτούμενη	Πόροι	Διάρκεια	Ενωρίτεροι Χρόνοι		Βραδύτεροι Χρόνοι		TF
				ES	EF	LS	LF	
A	-	3	2	0	2	6	8	6
B	-	4	3	0	3	0	4	1
Γ	-	3	4	0	4	0	4	0(κδ)
Δ	A,B	3	5	3	8	8	13	5
E	B	2	6	3	9	4	10	1
Z	B,Γ	4	6	4	10	4	10	0(κδ)
H	E,Z	4	5	10	15	10	15	0(κδ)
Θ	Δ	2	6	8	14	13	19	5
I	H	4	2	15	17	17	19	2
K	Z,H	3	4	15	19	15	19	0(κδ)

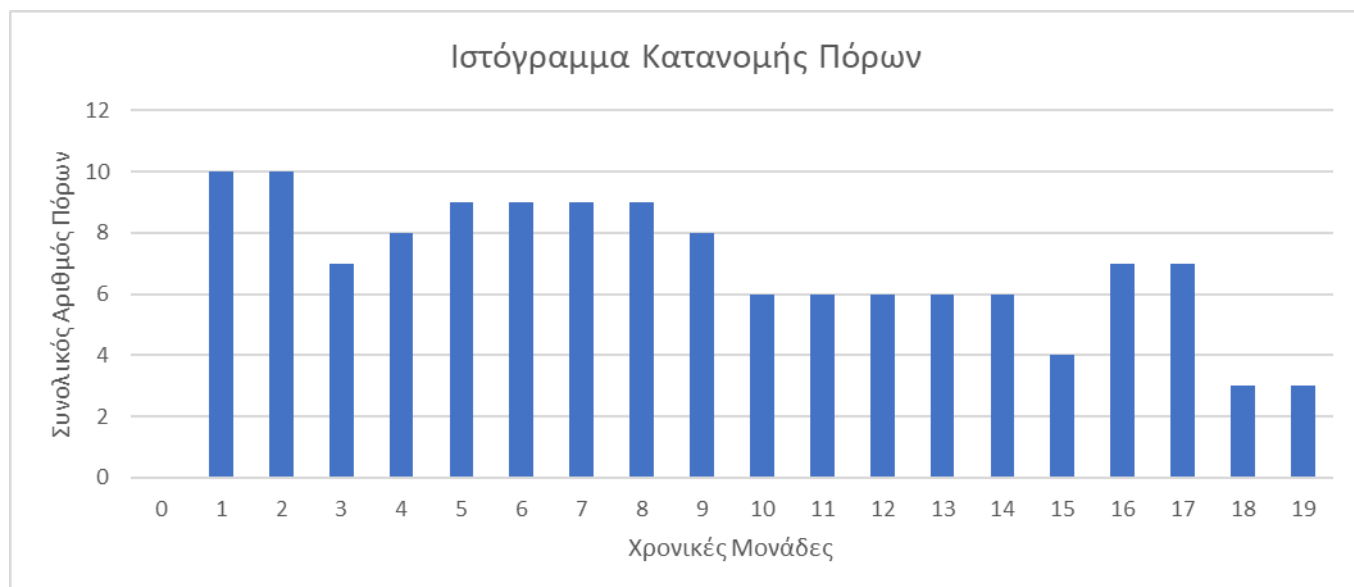
Πίνακας 15 Εκτίμηση Πόρων Εργασιών-Υπολογισμός Χρονικών Μεγεθών

Το πρώτο μας βήμα είναι να σχεδιάζουμε το διάγραμμα Gantt με τις ενωρίτερες ενάρξεις και το ενωρίτερο πέρας των δραστηριοτήτων, καθώς επίσης και με τους πόρους ανα ημέρα που απαιτούνται για κάθε ημέρα ξεχωριστά για κάθε δραστηριότητα αλλά και συνολικά για την κάθε ημέρα. Εενσωματώνω παρακάτω πίνακα Excel:

Ημέρες																						
Δραστηρ.	(Διάρκεια)	(Πόροι)																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
A	2	3	3																			
B	3	4	4	4																		
Γ	4	3	3	3	3																	
Δ	5	3			3	3	3	3	3													
E	6	2			2	2	2	2	2	2												
Z	6	4				4	4	4	4	4	4											
H	5	4										4	4	4	4	4						
Θ	6	2								2	2	2	2	2	2							
I	6	2															4	4				
K	4	3															3	3	3	3		
Ιστόγραμμα		10	10	7	8	9	9	9	9	8	6	6	6	6	6	4	7	7	3	3		
Αθροιστική τιμή πόρων		10	20	27	35	44	53	62	71	79	85	91	97	103	109	113	120	127	130	133		

Πίνακας 16 Διάγραμμα Gantt-Πόροι ανά Εβδομάδα

Παρακάτω σχεδιάζουμε το Ιστόγραμμα πόρων βάση του αρχικού Υπολογισμού μας:



Εικόνα 12 Ιστόγραμμα Κατανομής πόρων

Μετά, πρέπει να καθορίσουμε το επίπεδο αξιοποίησης των πόρων. Το επίπεδο αυτό αντιπροσωπεύει την ποσοτική μέτρηση της επίτευξης των στόχων εξομάλυνσης. Σε μια ιδανική κατάσταση, όπου οι διαθέσιμοι πόροι κατανέμονται σωστά καθ' όλη τη διάρκεια του έργου, η αξιοποίηση των πόρων φτάνει την τιμή 1. Βρίσκουμε πρώτο τον μέσο απαιτούμενο πόρο ανα ημέρα $133(\text{Πόρους})/19(\text{ημέρες})=7$

Βαθμός αξιοποίησης πόρων= Μέση τιμή απαιτούμενου πόρου/Μέγιστη τιμή απαιτούμενου πόρου=7/10=0.7

Για την καλύτερη κατανόηση της μεθόδου εξομάλυνσης των πόρων θα εφαρμόσουμε κάποιες παραδοχές για την καλύτερη εξομάλυνση :

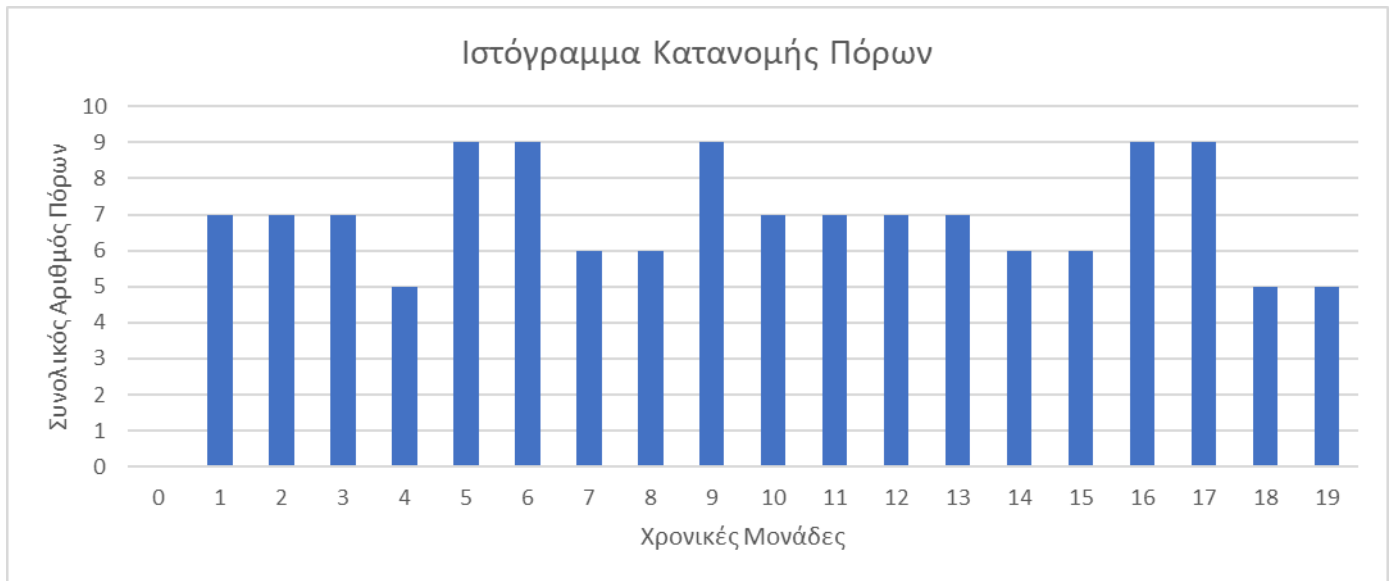
Παραδοχή 1

Χρονική μετατόπιση εντός του ολικού περιθωρίου των εργασιών χωρίς να αλλάξει η διάρκεια του έργου και χωρίς να αλλάξουν οι σχέσεις αλληλουχίας και η κρίσιμη διαδρομή του έργου. (Παρακάτω ενσωματωμένος πίνακας excel)

Δραστηρ. (Διάρκεια) (Πόροι)			Ημέρες																		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
A	2	3					3	3													
B	3	4	4	4	4																
Γ	4	3	3	3	3	3															
Δ	5	3									3	3	3	3	3						
E	6	2				2	2	2	2	2											
Z	6	4				4	4	4	4	4	4										
H	5	4											4	4	4	4	4				
Θ	6	2														2	2	2	2	2	2
I	6	4																4	4		
K	4	3																3	3	3	3
Ιστογράμμο			7	7	7	5	9	9	6	6	9	7	7	7	7	6	6	9	9	5	5
Αθροιστική τιμή πόρων			7	14	21	26	35	44	50	56	65	72	79	86	93	99	105	114	123	128	133

Πίνακας 17 Εξομάλυνση Πόρων- Παραδοχή 1

Μετακίνηση της πρώτης δραστηριότητας κατά 2 χρονικές μονάδες, Μετακίνηση της τέταρτης δραστηριότητας κατά 5 χρονικές μονάδες όσο είναι το ολικό της περιθώριο η σθδκεκριμένη έχει γίνει κρίσιμη δραστηριότητα όπως και μετακίνηση της 7^{ης} δραστηριότητας όσο είναι το ολικό της περιθώριο. Βλέπουμε λοιπόν ότι η μέγιστη τιμή απαιτούμενου πόρου έχει πάρει την τιμή 9 άρα ο βαθμός αξιοποίησης πλέον διαμορφώνεται $7/9=0.777$ και η εξομάλυνσή του Ιστογράμματος έχει ως εξής:



Εικόνα 13 Ιστόγραμμα Κατανομής Πόρων-Παραδοχή 1

Παραδοχή 2

Έστω ότι θέλουμε Μέγιστη απαιτούμενη τιμή πόρου 7 ανά ημέρα και οι πόροι που διαθέτουμε μπορούν να εκτελέσουν οποιαδήποτε εργασία. Για να πετύχουμε την παραδοχή αυτή ίσως χρειαστεί να μετακινηθούν δραστηριότητες εντός και πέρα των περιθωρίων τους, επιπλέον ίσως επιμηκυνθεί το έργο μερικές ημέρες τόσες ώστε να μην υπάρξει ζημία στην επιχείρηση. Πολλές φορές για να αξιοποιήσεις σωστά τους πόρους της μια επιχείρηση μπορεί να επιμηκύνει το έργο ελάχιστα στην διάρκεια του για να μην υπάρξει υποαπασχόληση αλλά ταυτόχρονα και ζημία στην επιχείρηση. Πάντα χωρίς να αλλάξουν οι σχέσεις αλληλουχίας του έργου. Όποτε η συγκεκριμένη παραδοχή διαμορφώνει το διάγραμμα ως εξής:

Δραστήρι (Διάρκεια)		Ημέρες																					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
A	2	3			3	3																	
B	3	4	4	4	4																		
Γ	4	3	3	3	3																		
Δ	5	3									3	3	3	3	3								
E	6	2					2	2	2	2	2	2											
Z	6	4				4	4	4	4	4	4												
H	5	4										4	4	4	4	4							
Θ	6	2														2	2	2	2	2	2		
I	6	4															4	4					
K	4	3																	3	3	3	3	
Ιστογράμμο		7	7	7	6	7	6	6	6	6	5	7	7	7	7	6	6	6	5	5	5	3	
Αθροιστική τιμή πόρων		7	14	21	27	34	40	46	52	58	64	69	76	83	90	97	103	109	115	120	125	130	133

Πίνακας 18 Εξομάλυνση Πόρων- Παραδοχή 2

Βλέπουμε ότι η συνολική προθεσμία του έργου επιμηκύνεται κατά 3 εβδομάδες χωρίς να αλλάξει η κρίσιμη διαδρομή του έργου, οι σχέσεις αλληλουχίας και η επιμήκυνση έγινε στο σημείο που παίρνουμε μέγιστη απαιτούμενη τιμή ανά ημέρα 7 πόρους για να μην υπάρξει περεταίρω καθυστέρηση. Βάση παραδοχής πλέον ο μέσος απαιτούμενος πόρος ανά ημέρα διαμορφώνεται ως εξής Το Ιστόγραμμα πλέον διαμορφώνεται ως εξής:



Εικόνα 14 Ιστόγραμμα Κατανομής Πόρων-Παραδοχή 2

Για να εφαρμόσουμε στο έργο εκμετάλλευσης ενός Γεωθερμικού πεδίου όσα είπαμε παραπάνω, αρχικά θα εκτιμήσουμε την ποσότητα των ανθρώπινων πόρων (μηχανικοί, εργοδηγοί, τεχνίτες, εργάτες, χειριστές) που χρειάζονται ανά εβδομάδα για κάθε εργασία στο έργο, λαμβάνοντας υπόψη τους διαθέσιμους πόρους της επιχείρησης, εκτός από το προσωπικό που θα κατασκευάσει τις γεωτρήσεις που έχουν ανατεθεί σε υπεργολάβο με σταθερή τιμή για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Υποθέτουμε ότι μόνο οι τεχνίτες και οι ανειδίκευτοι εργάτες της επιχείρησης μπορούν να εργαστούν σε άλλες εργασίες. Στη συνέχεια, καταγράφουμε τους απαιτούμενους πόρους ανά εβδομάδα για κάθε εργασία.

A/A	Δραστηριότητες	Προσωπικό ανά εβδομάδα	Διάρκεια(Εβδομάδες)	Προσωπικό- εβδομάδες
1	Π.Ε 2	2	2	4
2	Ο.Ε 3	2	3	6
3	Ε.Ε 4	5	3	15
4	Θ.Σ.1	5	2	10
5	Δ.PPR 1	5	4	20
6	Δ.PPR 2	5	4	20
7	Θ.Σ 2	7	6	42
8	Θ.Σ 3	6	10	60
9	Δ.PPR 3	5	4	20
10	Δ.PPR 4	5	5	25
11	Δ.PPR 5	5	7	35
			Σύνολο	257

Πίνακας 19 Υπολογισμός Εργατο/Εβδομάδας

Διάρκεια:30 εβδομάδες

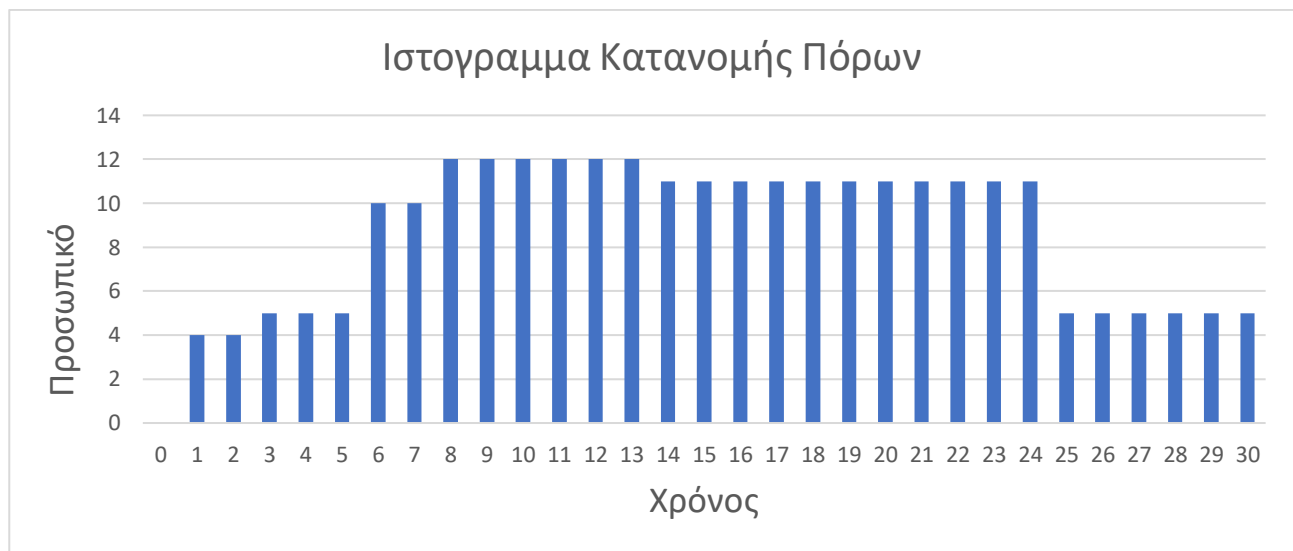
Μέσος απαιτούμενος αριθμός Προσωπικού ανά εβδομάδα: $257/30=8.5$

Στην επόμενη σελίδα ενσωμάτωσα πίνακα excel και μπορούμε να δούμε ένα διάγραμμα Gantt με τις ενωρίτερες ενάρξεις και το ενωρίτερα πέρας των δραστηριοτήτων, όπως έχουμε αναφέρει στον χρονικό προγραμματισμό σε προηγούμενη ενότητα. Με τα ολικά περιθώρια(TF) της κάθε εργασίας του έργου εκμετάλλευσης του Γεωθερμικού πεδίου.

Εβδομ. Δραστηρ. (Εβδομα.) (Πόροι)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Π.Ε2	2	2	2	2																											
Ο.Ε3	3	2	2	2																											
Ε.Ε4	3	5			5	5	5																								
Θ.Σ1	2	5						5	5																						
Δ.ΡΡ1	4	5						5	5	5	5																				
Δ.ΡΡ2	4	5										5	5	5	5																
Θ.Σ2	6	7								7	7	7	7	7	7																
Θ.Σ3	10	6														6	6	6	6	6	6	6	6	6	6						
Δ.ΡΡ3	3	5														5	5	5													
Δ.ΡΡ4	5	5																	5	5	5	5	5								
Δ.ΡΡ5	8	5																						5	5	5	5	5	5	5	5
Ιστόγραμμα πορων		4	4	2	5	5	5	10	10	12	12	12	12	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	5	5	5	5	5
Αθροιστική τιμή πόρων		4	8	10	15	20	25	35	45	57	69	81	93	105	117	128	139	150	161	172	183	194	205	216	227	232	237	242	247	252	257

Πίνακας 20 Διάγραμμα Gantt-Πόροι ανά Εβδομάδα

Στη συνέχεια θα σχεδιάζουμε το διάγραμμα ή το Ιστόγραμμα κατανομής πόρων με βάση τις τιμές που υπολογίσαμε στον προηγούμενο πίνακα. Το Ιστόγραμμα κατανομής πόρων παρουσιάζεται εποπτικά και μας δείχνει την συνολική ποσότητα των πόρων που απαιτείται και σε κάθε χρονική περίοδο (ανά εβδομάδα) αλλά και την αθροιστική τιμή των πόρων σε όλο το έργο, με βάση το αρχικό χρονοδιάγραμμα αλλά και την αρχική εκτίμηση των πόρων.



Εικόνα 15 Ιστόγραμμα Κατανομής Πόρων στο Έργο Εκμετάλλευσης του Γεωθερμικού Πεδίου

Όσο ο βαθμός αξιοποίησης είναι κοντά στο 1 τόσο επιτυγχάνεται και καλύτερη εξομάλυνση των πόρων. Για αρχή λοιπόν θα δούμε στο έργο που μας ενδιαφέρει πόσο καλή εξομάλυνση έχουμε πετύχει βάση του χρονικού προγραμματισμού που έχουμε κάνει και βλέπουμε στο διάγραμμα Gantt που έχουμε σχεδιάσει πιο πάνω και αν μπορούμε να επιτύχουμε καλύτερη.

Βαθμός αξιοποίησης πόρων = Μέση τιμή απαιτούμενου πόρου/Μέγιστη τιμή απαιτούμενου πόρου = $8.5/12 = 0.7$

Το επόμενο μας βήμα είναι να προσπαθήσουμε να εξομαλύνουμε το διάγραμμα έτσι ώστε ο βαθμός αξιοποίησης να φτάσει κοντά στο 1 χωρίς να αλλάξει η διάρκεια του έργου. Ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για να το πετύχουμε αυτό είναι να μετατοπίσουμε χρονικά εργασίες που μπορούν να μετατοπιστούν αυτές δηλαδή που το ολικό τους περιθώριο (TF) δεν είναι 0 και δεν ανήκουν πάνω στην κρίσιμη διαδρομή. Μετακινώντας τις δραστηριότητες στα ολικά περιθώρια τους βλέπουμε ότι μέγιστη τιμή απαιτούμενου πόρου πάλι μας δίνει την τιμή 12 χωρίς να αλλάξει ούτε η χρονική διάρκεια αλλά και χωρίς πάντα να αλλάζουν οι σχέσεις εξαρτήσεων. Παρακάτω ενσωματώνουμε πίνακα Excel.

Εβδομ. Δραστηρ. (Εβδομα.) (Πόροι)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Π.Ε2	2	2	2	2																												
Ο.Ε3	3	2	2	2																												
Ε.Ε4	3	5			5	5	5																									
Θ.Σ1	2	5					5	5																								
Δ.ΡΡ1	4	5					5	5	5	5																						
Δ.ΡΡ2	4	5									5	5	5	5																		
Θ.Σ2	6	7													7	7	7	7	7	7												
Θ.Σ3	10	6																			6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
Δ.ΡΡ3	4	5														5	5	5														
Δ.ΡΡ4	5	5																	5	5	5	5	5									
Δ.ΡΡ5	8	5																						5	5	5	5	5	5	5	5	5
Ιστόγραμμα πορων		4	4	2	5	5	5	10	10	5	5	5	5	5	12	12	12	12	12	12	12	5	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Αθροιστική τιμή πόρων		4	8	10	15	20	25	35	45	50	55	60	65	70	82	94	106	118	130	142	147	158	169	180	191	202	213	224	235	246	257	

Πίνακας 21 Εξομάλυνση των Πόρων του Έργου-Χρονική Μετατόπιση των Εργασιών

Συμπερασματικά, έχουμε πετύχει εξ αρχής την καλύτερη δυνατή εξομάλυνση του έργου. Επειδή το έργο έχει συμβατική προθεσμία 10 μηνών, δηλαδή 40 εβδομάδων, δεν έχουμε περιθώριο να κάνουμε επιμήκυνση του έργου πέρα από αυτή την προθεσμία, καθώς μετά θα είμαστε εκτός προθεσμίας και θα ελλοχεύουν άλλοι κίνδυνοι. Όποια επιμήκυνση της διάρκειας του έργου γίνει έως τις 40 εβδομάδες, θα μας δίνει μέγιστη απαιτούμενη τιμή πόρου ανά ημέρα την τιμή 12. Επομένως, πετύχαμε την καλύτερη τιμή στον βαθμό αξιοποίησης των πόρων που απασχολεί η εταιρεία μας, με τιμή 0.7.

5.2 Διαχείριση Κόστους

Τα κόστη ενός έργου περιλαμβάνουν τα έξοδα που απαιτούν οι πόροι για την ολοκλήρωση των δραστηριοτήτων του έργου. Το κόστος αποτελεί έναν κρίσιμο παράγοντα στη διαχείριση έργου και ένα βασικό κριτήριο για την επιτυχία του. Μια εξαιρετικά σημαντική μέθοδος για τον έλεγχο του κόστους είναι η μέθοδος της δεδουλευμένης αξίας, η οποία θεωρείται διεθνές πρότυπο για τη μέτρηση της απόδοσης του έργου. Στην επόμενη ενότητα, θα αναλύσουμε αυτή τη μέθοδο πιο λεπτομερώς. Οι διαδικασίες που πραγματοποιούνται στο πλαίσιο της διαχείρισης του κόστους του έργου περιλαμβάνουν α) τον σχεδιασμό διαχείρισης κόστους, β) την εκτίμηση κόστους και γ) τον καθορισμό προϋπολογισμού.

Ο σχεδιασμός της διαχείρισης κόστους είναι μια διαδικασία που συνήθως εκτελείται στην αρχή κάθε έργου, δημιουργώντας το πλαίσιο για τις διαδικασίες διαχείρισης κόστους ώστε να είναι αποτελεσματικές και συντονισμένες. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει τη γνώμη ειδικών με εμπειρία σε παρόμοια έργα, συναντήσεις με έμπειρους επαγγελματίες που γνωρίζουν τις γενικές τάσεις της βιομηχανίας, καθώς και την πραγματοποίηση συναντήσεων της ομάδας έργου για την ανάπτυξη του σχεδίου διαχείρισης κόστους. Στις συναντήσεις συμμετέχουν ο διαχειριστής του έργου, επιλεγμένα μέλη της ομάδας και όσοι έχουν ευθύνη για το κόστος. Για τον καθορισμό του προϋπολογισμού, το συνολικό κόστος για την ικανοποίηση των αναγκών του έργου πρέπει να υπολογιστεί, ώστε να καθοριστούν τα χρήματα που πρέπει να δεσμεύσει ο οργανισμός για την υλοποίησή του. Στα δημόσια έργα, ο προϋπολογισμός αναλαμβάνεται από τον κύριο του έργου και συμπεριλαμβάνεται στα τεύχη δημοπράτησης. Ο κύριος του έργου συμπληρώνει για κάθε εργασία το κόστος της, και από το τιμολόγιο μελέτης μπορείς να δεις αναλυτικά πόσο κοστολογείται κάθε εργασία και τι περιλαμβάνει ακριβώς το κόστος της κάθε εργασίας ξεχωριστά (Βαγιωνά, 2021).

Από την άλλη η εκτίμηση του Κόστους μπορεί να γίνει αναγνωρίζοντας τα παρακάτω συστατικά Κόστους:

Δαπάνες υλικών:

Το πρόβλημα που αντιμετωπίζει κάθε εργολάβος στον προϋπολογισμό ενός έργου είναι ο υπολογισμός της αξίας των υλικών τα οποία προβλέπονται από τις προδιαγραφές να ενσωματωθούν στο έργο με την μικρότερη δυνατή τιμή τους. Τα υλικά θα πρέπει να βρίσκονται την κατάλληλη χρονική στιγμή στο έργο ενώ οι προμήθειες τους είναι δυνατόν να προγραμματιστούν με διάφορες τεχνικές (μαθηματικός προγραμματισμός, θεωρία αποθεμάτων) και είναι πολύ σημαντικό να μην υπάρξει σπατάλη υλικών οπότε οι παραγγελίες θα πρέπει να γίνονται από έναν έμπειρο Εργοταξίαρχη.

Δαπάνες για αμοιβές προσωπικού:

Οι δαπάνες του προσωπικού αναλύονται σε σταθερές και μεταβλητές δαπάνες στο έργο. Η διάκριση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι οι τεχνίτες, οι βοηθοί και οι εργάτες αυξομειώνονται ανάλογα με την παραγωγή καθώς πληρώνονται ανάλογα με το αν έχει δουλειά και τα ημερομίσθια που θα κάνουν, σε αντίθεση με το υπόλοιπο προσωπικό το οποίο εργάζεται στην επιχείρηση ανεξάρτητα του όγκου παραγωγής;

Σταθερό κόστος προσωπικού = μισθός προϊστάμενου + γραμματεία + μηχανικούς + χειριστές ΜΧΕ + Οδηγοί

Παρατήρηση: Ένας αποδοτικός υπεύθυνος έργου θα πρέπει να μπορεί να προβλέψει ενδεχόμενη παύση εργασιών σε ένα έργο για να μπορεί να απορροφήσει προσωπικό με σταθερό μηνιαίο μισθό σε άλλο έργο. Με αυτό τον τρόπο το σταθερό κόστος επιμερίζεται σε πολλά έργα.

Μεταβλητό Κόστος προσωπικού: Μισθός τεχνίτη + βοηθούς + εργάτες

Δαπάνες Μηχανικού Εξοπλισμού:

Η κατάλληλη επιλογή του τύπου, του αριθμού και του μεγέθους των μηχανών επηρεάζει την απόδοση και το κόστος του έργου. Τα βασικά χαρακτηριστικά του μηχανικού εξοπλισμού είναι η μεγάλη απόδοση και το υψηλό κόστος σε σχέση με τις εργασίες που εκτελούνται χωρίς μηχανήματα. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο θα πρέπει η επιλογή των κατάλληλων μηχανών να στηρίζεται σε μελέτες ανάλυσης της παραγωγικότητας τους, των οικονομικών επιπτώσεων τους και των απαιτήσεων του έργου (Πολύζος, 2018).

5.3 Μέθοδος Δεδουλευμένης Αξίας(Earned Value Method)

Αυτή η μέθοδος μας παρέχει μια εικόνα της παρούσας κατάστασης του έργου τη στιγμή που επιθυμούμε και συνδυάζει στοιχεία του φυσικού αντικειμένου, του κόστους και τις μετρήσεις προγραμματισμού του χρόνου του έργου.

Η διαχείριση του κόστους περιλαμβάνει την επέκταση της ανάλυσης της δεδουλευμένης αξίας ώστε να συμπεριλάβει την έννοια του δεδουλευμένου προγραμματισμού. Ο δεδουλευμένος προγραμματισμός επιτρέπει στις μετρήσεις της ανάλυσης της δεδουλευμένης αξίας να μετατραπούν σε μετρήσεις χρόνου ή διάρκειας, βελτιώνοντας έτσι την αξιολόγηση της απόδοσης του προγράμματος έργου και προβλέποντας τη διάρκεια που απαιτείται για την ολοκλήρωσή του. Ο δεδουλευμένος προγραμματισμός διευρύνει τη χρήση των δεδομένων της ανάλυσης της δεδουλευμένης αξίας για την εκτίμηση της κατάστασης του προγράμματος και την πρόβλεψη του χρόνου ολοκλήρωσης. Συγκεκριμένα, η θεωρία του δεδουλευμένου προγραμματισμού αντικαθιστά τις μετρήσεις της απόκλισης του προγραμματισμού που χρησιμοποιούνται στην παραδοσιακή ανάλυση της δεδουλευμένης αξίας με τον δεδουλευμένο προγραμματισμό και τον πραγματικό χρόνο. Αν η διαφορά των δύο τελευταίων είναι μεγαλύτερη του μηδενός, τότε το έργο είναι μπροστά από το χρονοδιάγραμμα. Η μέθοδος της δεδουλευμένης αξίας απαντάει στις εξής ερωτήσεις:

- Ποια είναι μέχρι σήμερα η κατάσταση του έργου;
- Ποια είναι η κατάσταση αναφορικά με τον χρονοπρογραμματισμό;
- Ποια είναι η κατάσταση αναφορικά με το κόστος;
- Πόσα χρήματα θα έχουν ξοδευτεί μέχρι την ολοκλήρωση του έργου;
- Ποια θα είναι η ημερομηνία που πραγματικά θα έχει ολοκληρωθεί το έργο;

Τα μεγέθη υπολογισμού που χρησιμοποιεί η δεδουλευμένη αξία είναι τα παρακάτω:

BAC (Budget at completion): Το προυπολογιζόμενο κόστος βάση προγραμματισμού έως την τελευταία μέρα.

PC (Percentage Complete): Το ποσοστό του συνόλου μιας εργασίας που έχει παραχθεί κατά την ημέρα εξέτασης.

Δεδουλευμένη αξία(EV) Ή BCWP(Budget cost work Performed): Πόσο θα έπρεπε να κοστίζει, σύμφωνα με τις αρχικές εκτιμήσεις, το μέρος της εργασίας που έχει ολοκληρωθεί μέχρι την ημερομηνία ελέγχου, βασίζεται στο πιστοποιημένο ποσοστό υλοποίησης.

BCWS (Budget Cost Work Scheduled): Ποιο θα έπρεπε να ήταν το κόστος της προγραμματισμένης εργασίας μέχρι την ημερομηνία εξέτασης, αν όλα πήγαιναν σύμφωνα με τον προγραμματισμό.

ACWP (Actual Cost for Work Performed): Το πραγματικό κόστος που έχει ξοδευτεί στην κάθε εργασία μέχρι την ημερομηνία ελέγχου.

EAC (Estimate at Completion): Είναι η εκτίμηση για το πως θα εξελιχθεί η εργασία έως την ολοκλήρωση της, λαμβάνοντας την τιμή που πήραμε στην ημερομηνία ελέγχου της,

SV(Schedule Variance): Αποτελεί την σε κόστος χρονική απόκλιση της δραστηριότητα από το χρονοδιάγραμμα.

CV (Cost Variance): Είναι η απόκλιση του κόστους μεταξύ της Δεδουλευμένης αξίας και του Πραγματικού κόστους που έχει δαπανηθεί την ημερομηνία ελέγχου.

Σε περίπτωση που $SV < 0$ τότε υπάρχει χρονική καθυστέρηση στο έργο, ενώ αν $SV > 0$ η εργασία εξελίσσεται πιο γρήγορα από τον προγραμματισμό

Σε περίπτωση που $CV < 0$ τότε το κόστος είναι μεγαλύτερο της πρόβλεψης ενώ όταν $CV > 0$ το κόστος είναι μικρότερο της πρόβλεψης (Βαγιωνά, 2021).

Στη συνέχεια θα εφαρμόσουμε τα μεγέθη υπολογισμού της παραχθείσας αξίας στο έργο εκμετάλλευσης του γεωθερμικού πεδίου, που είναι και το έργο που εφαρμόζουμε τον οικονομικό προγραμματισμό του έργου. Για αρχή θα βρούμε το BAC της κάθε εργασίας που έχουμε προγραμματίσει ότι θα χρειαστεί για την κατασκευή του έργου. Σε προηγούμενη ενότητα είπαμε ότι η κατασκευή των γεωτρήσεων έχει δοθεί σε υπεργολάβο. Η τιμή που ζήτησε ο υπεργολάβος ήταν 250000€ η μια γεώτρηση και μέσα στην τιμή που ζήτησε αφορούσε πλήρη κατασκευή (Υλικά και εργασία). Οπότε το κόστος του αναδόχου για την κατασκευή των δυο γεωτρήσεων είναι σπάντα και θα στοιχήσουν 500000€ . Οπότε την μέθοδο παραχθείσας αξίας θα την εφαρμόσουμε για τις υπόλοιπες εργασίες που η δαπάνη του προσωπικού, υλικών και μηχανικού εξοπλισμού ανήκει αποκλειστικά στον ανάδοχο. Από την επαγγελματική μου εμπειρία στο συγκεκριμένο έργο και βάσει του χρονικού προγραμματισμού που κάναμε σε προηγούμενα κεφάλαια, υπολόγισα το κόστος εργασίας ανά εβδομάδα, λαμβάνοντας υπόψη τις δαπάνες του προσωπικού, των υλικών και το κόστος του μηχανικού εξοπλισμού (κόστος συντήρησης, χειριστών-οδηγών, κόστος κατανάλωσης καυσίμου κ.λπ.) που ανήκει στον ανάδοχο. Οπότε κατασκευάσαμε το παρακάτω διάγραμμα Gannt (Ενσωματωμένο Excel) με το κόστος εργασίας ανά εβδομάδα αλλά και το αθροιστικό κόστος του έργου.

Εβδομ. Δραστηρ. (Εβδομα.) (Κόστος/ εβδομάδα)			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Π.Ε2	2	1500	1500	1500															
Ο.Ε3	3	2500	2500	2500															
Ε.Ε4	3	5000			5000	5000	5000												
Θ.Σ1	2	15000						15000	15000										
Δ.ΡΡ1	4	25000						25000	25000	25000	25000								
Δ.ΡΡ2	4	25000										25000	25000	25000	25000				
Θ.Σ2	6	25000							25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000				
Θ.Σ3	10	30000															30000	30000	30000
Δ.ΡΡ3	3	30000															30000	30000	30000
Δ.ΡΡ4	5	35000																	
Δ.ΡΡ5	8	35000																	
			Σημείο Ελέγχου																
Συνολικό κόστος ανα εβδομάδα			4000	4000	2500	5000	5000	5000	40000	40000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	60000	60000	60000
Αθροιστική τιμή κόστους			4000	8000	10500	15500	20500	25500	65500	1E+05	155500	205500	255500	305500	4E+05	405500	#####	525500	585500

Πίνακας 22 Διάγραμμα Gantt-Κόστος ανά εβδομάδα

Από τον παραπάνω πίνακα βρίσκουμε τα BAC της κάθε δραστηριότητας για παράδειγμα BAC(Π.Ε 2) = 2 εβδομάδες * 1500(Κόστος; Ανά εβδομάδα)=3000€ ομοίως και για τα υπόλοιπα BAC των υπόλοιπων δραστηριοτήτων.

Έστω λοιπόν όπως βλέπουμε στον πίνακα που δημιουργήσαμε το διάγραμμα Gantt θέλουμε να εφαρμόσουμε την μέθοδο και να κάνουμε έλεγχο προόδου του έργου στο τέλος της 16^{ης} εβδομάδας για να δούμε αν όλα πάνε βάση προγραμματισμού. Αρχικά καταγράφουμε στο τέλος της 16ης εβδομάδας τι ποσοστό ολοκλήρωσης είχαμε στις δραστηριότητες, το πραγματικό κόστος (ACWP):

Εργασία	ACWP	PC (Ποσοστό Ολοκλήρωσης)
Π.Ε2	2500	100%
Ο.Ε3	7100	100%
Ε.Ε4	12000	100%
Θ.Σ1	27000	100%
Δ.PPR1	95000	100%
Δ.PPR2	97000	100%
Θ.Σ2	145000	100%
Θ.Σ3	50000	20%
Δ.PPR3	55000	75%
Δ.PPR4	0	0%
Δ.PPR5	0	0%

Πίνακας 23 Πραγματικό Κόστος Εργασιών στο Σημείο Ελέγχου

Στην συνέχεια ενσωματώνουμε πίνακα excel υπολογίζοντας όλα τα μεγέθη που απαιτούνται από την μέθοδο Παραχθείσας Αξίας.

ΕΡΓΑΣΙΑ	BAC(€) (1)	BCWS(€) (2)	PC (3)	ACWP(€) (4)	BCWP(€) (5)=(3)*(1)	SV(€) (6)= (5)-(2)	CV(€) (7)=(5)-(4)	SV(%) (8)=(6)/(2)	CV(%) (9)=(7)/(5) *100	EAC(€)((4)/(5))* (1)
Π.Ε2	3000	3000	100%	3500	3000	0	-500	0	-17	3500
Ο.Ε3	7500	7500	100%	6000	7500	0	1500	0	20	6000
Ε.Ε4	15000	15000	100%	12000	15000	0	3000	0	20	12000.00
Θ.Σ1	30000	30000	100%	27000	30000	0	3000	0	10	27000
Δ.ΡΡ1	100000	100000	100%	95000	100000	0	5000	0	5	95000
Δ.ΡΡ2	100000	100000	100%	97000	100000	0	3000	0.00	3	97000
Θ.Σ2	150000	150000	100%	145000	150000	0	0	0	0.00%	150000
Θ.Σ3	300000	60000	20%	50000	60000	0	10000	0.00	17	250000.00
Δ.ΡΡ3	90000	60000	75%	55000	67500	7500	0	0	0.00%	73333.33
Δ.ΡΡ4	175000	0	0	0	0	0	0	0	0.00%	175000
Δ.ΡΡ5	280000	0	0	0	0	0	0	0	0.00%	280000
ΣΥΝΟΛΑ	1250500	465500		490500	533000	7500	42500	1.611	7.97	1168833

Πίνακας 24 Μέθοδος Παραχθείσας Αξίας-Υπολογισμός Μεγεθών

Ανάλυση κάθε εργασίας ξεχωριστά

1. Η Εργασία Π.Ε. 2 εκτελέστηκε στο 100% με αυξημένο Κόστος και στον χρόνο που έχει προγραμματιστεί
2. Η Εργασία Ο.Ε3 εκτελέστηκε στο 100% με μειωμένο Κόστος και στον χρόνο που έχει προγραμματιστεί.
3. Η δραστηριότητα Ε.Ε 4 εκτελέστηκε στο 100% με μειωμένο κόστος και στο χρόνο που έχει προγραμματιστεί
4. Η δραστηριότητα Θ.Σ1 εκτελέστηκε στο 100% με μειωμένο κόστος και στο χρόνο που έχει προγραμματιστεί
5. Η δραστηριότητα Δ.ΡΡ 1 εκτελέστηκε στο 100% με μειωμένο κόστος και στο χρόνο που έχει προγραμματιστεί
6. Η δραστηριότητα Δ.ΡΡ 2 εκτελέστηκε στο 100% με μειωμένο κόστος και στο χρόνο που έχει προγραμματιστεί.
7. Η δραστηριότητα Θ.Σ2 εκτελέστηκε στο 100% με μειωμένο κόστος και στο χρόνο που έχει προγραμματιστεί.

8. Η δραστηριότητα Θ.Σ3 εκτελέστηκε στο 20% με μειωμένο κόστος και στο χρόνο που έχει προγραμματιστεί.
9. Η δραστηριότητα Δ.PPR 3 εκτελέστηκε στο 75% με μειωμένο κόστος και στο χρόνο που έχει προγραμματιστεί..
10. Η δραστηριότητα Δ.PPR 4 δεν έχει εκτελεστεί
11. Η δραστηριότητα Δ.PPR 5 δεν έχει εκτελεστεί

Όπως βλέπουμε το έργο εκτελείται κατά κύριο λόγο στο χρόνο που έχει προγραμματιστεί και με μειωμένο κόστος από τον προγραμματισμό που είχαμε κάνει εξ αρχής.

6. Συμπεράσματα

Η έρευνα που κάναμε για την σύγκριση των χρονικών μεθόδων αλλά και τον οικονομικό προγραμματισμό με εφαρμογή στο έργο εκμετάλλευσης γεωθερμίας μας οδήγησε σε κάποια συμπεράσματα:

- Η σημασία της κρίσης των ειδικών σε παρόμοια Τεχνικά έργα για την εκτίμηση της διάρκειας των εργασιών δεν μπορεί να υποτιμηθεί. Οι μηχανικοί που διαθέτουν γνώση και εμπειρία που είναι απαραίτητη για την ακριβή πρόβλεψη του χρόνου για τις εργασίες ενός τέτοιου έργου. Ο Project manager της επιχείρησης ή ο μηχανικός που είναι υπεύθυνος για το χρονοδιάγραμμα του έργου πρέπει να είναι σε θέση να εκτίμηση σωστά τις διάρκειές των εργασιών, καθώς και πιθανά προβλήματα και κινδύνους. Επόμενος η εμπειρία σε παρόμοια έργα και η εξειδικευμένη γνώση είναι απαραίτητα στοιχεία για την επιτυχή εκτέλεση τεχνικών έργων.
- Η κατάλληλη μέθοδος χρονικού προγραμματισμού είναι η μέθοδος CPM με δικτυωτά γραφήματα σε συνδυασμό με το διάγραμμα Gantt καθώς συνδυάζει δυο ισχυρά εργαλεία διαχείρισης έργων. Η CPM βοηθάει στον προσδιορισμό της κρίσιμης διαδρομής των εργασιών και τον προσδιορισμό της συνολικής διάρκειας του έργου, ενώ από την άλλη τα διαγράμματα Gantt προσφέρουν μια οπτική αναπαράσταση του προγραμματισμού των εργασιών, διευκολύνοντας τον έλεγχο της προόδου του έργου. Μερικά Λογισμικά που χρησιμοποιούν αυτά τα εργαλεία είναι το MS Project και το Primavera P6.
- Η εκτίμηση των πόρων ενός τεχνικού έργου πρέπει επίσης να γίνεται από μηχανικούς ή Project manager με εμπειρία σε παρόμοια έργα και να γίνονται συναντήσεις ακόμη και με τους τεχνίτες, εργοδηγούς που έχουν εμπειρία σε παρόμοια έργα. Εκτίμηση Κόστους βάση της δαπάνης των υλικών, της δαπάνης του προσωπικού και της δαπάνης του μηχανολογικού εξοπλισμού.
- Ο κάθε Project manager που αναλαμβάνει έργα τέτοιας κλίμακας όπως το έργο εκμετάλλευσης ενός γεωθερμικού πεδίου, πρέπει να είναι σε θέση να γνωρίζει μεθόδους και τεχνικές οικονομικού προγραμματισμού όπως την μέθοδο Παραχθείσας αξίας. Για την καλύτερη παρακολούθηση και τον καλύτερο έλεγχο του έργου.
- Η SIPOC βοηθά στην καλύτερη κατανόηση και διαχείριση των διαδικασιών, βελτιώνοντας την ποιότητα και την αποδοτικότητα των έργων. Η SIPOC μοιάζει με τη δομική ανάλυση των τεχνικών έργων, καθώς και οι δύο προσεγγίσεις επικεντρώνονται στην αποτύπωση των

βασικών στοιχείων και των σχέσεων μεταξύ των εισροών, διαδικασιών και εκροών. Προσφέρουν μια συνοπτική, συστημική θεώρηση, η οποία βοηθά στη συνολική κατανόηση της ροής εργασιών και των κρίσιμων παραγόντων για την επιτυχία ενός έργου.

- Η SIPOC αν συνδυαστεί με το DMAIC προσθέτει χρονική διάσταση και παρακολούθηση στην ανάλυση της, προσδιορίζοντας ποιες εργασίες πρέπει να εκτελεστούν, με ποια σειρά, και πόσος χρόνος απαιτείται για καθεμία. Με αυτό τον τρόπο, η SIPOC μετατρέπεται από μια στατική αναπαράσταση σε εργαλείο που υποστηρίζει τον χρονικό προγραμματισμό της διαδικασίας, μέσω της συστηματικής μεθόδου DMAIC.
- Συνοψίζοντας, στην παρούσα ΜΔΕ εφαρμόσαμε μεθόδους και τεχνικές χρονικού και οικονομικού προγραμματισμού, καταφέροντας να εξαλείψουμε το πρόβλημα των ποινικών ρητρών του έργου. Με την 10μηνη συμβατική προθεσμία, καταφέραμε με τις συγκεκριμένες μεθόδους να προγραμματίσουμε την ολοκλήρωση του έργου σε 8 μήνες, χωρίς ζημία. Η παρούσα ΜΔΕ αποτελεί έναν ολοκληρωμένο οδηγό για έναν συνάδελφο μηχανικό, που θα τον βοηθήσει στη διαχείριση οποιουδήποτε έργου τέτοιας κλίμακας..

Αναφορές

- ASQ, A. S. (χ.χ.). What is Six Sigma? Ανάκτηση από <https://asq.org/quality-resources/six-sigma>
- goskills. (χ.χ.). What is Lean Six Sigma? Ανάκτηση από <https://www.goskills.com/Lean-Six-Sigma>
- Sujinda Popaitoon, S. S. (2014, Αύγουστος). *The moderating effect of human resource management practices on the relationship between knowledge absorptive capacity and project performance in project-oriented companies*. Ανάκτηση από ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/260026205_The_moderating_effect_of_human_resource_management_practices_on_the_relationship_between_knowledge_absorptive_capacity_and_project_performance_in_project-oriented_companies
- Βαγιωνά, Δ. (2021). Διαχείριση Έργων - Θεωρία, Τεχνικές και Εργαλεία. Θεσσαλονίκη: ΔΙΣΙΓΜΑ.
- Εφημερίδα Κυβερνήσεως, τ. (2016). [kodiko.gr](https://www.kodiko.gr/nomologia/download_fek?f=fek/2016/a/fek_a_147_2016.pdf&t=981f7b93753f91cbbf6577f4630991d2). Ανάκτηση από https://www.kodiko.gr/nomologia/download_fek?f=fek/2016/a/fek_a_147_2016.pdf&t=981f7b93753f91cbbf6577f4630991d2
- Μαγκλάρας, Α. (2023). *Οικονομικός και Χρονικός Προγραμματισμός Τεχνικού Έργου*. Πρέβεζα: ΕΑΠ.
- Πολύζος, Σ. (2018). Διοίκηση και διαχείριση των έργων. Αθήνα: Κριτική.
- Ρουχωτάς, Ν.. (2012). *Χρήση Αναπτυγμένων και Σύγχρονων Στρατηγικών/Μεθόδων Διοίκησης και Βελτίωσης Επιχειρήσεων Περίπτωση "Six Sigma"*. Αθήνα.
- Χασιακός Αθανάσιος, Θ. Δ. (2003). *Ο ρόλος του προγραμματισμού στη διαχείριση έργων. Χρονικός και Οικονομικός Προγραμματισμός Έργων*. Πάτρα: ΕΑΠ.
- Χριστακόπουλος, Α. (2016). *Μελέτη Αυτοματοποίησης της διαδικασίας Συλλογής και Επεξεργασίας Δεδομένων σε Θέματα Ικανοποίησης Πελατών σε μια Ελληνική Εταιρεία Πετρελαιοειδών*. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης.

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν

περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης