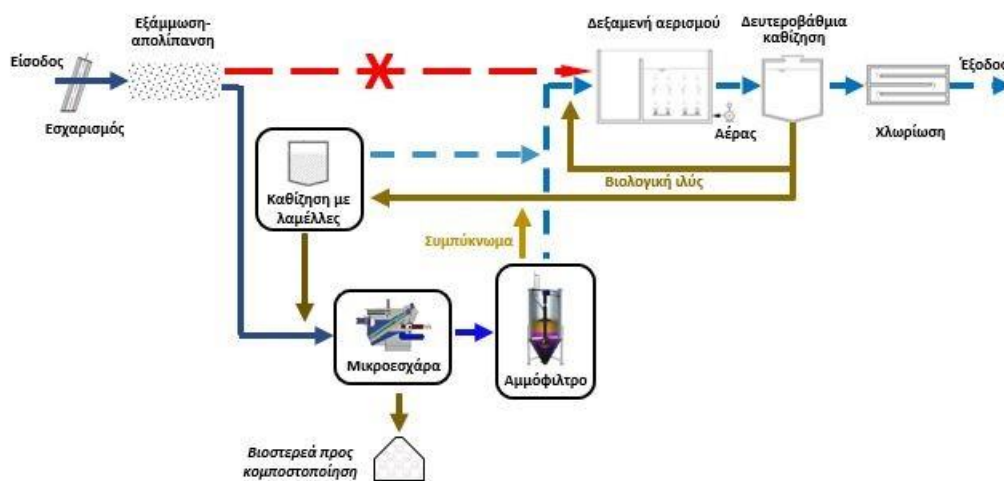


## ΧΡΟΝΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΑΡΠΗΣΣΑ ΠΑΡΟΥ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΤΗΣ  
ΜΕΛΙΣΣΑΡΟΠΟΥΛΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗΣ

Τριμελής Επιτροπή  
Ροζάκης Στυλιανός (Επιβλέπων), Καθηγητής  
Γκίκας Πέτρος, Καθηγητής  
Στεφανάκης Αλέξανδρος, Επίκουρος Καθηγητής

2021 - 2022, Χανιά

"Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης".

### Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι ο χρονικός προγραμματισμός του έργου αναβάθμισης της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) της Μάρπησας, Πάρου χρησιμοποιώντας τις μεθόδους PERT και CPM, καθώς και η κοστολόγηση των εργασιών για τη διεξαγωγή του έργου. Το προτεινόμενο έργο στοχεύει στην αναβάθμιση της ΕΕΛ της Μάρπησας, με την εφαρμογή καινοτόμων τεχνολογιών στην επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Με την ολοκλήρωση του έργου η ΕΕΛ Μάρπησας θα να είναι σε θέση να δεχτεί αυξημένο φορτίο εισόδου, με ταυτόχρονη μείωση των ενεργειακών της απαιτήσεων και του κόστους λειτουργίας. Η καινοτομικότητα του έργου προσδίδεται στην πρώιμη απομάκρυνση στερεών και σωματιδιακού BOD από τα λύματα, χρησιμοποιώντας ειδικού τύπου συστήματα διήθησης (μικροσχάρες / αυτοκαθαριζόμενα αμμόφιλτρα ανοδικής ροής), πριν αυτά εισέλθουν στην δεξαμενή αερισμού. Έτσι, εκτιμάται μείωση της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕΛ περίπου 30-35%. Μελλοντικά, τα επεξεργασμένα λύματα θα χρησιμοποιηθούν για άρδευση δασικής έκτασης, χωρίς να επιβαρύνουν με επιβλαβείς ουσίες το περιβάλλον.

Αρχικά για το θεωρητικό υπόβαθρο, επιχειρήθηκε εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση σε ότι αφορά τον ορισμό ενός έργου, την διαχείρισή και τον κύκλο ζωής του, τον χρονικό προγραμματισμό και τις δύο μεθοδολογίες που θα χρησιμοποιηθούν, καθώς και τις διάφορες διεργασίες που ακολουθούν τα υγρά απόβλητα μέσα σε μια ΕΕΛ. Στη συνέχεια ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή των συνθηκών στην υφιστάμενη εγκατάσταση και του προτεινόμενου έργου, με στόχο την έμφαση στην σημαντικότητα του έργου.

Το βασικότερο και το αμέσως επόμενο μέρος της διπλωματικής εργασίας, περιέχει την δικτυακή ανάλυση και τις δύο μεθοδολογίες CPM και PERT, όπου στην μεθοδολογία CPM το έργο αποτελείται από δραστηριότητες με γνωστούς τους χρόνους ολοκλήρωσης, ενώ στην PERT επικρατούν συνθήκες αβεβαιότητας.

Το προτεινόμενο έργο απαρτίζεται από 36 επιμέρους δραστηριότητες, οι οποίες ομαδοποιούνται σε τρεις (3) κατηγορίες, την μελέτη και τον σχεδιασμό του έργου, την εργοταξιακή εγκατάσταση και την εφαρμογή καινοτομίας και κατασκευή στην ΕΕΛ Μάρπησας. Η συνολική προθεσμία εκτέλεσης του έργου είναι 729 ημέρες. Με βάση τους υπολογισμούς που έγιναν στη μέθοδο CPM, η ελάχιστη διάρκεια ολοκλήρωσης προσδιορίστηκε στις 661 ημέρες, ενώ στη μέθοδο PERT 665,8 ημέρες, Σύμφωνα με την ανάλυση ευαισθησίας που πραγματοποιήθηκε αμέσως μετά, η πιθανότητα να ολοκληρωθεί το έργο σε λιγότερο από 666 ημέρες είναι 1%, ενώ η πιθανότητα να ολοκληρωθεί σε αργότερο χρονικό διάστημα των 666 ημερών είναι 99%. Μέσω της ανάλυσης των δαπανών του έργου προκύπτει ότι το συνολικό κόστος του έργου ανέρχεται στο ποσό των 287.030€.

Τέλος γίνεται ο σχολιασμός και η παράθεση των συμπερασμάτων της εν λόγω μελέτης, καθώς στα παραρτήματα περιγράφεται εν συντομία το πρόγραμμα MS Project 2019, που χρησιμοποιήθηκε για την επαλήθευση των υπολογισμών του χρονικού προγραμματισμού.

## **Abstract**

The purpose of this dissertation is the time planning of the upgrade project of the Wastewater Treatment Plant (WWTP) of Marpissa, Paros using the PERT and CPM methods, as well as the costing of the work for the conduction of the project. The proposed project aims at the upgrading of the WWTP of Marpissa, through the application of innovative technologies in waste water treatment. After the completion of this project, the WWTP of Marpissa will be able to accept increased input load, while simultaneously decreasing its energy requirements and operating costs. The novelty of the project is attributed to the early removal of solids and particulate BOD from the effluent, using special type filtration systems (microwaves / self-cleaning upward flow sand filters), before they enter the aeration tank. Thus, a reduction of the total electricity consumption of WWTP is estimated at about 30-35%. In the future, the treated wastewater will be used for irrigation of forest area, without harming the environment with harmful substances.

Initially for the theoretically background, an extensive bibliographical review was attempted regarding the definition of the project, its management and circle of life, the time planning and the two methodologies that will be used, as well as the various processes that follow the liquid waste through a WWTP. A detailed description of the conditions in the existing facility and of the proposed project follows, with the aim of emphasizing the importance of the project.

The part that follows, which is most important part of the dissertation, contains the network analysis of both CPM and PERT methodologies. In CPM methodology, the project consists of activities with known completion times; while in PERT, conditions of uncertainty prevail.

The proposed project consists of 36 sub-activities, which are grouped into three (3) categories; the study and design of the project, the construction site installation and the implementation of innovation and construction in WWTP of Marpissa. The overall deadline for the execution of the project is 729 days. Based on calculations that were made in the CPM method, the minimum completion time was determined at 661 days, while in PERT, 665,8 days. According to the sensitivity analysis, which was carried out immediately after, the probability of completion of the project in less than 666 days is 1%, while the probability of its completion in a later period than 666 days is 99%. Through the analysis of the costs of the project, the total cost of the project emerges, which amounts to 287.030€.

Finally, there are comments and conclusions of this study, as the annexes describe in a few words the MS Project program, which was used for verifying the calculations of the time planning.

## **Ευχαριστίες**

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Ροζάκη για την τιμή που δέχτηκε να γίνει ο επιβλέπων καθηγητής μου, καθώς και για την βοήθεια και την πλήρη καθοδήγηση του. Ευχαριστώ τον Κωνσταντίνο Τσαμούτσογλου για την πολύ καλή συνεργασία και τις πολύτιμες συμβουλές καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον κ. Γκίκα για τη διάθεση των στοιχείων μέσω του ερευνητικού έργου ANELIΞΗ και τον κ. Στεφανάκη για την συμμετοχή τους στην τριμελή επιτροπή. Επίσης, δεν θα μπορούσα να μην εκφράσω την ευγνωμοσύνη στα πιο κοντινά μου άτομα και την οικογένεια μου για την στήριξη που μου παρείχαν.

## Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη.....	3
Abstract.....	4
Ευχαριστίες .....	5
Εισαγωγή .....	11
Κεφάλαιο 1: Χρονικός προγραμματισμός έργων.....	13
1.1.    Η έννοια του έργου .....	13
1.1.1.    Η διαχείριση έργων .....	13
1.1.2.    Ο κύκλος ζωής ενός έργου.....	14
1.1.3.    Κατασκευή δικτύων - Μεθοδολογίες χρονικού προγραμματισμού έργων (CPM – PERT) .....	15
Κεφάλαιο 2: Επεξεργασία υγρών αποβλήτων και διαχείριση βιοστερεών .....	21
2.1.    Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων .....	21
2.1.1.    Συμβατικές μέθοδοι επεξεργασίας αποβλήτων.....	22
2.1.2.    Ενεργειακό αποτύπωμα ΕΕΛ.....	26
Κεφάλαιο 3: Περιγραφή της ΕΕΛ Πάρου .....	29
3.1. Περιοχή μελέτης – υφιστάμενη κατάσταση ΕΕΛ Πάρου .....	29
3.1.1. Γεωγραφική θέση – διοικητική περιοχή.....	29
3.1.2. Δεδομένα σχεδιασμού .....	29
3.1.3. Περιγραφή των υφιστάμενων έργων.....	30
Κεφάλαιο 4: Περιγραφή του προτεινόμενου έργου .....	36
4.1.    Σκοπός του προτεινόμενου έργου.....	36
4.1.1.    Αναλυτική περιγραφή νέων τεχνολογιών.....	36
4.1.2.    Ποιότητας εκροής και διαχείριση προϊόντων.....	39
Κεφάλαιο 5: Χρονικός προγραμματισμός με τις μεθόδους CPM και PERT του προτεινόμενου έργου .....	41
5.1. Δομή ανάλυσης εργασιών του έργου ANEΛΙΞΗ.....	41
5.2. Προσδιορισμός του χρόνου ολοκλήρωσης του έργου με την μέθοδο CPM ...	50
5.3. Προσδιορισμός του χρόνου ολοκλήρωσης του έργου με την μέθοδο PERT..	57
Κεφάλαιο 6: Οικονομικά στοιχεία του προτεινόμενου έργου .....	64
6.1. Κόστος εξοπλισμού, εγκατάστασης και αρχικής λειτουργίας .....	64
Κεφάλαιο 7: Παρουσίαση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων.....	68
Κεφάλαιο 8: Βιβλιογραφία .....	70
Κεφάλαιο 9: Παραρτήματα .....	71

## Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Παράμετροι σχεδιασμού επέκτασης Ε.Ε.Λ. Μάρπησσας .....	29
Πίνακας 2: Όρια εκροής ΕΕΛ Μάρπησσας .....	30
Πίνακας 3: Δεδομένα σχεδιασμού υφιστάμενων έργων .....	31
Πίνακας 4: Παράμετροι ποιότητας επεξεργασμένων λυμάτων και ανώτερες τιμές τους σύμφωνα με την Οδηγία 91/271/ΕΟΚ και τη Νομαρχιακή Απόφαση 1377 (ΦΕΚ 841/Β/22-6-2005). ....	40
Πίνακας 5: Δομή Ανάλυσης Εργασιών για την κατασκευή του έργου επέκτασης .....	42
Πίνακας 6: Δραστηριότητες του έργου επέκτασης .....	46
Πίνακας 7: Ενωρίτεροι χρόνοι έναρξης και λήξης των δραστηριοτήτων του δικτύου .....	50
Πίνακας 8: Στοιχεία δικτύου του έργου .....	54
Πίνακας 9: Τιμές μέσου χρόνου και διακύμανσης .....	57
Πίνακας 10: Στοιχεία δικτύου του έργου για τη μέθοδο PERT .....	58
Πίνακας 11: Κόστος μελέτης και σχεδιασμού, προμήθειας και εγκατάστασης εξοπλισμού, εγκατάστασης, επίβλεψης κατασκευών και δοκιμαστικής λειτουργίας..	64

## **Κατάλογος εικόνων**

Εικόνα 1: Επίπεδο δραστηριότητας ανά φάση διαχείρισης ενός έργου (Φιτσιλής, 2007).....	15
Εικόνα 2:Απλό παράδειγμα δικτύου AON (Burke, 2001) .....	16
Εικόνα 3:Απλό παράδειγμα δικτύου AOA (Burke, 2001).....	17
Εικόνα 4:Γράφημα τυπικής μορφής «Βήτα» κατανομής πιθανότητας (θετική λοξότητα) (Δ. Καντιάνης, 2020) .....	19
Εικόνα 5:Τυπικό διάγραμμα ροής ΕΕΛ, για την επεξεργασία λυμάτων με την μέθοδο ενεργού ιλύος (Νταρακάς, 2016) .....	22
Εικόνα 6:Κατανομή ενέργειας στις κύριες διεργασίες συμβατικών συστημάτων ενεργού ιλύος (Wastewater Treatment Plants Monitoring Database, 2020). .....	28
Εικόνα 7:Κατανάλωση ενέργειας διαφόρων τύπων ΕΕΛ, ως συνάρτηση της χωρητικότητας της μονάδας (Gu, et al., 2017).....	28
Εικόνα 8: Διάγραμμα ροής ΕΕΛ Πάρου .....	35
Εικόνα 9:Διάγραμμα ροής ANEΛΙΞΗ. ....	36
Εικόνα 10: Σχηματική απεικόνιση μικροεσχάρας. ....	37
Εικόνα 11:Σχηματική απεικόνιση του CBUMF. ....	38
Εικόνα 12: Διάγραμμα Κανονικής Κατανομής.....	61
Εικόνα 13: Πίνακας Κανονικής Κατανομής .....	62
Εικόνα 14: Κανονική Κατανομή με χρήση μεταβλητής z .....	62
Εικόνα 15: Κανονική Κατανομή με χρήση μεταβλητής z .....	63





## Κατάλογος εξισώσεων

Εξ.(1) .....	18
Εξ.(2) .....	19
Εξ.(3) .....	19
Εξ.(4) .....	19
Εξ.(5) .....	20
Εξ.(6) .....	20
Εξ.(7) .....	20
Εξ.(8) .....	20
Εξ.(9) .....	50
Εξ.(10) .....	50
Εξ.(11) .....	50
Εξ.(12) .....	50
Εξ.(13) .....	53
Εξ.(14) .....	53
Εξ.(15) .....	53
Εξ.(16) .....	53
Εξ.(17) .....	53
Εξ.(18) .....	53
Εξ.(19) .....	57
Εξ.(20) .....	57

## **Κατάλογος διαγραμμάτων**

Διάγραμμα 1: Δομή Ανάλυσης Εργασιών με τη μορφή δένδρου.....	44
Διάγραμμα 2: Διάγραμμα δικτύου Α' φάσης εργασιών.....	45
Διάγραμμα 3: Διάγραμμα δικτύου Β' φάσης εργασιών.....	45
Διάγραμμα 4: Διάγραμμα δικτύου Γ' φάσης εργασιών.....	46
Διάγραμμα 5: Διάγραμμα δικτύου εργασιών συνολικού έργου.....	49
Διάγραμμα 6: Διάγραμμα Gantt- Μέρος 1 <sup>ο</sup> .....	72
Διάγραμμα 7: Διάγραμμα Gantt- Μέρος 2 <sup>ο</sup> .....	73
Διάγραμμα 8: Διάγραμμα Gantt- Μέρος 3 <sup>ο</sup> .....	74

## Εισαγωγή

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία αφορά τον Χρονικό Προγραμματισμό και την Κοστολόγηση του έργου επέκτασης της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) στην περιοχή Μάρπησας Πάρου.

Σύμφωνα με την Οδηγία 91/271/ΕΟΚ, κρίνεται απαραίτητη η δημιουργία ΕΕΛ σε κάθε περιοχή με πληθυσμό άνω των 2000 ισοδύναμων κατοικιών. Οι ΕΕΛ έχουν ως στόχο την προστασία του περιβάλλοντος από τις επιπτώσεις της διάθεσης ανεπεξέργαστων ή ανεπαρκώς επεξεργασμένων αστικών και ορισμένων βιομηχανικών λυμάτων και των παραπροϊόντων τους. Η ολοκληρωμένη διαχείριση των υγρών αστικών αποβλήτων περιλαμβάνει έργα για τη συλλογή, την επεξεργασία και τη διάθεση των τελικών προϊόντων τους. Όσον αφορά τη συλλογή, τα υγρά απόβλητα μιας πόλης συλλέγονται από το σύστημα αποχέτευσής της. Το σύστημα αποχέτευσης και κατ' επέκταση τα υγρά απόβλητα της είναι δυνατόν να περιέχουν όμβρια ύδατα ανάλογα με τον σχεδιασμό του. Ορισμένες φορές ακόμα το σύστημα δέχεται και εισροές από υπόγεια ή επιφανειακά νερά και κάποιες κατηγορίες βιομηχανικών αποβλήτων. Όλο το δίκτυο του συστήματος αποχέτευσης συμβάλει σε έναν Κεντρικό Αποχετευτικό Αγωγό (ΚΑΑ), ο οποίος καταλήγει σε μια ΕΕΛ. Εκεί τα λύματα υφίστανται επεξεργασία, με σκοπό τη δέσμευση και την εξουδετέρωση ρύπων και των ανεπιθύμητων συστατικών τους. Η επεξεργασία των λυμάτων διαφέρει ανάλογα με την πηγή παραγωγής τους, αλλά και τον προορισμό της εκροής τους μετά την επεξεργασία. Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται επιλέγονται βάση της επιθυμητής προς απομάκρυνση παραμέτρου (οργανικό φορτίο, βαρέα μέταλλα, θρεπτικά στοιχεία κ.α.). Συνήθως οι μέθοδοι που επιλέγονται περιέχουν ένα συνδυασμό φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών.

Πολλά από τα συστήματα επεξεργασίας στην Ελλάδα, που συναντάμε σε μια ΕΕΛ, περιλαμβάνουν κυρίως την προεπεξεργασία των εισερχόμενων λυμάτων, την πρωτοβάθμια επεξεργασία, την δευτεροβάθμια επεξεργασία και σπανιότερα την τριτοβάθμια επεξεργασία, καθώς και την επεξεργασία της παραγόμενης ιλύος (λάσπης).

Συχνά οι απαιτήσεις για υψηλότερα επίπεδα επεξεργασίας, και επομένως η βελτίωση της ποιότητας νερού εκροής, συνεπάγεται και την αύξηση της καταναλισκόμενης ενέργειας στις ΕΕΛ. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι κατά μέσο όρο περίπου το 50% της συνολικής ενέργειας των εγκαταστάσεων ενεργού ιλύος χρησιμοποιείται για τα συστήματα αερισμού.

Η συγκεκριμένη ΕΕΛ λειτουργεί πλησίον των ορίων σχεδιασμού της και σύντομα θα ξεπεράσει τα πραγματικά όρια της δυναμικότητάς της, καθώς αναμένεται και η επέκταση του αποχετευτικού δικτύου, άρα και της εισερχόμενης υδραυλικής της παροχής.

Το έργο περιλαμβάνει την αναβάθμιση της παραπάνω ΕΕΛ, για την διαχείριση του ολόεντα και αυξανόμενου φορτίου εισόδου και την παράλληλη μείωση της ενεργειακής δαπάνης και εν γένει του κόστους λειτουργίας, με τη χρήση καινοτομικών τεχνολογιών. Ο εξολισμός που θα εγκατασταθεί στην εν λόγω εγκατάσταση, περιλαμβάνει μικροσχάρα, αυτοκαθαριζόμενο αμμόφιλτρο ανοδικής ροής, καθώς και συσκευή καθίζησης με λαμέλες. Με τις νέες τεχνολογίες θα διασφαλιστεί η κάλυψη των εποχιακών και πληθυσμιακών αναγκών, η βελτίωση της κοινωνικοοικονομικής ευμάρειας των τοπικών κοινοτήτων, η βέλτιστη ποιότητα υγρών εκροών και επομένως η προστασία του περιβάλλοντος.

Για την βέλτιστη διαχείριση του έργου επέκτασης απαιτείται η γνώση και η εφαρμογή κατάλληλων μεθοδολογιών και τεχνικών διοίκησης, προσαρμοσμένων στα ιδιαίτερα τεχνικά και λοιπά χαρακτηριστικά του έργου. Έτσι εισάγεται ο χρονικός προγραμματισμός και η αξία του για το έργο.

Στόχος του χρονικού προγραμματισμού είναι η σχεδίαση, ο συντονισμός, η τήρηση των τεχνικών προδιαγραφών του έργου καθώς και των περιορισμών κόστους, χρόνου και ποιότητας. Συμβάλει σημαντικά στην ομαλή εξέλιξη του έργου και παρέχει ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων για την ροή απαραίτητων πληροφοριών.

Ο χρονικός προγραμματισμός έργων προσδιορίζει τις σχέσεις αλληλεξάρτησης μεταξύ των δραστηριοτήτων, καθορίζει τις χρονικές στιγμές έναρξης και λήξης κάθε δραστηριότητας, υπολογίζει την διάρκεια της, καθώς και την συνολική διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου, εκτιμά τις απαιτήσεις σε υλικό (εξοπλισμός, μηχανήματα) και ανθρώπινο δυναμικό και τέλος δίνει την δυνατότητα της συνεχούς παρακολούθησης και του ελέγχου του έργου, για τυχόν αναπροσαρμογή και αναθεώρηση του.

Δύο συμπληρωματικές μέθοδοι χρονικού προγραμματισμού έργων που θα χρησιμοποιηθούν είναι η Μέθοδος της Κρίσιμης Διαδρομής (Critical Path Method, CPM) και η Τεχνική Αξιολόγησης και Αναθεώρησης Προγράμματος (Project Evaluation and Review Technique, PERT). Οι μεθοδολογίες αυτές αφορούν την δικτυακή ανάλυση, με βασική διαφορά τους τον χρόνο, όπου στην CPM θεωρείται γνωστός, ενώ αντίθετα στην PERT θεωρείται άγνωστος, με αποτέλεσμα να γίνεται εκτίμηση τριών πιθανοτικών χρονικών διαρκειών.

Η εργασία χωρίζεται σε τρία μέρη. Το πρώτο μέρος περιέχει το θεωρητικό υπόβαθρο, εισάγοντας την έννοια του χρονικού προγραμματισμού, τη μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί για τον χρονικό προγραμματισμό του έργου, και την ανάλυση της επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων και του ενεργειακού αποτυπώματος των ΕΕΛ.

Το δεύτερο μέρος αποτελεί το ερευνητικό κομμάτι της εργασίας, όπου παρατίθενται τα δεδομένα στοιχεία που σχετίζονται με την υφιστάμενη υποδομή της ΕΕΛ Πάρου και του προτεινόμενου έργου επέκτασης. Ακολουθεί η εκτέλεση των μεθόδων προγραμματισμού, μέσω της ανάλυσης δομής του έργου και των διαχωρισμό του σε επιμέρους δραστηριότητες, με αποτέλεσμα την εκτίμηση διάρκειας του συνολικού έργου.

Το τρίτο και τελευταίο μέρος της εργασίας, αναπτύσσει την ανάλυση των δαπανών που πιθανόν να χρειαστούν για την διεξαγωγή του έργου, σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία. Και τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της έρευνας για την εκτίμηση της συνολικής διάρκειας του έργου καθώς και της κοστολόγησης του.

## Κεφάλαιο 1: Χρονικός προγραμματισμός έργων

### 1.1. Η έννοια του έργου

«Έργο είναι ένα προσωρινό εγχείρημα που στοχεύει στη δημιουργία ενός μοναδικού προϊόντος ή υπηρεσίας». Στον ορισμό αυτό, «προσωρινό σημαίνει ότι κάθε έργο έχει καθορισμένη έναρξη και λήξη, και μοναδικό σημαίνει ότι το προϊόν ή η υπηρεσία διαφέρει κατά διακριτό τρόπο από όλα τα παρόμοια προϊόντα ή υπηρεσίες» (Φιτσιλής Π. , 2015).

Η διαχείριση των παραπάνω ιδιοτήτων είναι συχνά δύσκολη, διότι απαιτεί συνδυασμό ιδιαίτερων ικανοτήτων που προέρχονται από διαφορετικά γνωστικά πεδία. Μια από τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουμε στη διαχείριση έργων είναι να εξασφαλίσουμε ότι το έργο εκτελείται σωστά και παραδίδεται έγκαιρα λαμβάνοντας υπόψη καθορισμένους περιορισμούς. Οι περιορισμοί αυτοί ενδέχεται να είναι ο ανεπαρκής διαθέσιμος χρόνος, ο περιορισμένος προϋπολογισμός κ.ά.. Όμως η μεγαλύτερη πρόκληση θεωρείται η βελτιστοποίηση που απαιτείται να γίνει σε όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν την διαμόρφωση του έργου. Επομένως, σε ένα έργο επιλέγουμε τις δραστηριότητες που απαιτούνται, με τέτοιο τρόπο, ώστε να γίνεται βέλτιστη χρήση των πόρων (χρόνος, έξοδα, προσωπικό, υλικά, μηχανήματα, ενέργεια, χώρος κ.α.) (Φιτσιλής Π. , 2015).

Έτσι διατυπώθηκε και ένας δεύτερος ορισμός για το έργο:

«Έργο είναι ένα εγχείρημα κατά το οποίο ανθρωπίνι πόροι, μηχανές, οικονομικοί πόροι και πρώτες ύλες οργανώνονται κατά καινοφανή τρόπο, με στόχο την ανάληψη συγκεκριμένου αντικειμένου εργασιών που έχουν συγκεκριμένες προδιαγραφές και υπόκεινται σε δεδομένους κοστολογικούς και χρονικούς περιορισμούς, ώστε να παραχθεί μια επωφελής μεταβολή, η οποία ορίζεται μέσω ποσοτικών και ποιοτικών στόχων».

Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός έργου είναι (Φιτσιλής Π. , 2015) :

- ✚ Οι μη επαναλαμβανόμενες δραστηριότητες.
- ✚ Ο σχεδιασμός.
- ✚ Η μοναδικότητα του τελικού αποτελέσματος.
- ✚ Η δημιουργία ομάδας για την εκτέλεσή του.
- ✚ Η ύπαρξη έναρξης και λήξης.
- ✚ Η ύπαρξη περιορισμών διαφόρων ειδών, όπως χρόνου, κόστους, ποιότητας κ.α.
- ✚ Ο περιορισμός των διαθέσιμων πόρων .

#### 1.1.1. Η διαχείριση έργων

Σύμφωνα με το Project Management Body of Knowledge (PMBOK), ως διαχείριση έργων ορίζεται «η διαδικασία κατά την οποία εφαρμόζουμε γνώσεις, δεξιότητες, εργαλεία και τεχνικές κατά την εκτέλεση των δραστηριοτήτων του έργου με στόχο να ικανοποιήσουμε τις απαιτήσεις και τις προσδοκίες των συμμετεχόντων» (PMI, 2013). Συνεπώς, διαχείριση έργων είναι η διαδικασία ενσωμάτωσης όλων όσων πρέπει να γίνουν καθώς το έργο διανύει τον κύκλο ζωής, ώστε να ικανοποιηθούν οι στόχοι του έργου. Συνήθως οι στόχοι του έργου ορίζονται σε συνάρτηση με το αντικείμενο

εργασιών, τον χρόνο, το κόστος, την ποιότητα, τις ανάγκες και τις προσδοκίες των συμμετεχόντων και τέλος με τις εκάστοτε απαιτήσεις (PMI, 2013).

Το PMBOK είναι δομημένο σε δέκα γνωστικές περιοχές, καθεμία από τις οποίες προσδιορίζει τις απαιτούμενες διαδικασίες για την ολοκλήρωση και την επιτυχία του έργου. Οι δέκα γνωστικές περιοχές που ορίζονται στο PMBOK είναι οι εξής (PMI, 2013):

- ✚ **Ενοποίηση έργου (project integration management)**, με σκοπό την ανάπτυξη σχεδίου διοίκησης έργου, για την καθοδήγηση της εκτέλεσής του.
- ✚ **Διαχείριση αντικειμένου εργασιών έργου (project scope management)**, με σκοπό τον προσδιορισμό όλων των εργασιών ή δραστηριοτήτων που απαιτούνται για την ολοκλήρωση του έργου. Στα πλαίσια της, δημιουργείται η δομή ανάλυσης εργασιών του έργου, γνωστή και ως WBS (Work Breakdown Structure), όπου το έργο αναλύεται σε φάσεις και πακέτα εργασίας.
- ✚ **Διαχείριση χρόνου έργου (project time management)**, με σκοπό την έγκαιρη παράδοση του έργου. Στα πλαίσια της διαχείρισης αυτής δημιουργείται το χρονοδιάγραμμα (workplan) του έργου.
- ✚ **Διαχείριση κόστους έργου (project cost management)**, με σκοπό την σύνταξη και την παρακολούθηση του προϋπολογισμού του έργου.
- ✚ **Διαχείριση ποιότητας έργου (project quality management)**, με σκοπό την εξασφάλιση ενός ικανοποιητικού και ποιοτικού αποτελέσματος.
- ✚ **Διαχείριση ανθρωπίνων πόρων έργου (project human resource management)**, με σκοπό την εύρεση της βέλτιστης οργανωτικής δομής που μπορεί να φέρει εις πέρας το έργο και περιλαμβάνει την στελέχωση ομάδας του έργου.
- ✚ **Διαχείριση επικοινωνίας έργου (project communication management)**, με σκοπό την επιτυχή διαδικασία επικοινωνίας για την ανταλλαγή της πληροφορίας, μέσω καναλιών κ.α.
- ✚ **Διαχείριση κινδύνου έργου (project risk management)**, με σκοπό την αποφυγή του κινδύνου και τον έλεγχό του. Στα πλαίσιά της εκτελούνται ο σχεδιασμός διαχείρισης κινδύνου, ο προσδιορισμός κινδύνων, η ποιοτική και ποσοτική ανάλυση κινδύνου, ο σχεδιασμός απόκρισης στους κινδύνους και τέλος η παρακολούθηση και ο έλεγχος κινδύνων.
- ✚ **Διαχείριση προμηθειών έργου (project procurement management)**, με σκοπό την εξασφάλιση των απαραίτητων αγαθών και υπηρεσιών από πηγές εκτός της ομάδας εκτέλεσης έργου και του οργανισμού που το εκτελεί.
- ✚ **Διαχείριση συμμετεχόντων (stakeholder management)**, με σκοπό την επιτυχή υλοποίηση του κάθε έργου, προγράμματος ή δραστηριότητας. (PMI, 2013)

### 1.1.2. Ο κύκλος ζωής ενός έργου

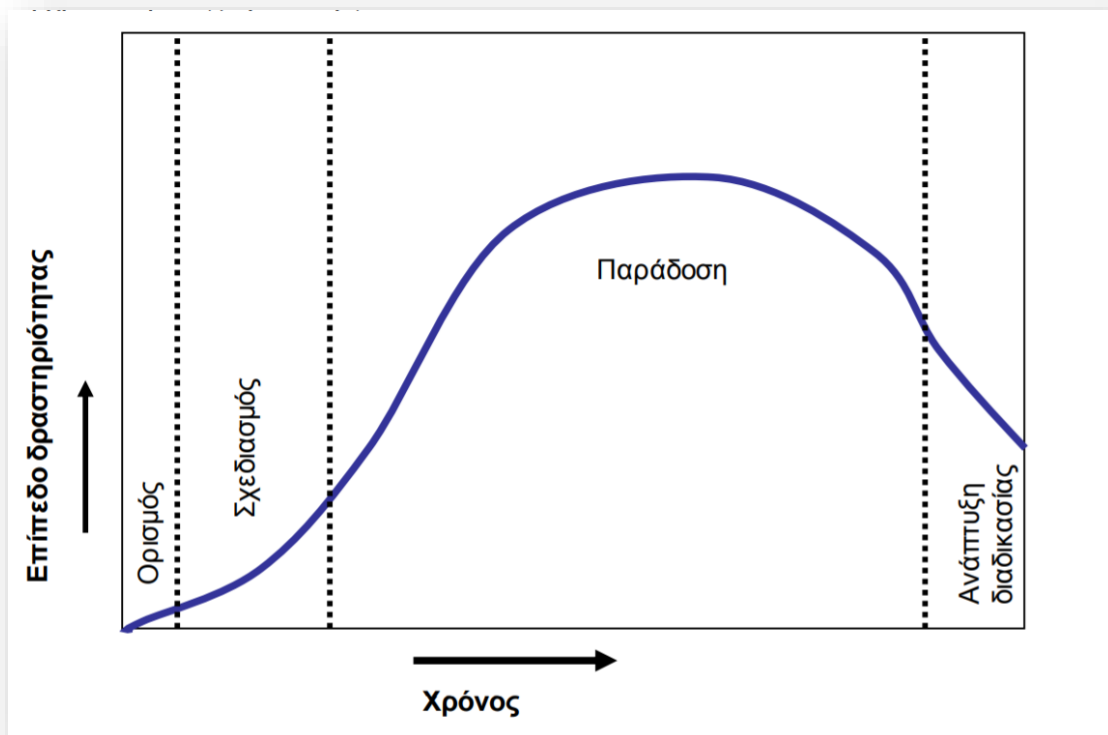
Σύμφωνα με τον Maylor, οι φάσεις διαχείρισης ενός έργου είναι τέσσερις και είναι οι εξής (Εικόνα 1) (Maylor, 2005):

- ✚ **Ορισμός του έργου:** όπου θα πρέπει να καθοριστούν οι λόγοι ύπαρξης του έργου, και αφού προσδιορίσουμε τους στόχους του έργου, να εξετάσουμε τις εναλλακτικές λύσεις για τα προβλήματα που προβλέπουμε ότι θα παρουσιασθούν. Το έργο αποτελεί ένα μέσο υλοποίησης της στρατηγικής, είτε

αυτή αφορά τον οργανισμό είτε είναι προσωπική. Συνεπώς οι στόχοι του έργου θα πρέπει να ενταχθούν στη στρατηγική και στους στόχους του φορέα.

- ✚ **Σχεδιασμός της διαδικασίας του έργου:** όπου απαιτείται η κατασκευή ενός υποδείγματος (μοντέλου), το οποίο θα επιτρέψει τον βέλτιστο τρόπο εκτέλεσης του έργου λαμβάνοντας υπόψη τους διαθέσιμους πόρους. Σε αυτό το σημείο δεν έχει δοθεί ακόμη η έγκριση για την έναρξη του έργου, διότι απαιτείται πρώτα να αξιολογηθεί το χρηματοοικονομικό κόστος και το όφελος του έργου.
- ✚ **Υλοποίηση και Παράδοση του έργου:** όπου ξεκινά με την συγκρότηση των ομάδων του έργου, τη συγκέντρωση των απαιτούμενων πόρων, συνεχίζεται με την εκτέλεση των δραστηριοτήτων που έχουν προγραμματιστεί και την παράδοση του τελικού παραδοτέου έργου.
- ✚ **Ανάπτυξη της διαδικασίας:** όπου είναι η τελική φάση και πραγματοποιείται η ανάλυση των αποτελεσμάτων του έργου για όλους τους συμμετέχοντες. Η φάση αυτή αποτελεί την φάση αξιολόγησης του έργου και εξαγωγής συμπερασμάτων.

Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει τη μεταβολή του επιπέδου δραστηριότητας (effort) που απαιτείται μια δεδομένη χρονική στιγμή στο έργο.



Εικόνα 1: Επίπεδο δραστηριότητας ανά φάση διαχείρισης ενός έργου (Φιτσιλής Π. , 2007)

### 1.1.3. Κατασκευή δικτύων - Μεθοδολογίες χρονικού προγραμματισμού έργων (CPM – PERT)

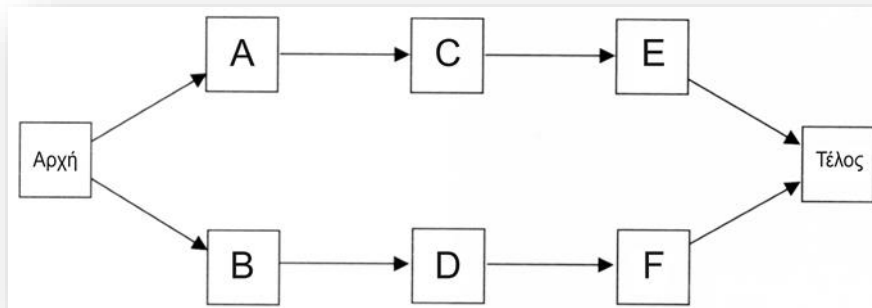
**Κατασκευή δικτύων:** Η αναπαράσταση ενός έργου μπορεί να γίνει μέσα από το διάγραμμα ενός δικτύου, όπου απεικονίζονται όλες οι δραστηριότητες του έργου με τρόπο έτσι ώστε να είναι εμφανείς οι χρονικές τους αλληλεξαρτήσεις. Ένα δίκτυο



αποτελείται από κόμβους που συνδέονται μεταξύ τους με την βοήθεια των ακμών (βέλη) (Υψηλάντης, 2015).

Τα διαγράμματα ενός δικτύου απεικονίζονται με δύο διαφορετικές μορφές:

**Δίκτυο Activity On Node (AON):** Οι κόμβοι αντιστοιχούν στις δραστηριότητες και τα βέλη δηλώνουν τις σχέσεις αλληλεξάρτησης των δραστηριοτήτων (Εικόνα 2) (Υψηλάντης, 2015)



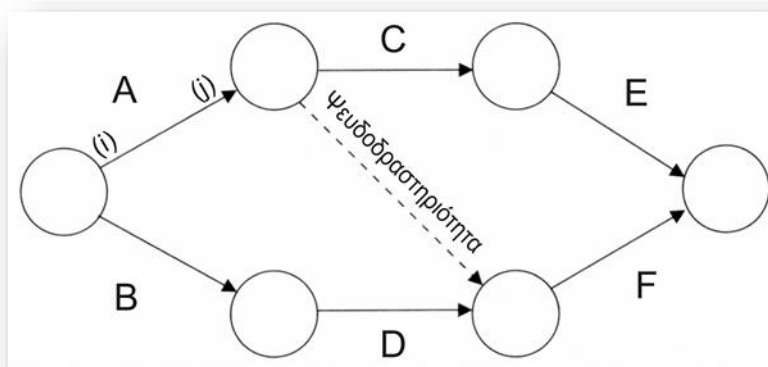
Εικόνα 2: Απλό παράδειγμα δικτύου AON (Burke, 2001)

Πριν από οποιαδήποτε απεικόνιση ή υπολογισμό απαιτείται ο καθορισμός της αλληλουχίας των εργασιών καθώς και οι σχέσεις αλληλεξάρτησης εξάρτησης. Οι βασικές σχέσεις εξάρτησης μεταξύ των διαφόρων δραστηριοτήτων μπορεί να είναι (Χασιακός & Θεοδωρακόπουλος, 2003):

- ✚ Τέλους – Αρχής (Finish – Start, FS), όπου για να αρχίσει η επόμενη δραστηριότητα πρέπει να έχει ολοκληρωθεί η αμέσως προηγούμενη με την οποία συνδέεται,
- ✚ Αρχής – Αρχής (SS), όπου για να αρχίσει η επόμενη δραστηριότητα πρέπει να έχει ξεκινήσει η αμέσως προηγούμενή της,
- ✚ Τέλους – Τέλους (FF), όπου για να ολοκληρωθεί η επόμενη δραστηριότητα πρέπει να έχει ολοκληρωθεί η αμέσως προηγούμενή της,
- ✚ Αρχής – Τέλους (SF), όπου για να ολοκληρωθεί η επόμενη δραστηριότητα πρέπει να έχει ξεκινήσει η αμέσως προηγούμενή της.

**Δίκτυο Activity On Arc (AOA):** Τα βέλη αντιστοιχούν στις δραστηριότητες και οι κόμβοι (γεγονότα) ορίζουν την έναρξη και λήξη μιας δραστηριότητας. Το μήκος των βελών δεν είναι απαραίτητα ανάλογο της διάρκειας των δραστηριοτήτων, επομένως είναι σκόπιμο να αναγράφεται η διάρκεια στο αντίστοιχο βέλος. Τα δίκτυα AOA δεν επιτρέπουν πολλαπλές δραστηριότητες με κοινούς κόμβους έναρξης και λήξης, με αποτέλεσμα την δημιουργία των ψευδοδραστηριοτήτων μηδενικής διάρκειας (διακεκομμένες γραμμές), όπου ενώνουν τους κόμβους. Οι σχέσεις αλληλουχίας μεταξύ των δραστηριοτήτων που μπορούν να απεικονιστούν με τα δίκτυα AOA, είναι μόνο σχέσεις FS (Εικόνα 3) (Υψηλάντης, 2015).





Εικόνα 3: Απλό παράδειγμα δικτύου AOA (Burke, 2001)

**Μεθοδολογίες Χρονικού Προγραμματισμού Έργων:** Οι δυο βασικές μεθοδολογίες για τον προγραμματισμό και τον έλεγχο έργων είναι γνωστές ως (Δ. Καντιάνης, 2020):

- ✚ Μέθοδος Κρίσιμης Διαδρομής – Critical Path Method (CPM) και
- ✚ Τεχνική Αξιολόγησης και Αναθεώρησης Προγράμματος – Project Evaluation and Review Technique (PERT)

Η κύρια διαφορά τους παρατηρείται στην προσέγγιση τους για την εκτίμηση διάρκειας των δραστηριοτήτων του έργου. Η CPM υποθέτει ότι μπορούν να προβλεφθούν με ακρίβεια, ενώ η PERT εισάγει την αβεβαιότητα στο χρόνο εκτέλεσης των δραστηριοτήτων. Με την πάροδο των χρόνων, οι δυο μεθοδολογίες έχουν συνδυασθεί, με αποτέλεσμα να αναφέρονται σήμερα ως PERT/CPM (ή ισοδύναμα CPM/PERT).

### Μέθοδος Κρίσιμης Διαδρομής (Critical Path Method ,CPM):

Η μέθοδος CPM συνέβαλε κυρίως στον έλεγχο έργων μεγάλης κλίμακας που απαρτίζονταν από πολυάριθμες και αλληλένδετες εργασίες, οι οποίες θα έπρεπε να πραγματοποιηθούν, είτε παράλληλα είτε σε σειρά. Η πολυπλοκότητα και η δυσκολία του ελέγχου μετατράπηκε σε μια ελεγχόμενη διαχείριση του έργου που αποτελείται από μικρότερα τμήματα δραστηριοτήτων (activities), έτσι ώστε να διευκολυνθεί η παρακολούθηση της προόδου ενός έργου και να εντοπιστούν οι κρίσιμες δραστηριότητες που ενδεχομένως να καθυστερήσουν την ολοκλήρωση του (Δ. Καντιάνης, 2020).

Για την εφαρμογή της μεθόδου είναι απαραίτητη η αναπαράσταση του έργου μέσω ενός δικτυωτού γραφήματος, στο οποίο θα απεικονίζονται όλες οι απαιτούμενες δραστηριότητες καθώς και οι χρονικές σχέσεις αλληλεξάρτησης. Κύριος στόχος της CPM είναι ο εντοπισμός της κρίσιμης διαδρομής ή αλλιώς όλων των πιθανών “μονοπατιών” βάσει του συγκεκριμένου δικτυωτού γραφήματος (δίκτυο) του έργου. Αμέσως μετά την σχεδίαση του δικτύου, μπορεί να γίνει ο υπολογισμός των ενωρίτερων χρόνων έναρξης και πέρατος (ES και EF) καθώς και των αργότερων χρόνων έναρξης και πέρατος (LS και LF) για κάθε δραστηριότητα (Δ. Καντιάνης, 2020). Ξεκινώντας από την αρχή του έργου (τη χρονική στιγμή 0) υπολογίζονται με τη σειρά αλληλουχίας (Δ. Καντιάνης, 2020):

- ✚ Η ενωρίτερη έναρξη (Early Start, ES) κάθε δραστηριότητας, δηλαδή η ενωρίτερη χρονική στιγμή που μπορεί να ξεκινήσει και η οποία εξαρτάται από την χρονική στιγμή περάτωσης της προηγούμενης δραστηριότητας.

- ✚ Η ενωρίτερη λήξη (Early Finish, EF), δηλαδή η ενωρίτερη χρονική στιγμή που μπορεί να ολοκληρωθεί η δραστηριότητα, η οποία ισούται με τον ES συν την διάρκεια της δραστηριότητας.  
Όμως για τον υπολογισμό του ES μιας δραστηριότητας της οποίας προηγούνται περισσότερες από μια δραστηριότητες, είναι σημαντικό να είναι γνωστός ο EF αυτής με την μεγαλύτερη τιμή.

Ακολουθεί με αντίθετη πορεία από το τέλος του δικτύου, τη χρονική στιγμή EF της τελευταίας δραστηριότητας του έργου οι παρακάτω υπολογισμοί (Δ. Καντιάνης, 2020):

- ✚ Η βραδύτερη λήξη (Late Finish, LF) κάθε δραστηριότητας, δηλαδή η βραδύτερη χρονική στιγμή που μπορεί να περαιωθεί χωρίς να παραταθεί ο χρόνος περάτωσης ολόκληρου του έργου.
- ✚ Η βραδύτερη έναρξη (Late Start, LS), δηλαδή η βραδύτερη χρονική στιγμή που μπορεί να αρχίσει μια δραστηριότητα χωρίς να απαιτηθεί παράταση του έργου και ισούται με το LF μείον την διάρκεια της δραστηριότητας.  
Όμως για τον υπολογισμό του LF μιας δραστηριότητας της οποίας έπονται περισσότερες από μια δραστηριότητες, λαμβάνεται υπόψη η βραδύτερη έναρξη αυτής με την μικρότερη τιμή

Η δυνατότητα καθυστέρησης μιας δραστηριότητας, χωρίς την καθυστέρηση λήξης του έργου ορίζεται ως το χρονικό περιθώριο (Slack Time). Το χρονικό περιθώριο μιας δραστηριότητας (i) δίνεται από τη σχέση (Δ. Καντιάνης, 2020) :

$$(\text{Slack})_i = (\text{LS})_i - (\text{ES})_i = (\text{LF})_i - (\text{EF})_i \quad \text{Εξ. (1)}$$

Συνεπώς μετά τον υπολογισμό των χρονικών περιθωρίων καθορίζεται η κρίσιμη διαδρομή, δηλαδή η μέγιστη χρονικά διαδρομή δραστηριοτήτων από την αρχή μέχρι και την λήξη του έργου, η οποία θα επιφέρει παράταση ολοκλήρωσης του έργου εάν κάποια από τις επιμέρους δραστηριότητες καθυστερήσει. Η κρίσιμη διαδρομή αποτελείται από δραστηριότητες όπου οι τιμές των ζευγών τους ES, EF και LS, LF ταυτίζονται, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν μηδενικό χρονικό περιθώριο. Το ενδεχόμενο να προκύψουν περισσότερες από μια κρίσιμες διαδρομές είναι πιθανό και οι δραστηριότητες που ανήκουν στις κρίσιμες διαδρομές ονομάζονται κρίσιμες δραστηριότητες. Για την αποτελεσματική εφαρμογή της μεθόδου CPM απαιτείται πλήρης ακρίβεια στους χρόνους ολοκλήρωσης των δραστηριοτήτων του έργου (Δ. Καντιάνης, 2020).

### **Μέθοδος Τεχνικής Αξιολόγησης και Αναθεώρησης Προγράμματος (Project Evaluation and Review Technique, PERT):**

Η μέθοδος PERT αναπτύχθηκε παράλληλα και ανεξάρτητα από την CPM, εισάγοντας την αβεβαιότητα ολοκλήρωσης ενός έργου, καθώς συχνά απρόβλεπτοι εξωγενείς παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν την χρονική διάρκεια μιας δραστηριότητας. Η PERT στηρίζεται στο Κεντρικό Οριακό Θεώρημα (Central Limit Theorem, CLT), όπου το άθροισμα μιας τυχαίας σειράς από ανεξάρτητες μεταβλητές ακολουθεί την κανονική κατανομή. Στην περίπτωση της PERT, οι χρονικές διάρκειες των δραστηριοτήτων αποτελούν τις ανεξάρτητες μεταβλητές, οι οποίες ακολουθούν την «Βήτα» κατανομή πιθανότητας. Εισάγει τρεις διακριτές χρονικές εκτιμήσεις για κάθε δραστηριότητα, την αισιόδοξη εκτίμηση (o), δηλαδή την εκτίμηση ταχύτερης εκτέλεσης μιας

δραστηριότητας, την απαισιόδοξη εκτίμηση (p), δηλαδή την εκτίμηση αργότερης χρονικά εκτέλεσης μιας δραστηριότητας και τέλος την πιθανότερη εκτίμηση (m), δηλαδή η μέση ή κανονική διάρκεια εκτέλεσης μιας δραστηριότητας (Δ. Καντιάνης, 2020).



Εικόνα 4: Γράφημα τυπικής μορφής «Βήτα» κατανομής πιθανότητας (θετική λοξότητα) (Δ. Καντιάνης, 2020)

Η «Βήτα» κατανομή (Εικόνα 4) στηρίζεται σε τρεις βασικές παραμέτρους, την μέση τιμή ( $\mu$ ) και την τυπική απόκλιση (standard deviation ή  $\sigma$ ) ή την διακύμανση (variance ή  $\sigma^2$ ). Αρχικά για την εύρεση της αναμενόμενης μέσης (mean ή  $\mu$ ) τιμής διάρκειας κάθε δραστηριότητας, η οποία προκύπτει σε σχέση με τις τρεις διακριτές εκτιμήσεις και υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\mu = \frac{(o + 4m + p)}{6} \quad \text{Εξ. (2)}$$

Η αναμενόμενη μέση τιμή ( $\mu$ ) βρίσκεται πάντα πιο κοντά στην πιθανότερη εκτίμηση (m), παρά στις ακραίες τιμές o και p. Μέσω των υπολογισμών των μέσων τιμών κάθε δραστηριότητας προκύπτουν οι τιμές ενωρίτερου χρόνου έναρξης (ES) και περάτωσης (EF), αργότερου χρόνου έναρξης (LS) και περάτωσης (LF) και το ολικό χρονικό περιθώριο (TF).

Η «Βήτα» κατανομή, όπως και οι περισσότερες κατανομές πιθανότητας εντοπίζονται εντός του διαστήματος μεταξύ των τιμών ( $\mu - 3\sigma$ ) και ( $\mu + 3\sigma$ ), έτσι το εύρος ανάμεσα στην μεγαλύτερη και μικρότερη διάρκεια είναι  $6\sigma$ . Κατά προσέγγιση για τον υπολογισμό της τυπικής απόκλισης ( $\sigma$ ) χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$\sigma = \frac{(p - o)}{6} \quad \text{Εξ. (3)}$$

Ενώ ο υπολογισμός της διακύμανσης ( $\sigma^2$ ) στη διάρκεια κάθε δραστηριότητας υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\sigma^2 = \left( \frac{(p - o)}{6} \right)^2 \quad \text{Εξ. (4)}$$

Στην συνέχεια αθροίζονται οι μέσες διάρκειες των κρίσιμων δραστηριοτήτων, καθώς η μέση τιμή ( $\mu$ ) της διάρκειας κάθε δραστηριότητας θεωρείται υπολογισμένη, έτσι ώστε να προκύψει η συνολική μέση διάρκεια  $\mu_p$  του έργου. Και αντίστοιχα αθροίζονται οι τιμές της διακύμανσης ( $\sigma^2$ ) των κρίσιμων δραστηριοτήτων, για να προκύψει η συνολική διακύμανση στη διάρκεια ( $\sigma_p^2$ ) του έργου.

Επομένως, η τυπική απόκλιση της συνολικής διάρκειας του έργου  $\sigma_p$  υπολογίζεται από την σχέση:

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_p^2} \quad \text{Εξ. (5)}$$

Έχοντας γνωστές τις παραμέτρους  $\mu_p$  και  $\sigma_p$  είναι εφικτός ο υπολογισμός ζητούμενων που μπορούν να διακριθούν σε δύο περιπτώσεις:

- i. Τον υπολογισμό της πιθανότητας  $P$  ολοκλήρωσης του έργου εντός μιας συγκεκριμένης προθεσμίας  $d$ .
- ii. Και τον υπολογισμό των ορίων εμπιστοσύνης για την ολοκλήρωση του έργου για μια δεδομένη πιθανότητα  $P$ , δηλαδή τις δύο οριακές διάρκειες του έργου  $LL$  (Lower Limit) και  $UL$  (Upper Limit).

Στην περίπτωση (i) για τον υπολογισμό της πιθανότητας  $P$  εφαρμόζεται ο παρακάτω τύπος:

$$z = \frac{\text{ζητούμενη διάρκεια } d - \mu_p}{\sigma_p} \quad \text{Εξ. (6)}$$

Όπου  $z$  μια τυχαία μεταβλητή που ακολουθεί τυποποιημένη κανονική κατανομή και πιο συγκεκριμένα ένας αδιάστατος αριθμός που εκφράζει την απόκλιση της ζητούμενης διάρκειας  $d$  από τη μέση τιμή  $\mu_p$  σε μονάδες τυπικής απόκλισης.

Ενώ στην περίπτωση (ii) για τον υπολογισμό των οριακών διαρκειών για μια δεδομένη πιθανότητα  $P$  εφαρμόζονται οι εξής εξισώσεις:

$$UL = \mu_p + z \cdot \sigma_p \quad \text{Εξ. (7)}$$

$$LL = \mu_p - z \cdot \sigma_p \quad \text{Εξ. (8)}$$

Όπου  $z$  η τιμή από σχετικούς πίνακες βάσει του ζητούμενου επιπέδου εμπιστοσύνης (της πιθανότητας  $P$ ).

Η μέθοδος PERT, παρά τις διάφορες ανακρίβειες στις οποίες μπορεί να οδηγηθεί λόγω των αυστηρών υποθέσεων, έχει αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο προγραμματισμού για τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων στα έργα. (Δ. Καντιάνης, 2020)

## Κεφάλαιο 2: Επεξεργασία υγρών αποβλήτων και διαχείριση βιοστερεών

### 2.1. Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων

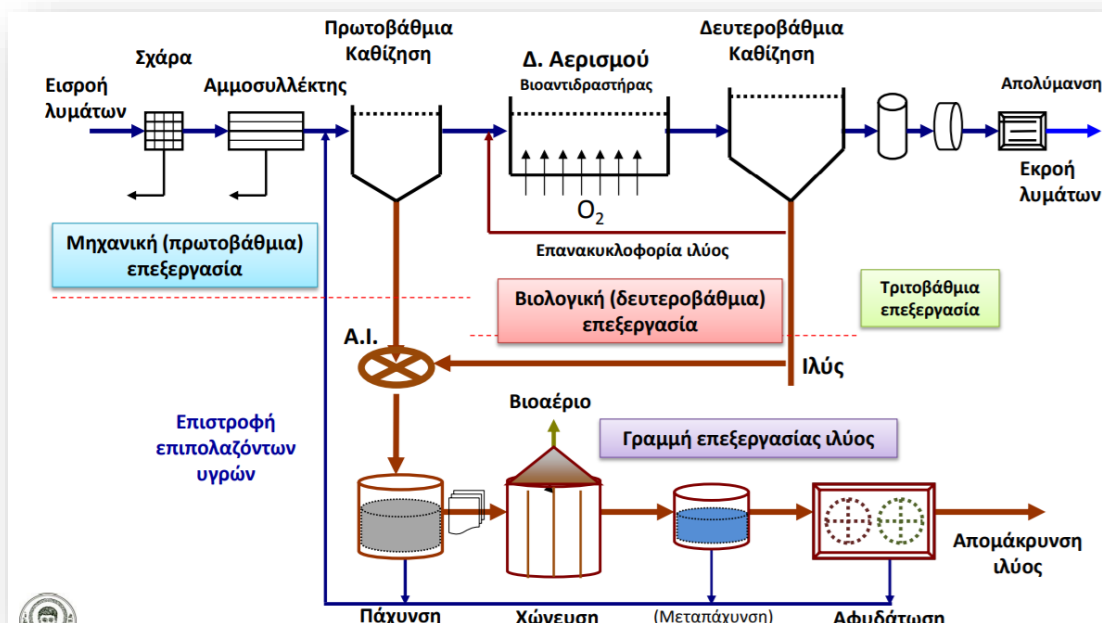
Η επεξεργασία των λυμάτων αποτελεί μια αναγκαία υπηρεσία για το δημόσιο συμφέρον. Βασική λειτουργία των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) είναι η επεξεργασία των λυμάτων, για την ελαχιστοποίηση των επιβλαβών ουσιών που περιλαμβάνονται στα λύματα, σε τέτοιο βαθμό ώστε να μπορούν να διατεθούν στον τελικό φυσικό υδάτινο αποδέκτη χωρίς να επηρεάσουν την ποιότητά του (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2018).

Η επεξεργασία και η διαχείριση τους καθορίζεται από την οδηγία 91/271/ΕΟΚ, η οποία καθιστά τη συλλογή και επεξεργασία των λυμάτων υποχρεωτική σε όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, για οικισμούς με περισσότερους από 2.000 κατοίκους. Έτσι κατασκευάζονται συνεχώς τα τελευταία χρόνια όλο και πιο προηγμένες και σύγχρονες ΕΕΛ, που εξυπηρετούν τον περιορισμό της ρύπανσης των υδάτων από τα αστικά λύματα. Γενικά σε ΕΕΛ μεγάλης κλίμακας, η επεξεργασία των λυμάτων πραγματοποιείται σε τέσσερα διακριτά στάδια, όπου το ένα ακολουθεί το προηγούμενο και αποτελούνται το καθένα από διάφορες φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες(Εικόνα 5). Αυτά είναι τα ακόλουθα (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2018):

1. **Προεπεξεργασία:** Απομάκρυνση ογκωδών στερεών των λυμάτων, όπως υφάσματα, ξύλα, επιπλέοντα στερεά, άμμος και λίπη τα οποία μπορούν να προκαλέσουν λειτουργικά προβλήματα στον υπόλοιπο εξοπλισμό.
2. **Πρωτοβάθμια διαχείριση:** Απομάκρυνση μέχρι το 50% του Βιοχημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (Biochemical Oxygen Demand, BOD<sub>5</sub>), το 70% των Αιωρούμενων Στερεών (Suspended Solids, SS), και το 65% των ελαίων και των λιπών της οργανικής ύλης από τα λύματα.
3. **Δευτεροβάθμια διαχείριση:** Απομάκρυνση της βιοδιασπώμενης οργανικής ύλης (διαλυμένης ή αιωρούμενης) και των αιωρούμενων στερεών. Η απολύμανση συνήθως πραγματοποιείται στην δευτεροβάθμια επεξεργασία.
4. **Τριτοβάθμια διαχείριση:** Απομάκρυνση των υπολοίπων αιωρούμενων στερεών (ότι απέμεινε από την δευτεροβάθμια επεξεργασία) με συνήθη χρήση διήθησης. Η απολύμανση (διαδικασίες για την αντιμετώπιση παθογόνων μικροοργανισμών) και η απομάκρυνση θρεπτικών ουσιών (φώσφορος, άζωτο) περιλαμβάνονται πολλές φορές σε αυτή την επεξεργασία.

Τα στερεά υπολείμματα που προκύπτουν κατά την διαδικασία της πρωτοβάθμιας, δευτεροβάθμιας και τριτοβάθμιας επεξεργασίας των λυμάτων αποτελούν την ιλύ (λάσπη) (Hall, 2000). Με τον όρο βιοστερεά, γίνεται αισθητός ο διαχωρισμός της ιλύος που έχει υποστεί επαρκή επεξεργασία, προκειμένου να διατεθεί στο έδαφος, και της μη επεξεργασμένης ιλύος, που περιλαμβάνει υψηλές ποσότητες περιβαλλοντικών ρύπων (Wang L.K., 2008). Με την εφαρμογή των βιοστερεών γεωργικής χρήσης πραγματοποιείται αποτελεσματική ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση της οργανικής ύλης, αλλά και των διαφόρων θρεπτικών συστατικών που περιέχει, με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης του εδάφους, την πιθανή αποκατάσταση και την βελτίωση της γονιμότητάς του. Συνεπώς, εάν δεν γίνει σωστή επεξεργασία, διαχείριση

και παρακολούθηση των βιοστερεών, μπορεί να επιδράσει αρνητικά στην υγεία των ανθρώπων και των ζώων, στην ποιότητα του χώματος και του νερού καθώς και στην ανάπτυξη της βλάστησης (Stehouwer, 2010).



Εικόνα 5:Τυπικό διάγραμμα ροής ΕΕΛ, για την επεξεργασία λυμάτων με την μέθοδο ενεργού ιλύος (Νταρακάς, 2016)

## 2.1.1. Συμβατικές μέθοδοι επεξεργασίας αποβλήτων

### 2.1.1.1. Προ-επεξεργασία

Με τον όρο προκαταρκτική επεξεργασία (προ-επεξεργασία) εννοούμε τις φυσικές και μηχανικές διεργασίες που λαμβάνουν μέρος κατά την επεξεργασία των λυμάτων, όπως την εσχάρωση, την εξάμμωση και τον διαχωρισμό των ελαίων και των λιπών. Τα απόβλητα της προκαταρκτικής επεξεργασίας μετά την κατάλληλη επεξεργασία διατίθενται σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) (Commission of European Communities, 2001).

Κατά την εσχάρωση, τα λύματα που φτάνουν στη μονάδα επεξεργασίας, διέρχονται από σχάρες, οι οποίες χρησιμεύουν για την συγκράτηση μεγάλων στερεών, όπως ξύλα, πλαστικά, γυαλιά, φλοιοί φρούτων, πανιά και λοιπά, τα οποία θα μπορούσαν να προκαλέσουν αποφράξεις σε σωληνώσεις, αεριστήρες και αντλίες στα επόμενα στάδια του βιολογικού. Τα βασικά είδη των εσχαρών είναι δύο, οι απλές χειροκίνητες που καθαρίζονται με τα χέρια και οι μηχανικές - αυτοκαθαριζόμενες οι οποίες προτιμώνται κατά κύριο λόγο. Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία της εσχάρωσης, τα εσχαρίσματα που προκύπτουν συμπιέζονται και μεταφέρονται σε χώρους υγειονομικής ταφής (Χρυσικόπουλος, 2018).

Ακολουθεί η εξάμμωση – λιποσυλλογή, όπου στόχος είναι η απομάκρυνση κόκκων άμμου, σωματιδίων αργίλου ή άλλων σωματιδίων γεωλογικής ή όχι υφής, διαμέτρου



μεγαλύτερης από 200  $\mu\text{m}$ . Η απομάκρυνση των σωματιδίων αυτών είναι απαραίτητη, γιατί η παρουσία τους δημιουργεί προβλήματα, όπως εναπόθεση φερτών υλών στον πυθμένα των αγωγών, φράξιμο σωληνώσεων, φθορά του μηχανολογικού εξοπλισμού (π.χ αντλίες) και μείωσης της απόδοσης σημαντικών μονάδων επεξεργασίας (π.χ στους αναερόβιους χωνευτές λάσπης ή συσσωρευση άμμου προκαλεί μείωση του ωφέλιμου όγκου τους και κατά συνέπεια της απόδοσής τους). Η εξάμμωση γίνεται σε ειδικές δεξαμενές (εξαμμωτές) με την δημιουργία κατάλληλων συνθηκών ροής που ευνοούν την καθίζηση και την απομάκρυνση της άμμου (και των άλλων ανόργανων σωματιδίων) αλλά όχι και των οργανικών στερεών. Παράλληλα κατά μήκος των εξαμμωτών κατασκευάζονται περιοχές ηρεμίας-λιποσυλλογής, όπου συγκεντρώνονται στην επιφάνεια τα λίπη, οι αφροί και οι άλλες επιπλέουσες ουσίες (Χρυσικόπουλος, 2018).

#### 2.1.1.2. Πρωτοβάθμια επεξεργασία

Η δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης αποτελεί την πρώτη βασική μονάδα καθαρισμού μετά από την προεπεξεργασία. Σκοπός της είναι η απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών, οργανικών και ανόργανων, μεγέθους 0,1 – 0,001 $\mu\text{m}$ . Σε αυτό το στάδιο μπορεί να αφαιρεθεί μέχρι το 50% του Βιοχημικά Απαιτούμενου Οξυγόνου (Biochemical Oxygen Demand, BOD<sub>5</sub>), το 70% των Αιωρούμενων Στερεών (Suspended Solids, SS), και το 65% των ελαίων και των λιπών που υπάρχουν στα υγρά απόβλητα ανάλογα με το χρόνο συγκράτησης (Amoatey & Bani, 2011).

#### 2.1.1.3. Δευτεροβάθμια επεξεργασία

Σκοπός της δευτεροβάθμιας (βιολογικής) επεξεργασίας των λυμάτων είναι η ελάττωση του BOD<sub>5</sub>, των SS και η μείωση των αζωτούχων και φωσφορικών ενώσεων που υπάρχουν στα υγρά απόβλητα. Στην βιολογική επεξεργασία χρησιμοποιούνται κυρίως μικροοργανισμοί, οι οποίοι αναπαράγονται καταναλώνοντας τις οργανικές ουσίες των λυμάτων και αμέσως μετά ακολουθεί η απομάκρυνση τους μέσω της διαδικασίας καθίζησης. Στην Ελλάδα, κυρίως, για την συγκεκριμένη επεξεργασία χρησιμοποιείται αποκλειστικά η διεργασία αιωρούμενης βιομάζας με τη μέθοδο ενεργού ιλύος. Τα συστήματα που περιλαμβάνει η επεξεργασία αυτή είναι (Κούγκολος, 2005):

- ✚ Η δεξαμενή αερισμού (βιοαντιδραστήρας) συνεχούς ροής πλήρους ανάμιξης με επανακυκλοφορία. Συχνά τα λύματα που οδηγούνται στην δευτεροβάθμια επεξεργασία, αποτελούνται από μεγάλα ποσοστά οργανικής ύλης και οξυγόνο με αποτέλεσμα να δημιουργούνται οι προϋποθέσεις για την ύπαρξη και ανάπτυξη αερόβιων μικροοργανισμών. Κατά την διεργασία τα εισερχόμενα υγρά απόβλητα δέχονται ανάμειξη και αερισμό με την αιωρούμενη βιομάζα (μικροοργανισμοί), έτσι ώστε οι μικροοργανισμοί να προσροφούν οργανικές ενώσεις, να τις οξειδώνουν και να τις απομακρύνουν. Το οξυγόνο τροφοδοτείται στα απόβλητα από διαχυτήρες εμφύσησης φυσαλίδων αέρα, που βρίσκονται στον πυθμένα της δεξαμενής (Νταρακάς, 2016).
- ✚ Η δεξαμενή δευτεροβάθμιας καθίζησης, η οποία ακολουθεί την δεξαμενή αερισμού, κατά την οποία η αιωρούμενη βιολογική μάζα, καθιζάνει και απομακρύνεται με την μορφή λάσπης, γνωστή και ως δευτεροβάθμια ιλύς. Ένα

τμήμα της λάσπης αυτής ανακυκλοφορεί πίσω στην δεξαμενή αερισμού, ενώ η υπόλοιπη οδηγείται για την επεξεργασία ιλύος (Νταρακάς, 2016).

#### 2.1.1.4. Απολύμανση

Σκοπός της διαδικασίας απολύμανσης των λυμάτων είναι η καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών σε ικανοποιητικό επίπεδο, έτσι ώστε η διάθεσή τους στους υδάτινους αποδέκτες ή η επαναχρησιμοποίησή τους να μην επιφέρει κινδύνους στην δημόσια υγεία. Η απολύμανση αποτελεί το τελευταίο βήμα στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, λίγο πριν αυτά διατεθούν ελεύθερα στο υδάτινο οικοσύστημα ή για επαναχρησιμοποίηση. Κατά την απολύμανση γίνεται χρήση πολλών μεθόδων, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης χλωρίου, όζοντος και υπερϊώδους ακτινοβολίας (Amoatey & Bani, 2011).

#### 2.1.1.5. Τριτοβάθμια επεξεργασία

Η τριτοβάθμια επεξεργασία αποβλέπει στην απομάκρυνση ορισμένων ρυπαντικών ουσιών, που δεν έχουν απομακρυνθεί στα προηγούμενα στάδια επεξεργασίας και βελτιώνει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των λυμάτων έτσι ώστε να είναι αποτελεσματική η απολύμανσή τους (ENBIO Ε.Π.Ε., 2015). Η τριτοβάθμια επεξεργασία δεν κρίνεται απαραίτητη, εκτός από την περίπτωση που η επεξεργασία των λυμάτων απαιτεί υψηλά επίπεδα απορρύπανσης, για την διάθεσή τους σε ευαίσθητους αποδέκτες (Νταρακάς, 2016).

#### Κροκίδωση – Συσσωμάτωση

Η κροκίδωση και η συσσωμάτωση αποτελούν τις πιο σημαντικές διεργασίες επεξεργασίες των αποβλήτων και απαιτούν ένα συνδυασμό από φυσικά και χημικά φαινόμενα. Οι τεχνικές αυτές χρησιμοποιούνται για την απομάκρυνση αιωρούμενων στερεών μικρού μεγέθους (μικρότερα από 10μm) (Γκίνος, 2005). Κροκίδωση ονομάζεται η διαδικασία αποσταθεροποίησης των κολλοειδών σωματιδίων, έτσι ώστε να αυξηθεί ο όγκος των σωματιδίων και να συγκρουστούν. Για την πραγματοποίηση τους κροκίδωσης γίνεται προσθήκη χημικών ουσιών στα λύματα για την διευκόλυνση τους απομάκρυνσής τους από τα λύματα με καθίζηση (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2018). Η κροκίδωση επιτυγχάνεται σε τρία στάδια, την προσθήκη χημικών μέσων και διασπορά τους στο υγρό διάλυμα κάτω από συνθήκες ταχείας ανάμειξης, τις ενδομοριακές συγκρούσεις και την απομάκρυνση με καθίζηση. Ο όρος της συσσωμάτωσης χρησιμοποιείται για να περιγράψει την διαδικασία αύξησης του μεγέθους των σωματιδίων μέσω της συσώρευσης και της απομάκρυνσής τους με καθίζηση λόγω βαρύτητας και διήθησης (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2018). Η συνεισφορά των δύο εφαρμογών παρατηρείται στον αποτελεσματικό καθαρισμό των αποβλήτων και του νερού με χαμηλό κόστος επεξεργασίας (Γκίνος, 2005).

#### Χημική καθίζηση

Στην δεξαμενή χημικής καθίζησης πραγματοποιείται η απομάκρυνση (κατακρήμνιση) βαρέων μετάλλων αζώτου και του διαλυτού φωσφόρου, με την χρήση κροκιδωτικών, κατά προτίμηση του υπεροξειδίου του ασβεστίου ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) (Χρυσικόπουλος, 2018). Για περαιτέρω απομάκρυνση των αιωρούμενων στερεών αμέσως μετά την χημική καθίζηση, γίνεται χρήση των αμμόφιλτρων.



**Τα Αμμόφιλτρα** εισάγουν την διεργασία της διήθησης σε πολλαπλή κλίνη άμμου (αμμόφιλτρα), που έχει σαν αποτέλεσμα την αφαίρεση των αιωρούμενων στερεών σωματιδίων που έχουν διαφύγει από άλλες δεξαμενές καθίζησης. Έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη διαύγαση με εκροή χαμηλής συγκέντρωσης και χρησιμοποιούνται προς το τελικό στάδιο πριν την απόρριψη ή την ανακύκλωση (Delta Co Agencies, 2005).

#### 2.1.1.6. Επεξεργασία της ιλύος

Η ιλύς που προκύπτει από τις διεργασίες επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων βρίσκεται συνήθως σε ρευστή ή ημίρρευστη μορφή και περιέχει από 0,25 έως και 12% κατά βάρος σε στερεά ανάλογα με τις μεθόδους και τις διεργασίες που χρησιμοποιήθηκαν. Η επεξεργασία και η διάθεση της λάσπης αποτελεί το σημαντικότερο πρόβλημα που έχει να αντιμετωπίσει κανείς στην επεξεργασία των υγρών αποβλήτων, καθώς αυτή καταλαμβάνει τον μεγαλύτερο όγκο από τα συστατικά που απομακρύνονται (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2018).

Τα προβλήματα που δημιουργούνται λόγω της λάσπης είναι πολύπλοκα γιατί:

- ✚ Περιλαμβάνει κυρίως συστατικά που καθιστούν επικίνδυνα τα ανεπεξέργαστα υγρά απόβλητα,
- ✚ Το κλάσμα της λάσπης που παράγεται κατά την βιολογική επεξεργασία και απαιτεί διάθεση, αποτελείται από οργανική ύλη που περιέχεται στο υγρό απόβλητο, αλλά σε μορφή τέτοια όπου μπορεί να αποσυντεθεί και να καταστεί επικίνδυνη και
- ✚ Περιέχει ένα μικρό μέρος στερεής ύλης.

Οι κύριες μέθοδοι για την επεξεργασία και τη διάθεση της ιλύς περιλαμβάνουν:

- ✚ Πύκνωση, προεπεξεργασία (conditioning), αφυδάτωση και ξήρανση για την απομάκρυνση της υγρασίας από το κλάσμα της λάσπης
- ✚ Χώνευση, κομποστοποίηση, καύση, οξείδωση του υγρού αέρα και κατακόρυφους αυλωτούς αντιδραστήρες για την σταθεροποίηση του οργανικού υλικού στη λάσπη.

#### Πάχυνση (Συμπύκνωση)

Πάχυνση ονομάζεται η διαδικασία που χρησιμοποιείται για την αύξηση της περιεκτικότητας της ιλύος σε στερεά μέσω της απομάκρυνσης ενός μεγάλου ποσοστού του υδάτινου περιεχομένου της. Η ιλύς των βιολογικών καθαρισμών τυπικά περιέχει 0,8% ολικά στερεά και μπορούν να συμπυκνωθούν σε ένα υλικό μέχρι και 6% περιεκτικότητα σε στερεά ( $60\text{kg/m}^3$ ), έτσι ώστε να είναι εφικτή και η άντλησή της (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2018).

Η πάχυνση επιτυγχάνεται με (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2018) :

- ✚ Συνδυασμένη καθίζηση
- ✚ Καθίζηση με βαρύτητα
- ✚ Επίπλευση διαλυμένου αέρα
- ✚ Φυγόκεντρο
- ✚ Ταινία βαρύτητας

## Περιστρεφόμενο τύμπανο

### **Αναερόβια χώνευση**

Η αναερόβια σταθεροποίηση (ή αναερόβια χώνευση) είναι η αποσύνθεση της οργανικής και ανόργανης ύλης της ιλύος, μέσω απουσίας οξυγόνου. Κατά την αναερόβια χώνευση λαμβάνουν χώρα τρεις τύποι αντιδράσεων, η υδρόλυση, η ζύμωση (οξυγένεση) και η μεθανογένεση. Για την επιτυχία της αναερόβιας χώνευσης συμβάλουν διάφορες παράμετροι που επηρεάζουν την αύξηση των μικροοργανισμών που συμμετέχουν στη διαδικασία της, όπως είναι ο χρόνος παρακράτησης των στερεών, ο υδραυλικός χρόνος παρακράτησης, η θερμοκρασία, το pH, η βιοδιαθεσιμότητα θρεπτικών και ιχνών μετάλλων, η παρουσία τοξικών ενώσεων, και τέλος η αλκαλικότητα. Κατά την διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης παράγεται βιοαέριο, που πολλές φορές δύναται να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας και να καλύψει τις περισσότερες ενεργειακές απαιτήσεις της εγκατάστασης (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2018).

### **Αφυδάτωση**

Στα πλαίσια της αφυδάτωσης γίνεται η απομάκρυνση μεγάλου μέρους της περιεχόμενης υγρασίας που περιέχει η ιλύς και μπορεί να επιτευχθεί με φυσικά ή μηχανικά μέσα, όπως: τύμπανα φυγοκέντρισης στερεών, ταινιοφιλτρόπρεσσα, φιλτρόπρεσσα με δίσκους, κλίνες ξήρανσης και λίμνες ιλύος. Αμέσως μετά την αφυδάτωση – ξήρανση της λάσπης, που δεν είναι πάντα απαραίτητη, ακολουθεί η διάθεση της σε χωματερή ή για λίπασμα. (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2018)

### **Κομποστοποίηση**

Κομποστοποίηση είναι η αερόβια, βιολογική και ελεγχόμενη διεργασία κατά την οποία η ιλύς αναμιγνύεται με κατάλληλα υλικά, ώστε να επιτευχθεί τελική αναλογία C:N, περίπου 30:1. Για την ανάμιξη αυτή χρησιμοποιούνται κυρίως παραπροϊόντα γεωργικών χρήσεων, όπως άχυρο, φλοιούς ξύλων, φύλλα κ.α. τα οποία χρησιμοποιούνται ως πηγές άνθρακα (Kosobucki, 2000). Κατά την κομποστοποίηση επιτυγχάνεται μερική αποδόμηση των οργανικών υλικών από μικροοργανισμούς, οι οποίοι καταναλώνουν οξυγόνο και θρέφονται από το οργανικό υλικό. Η λειτουργία αυτή έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση θερμότητας, διοξειδίου του άνθρακα και υδρατμών στην ατμόσφαιρα. Συνεπώς η κομποστοποίηση μειώνει των όγκο και τη μάζα των υλικών, δίνοντας ένα τελικό προϊόν γνωστό ως κομπόστ και προσομοιάζει στο χούμους του εδάφους. (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2018)

#### **2.1.2. Ενεργειακό αποτύπωμα ΕΕΛ**

Στις ΕΕΛ διεξάγεται πλέον ευρέως η επεξεργασία υγρών αποβλήτων, που προέρχονται από ανθρωπογενείς ενέργειες (αστικά και βιομηχανικά λύματα), έτσι ώστε να επέλθει μείωση των επιβλαβών ουσιών που καταλήγουν στους τελικούς αποδέκτες τους. Ένα στοιχείο που δημιουργεί όμως προβληματισμούς είναι το κόστος της ενέργειας και οι όλο και μεγαλύτερες απαιτήσεις για υψηλότερα επίπεδα επεξεργασίας των αστικών αποβλήτων έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η βελτιστοποίηση του κόστους καθώς και μείωση των ενεργειακών αναγκών έχει γίνει επιτακτική ανάγκη των ΕΕΛ. Πολλές φορές οι νέες τεχνολογίες μπορεί να έχουν αντίθετα αποτελέσματα ως προς τις απαιτήσεις

ενέργειας, είτε να ελαττώνονται λόγω ανεπτυγμένων συστημάτων, είτε να αυξάνονται λόγω των αυξανόμενων απαιτήσεων επεξεργασίας (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2018). Οι ΕΕΛ ανάλογα με την τοποθεσία τους, τους τύπους διαδικασιών επεξεργασίας και το σύστημα αερισμού που διαθέτουν, το μέγεθος του φορτίου αποβλήτων που εισέρχεται στην μονάδα και την ηλικία της εγκατάστασης τους, έχουν διαφορετικές ενεργειακές απαιτήσεις. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, οι απαιτήσεις για την άντληση, τον αερισμό και την συνεχόμενη επεξεργασία των στερεών μεταβάλλονται, με την μέγιστη απαίτηση σε ηλεκτρική ενέργεια στις ΕΕΛ, να παρατηρείται κυρίως από τη μεσημβρία μέχρι και τις πρώτες βραδινές ώρες (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2018).

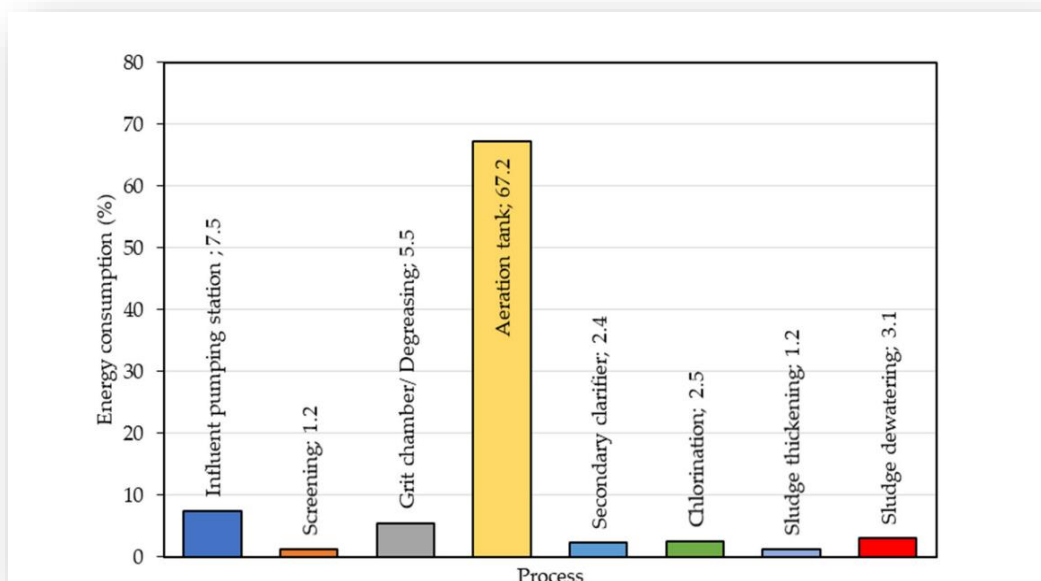
Κατά την διάρκεια της συμβατικής διαδικασίας ενεργού ιλύος για την επεξεργασία των λυμάτων, είναι δυνατό να καταναλώσει έως και το 60% των συνολικών απαιτήσεων της ισχύος της μονάδας για την βιολογική διεργασία του αερισμού (Gikas, 2017).

Σύμφωνα με την (Εικόνα 6), όπως ήταν αναμενόμενο, το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται για τη διαδικασία του αερισμού, η οποία κατά μέσο όρο ισούται περίπου με  $0,618 \text{ kWh/m}^3$  (67,2%) της συνολικής κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Το αμέσως επόμενο μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας καταναλώνεται από το σταθμό άντλησης των εισροών με ποσοστό που φτάνει τα 7,5% της συνολικής κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι υπόλοιπες διαδικασίες καταναλώνουν μικρότερες ποσότητες ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα η αμμοσυλλογή – λιπосуλλογή βρέθηκε να απαιτεί το 5,5% της συνολικής ενέργειας, η αφυδάτωση της ιλύος απαιτεί το 3,1% , η χλωρίωση απαιτεί το 2,5% και ακολουθεί δευτεροβάθμια διαύγαση με το 2,4%. Τέλος με ποσοστό 1,2% της συνολικής καταναλωμένης ενέργειας βρίσκεται η εσχάρωση των λυμάτων, καθώς και η πάχυνση της ιλύος.

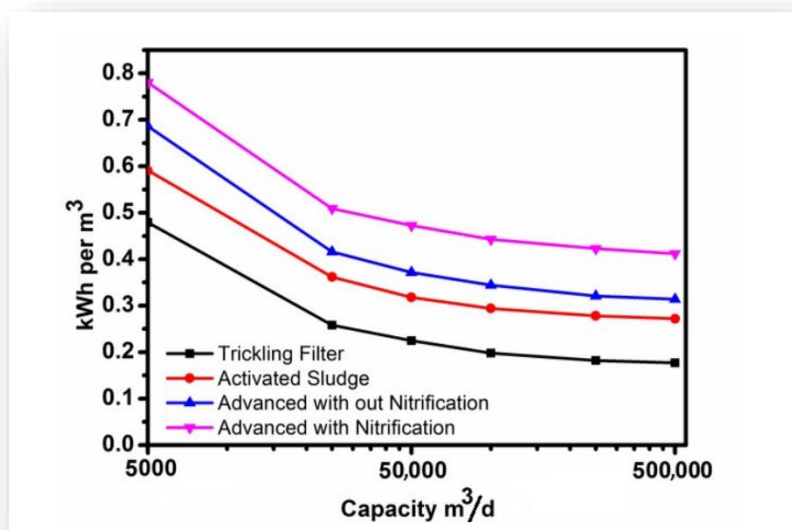
Οι ενεργειακές απαιτήσεις για τις συμβατικές ΕΕΛ με τη μέθοδο ενεργού ιλύος, είναι συνήθως μεταξύ  $0,30 \text{ kWh/m}^3$  και  $0,65 \text{ kWh/m}^3$ , με την υψηλότερη τιμή να επιτυγχάνεται όταν γίνεται εφαρμογή της νιτροποίησης (Gu, et al., 2017). Ανάλογα με την κάθε διαδικασία επεξεργασίας που χρησιμοποιείται, οι ενεργειακές απαιτήσεις διαφοροποιούνται, όπως επίσης και με τον ρυθμό ροής εισόδου των λυμάτων. Στην Εικόνα 7, παρατηρείται ότι για οποιαδήποτε διαδικασία επεξεργασίας των λυμάτων, όσο χαμηλότερη είναι η δυναμικότητα της εγκατάστασης, τόσο υψηλότερες είναι οι ενεργειακές απαιτήσεις ανά μονάδα όγκου.

Τέλος, η αύξηση του πληθυσμού και η συνεπακόλουθη αύξηση του εισερχόμενου φορτίου στις εγκαταστάσεις, σε συνδυασμό με τους ολοένα και αυστηρότερους περιβαλλοντικούς όρους για καλύτερη ποιότητα και επαναχρησιμοποίηση των τριτοβάθμια επεξεργασμένων εκροών, επιφέρουν και αύξηση ζήτησης της ενέργειας για την λειτουργία των εγκαταστάσεων αυτών. Για την κάλυψη όλων των παραπάνω αναγκών, εξετάζονται ανελλιπώς τρόποι βελτιστοποίησης της κατανάλωσης ενέργειας, της αποδοτικότητας του σχεδιασμού και των λειτουργιών των συστημάτων, τις διαδικασίες ανάκτησης ενέργειας και της καλής διαχείρισής της, με την γνώση πως υψηλότερη ενεργειακή απόδοση συνεπάγει χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας, λιγότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και χαμηλότερο λειτουργικό κόστος για τις ΕΕΛ (Schosseler, et al., 2007; Hernandez-Sancho, Molinos-Senante, & Sala-Garrido, 2011).

Ένας τρόπος αντιμετώπισης την υψηλής ενεργειακής απαίτησης, είναι η εξάλειψη των αναγκών για αερισμό των λυμάτων , όσο περισσότερο γίνεται. Η προτεινόμενη διαδικασία βασίζεται στην βελτιωμένη αφαίρεση πρωτογενών στερεών με βάση προηγμένες διεργασίες, όπως μικροκοσκινίσματος και φιλτραρίσματος (Gikas, 2017).



Εικόνα 6: Κατανομή ενέργειας στις κύριες διεργασίες συμβατικών συστημάτων ενεργού ιλύος (Wastewater Treatment Plants Monitoring Database, 2020).



Εικόνα 7: Κατανάλωση ενέργειας διαφόρων τύπων ΕΕΛ, ως συνάρτηση της χωρητικότητας της μονάδας (Gu, και συν., 2017)

## Κεφάλαιο 3: Περιγραφή της ΕΕΛ Πάρου

### 3.1. Περιοχή μελέτης – υφιστάμενη κατάσταση ΕΕΛ Πάρου

#### 3.1.1. Γεωγραφική θέση – διοικητική περιοχή

Η Πάρος βρίσκεται στον θαλάσσιο χώρο, νοτιοανατολικά της Αττικής και ανήκει στον νομό Κυκλάδων, ο οποίος αποτελείται από 24 κατοικημένα και μεγάλο αριθμό μικρότερων ακατοίκητων νησιών. Η Πάρος (Μινωΐς) βρίσκεται στο κέντρο του νησιώτικου συγκροτήματος των Κυκλάδων, με έκταση 195 km<sup>2</sup> και σχήμα ελλειψοειδές. Το μέγιστο υψόμετρο φτάνει τα 771 m. Οι ακτές της είναι απότομες και βραχώδεις, διακόπτονται όμως από αρκετούς κολπίσκους με μικρές αμμώδεις παραλίες. Το μεγαλύτερο μέρος των εδαφών του νησιού είναι ημιορεινά και χαρακτηρίζονται γενικά φτωχά ή μέτρια, πετρώδη με εξαίρεση κάποιες αρδευόμενες εκτάσεις, κυρίως στα ανατολικά του νησιού. Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις είναι αμπέλια, ελαιώνες, σιτηρά και κτηνοτροφικά φυτά, ενώ ουσιαστικά στο νησί δεν υπάρχει υψηλή βλάστηση εκτός από ένα είδος θαμνοειδούς που μοιάζει με κυπαρίσσι και είναι συγγενές του κέδρου. Τα εξεταζόμενα έργα βρίσκονται στο νότιο και ανατολικό τμήμα του νησιού και πιο συγκεκριμένα στην πρώην Κοινότητα της Αγκαιριάς (κοντά στο αεροδρόμιο της Πάρου) (Ε.Π.Ε.Μ. Α.Ε., Ε.Π.Ε., & Σαρηγιάννης, 2005).

#### 3.1.2. Δεδομένα σχεδιασμού

##### Παροχές και ρυπαντικά φορτία εισόδου

Για τον σχεδιασμό της ΕΕΛ χρησιμοποιούνται οι παρακάτω παράμετροι σχεδιασμού (Ε.Π.Ε.Μ. Α.Ε., Ε.Π.Ε., & Σαρηγιάννης, 2005):

**Πίνακας 1: Παράμετροι σχεδιασμού επέκτασης Ε.Ε.Λ. Μάρπησσας**

Δεδομένα εισόδου		Παρούσα φάση	
		Χειμώνας	Καλοκαίρι
Πληθυσμός	#	1.500	5.000
Μέση ημερήσια παροχή	m <sup>3</sup> /d	86,5	866,5
Μέγιστη ημερήσια παροχή	m <sup>3</sup> /d	160	1.220
Παροχή αιχμής	m <sup>3</sup> /h	60	120
BOD <sub>5</sub>	kg/d	58,0	416,3
	mg/l	364	341
SS	kg/d	71,0	483,2
	mg/l	445	396
TN	kg/d	9,0	62,4
	mg/l	56	51
TP	kg/d	4,5	15,0
	mg/l	28	12
VSS/SS	%	0,75	0,75
T	°C	15,0	25,0

Τα λύματα από τους οικισμούς Πίσω Λειβάδι, Λογαρά και Μάρπησας καταλήγουν στην εγκατάσταση μέσω του υφιστάμενου αντλιοστασίου προσαγωγής, που χωροθετείται νοτιοανατολικά του γηπέδου της ΕΕΛ και μέσω του φρεατίου, που χωροθετείται στο βόρειο άκρο του γηπέδου και στο οποίο καταλήγουν βαρυτικά ταλύματα από τους οικισμούς Πρόδρομος και Μάρμαρα,. Στην εγκατάσταση προβλέπεται να διοχετεύονται και βοθρολύματα και προβλέπεται ξεχωριστή προεπεξεργασία και αποθήκευσή τους πριν την προσαγωγή τους στις γραμμές επεξεργασίας (Ε.Π.Ε.Μ. Α.Ε., Ε.Π.Ε., & Σαρηγιάννης, 2005).

### Όρια εκροής

Σύμφωνα με τους ισχύοντες περιβαλλοντικούς όρους (Αρ. πρωτ. 16835/27-03- 2019), τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων εκροής της ΕΕΛ (είδος και ποσότητες παραγόμενων προϊόντων) έχουν ως εξής (Ε.Π.Ε.Μ. Α.Ε., Ε.Π.Ε., & Σαρηγιάννης, 2005):

**Πίνακας 2: Όρια εκροής ΕΕΛ Μάρπησας**

Παράμετρος	Τιμή
BOD <sub>5</sub>	< 25 mg/l
COD	< 100 mg/l
Αιωρούμενα Στερεά SS	< 40 mg/l
Διαλυμένα ολικά Στερεά SS	< 1.500 mg/l
Ολικό άζωτο TN	< 10 mg/l
Ολικός φώσφορος TP	< 1 mg/l
Λίπη – Έλαια	= 0
Διαλυμένο οξυγόνο	> 5 mg/l
pH	6 – 9,5
Θερμοκρασία	< 30 °C
Απορρυπαντικά (βιοδιασπώμενα κατά 80%)	< 5 mg/l
ΠΑΚ	< 70 / 100 ml στις ακτές

Η διάθεση των επεξεργασμένων λυμάτων θα γίνεται στην παρακείμενη θαλάσσια περιοχή μέσω υποθαλάσσιου αγωγού. Η παραγόμενη ιλύς από τη νέα ΕΕΛ θα έχει υποστεί πάχυνση και αφυδάτωση και θα διατίθεται από τη ΕΕΛ Πάρου σε κατάλληλο χώρο (Ε.Π.Ε.Μ. Α.Ε., Ε.Π.Ε., & Σαρηγιάννης, 2005).

### 3.1.3. Περιγραφή των υφιστάμενων έργων

#### Γενικά

Το έτος 1995 κατασκευάστηκε εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων για την εξυπηρέτηση των κατοίκων της πρώην Κοινότητας Μάρπησας. Η εγκατάσταση, η οποία σήμερα βρίσκεται σε λειτουργία, έχει κατασκευαστεί σε έκταση 4,5 στρεμμάτων που βρίσκεται σε απόσταση 3,5 km ανατολικά του οικισμού, στην περιοχή Καμινάκι. Η πρόσβαση γίνεται μέσω της επαρχιακής οδού Παροιικιάς — Πίσω Λιβάδι και εν



συνεχεία μέσω δευτερευόντος οδικού δικτύου μήκους περίπου 900 m από τον οικισμό του Πίσω Λιβαδίου (Ε.ΠΕ.Μ. Α.Ε., Ε.Π.Ε., & Σαρηγιάννης, 2005).

Τα επεξεργασμένα λύματα διατίθενται με υποθαλάσσιο αγωγό στην παρακείμενο θαλάσσια περιοχή (Ε.ΠΕ.Μ. Α.Ε., Ε.Π.Ε., & Σαρηγιάννης, 2005).

Η υφιστάμενη εγκατάσταση εξυπηρετεί ισοδύναμο πληθυσμό 5.000 κατοίκων και έχει σχεδιαστεί για τα παρακάτω υδραυλικά και ρυπαντικά φορτία (Ε.ΠΕ.Μ. Α.Ε., Ε.Π.Ε., & Σαρηγιάννης, 2005):

**Πίνακας 3: Δεδομένα σχεδιασμού υφιστάμενων έργων**

Παράμετρος			Χειμώνας	Καλοκαίρι
Παροχή	Μέγιστη ημερήσια	m <sup>3</sup> /d	86,50	866,50
	Αιχμής	m <sup>3</sup> /h	60,00	120,00
BOD <sub>5</sub>		kg/d	58,00	416,30
SS		kg/d	71,00	483,20
TN		kg/d	9,00	62,4

**Συνοπτικά η εγκατάσταση επεξεργασίας λυμάτων περιλαμβάνει τις εξής επιμέρους μονάδες (Ε.ΠΕ.Μ. Α.Ε., Ε.Π.Ε., & Σαρηγιάννης, 2005):**

- ✚ Αντλιοστάσιο αρχικής ανύψωσης
- ✚ Φρεάτιο εισόδου και θραύσης ενέργειας
- ✚ Μονάδα προεπεξεργασίας (εσχάρωση, φρεάτιο by pass, εξάμμωση – λιποσυλλογή)
- ✚ Μετρητή παροχής
- ✚ Μεριστή παροχής
- ✚ Φρεάτιο διανομής και μονάδα βιολογικής επεξεργασίας και σταθεροποίησης λάσπης, (με τρεις επιμέρους υπομονάδες), με ταυτόχρονη νιτροποίηση – απονιτροποίηση,
- ✚ Μεριστής παροχής προς δεξαμενές καθίζησης.
- ✚ Δεξαμενές τελικής καθίζησης, (δύο κυκλικές δεξαμενές διαφορετικής διαμέτρου)
- ✚ Αντλιοστάσιο ανακυκλοφορίας και περισσειας ιλύος
- ✚ Φρεάτιο λιπών και αφρών
- ✚ Μονάδα απολύμανσης (χλωρίωση - αποχλωρίωση) – οικίσκος χλωρίωσης
- ✚ Παχυντής λάσπης
- ✚ Κλίνη ξήρανσης λάσπης
- ✚ Μονάδα υποδοχής βοθρολυμάτων και οικίσκο H/M εξοπλισμού βοθρολυμάτων
- ✚ Κτίριο διοίκησης
- ✚ Δίκτυα εξυπηρέτησης εγκαταστάσεων
- ✚ Δεξαμενή νερού
- ✚ Δεξαμενή επεξεργασμένων λυμάτων
- ✚ Οικίσκος φυσητήρων

### **Μονάδες επεξεργασίας**

#### **Προσαγωγή λυμάτων**

Τα λύματα φτάνουν στην εγκατάσταση μέσω του καταθλιπτικού αγωγού που ξεκινά από το αντλιοστάσιο ανύψωσης, που έχει κατασκευαστεί στη θέση του προϋπάρχοντος τελικού φρεατίου αποχέτευσης σε απόσταση 500m περίπου από την Ε.Ε.Λ. και καταλήγει σε πιεζοθραυστικό φρεάτιο (Ε.ΠΕ.Μ. Α.Ε., Ε.Π.Ε., & Σαρηγιάννης, 2005).

Το αντλιοστάσιο είναι εξοπλισμένο με δύο υποβρύχιες αντλίες οι οποίες λειτουργούν εναλλάξ με κατάλληλο αυτοματισμό. Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργεί μόνο μία αντλία, ενώ σε έκτακτες συνθήκες τίθεται σε λειτουργία και η εφεδρική αντλία. Η ενεργοποίηση και παύση των αντλιών ελέγχεται από φλοτεροδιακόπτες (Ε.ΠΕ.Μ. Α.Ε., Ε.Π.Ε., & Σαρηγιάννης, 2005).

Στο παρακείμενο του αντλιοστασίου φρεάτιο έχει τοποθετηθεί “χονδροεσχάρα” με διάκενο 60 χιλιοστά για την προστασία των αντλιών. Το αντλιοστάσιο διαθέτει υπερχειλίση ασφαλείας (by pass) η οποία καταλήγει στο φρεάτιο φόρτισης του υποθαλάσσιου αγωγού (Ε.ΠΕ.Μ. Α.Ε., Ε.Π.Ε., & Σαρηγιάννης, 2005).

Επίσης, εντός του γηπέδου έχει κατασκευαστεί φρεάτιο, όπου καταλήγουν βαρυτικά λύματα από τους οικισμούς Πρόδρομος και Μάρμαρα.

Τα λύματα από το αντλιοστάσιο αρχικής ανύψωσης και από το φρεάτιο οδηγούνται στη μονάδα προεπεξεργασίας (Ε.ΠΕ.Μ. Α.Ε., Ε.Π.Ε., & Σαρηγιάννης, 2005).

#### **Προκαταρκτική επεξεργασία**

Η μονάδα προεπεξεργασίας είναι σχεδιασμένη για παροχή αιχμής  $Q=120 \text{ m}^3/\text{h}$  και αποτελείται από μία αυτόματη τοξωτή εσχάρα με διάκενο 20 mm και μία απλή παρακαμπτήρια εφεδρική εσχάρα με διάκενο 30mm σε παράπλευρο κανάλι. Σε περίπτωση βλάβης ή έμφραξης της αυτόματης εσχάρας τα λύματα υπερχειλίζουν προς το παρακείμενο κανάλι της απλής εσχάρας. Η τοξωτή εσχάρα είναι εφοδιασμένη με ένα κτένι για τον καθαρισμό της καισύστημα καθαρισμού των κτενιών (Ε.ΠΕ.Μ. Α.Ε., Ε.Π.Ε., & Σαρηγιάννης, 2005).

Τα στερεά που παρακρατούνται συλλέγονται σε διάτρητο καλάθι στράγγισης και απομακρύνονται σε ειδικό δοχείο αποθήκευσης για αποκομιδή. Κατάντη της εσχάρωσης και ανάντη της εξάμμωσης υπάρχει φρεάτιο παράκαμψης για την παράκαμψη όλης της εγκατάστασης. Στην συνέχεια τα λύματα οδηγούνται με βαρύτητα στον αεριζόμενο αμμοσυλλέκτη –λίποσυλλέκτη. Η άμμος που καθιζάνει στον πυθμένα του εξαμμωτή απομακρύνεται με air lift σε παρακείμενη μικρή κλίνη ξήρανσης. Η αφαίρεση του λίπους γίνεται με χειρισμό θυροφράγματος και τα λίπη οδηγούνται σε φρεάτιο από το οποίο περιοδικά απάγονται με βυτίο.

Μετά την προκαταρκτική επεξεργασία, τα λύματα οδηγούνται σε δίαυλο τύπου PARSHALL για την μέτρηση της παροχής τους. Η μέτρηση γίνεται με ειδικό μετρητή υπερήχων του ύψους της ροής, ανάντη του διαύλου η οποία μεταφράζεται στον κεντρικό πίνακα σε παροχή (Ε.ΠΕ.Μ. Α.Ε., Ε.Π.Ε., & Σαρηγιάννης, 2005).

#### **Βιολογική επεξεργασία**

Μετά τη μέτρηση της παροχής τα λύματα οδηγούνται στο μεριστή παροχής των υφιστάμενων και μελλοντικών μονάδων. Το φρεάτιο μερισμού είναι εφοδιασμένο με δύο θυροφράγματα για την απομόνωση της κάθε γραμμής. Στη συνέχεια τα λύματα οδηγούνται στο φρεάτιο βιολογικής επεξεργασίας με το οποίο γίνεται ο μερισμός στις τρεις δεξαμενές. Για την απομόνωση των δεξαμενών το φρεάτιο είναι εφοδιασμένο με τρία θυροφράγματα (Ε.ΠΕ.Μ. Α.Ε., Ε.Π.Ε., & Σαρηγιάννης, 2005).



Τα λύματα οδηγούνται καταρχήν στις ανοξικές δεξαμενές και στη συνέχεια στις δεξαμενές αερισμού, όπου υφίστανται βιολογικό καθαρισμό. Ο αερισμός επιτυγχάνεται με διάχυση. Αναλυτικότερα η βιολογική επεξεργασία (για την νιτροποίηση, απονιτροποίηση και απομάκρυνση του οργανικού φορτίου) αποτελείται από (Ε.Π.Ε.Μ. Α.Ε., Ε.Π.Ε., & Σαρηγιάννης, 2005):

- i. Από βιολογικό αντιδραστήρα: τρεις παράλληλες γραμμές συνολικού όγκου  $3 \times 400 \text{ m}^3 = 1.200 \text{ m}^3$ . Κάθε γραμμή διαθέτει ανοξική ζώνη ενεργού όγκου  $90 \text{ m}^3$  και αερόβια ζώνη ενεργού όγκου  $310 \text{ m}^3$ . Στην ανοξική ζώνη έχουν εγκατασταθεί αναδευτήρες, ενώ στην αερόβια ζώνη διαχυτήρες λεπτής φυσαλίδας. Η δυναμικότητα του συστήματος αερισμού είναι  $50 \text{ kg O}_2/\text{h}$ . Έχουν εγκατασταθεί έξι φυσητήρες (ένας για κάθε δεξαμενή και τρεις εφεδρικοί) δυναμικότητας  $560 \text{ m}^3/\text{h}$  έκαστος. Το μικτό υγρό μέσω υπερχειλιστή συγκεντρώνεται στο κανάλι συλλογής πριν οδηγηθεί στο αντλιοστάσιο εσωτερικής ανακυκλοφορίας.

Για τη στέγαση των φυσητήρων έχει κατασκευασθεί κτίριο διαστάσεων κάτοψης  $8,45 \times 3,60 \text{ m}$ .

Στο ενιαίο και για τις τρεις γραμμές αντλιοστάσιο εσωτερικής ανακυκλοφορίας, έχουν εγκατασταθεί 2 αντλίες δυναμικότητας  $76 \text{ m}^3/\text{h}$ , που με ανεξάρτητους αγωγούς οδηγούν το νιτροποιημένο ανάμικτο υγρό στις τρεις ανοξικές ζώνες.

- ii. Από δύο δεξαμενές τελικής καθίζησης: Μία κυκλική δεξαμενή διαμέτρου  $13 \text{ m}$  και μία κυκλική δεξαμενή διαμέτρου  $8 \text{ m}$  οι οποίες τροφοδοτούνται από στο κέντρο μέσω τύμπανου εισόδου που είναι σχεδιασμένο για να επιβραδύνει την ροή των υγρών. Η μικρή δεξαμενή χρησιμοποιείται κατά τη χειμερινή περίοδο, ενώ τη θερινή περίοδο χρησιμοποιούνται και οι δύο δεξαμενές (συνολική επιφάνεια καθίζησης  $183 \text{ m}^2$ ) ή η μεγάλη ανάλογα με την εισερχόμενη παροχή.
- iii. Από ένα αντλιοστάσιο ιλύος: Το αντλιοστάσιο έχει κατασκευαστεί ανάμεσα στις δύο δεξαμενές και έχουν εγκατασταθεί (1+1) αντλίες ανακυκλοφορίας δυναμικότητας  $90 \text{ m}^3/\text{h}$  και (1+1) αντλίες περίσσειας δυναμικότητας  $10 \text{ m}^3/\text{h}$ .

### **Απολύμανση των λυμάτων**

Τα διαυγασμένα λύματα από τις δεξαμενές τελικής καθίζησης οδηγούνται με βαρύτητα στην μονάδα απολύμανσης. Για την απολύμανση των λυμάτων χρησιμοποιείται διάλυμα υποχλωριώδους νατρίου ( $\text{NaOCl}$ ). Έχει κατασκευαστεί δεξαμενή επαφής μαιανδρικής μορφής και ενεργού όγκου περίπου  $70 \text{ m}^3$  (με τρία κανάλια μήκους  $12,70 \text{ m}$ , πλάτους  $0,90 \text{ m}$  το καθένα και βάθους υγρού  $2,10 \text{ m}$ ). Η αποθήκευση του υποχλωριώδους νατρίου γίνεται σε πλαστικό δοχείο  $1000 \text{ l}$ . Η δοσομέτρηση του απολυμαντικού γίνεται με μία αντλία ρυθμιζόμενης παροχής, δυναμικότητας  $0-10 \text{ l/h}$ . Μετά την χλωρίωση των λυμάτων προβλέπεται η αποχλωρίωση με διάλυμα θειώδους νατρίου ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ). Η αποθήκευσή του γίνεται σε πλαστικό δοχείο  $850 \text{ l}$ . Η ανάμιξη του διαλύματος με τα λύματα γίνεται με αναδευτήρα χειροκίνητα (Ε.Π.Ε.Μ. Α.Ε., Ε.Π.Ε., & Σαρηγιάννης, 2005).

Στη συνέχεια τα λύματα υπερχειλίζουν σε αντλιοστάσιο ανύψωσης των επεξεργασμένων και από εκεί είτε απευθείας με αγωγό από  $\text{PVC}/6 \text{ atm}$ , διαμέτρου  $\Phi 200$  οδηγούνται προς τον υποθαλάσσιο αγωγό, είτε μέσω αντλιών οδηγούνται σε δεξαμενή αποθήκευσης των επεξεργασμένων λυμάτων ενεργού όγκου  $30 \text{ m}^3$ , έτσι ώστε μελλοντικά να γίνει η εγκατάσταση αντλίας για την άρδευση των παρακείμενων εκτάσεων (Ε.Π.Ε.Μ. Α.Ε., Ε.Π.Ε., & Σαρηγιάννης, 2005).

Για τη στέγαση του απαραίτητου για την χλωρίωση και αποχλωρίωση εξοπλισμού έχει κατασκευασθεί οικίσκος εξωτερικών διαστάσεων 6,65 m x 3,60m και ύψους 2,85 m με τρία χωρίσματα για την τοποθέτηση των δοχείων, των δοσομετρικών αντλιών και του υποπίνακα (Ε.ΠΕ.Μ. Α.Ε., Ε.Π.Ε., & Σαρηγιάννης, 2005).

### **Επεξεργασία ιλύος**

Η περίσσεια ιλύς οδηγείται μέσω του αντλιοστασίου ιλύος σε κυκλική δεξαμενή πάχυνσης διαμέτρου 4,50 m. Η υπερχειλίση του παχυντή οδηγείται με βαρύτητα μετά την εξάμμωση.

Η συμπυκνωμένη ιλύς μέσω κοχλιωτών αντλιών οδηγείται από τον παχυντή σε κλίνη ξήρανσης διαστάσεων 6,70x8,00 m. (Ε.ΠΕ.Μ. Α.Ε., Ε.Π.Ε., & Σαρηγιάννης, 2005)

### **Μονάδα υποδοχής βοθρολυμάτων**

Για την υποδοχή των βοθρολυμάτων έχουν προβλεφθεί ένα φρεάτιο εκκένωσης. Τα βοθρολύματα καταλήγουν σε δεξαμενή ενεργού όγκου 30 m<sup>3</sup>, όπου εγκαθίσταται σύστημα διάχυσης με διαχυτήρες χονδρής φυσαλίδας. Στη δεξαμενήβοθρολυμάτων είναι εγκατεστημένο αντλητικό συγκρότημα δυναμικότητας 8 m<sup>3</sup>/h για την ελεγχόμενη διοχέτευση των βοθρολυμάτων στην μονάδα προκαταρκτικής επεξεργασίας των λυμάτων, (1+1 αντλίες βοθρολυμάτων).

Στην οροφή της δεξαμενής βοθρολυμάτων έχει κατασκευασθεί οικίσκος εξυπηρέτησης διαστάσεων 2,50x2,00m για την τοποθέτηση εντός αυτού των δύο φυσητήρων και του υποπίνακα 3 (Ε.ΠΕ.Μ. Α.Ε., Ε.Π.Ε., & Σαρηγιάννης, 2005).

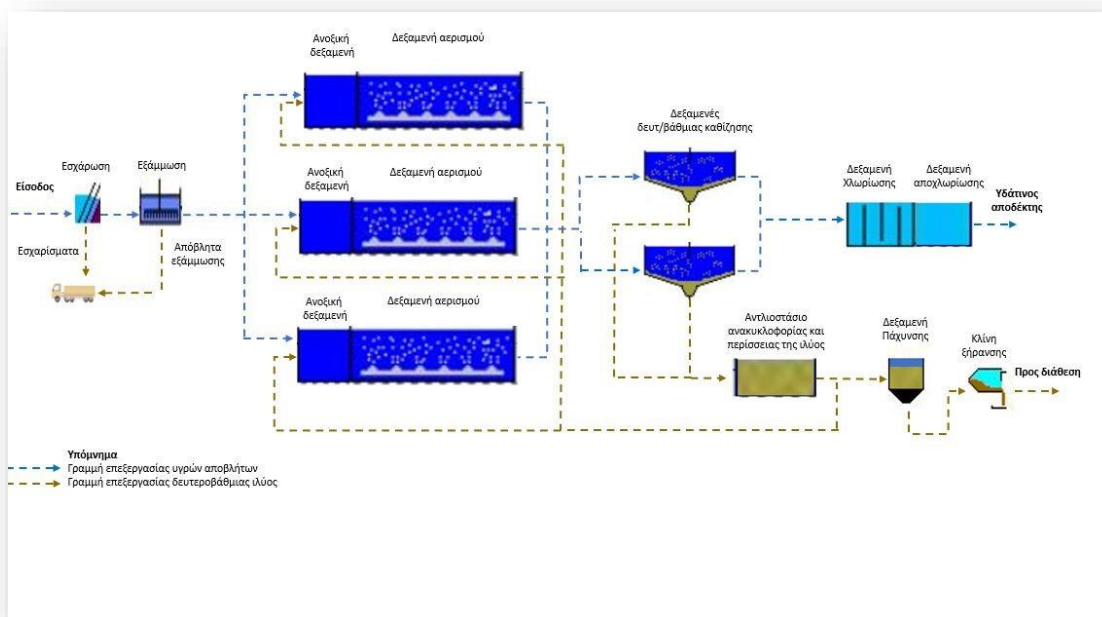
### **Κτίριο διοίκησης**

Για την εξυπηρέτηση του προσωπικού και τη στέγαση του χώρου γραφείου ελέγχου, του εργαστηρίου και των χώρων υγιεινής, έχει κατασκευασθεί κτίριο διοίκησης διαστάσεων κάτοψης 5,60x7,70m (Ε.ΠΕ.Μ. Α.Ε., Ε.Π.Ε., & Σαρηγιάννης, 2005).

Στο γραφείο ελέγχου βρίσκεται εγκατεστημένος ο κεντρικός ηλεκτρικός πίνακας, ο υποπίνακας 4, ο πίνακας ελέγχου και οι πίνακες εσωτερικού και εξωτερικού φωτισμού. Το εργαστήριο είναι εξοπλισμένο με εργαστηριακό πάγκο, νιπτήρα και τα εργαστηριακά όργανα (Ε.ΠΕ.Μ. Α.Ε., Ε.Π.Ε., & Σαρηγιάννης, 2005).

### **Οικίσκος**

Στο χώρο ανάμεσα στο κτίριο διοίκησης και στην υφιστάμενη γραμμή του βιολογικού αντιδραστήρα έχει κατασκευαστεί οικίσκος, ο οποίος σε αυτή την φάση στεγάζει το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος της εγκατάστασης. Οι εξωτερικές διαστάσεις του οικίσκου είναι ίσες με 3,40 m x 4,55 m και ύψος 2,50 m (Ε.ΠΕ.Μ. Α.Ε., Ε.Π.Ε., & Σαρηγιάννης, 2005).



Εικόνα 8: Διάγραμμα ροής ΕΕΛ Πάρου

## Κεφάλαιο 4: Περιγραφή του προτεινόμενου έργου

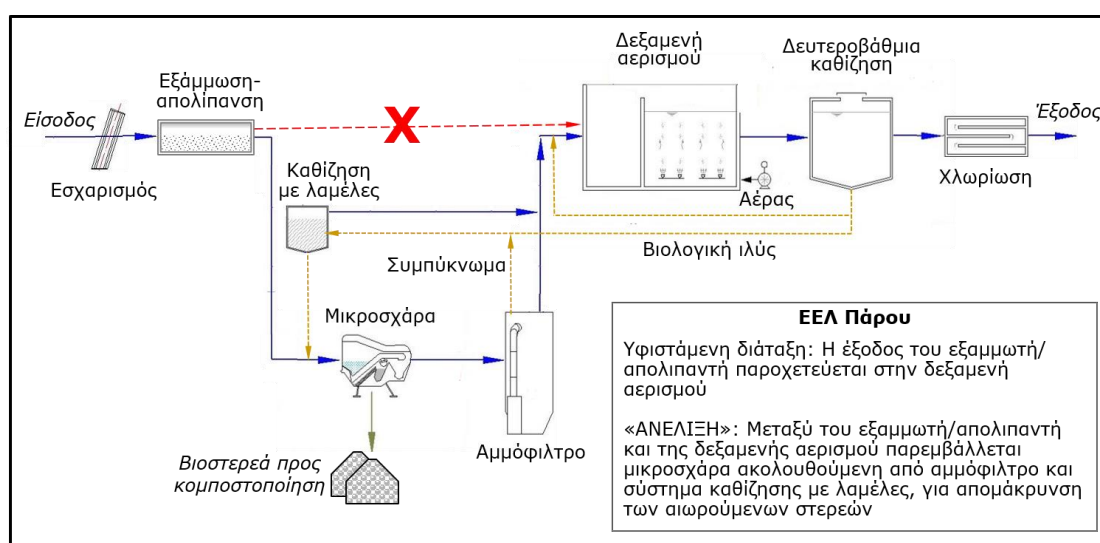
### 4.1. Σκοπός του προτεινόμενου έργου

Το προτεινόμενο έργο έχει ως στόχο την αναβάθμιση της ΕΕΛ Μάρπησσας, με χρήση καινοτομικών τεχνολογιών, έτσι ώστε να καταστεί ικανή να δεχτεί αυξημένα φορτία εισόδου, με παράλληλη μείωση της ενεργειακής δαπάνης, και εν γένει του κόστους λειτουργίας. Η καινοτομικότητα του έργου έγκειται στην πρώιμη απομάκρυνση στερεών και σωματιδιακού BOD από τα λύματα, με χρήση ειδικού τύπου φίλτρων (μικροσχάρες/αυτοκαθαριζόμενα αμμόφιλτρα ανοδικής ροής), πριν αυτά εισέλθουν στην δεξαμενή αερισμού. Με τον τρόπο αυτό αναμένεται σημαντική μείωση της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (εκτιμάται μείωση κατά 30-35%). Τα παραγόμενα βιοστερεά (ιλύς) αναμένεται να έχουν συγκέντρωση σε στερεά άνω του 30% και δύναται να διαχειριστούν ως στερεά. Μελλοντικά, τα επεξεργασμένα λύματα θα χρησιμοποιηθούν για άρδευση δασικής έκτασης.

#### 4.1.1. Αναλυτική περιγραφή νέων τεχνολογιών

Η προτεινόμενη διάταξη θα εγκατασταθεί στην υφιστάμενη ΕΕΛ Μάρπησσας (Εικόνα 9) και θα περιλαμβάνει την επεξεργασία των λυμάτων με συνδυασμό μικροεσχάρωσης ακολουθούμενης από διήθηση με Αυτοκαθαριζόμενο Αμμόφιλτρο Ανοδικής Ροής (Continuous Backwash Upflow Media Filter, CBUMF) και συσκευή καθίζησης με λαμέλλες τοποθετημένες μεταξύ του εξαμνωτή και της δεξαμενής αερισμού. Η διεργασία που θα εφαρμοστεί για την αναβάθμιση των ΕΕΛ βασίζεται στην πρώιμη απομάκρυνση στερεών, σε ποσοστό που εκτιμάται ότι θα φτάσει το 90%, πριν εισέλθουν τα λύματα στην δεξαμενή αερισμού (Gikas, 2017).

Η παρέμβαση θα γίνει κατάντη της διάταξης εξάμμωσης και ανάντη της Δεξαμενής αερισμού. Καθότι η διάταξη εξάμμωσης βρίσκεται στο έδαφος, θα απαιτηθεί η κατασκευή αντλιοστασίου, το οποίο θα συγκεντρώνει την έξοδο της εξάμμωσης και θα την αντλεί προς την μικροσχάρα (Gikas, 2017).

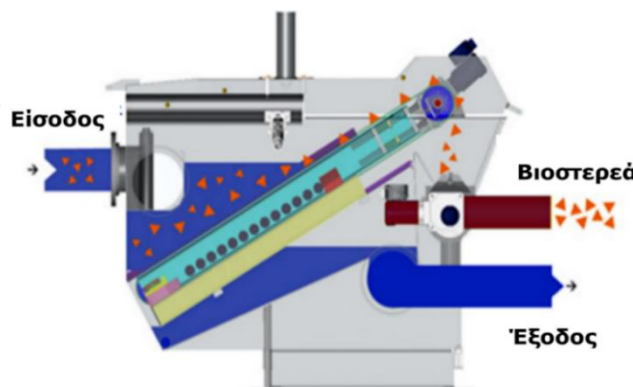


Εικόνα 9: Διάγραμμα ροής ΑΝΕΛΙΞΗ.

### Μικροεσχάρωση

Στο πρώτο βήμα της επεξεργασίας των εισερχόμενων λυμάτων της προτεινόμενης διάταξης, χρησιμοποιείται μια μικροσχάρα ή μικροκόσκινο (microscreen ή microsieve) η οποία απομακρύνει 40-60% των TSS (ανάλογα με την αρχική σύσταση των αποβλήτων και τον τύπο της μικροσχάρας), ενώ παράλληλα απομακρύνεται 30-50% του BOD.

Οι μικροσχάρες (Εικόνα 10) είναι ειδικά κατασκευασμένες αυτοκαθαριζόμενες συσκευές διήθησης οι οποίες μπορούν να λειτουργούν σε συνεχή λειτουργία σε εύρος παροχών. Η κατακράτηση των στερεών γίνεται σε ένα ατέρμονα υφασμάτινο ιμάντα (με διάμετρο πόρων 50-350μm), πάνω στον οποίο παγιδεύονται τα στερεά σωματίδια δημιουργώντας έναν υμένα. Ο υμένας λειτουργεί ως αποτελεσματικό φίλτρο, χωρίς να απαιτείται η προσθήκη κροκιδωτικών ουσιών. Τα στερεά που έχουν αποθεθεί πάνω στον ιμάντα απομακρύνονται με ξέστρο νερού (water scrubber) ή αέρα (air scrubber). Στη συνέχεια συμπιέζονται σε κοχλιωτό συμπιεστή και παράγουν βιοστερεά με περιεκτικότητα σε στερεά 30-45%. Τα παραγόμενα βιοστερεά θα προωθούνται στον χώρο υγειονομικής ταφής, μαζί με την ποσότητα της ιλύος που προκύπτει από τη δευτεροβάθμια επεξεργασία των αποβλήτων (Gikas, 2017).



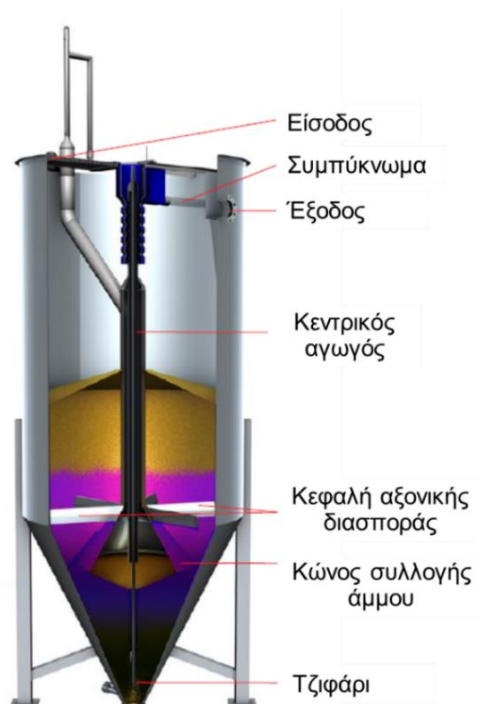
Εικόνα 10: Σχηματική απεικόνιση μικροεσχάρας.

### Αυτοκαθαριζόμενα Αμμόφιλτρα Ανοδικής Ροής (CBUMF)

Πρόκειται για σύστημα αμμοφίλτρασης με σύστημα αυτοκαθαρισμού της κλίνης άμμου. Τα CBUMF είναι ιδιαίτερα διαδεδομένα στην τριτοβάθμια επεξεργασία υγρών αποβλήτων. Δεν έχουν εφαρμοστεί σε πρωτογενή λύματα, κυρίως λόγω των προβλημάτων της μεγάλης συγκέντρωση στερεών. Ωστόσο, στην προτεινόμενη μεθοδολογία, το μεγαλύτερο μέρος των στερεών έχει απομακρυνθεί με τη μικροσχάρα, καθιστώντας τα κατάλληλα για φίλτρανση. Μετά και από την διήθηση με το συνδυασμό μικροσχαρών ακολουθούμενες από τη διάταξη φίλτρανσης, εκτιμάται ότι τα λύματα θα έχουν απολέσει τουλάχιστον το 90% των στερεών (TSS) και το 60-70% του BOD<sub>5</sub> και COD. Σημαντική μείωση αναμένεται επίσης στον φώσφορο και μικρότερη μείωση στο αμμωνιακό άζωτο.

Τα επεξεργασμένα λύματα από την έξοδο της μικροσχάρας προωθούνται μέσω αντλιοστασίου στο CBUMF. Τα λύματα εισέρχονται στο κάτω μέρος του CBUMF (Εικόνα 11), και κατανέμονται ομοιόμορφα στα άνω στρώματα της κλίνης μέσω των βραχιόνων διανομής, μιας κωνικής διάταξης κατανομής εισόδου. Τα εισερχόμενα λύματα ακολουθούν ανοδική πορεία μέσω της άμμου. Τα επεξεργασμένα λύματα εξέρχονται από το πάνω μέρος του CBUMF μέσω θυροφράγματος υπερχειλίσης, και

οδηγούνται στα επόμενα στάδια επεξεργασίας, ενώ τα αιωρούμενα στερεά παγιδεύονται και συγκρατούνται στην άμμο (Gikas, 2017).



Εικόνα 11: Σχηματική απεικόνιση του CBUMF.

Η άμμος και τα παγιδευμένα στερεά κινούνται με μικρή ταχύτητα καθοδικά προς το κωνικό τμήμα του φίλτρου. Με χρήση αντλίας ανοδικής ροής αέρα (τζιφάρι) η ακάθαρτη άμμος ανέρχεται στον κεντρικό σωλήνα του φίλτρου, όπου η άμμος διαχωρίζεται από τα στερεά. Τα στερεά απομακρύνονται (ως συμπύκνωμα) από το άνω μέρος της διάταξης έκπλυσης, ενώ η άμμος, έχοντας μεγαλύτερο ειδικό βάρος, καθιζάνει και αναδιανέμεται ομοιόμορφα στην κορυφή της κλίνης. Πρόκειται για μια συνεχή διεργασία, κατά της διάρκεια της οποίας το φίλτρο τροφοδοτείται συνεχώς με απόβλητα, ενώ συνεχώς παράγεται διήθημα και συμπύκνωμα. Το ύψος της κλίνης άμμου παραμένει σταθερό. Ανάλογα με την εφαρμογή και το είδος των λυμάτων, μπορεί να τροφοδοτηθεί κροκιδωτικό στην κλίνη της άμμου, για να αυξήσει την απόδοση της διήθησης (Gikas, 2017).

Τα βασικά πλεονεκτήματα που προσφέρει το CBUMF σε σύγκριση με τα συμβατικά φίλτρα άμμου αντίστροφης πλύσης περιλαμβάνουν:

- ✚ Συμπαγή εγκατάσταση.
- ✚ Αδιάκοπη λειτουργία και επεξεργασία.
- ✚ Συνεχή παραγωγή συμπυκνώματος.
- ✚ Συνεχόμενη αντίστροφη πλύση.
- ✚ Απουσία αντλιών αντίστροφης πλύσης.
- ✚ Μικρή κατανάλωση ενέργειας.
- ✚ Μικρό χώρο τοποθέτησης.

Κατά τη χρήση του CBUMF παράγεται συμπύκνωμα (εκτιμάται σε 5-12% της παροχής εισροής), το οποίο αφού υποστεί περαιτέρω συμπύκνωση σε διάταξη καθίζησης με λαμέλλες, προωθείται στον κοχλία συμπίεσης της μικροσχάρας (ή εναλλακτικά στην



είσοδο της μικροσχάρας), για απομάκρυνση των κροκιδωμένων στερεών, ενώ τα επεξεργασμένα λύματα οδηγούνται στη δεξαμενή αερισμού για βιολογική επεξεργασία (Gikas, 2017).

### **Καθίζηση με λαμέλλες**

Λόγω των απαιτήσεων μεγάλης επιφάνειας και τη μείωση του χρόνου παραμονής των συμβατικών δεξαμενών καθίζησης, επιλέχθηκε η χρήση διάταξης καθίζησης με λαμέλλες. Οι συσκευές καθίζησης με λαμέλλες λειτουργούν βαρυτικά: καθώς τα λύματα προς επεξεργασία ρέουν ανάμεσα στις λαμέλλες υπό συνθήκες γραμμικής ροής, τα αιωρούμενα στερεά καθιζάνουν στην επιφάνεια των λαμμένων και ολισθαίνουν προς τον πυθμένα, ενώ το καθαρό υπερκείμενο υγρό εξέρχεται από τις επιφάνειες μέσω ειδικά διαμορφωμένων οπών. Οι λαμέλλες τοποθετούνται υπό κλίση 55-60°, έτσι ώστε να αποτρέπεται η κατακράτηση της ιλύος, ενώ ταυτόχρονα να διευκολύνεται ο καθαρισμός τους. Συνήθως γίνεται χρήση κροκιδωτικών πριν την είσοδο των λυμάτων στην διάταξη καθίζησης, για να επιτευχθεί καλύτερος διαχωρισμός. Ωστόσο, επειδή έχει ήδη γίνει χρήση κροκιδωτικών κατά την αμμοφίλτρανση, πιθανόν να μην χρειαστεί η επιπλέον προσθήκη κροκιδωτικών.

Η προτεινόμενη διάταξη καθίζησης θα δέχεται το συμπύκνωμα του CBUMF. Το υπερκείμενο θα ρέει προς στην δεξαμενή αερισμού, ενώ η παραγόμενη ιλύς θα οδεύει προς την μικροσχάρα για περεταίρω αφυδάτωση. Παράλληλα θα δοκιμαστεί και η παροχέτευση ποσότητας δευτεροβάθμιας ιλύος προς την διάταξη καθίζησης, για να εξεταστεί κατά πόσο θα επικουρήσει στη καλύτερη απομάκρυνση των στερεών του συμπυκνώματος (Gikas, 2017).

### **Αυτοματισμοί και συστήματα παρακολούθησης**

Το νέο σύστημα θα προσαρμοστεί μεταξύ της υφιστάμενης διάταξης εξάμμωσης και της υφιστάμενης δεξαμενής αερισμού. Το σύστημα θα τεθεί σε συνεχή λειτουργία. Το σύστημα θα ελέγχεται από τοπικό Προγραμματιζόμενο Λογικό Ελεγκτή (Programmable Logical Controller, PLC), παρέχοντας στον χειριστή επαρκείς πληροφορίες για την κατάσταση κάθε μονάδας (ενδείξεις κατάστασης (status) μηχανημάτων, αντλιών, μετρητικών οργάνων κτλ.).

Σε κατάλληλα σημεία του συστήματος θα προσαρμοστούν ηλεκτρόδια για την παρακολούθηση βασικών παραμέτρων, όπως θολερότητα, pH, και συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου. Επίσης θα μετράται η παροχή εισόδου. Η ακριβής θέση των ηλεκτροδίων και των διαφόρων συστημάτων παρακολούθησης θα προκύψει κατά την εκπόνηση της μελέτης κατασκευής (Gikas, 2017).

#### **4.1.2. Ποιότητας εκροής και διαχείριση προϊόντων**

##### **Ποιότητας εκροής**

Η υφιστάμενη ΕΕΛ Μάρπησσας είναι σχεδιασμένη με βάση τις απαιτήσεις εκροής του Πίνακα 4, για την ικανοποίηση των ορίων που τίθενται από την Ευρωπαϊκή Οδηγία 91/271/ΕΟΚ (εναρμόνιση με την ΚΥΑ 5673/400/97), καθώς και από τη Νομαρχιακή Απόφαση 1377 (ΦΕΚ 841/Β/22-6-2005).

**Πίνακας 4: Παράμετροι ποιότητας επεξεργασμένων λυμάτων και ανώτερες τιμές τους σύμφωνα με την Οδηγία 91/271/ΕΟΚ και τη Νομαρχιακή Απόφαση 1377 (ΦΕΚ 841/Β/22-6-2005).**

Παράμετρος ποιότητας επεξεργασμένων λυμάτων	Τιμή παραμέτρου ποιότητας επεξεργασμένων λυμάτων
BOD <sub>5</sub>	< 25 mg/L
Αιωρούμενα στερεά	< 35 mg/L
Διαλυμένα ολικά στερεά	< 1,500 mg/L
COD	< 100 mg/L
Ολικός φωσφόρος TP	< 1 mg/L
Ολικό άζωτο TN	< 10 mg/L
Λίπη – Έλαια	= 0
Διαλυμένο οξυγόνο DO	> 5 mg/L
Πιθανός Αριθμός Κολοβακτηριδίων (ΠΑΚ)	< 70/ 100 mL στις ακτές
pH	6 – 9,5
Θερμοκρασία	< 30 °C
Απορρυπαντικά (βιοδιασπώμενα κατά 80%)	< 5 mg/L

Μετά την εφαρμογή την προτεινόμενης διάταξης, αναμένεται καλυτέρευση της ποιότητας εκροής ειδικά σε ότι αφορά τα αιωρούμενα στερεά, το BOD<sub>5</sub> και τον φωσφόρο.

#### **Διαχείριση προϊόντων**

Τα δευτεροβάθμια επεξεργασμένα λύματα απολυμαίνονται με προσθήκη υποχλωριώδους νατρίου και κατόπιν διατίθενται στην θάλασσα με υποθαλάσσιο αγωγό. Μελλοντικά, μέρος των λυμάτων αυτών θα δύνανται να διατίθενται για άρδευση παρακείμενων δασικών εκτάσεων. Τα παραγόμενα βιοστερεά θα προωθούνται στον χώρο υγειονομικής ταφής, μαζί με την ποσότητα της ιλύος που προκύπτει από τη δευτεροβάθμια επεξεργασία των αποβλήτων, μετά την απόθεσή της σε κλίνες ξήρανσης (Gikas, 2017).



## Κεφάλαιο 5: Χρονικός προγραμματισμός με τις μεθόδους CPM και PERT του προτεινόμενου έργου

### 5.1. Δομή ανάλυσης εργασιών του έργου ANELIΞΗ

Η Δομή Ανάλυσης Εργασιών (Work Breakdown Structure ή WBS) αποτελεί το βασικότερο εργαλείο της Διαχείρισης Έργων και σχηματίζεται κατά τη φάση σχεδιασμού ενός έργου. Το WBS είναι «μια προσανατολισμένη σε παραδοτέα ιεραρχική ανάλυση της εργασίας που πρέπει να εκτελεστεί από την ομάδα έργου, έτσι ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι του έργου και να παραχθούν τα απαιτούμενα παραδοτέα, με κάθε χαμηλότερο επίπεδο του WBS να αντιπροσωπεύει έναν όλο και λεπτομερέστερο ορισμό της απαιτούμενης εργασίας» (PMI, 2013). Πιο συγκεκριμένα, είναι ένα γράφημα το οποίο απεικονίζει μια ιεραρχική ανάλυση της απαιτούμενης εργασίας για το έργο και την μετατρέπει σε ένα σύνολο τμημάτων. Κύριος στόχος της είναι η αποτύπωση του σχεδίου δράσης του έργου, βάσει ενός διαγράμματος διακλάδωσης. Το χαμηλότερο επίπεδο της ανάλυσης σε ένα έργο θεωρείται η δραστηριότητα, η οποία συνήθως ομαδοποιείται σε πακέτα εργασίας και δημιουργούν τις φάσεις του έργου. Είναι απαραίτητο για την αποδοτικότητα της ανάλυσης αυτής τα επιμέρους στοιχεία της να αντιπροσωπεύουν αναγνωρίσιμα προϊόντα εργασίας, είτε πρόκειται για αγαθά είτε για εξοπλισμό/ μηχανήματα, λογισμικό, δεδομένα, στοιχεία υποδομής ή προϊόντα υπηρεσιών. Ο χωρισμός του έργου σε μικρότερα τμήματα αποβλέπει στην διευκόλυνση και την ορθή καταγραφή του WBS, της οργάνωσης, του προγραμματισμού, της παρακολούθησης και του ελέγχου του συνολικού έργου. Για την επιτυχή υλοποίηση ενός WBS, απαιτείται πλήρη επικοινωνία και συμφωνία μεταξύ των μελών της ομάδας του έργου και του project manager. Η Αναλυτική Δομή Εργασιών παρουσιάζεται συνήθως με τη μορφή λίστας ή εναλλακτικά δένδρου.

Όπως απεικονίζεται παρακάτω, το έργο επέκτασης της ΕΕΛ Μάρπησσας, Πάρος, χωρίζεται σε τρεις φάσεις: τη μελέτη και το σχεδιασμό του έργου, την εργοταξιακή εγκατάσταση και την εφαρμογή της καινοτομίας και της κατασκευής στην ΕΕΛ Μάρπησσας. Η κάθε φάση αναλύεται σε επιμέρους δραστηριότητες, οι οποίες έχουν καταγραφεί με σειρά που καθορίζει τη λογική ροή του έργου. Κατά το στάδιο της μελέτης και του σχεδιασμού του έργου, αρχικά γίνεται η υποβολή του αναλυτικού και ακριβές σχεδίου εκτέλεσης του εν λόγω έργου, προκειμένου να ξεκινήσει η αναζήτηση και τελικά η επιλογή μελετητή για την συγγραφή της Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) και του τεχνικού γραφείου που θα προβεί στις κατασκευαστικές ενέργειες των νέων τεχνολογιών. Έπειτα την επιλογή μελετητή για την συγγραφή της ΜΠΕ ακολουθούν τρεις διαφορετικές δραστηριότητες, όπου συνδέονται διαδοχικά η μια την άλλη, με αρχή την συλλογή στοιχείων που απαιτείται για την αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης της ΕΕΛ. Αμέσως μετά, γίνεται η αυτοψία στην ΕΕΛ για την επιθεώρηση της υφιστάμενης κατάστασης, με επόμενο βήμα τη σύνταξη και υποβολή της μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων, αναμένοντας την έκδοση έγκρισης των περιβαλλοντικών όρων που θα τεθεί το έργο. Παράλληλα μετά την επιλογή του τεχνικού γραφείου, γίνεται η συλλογή στοιχείων για την σύνταξη Μελέτης Κατασκευής (ΜΚ) και η απαραίτητη αυτοψία για των προσδιορισμό των τεχνικών παραμέτρων των νέων τεχνολογιών, με αποτέλεσμα την σύνταξη της ΜΚ.

Το στάδιο της εργοταξιακής εγκατάστασης αποτελεί το δεύτερο μέρος του έργου, όπου περιλαμβάνει την ασφάλιση του έργου που είναι ένα χρονοβόρο και μεμονωμένο κομμάτι και την επιλογή τεχνικού γραφείου για την εγκατάσταση των νέων τεχνολογιών. Στην συνέχεια θα ληφθούν τα απαραίτητα προστατευτικά μέτρα για κάθε εργασία, όπου θα δοθεί η αρχή για τις απαραίτητες εκσκαφές για τη διαμόρφωση του χώρου του εργοταξίου, την δημιουργία της περίφραξης και των διατάξεων επιτήρησης, την τοποθέτηση ειδικής σήμανσης στα σημεία κατασκευής του έργου καθώς και την δημιουργία των υγειονομικών εγκαταστάσεων.

Το τελικό στάδιο της εφαρμογής της καινοτομίας και της κατασκευής της στην ΕΕΛ περιέχει την προμήθεια πρώτων υλών για την κατασκευή των απαραίτητων αντλιοστασίων, των βάσεων στήριξης εξοπλισμού, της μικροεσχάρας και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, των αυτοκαθαριζόμενων φίλτρων ανοδικής ροής, της συσκευής καθίζησης με λαμέλλες, των αυτοματισμών των νέων μονάδων και των συστημάτων παρακολούθησης των νέων μονάδων και όλων των ηλεκτρομηχανολογικών εξοπλισμών που χρειάζονται, με σκοπό την κατασκευή, τοποθέτηση και την εγκατάσταση τους στο έργο. Αμέσως μετά ακολουθεί η σύνδεση του προτεινόμενου έργου με την υφιστάμενη ΕΕΛ και η απομάκρυνση κύριων και βοηθητικών εργοταξιακών εγκαταστάσεων μετά την περαίωση του έργου, προκειμένου να γίνει η δοκιμαστική λειτουργία και ο πρώτος έλεγχος του συνόλου της μονάδας, παράλληλα με την εκπαίδευση του προσωπικού. Τέλος για μια μεγάλη χρονική περίοδο το σύνολο της μονάδας θα δοκιμαστεί και θα αξιολογηθεί αναλόγως, προτού το έργο τεθεί σε κανονική λειτουργία.

*\*\*Οι δραστηριότητες και οι χρονικές διάρκειες του έργου, στην παρούσα διπλωματική εργασία, έχουν χαρακτήρα ιδιωτικού δικαίου.*

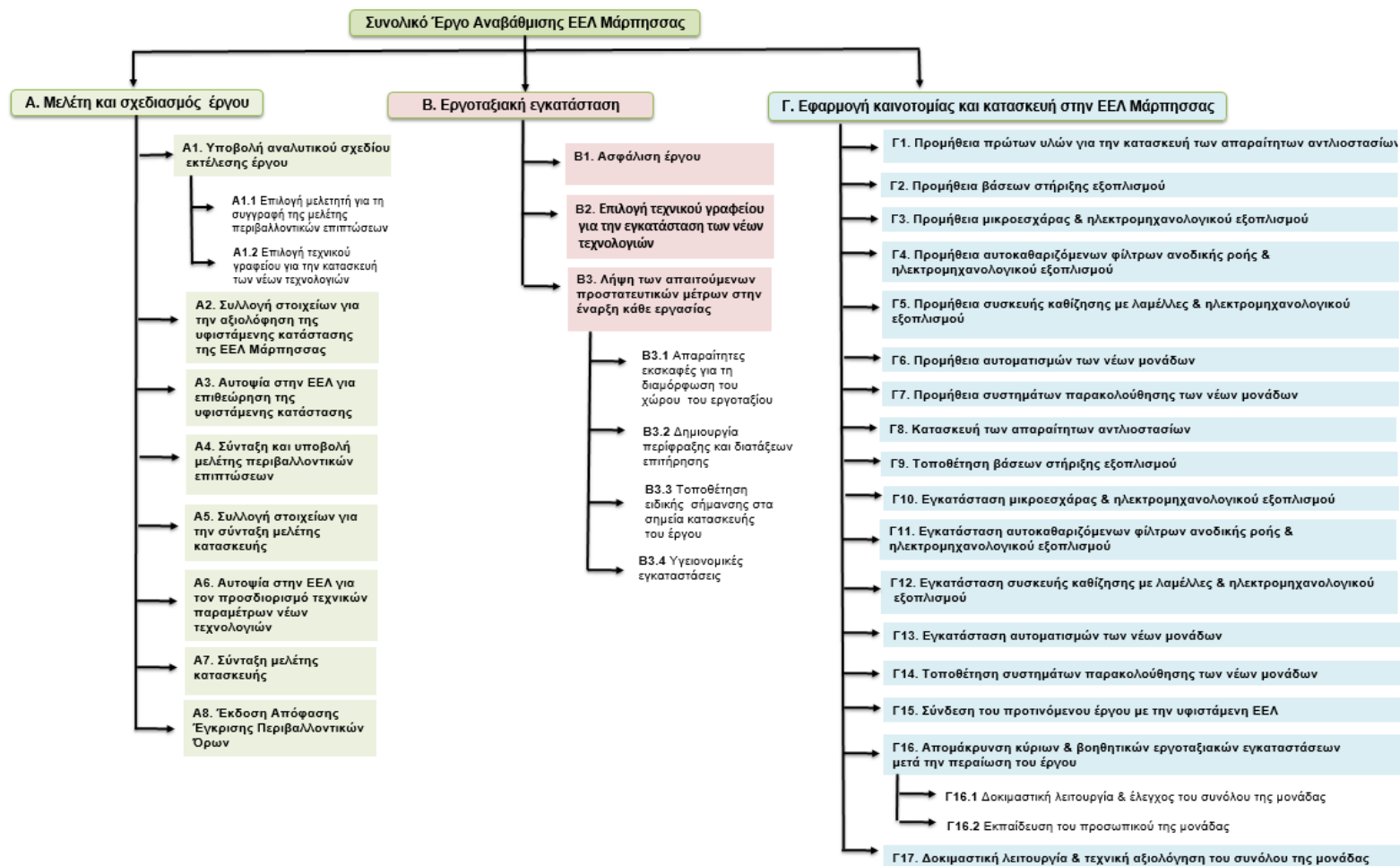
## **A. WBS σε μορφή λίστας**

**Πίνακας 5: Δομή Ανάλυσης Εργασιών για την κατασκευή του έργου επέκτασης**

<b>A/A</b>	<b>Είδος Δραστηριότητας</b>
<b>A</b>	<b>Μελέτη και σχεδιασμός έργου</b>
A1	Υποβολή αναλυτικού σχεδίου εκτέλεσης έργου
A1.1	Επιλογή μελετητή για την συγγραφή της μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων
A1.2	Επιλογή αναδόχου για την κατασκευή των νέων τεχνολογιών
A2	Συλλογή στοιχείων για την αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης της ΕΕΛ Μάρπησας
A3	Αυτοψία στην ΕΕΛ για επιθεώρηση της υφιστάμενης κατάστασης
A4	Σύνταξη και υποβολή μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων
A5	Συλλογή στοιχείων για τη σύνταξη μελέτης κατασκευής
A6	Αυτοψία στην ΕΕΛ για τον προσδιορισμό τεχνικών παραμέτρων των νέων τεχνολογιών
A7	Σύνταξη μελέτης κατασκευής
A8	Έκδοση Απόφασης Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων

<b>B</b>	<b>Εργοταξιακή εγκατάσταση</b>
B1	Ασφάλιση έργου
B2	Επιλογή αναδόχου για την εγκατάσταση των νέων τεχνολογιών
B3	Λήψη των απαιτούμενων προστατευτικών μέτρων στην έναρξη κάθε εργασίας
B3.1	Απαραίτητες εκσκαφές για τη διαμόρφωση του χώρου του εργοταξίου
B3.2	Δημιουργία περίφραξης και διατάξεων επιτήρησης
B3.3	Τοποθέτηση ειδικής σήμανσης στα σημεία κατασκευής του έργου
B3.4	Υγειονομικές εγκαταστάσεις
<b>Γ</b>	<b>Εφαρμογή καινοτομίας και κατασκευής στην ΕΕΛ Μάρπησσας</b>
Γ1	Προμήθεια πρώτων υλών για την κατασκευή των απαραίτητων αντλιοστασίων
Γ2	Προμήθεια βάσεων στήριξης εξοπλισμού
Γ3	Προμήθεια μικροεσχάρας και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού
Γ4	Προμήθεια αυτοκαθαριζόμενων φίλτρων ανοδικής ροής και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού
Γ5	Προμήθεια συσκευής καθίζησης με λαμέλλες και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού
Γ6	Προμήθεια αυτοματισμών των νέων μονάδων
Γ7	Προμήθεια συστημάτων παρακολούθησης των νέων μονάδων
Γ8	Κατασκευή των απαραίτητων αντλιοστασίων
Γ9	Τοποθέτηση βάσεων στήριξης εξοπλισμού
Γ10	Εγκατάσταση μικροεσχάρας και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού
Γ11	Εγκατάσταση αυτοκαθαριζόμενων φίλτρων ανοδικής ροής και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού
Γ12	Εγκατάσταση συσκευής καθίζησης με λαμέλλες και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού
Γ13	Εγκατάσταση αυτοματισμών των νέων μονάδων
Γ14	Τοποθέτηση συστημάτων παρακολούθησης των νέων μονάδων
Γ15	Σύνδεση του προτεινόμενου έργου με την υφιστάμενη ΕΕΛ
Γ16	Απομάκρυνση κύριων και βοηθητικών εργοταξιακών εγκαταστάσεων μετά την περαίωση του έργου
Γ16.1	Δοκιμαστική λειτουργία και έλεγχος του συνόλου της μονάδας
Γ16.2	Εκπαίδευση του προσωπικού της μονάδας
Γ17	Δοκιμαστική λειτουργία και τεχνική αξιολόγηση του συνόλου της μονάδας

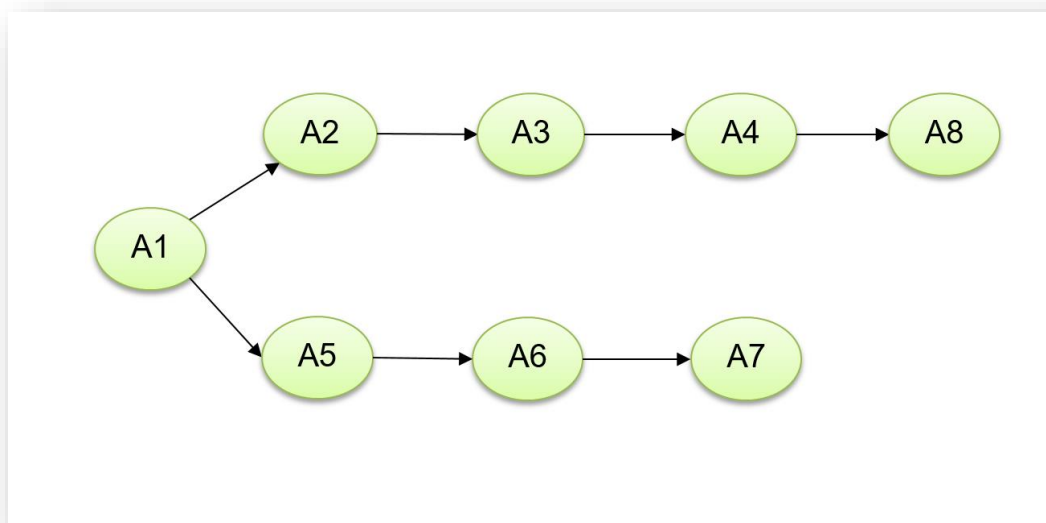
## B. WBS σε μορφή δένδρου



Διάγραμμα 1: Δομή Ανάλυσης Εργασιών με τη μορφή δένδρου

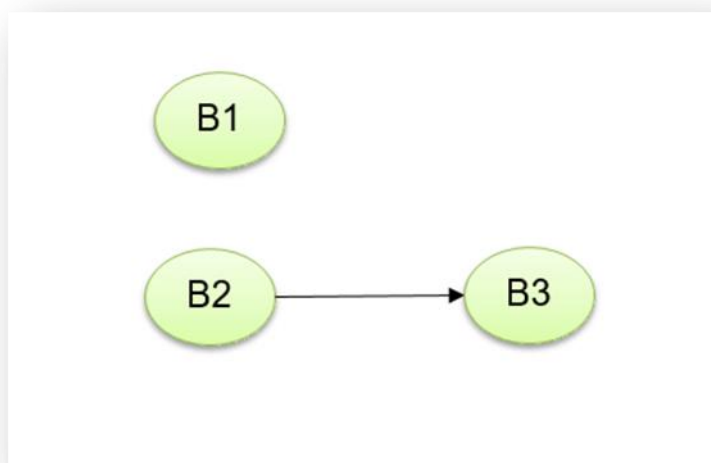
Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα των τριών φάσεων εργασιών του έργου επέκτασης, με τη μορφή δικτύου:

Α. Μελέτη και σχεδιασμός του έργου



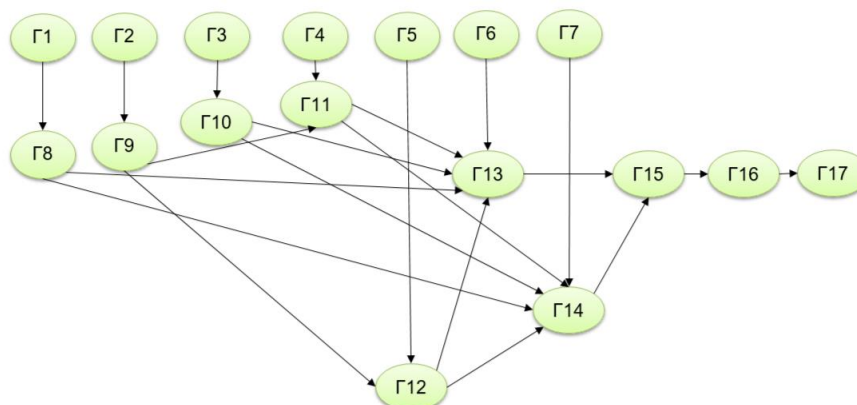
*Διάγραμμα 2: Διάγραμμα δικτύου Α' φάσης εργασιών*

Β. Εργοταξιακή εγκατάσταση



*Διάγραμμα 3: Διάγραμμα δικτύου Β' φάσης εργασιών*

Γ. Εφαρμογή καινοτομίας και κατασκευή στην ΕΕΛ Μάρπησας



**Διάγραμμα 4: Διάγραμμα δικτύου Γ' φάσης εργασιών**

Στον παρακάτω πίνακα, περιέχονται όλες οι δραστηριότητες που απαρτίζουν το έργο επέκτασης, η χρονική διάρκεια κάθε δραστηριότητας ξεχωριστά, καθώς και οι αλληλεξαρτήσεις μεταξύ τους.

**Πίνακας 6: Δραστηριότητες του έργου επέκτασης με προαπαιτούμενες και διάρκεια**

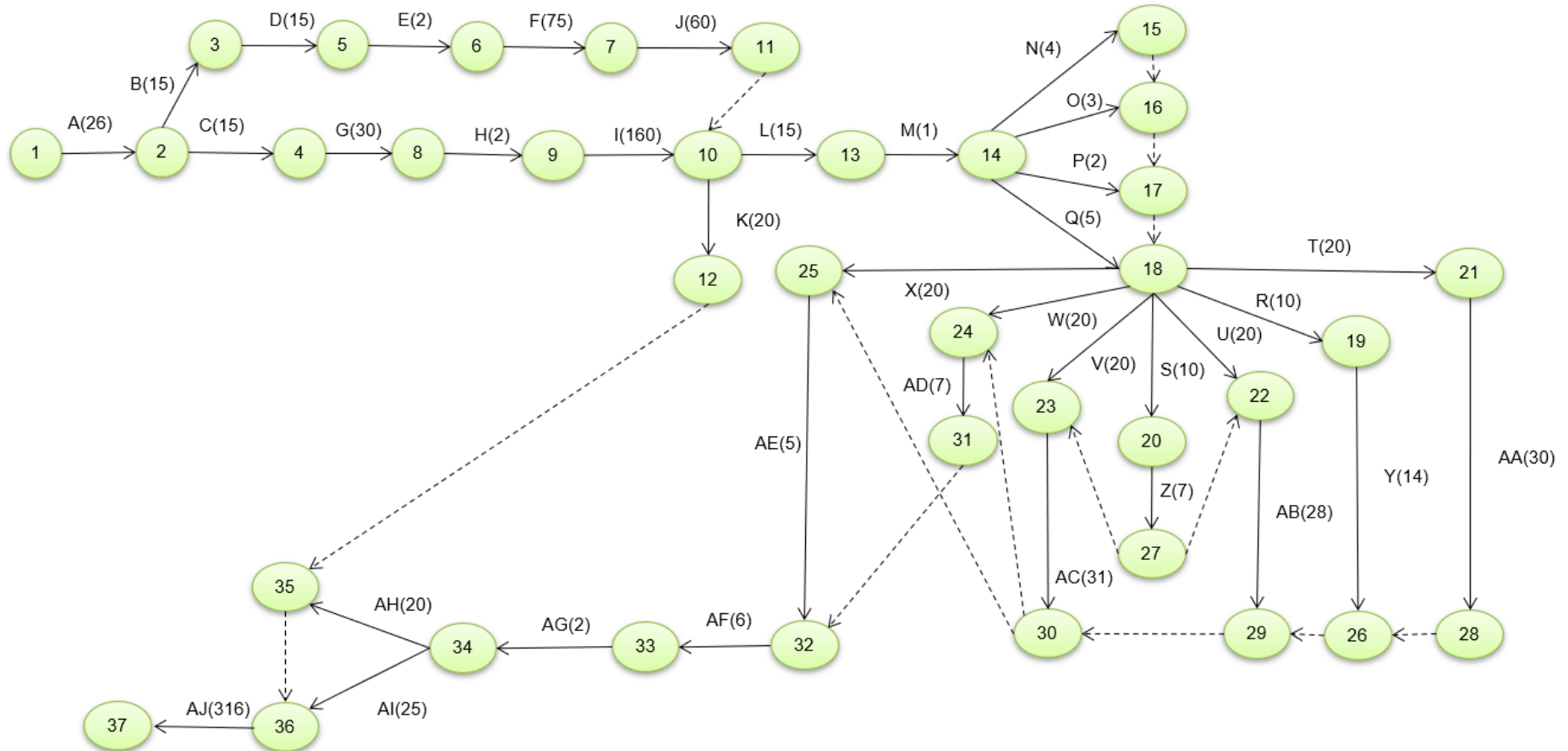
A/A	Δραστηριότητες		Προαπαιτούμενες	Διάρκεια
A1	A	Υποβολή αναλυτικού σχεδίου εκτέλεσης έργου	-	26
A1.1	B	Επιλογή μελετητή για την συγγραφή της μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων	A	15
A1.2	C	Επιλογή αναδόχου για την κατασκευή των νέων τεχνολογιών	A	15
A2	D	Συλλογή στοιχείων για την αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης της ΕΕΛ Μάρπησσας	B	15
A3	E	Αυτοψία στην ΕΕΛ για επιθεώρηση της υφιστάμενης κατάστασης	D	2
A4	F	Σύνταξη και υποβολή μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων	E	75
A5	G	Συλλογή στοιχείων για τη σύνταξη μελέτης κατασκευής	C	30

A6	H	Αυτοψία στην ΕΕΛ για τον προσδιορισμό τεχνικών παραμέτρων των νέων τεχνολογιών	G	2
A7	I	Σύνταξη μελέτης κατασκευής	H	160
A8	J	Έκδοση Απόφασης Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων	F	60
B1	K	Ασφάλιση έργου	I,J	20
B2	L	Επιλογή αναδόχου για την εγκατάσταση των νέων τεχνολογιών	I,J	15
B3	M	Λήψη των απαιτούμενων προστατευτικών μέτρων στην έναρξη κάθε εργασίας	L	1
B3.1	N	Απαραίτητες εκσκαφές για τη διαμόρφωση του χώρου του εργοταξίου	M	4
B3.2	O	Δημιουργία περίφραξης και διατάξεων επιτήρησης	M	3
B3.3	P	Τοποθέτηση ειδικής σήμανσης στα σημεία κατασκευής του έργου	M	2
B3.4	Q	Υγειονομικές εγκαταστάσεις	M	5
Γ1	R	Προμήθεια πρώτων υλών για την κατασκευή των απαραίτητων αντλιοστασίων	N,O,P,Q	10
Γ2	S	Προμήθεια βάσεων στήριξης εξοπλισμού	N,O,P,Q	10
Γ3	T	Προμήθεια μικροεσχάρας και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού	N,O,P,Q	20
Γ4	U	Προμήθεια αυτοκαθαριζόμενων φίλτρων ανοδικής ροής και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού	N,O,P,Q	20
Γ5	V	Προμήθεια συσκευής καθίζησης με λαμέλλες και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού	N,O,P,Q	20
Γ6	W	Προμήθεια αυτοματισμών των νέων μονάδων	N,O,P,Q	20
Γ7	X	Προμήθεια συστημάτων παρακολούθησης των νέων μονάδων	N,O,P,Q	20
Γ8	Y	Κατασκευή των απαραίτητων αντλιοστασίων	R	14
Γ9	Z	Τοποθέτηση βάσεων στήριξης εξοπλισμού	S	7
Γ10	AA	Εγκατάσταση μικροεσχάρας και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού	T	30



Γ11	AB	Εγκατάσταση αυτοκαθαριζόμενων φίλτρων ανοδικής ροής και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού	U,Z	28
Γ12	AC	Εγκατάσταση συσκευής καθίζησης με λαμέλλες και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού	V,Z	31
Γ13	AD	Εγκατάσταση αυτοματισμών των νέων μονάδων	W,Y,AA,AB,AC	7
Γ14	AE	Τοποθέτηση συστημάτων παρακολούθησης των νέων μονάδων	X,Y,AA,AB,AC	5
Γ15	AF	Σύνδεση του προτεινόμενου έργου με την υφιστάμενη ΕΕΛ	AD,AE	6
Γ16	AG	Απομάκρυνση κύριων και βοηθητικών εργοταξιακών εγκαταστάσεων μετά την περαίωση του έργου	AF	2
Γ16.1	AH	Δοκιμαστική λειτουργία και έλεγχος του συνόλου της μονάδας	AG	20
Γ16.2	AI	Εκπαίδευση του προσωπικού της μονάδας	AG	25
Γ17	AJ	Δοκιμαστική λειτουργία και τεχνική αξιολόγηση του συνόλου της μονάδας	K,AH,AI	316

Ακολουθεί του συνολικό δίκτυο του έργου:



Διάγραμμα 5: Διάγραμμα δικτύου εργασιών συνολικού έργου

## 5.2. Προσδιορισμός του χρόνου ολοκλήρωσης του έργου με την μέθοδο CPM

### Υπολογισμός Ενωρίτερου και Αργότερου χρόνου:

Για τον προσδιορισμό του συνολικού χρόνου ολοκλήρωσης του έργου, είναι απαραίτητη η εύρεση της κρίσιμης διαδρομής, μέσω των Ενωρίτερων και Αργότερων χρόνων έναρξης και λήξης.

Οι δραστηριότητες που δεν έχουν προαπαιτούμενες εργασίες και βρίσκονται στον αρχικό κόμβο, έχουν ως Ενωρίτερο χρόνο έναρξης την χρονική στιγμή μηδέν (0). Για παράδειγμα, στο συγκεκριμένο έργο επέκτασης, ο Ενωρίτερος χρόνος έναρξης της δραστηριότητας Α ισούται με μηδέν, καθώς αποτελεί την αρχική δραστηριότητα:

$$ES_A = 0 \quad \text{Εξ. (9)}$$

Αντίστοιχα ο Ενωρίτερος χρόνος έναρξης για δραστηριότητες με μια προαπαιτούμενη εργασία, θα ισούται με τον Ενωρίτερο χρόνο έναρξης της προαπαιτούμενης συν τη διάρκειά της. Ενώ σε περίπτωση που προηγούνται περισσότερες από μία δραστηριότητες, τότε θα ληφθεί υπόψη η δραστηριότητα που καθυστερεί περισσότερο. Δηλαδή:

$$ES_j = \max\{ES_i + d_{ij}\} \quad \text{Εξ. (10)}$$

Ο Ενωρίτερος χρόνος λήξης μιας δραστηριότητας προκύπτει από το άθροισμα του Ενωρίτερου χρόνου έναρξης συν την διάρκεια της δραστηριότητας και ορίζεται ως:

$$EF = ES + d \quad \text{Εξ. (11)}$$

Στο συγκεκριμένο έργο, ο ενωρίτερος χρόνος λήξης της δραστηριότητας ισούται με:

$$EF_A = ES_A + d_A = 0 + 26 = 26 \text{ μέρες} \quad \text{Εξ. (12)}$$

Με την ίδια λογική υπολογίζονται και οι υπόλοιποι Ενωρίτεροι χρόνοι έναρξης και λήξης όλων των δραστηριοτήτων στον Πίνακα 7.

**Πίνακας 7: Ενωρίτεροι χρόνοι έναρξης και λήξης των δραστηριοτήτων του δικτύου**

A/A	Δραστηριότητες	Προαπαιτούμενες	Διάρκεια (Μέρες)	ES	EF
<b>A</b>	Υποβολή αναλυτικού σχεδίου εκτέλεσης έργου	-	26	0	26
<b>B</b>	Επιλογή μελετητή για την συγγραφή της μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων	A	15	26	41
<b>C</b>	Επιλογή αναδόχου για την κατασκευή των νέων τεχνολογιών	A	15	26	41



<b>D</b>	Συλλογή στοιχείων για την αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης της ΕΕΛ Μάρπησσας	<b>B</b>	15	41	56
<b>E</b>	Αυτοψία στην ΕΕΛ για επιθεώρηση της υφιστάμενης κατάστασης	<b>D</b>	2	56	58
<b>F</b>	Σύνταξη και υποβολή μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων	<b>E</b>	75	58	133
<b>G</b>	Συλλογή στοιχείων για τη σύνταξη μελέτης κατασκευής	<b>C</b>	30	41	71
<b>H</b>	Αυτοψία στην ΕΕΛ για τον προσδιορισμό τεχνικών παραμέτρων των νέων τεχνολογιών	<b>G</b>	2	71	73
<b>I</b>	Σύνταξη μελέτης κατασκευής	<b>H</b>	160	73	233
<b>J</b>	Έκδοση Απόφασης Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων	<b>F</b>	60	133	193
<b>K</b>	Ασφάλιση έργου	<b>I,J</b>	20	233	253
<b>L</b>	Επιλογή αναδόχου για την εγκατάσταση των νέων τεχνολογιών	<b>I,J</b>	15	233	248
<b>M</b>	Λήψη των απαιτούμενων προστατευτικών μέτρων στην έναρξη κάθε εργασίας	<b>L</b>	1	248	249
<b>N</b>	Απαραίτητες εκσκαφές για τη διαμόρφωση του χώρου του εργοταξίου	<b>M</b>	4	249	253
<b>O</b>	Δημιουργία περίφραξης και διατάξεων επιτήρησης	<b>M</b>	3	249	252
<b>P</b>	Τοποθέτηση ειδικής σήμανσης στα σημεία κατασκευής του έργου	<b>M</b>	2	249	251
<b>Q</b>	Υγειονομικές εγκαταστάσεις	<b>M</b>	5	249	254
<b>R</b>	Προμήθεια πρώτων υλών για την κατασκευή των απαραίτητων αντλιοστασίων	<b>N,O,P,Q</b>	10	254	264
<b>S</b>	Προμήθεια βάσεων στήριξης εξοπλισμού	<b>N,O,P,Q</b>	10	254	264
<b>T</b>	Προμήθεια μικροεσχάρας και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού	<b>N,O,P,Q</b>	20	254	274
<b>U</b>	Προμήθεια αυτοκαθαριζόμενων φίλτρων ανοδικής ροής και	<b>N,O,P,Q</b>	20	254	274



	ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού				
<b>V</b>	Προμήθεια συσκευής καθίζησης με λαμέλλες και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού	N,O,P,Q	20	254	274
<b>W</b>	Προμήθεια αυτοματισμών των νέων μονάδων	N,O,P,Q	20	254	274
<b>X</b>	Προμήθεια συστημάτων παρακολούθησης των νέων μονάδων	N,O,P,Q	20	254	274
<b>Y</b>	Κατασκευή των απαραίτητων αντλιοστασίων	R	14	264	278
<b>Z</b>	Τοποθέτηση βάσεων στήριξης εξοπλισμού	S	7	264	271
<b>AA</b>	Εγκατάσταση μικροεσχάρας και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού	T	30	274	304
<b>AB</b>	Εγκατάσταση αυτοκαθαριζόμενων φίλτρων ανοδικής ροής και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού	U,Z	28	274	302
<b>AC</b>	Εγκατάσταση συσκευής καθίζησης με λαμέλλες και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού	V,Z	31	274	305
<b>AD</b>	Εγκατάσταση αυτοματισμών των νέων μονάδων	W,Y,AA,AB,AC	7	305	312
<b>AE</b>	Τοποθέτηση συστημάτων παρακολούθησης των νέων μονάδων	X,Y,AA,AB,AC	5	305	310
<b>AF</b>	Σύνδεση του προτεινόμενου έργου με την υφιστάμενη ΕΕΛ	AD,AE	6	312	318
<b>AG</b>	Απομάκρυνση κύριων και βοηθητικών εργοταξιακών εγκαταστάσεων μετά την παραίωση του έργου	AF	2	318	320
<b>AH</b>	Δοκιμαστική λειτουργία και έλεγχος του συνόλου της μονάδας	AG	20	320	340
<b>AI</b>	Εκπαίδευση του προσωπικού της μονάδας	AG	25	320	345

<b>AJ</b>	Δοκιμαστική λειτουργία και τεχνική αξιολόγηση του συνόλου της μονάδας	K,AH,AI	316	345	661
-----------	---	---------	-----	-----	-----

Στη συνέχεια υπολογίζονται ο Αργότερος χρόνος λήξης και έναρξης κάθε δραστηριότητας του έργου. Για την εύρεση τους, ξεκινάμε από τον τελευταίο κόμβο του δικτύου. Παρατηρείται στον Πίνακα 7, ότι ο συνολικός χρόνος ολοκλήρωσης του έργου είναι 661 ημέρες, οπότε ο Αργότερος χρόνος λήξης του δικτύου θα ισούται με 661 ημέρες. Εφόσον είναι γνωστός ο Αργότερος χρόνος λήξης της τελευταίας δραστηριότητας, μπορούν να συμπληρωθούν και οι υπόλοιποι χρόνοι, με τον εξής τύπο:

$$LS = LF - d \quad \text{Εξ. (13)}$$

Για παράδειγμα στο έργο, η τελευταία δραστηριότητα AJ έχει ως Αργότερο χρόνο λήξης 661 ημέρες. Επομένως ο Αργότερος χρόνος έναρξής της θα ισούται με:

$$\begin{aligned} LS_{AJ} &= LF_{AJ} - d = 661 - 316 \\ &= 345 \text{ μέρες} \end{aligned} \quad \text{Εξ. (14)}$$

Στην περίπτωση που μια δραστηριότητα ακολουθείται από παραπάνω από μια δραστηριότητα, τότε θα πρέπει να επιλεγεί εκείνη με τον ελάχιστο χρόνο. Δηλαδή:

$$LF_i = \min\{LF_j + d\} \quad \text{Εξ. (15)}$$

Αμέσως μετά προσδιορίζεται ο επιπλέον χρόνος (slack time) του δικτύου του έργου, όπου χρησιμοποιείται για την εύρεσή του ο παρακάτω τύπος:

$$(Slack\ time) = LS - ES = LF - EF \quad \text{Εξ. (16)}$$

Για παράδειγμα στο έργο, ο επιπλέον χρόνος της δραστηριότητας A θα ισούται με:

$$\begin{aligned} (Slack\ time)_A &= LS_A - ES_A \\ &= LF_A - EF_A = 0 - 0 \\ &= 26 - 26 = 0 \text{ ημέρες} \end{aligned} \quad \text{Εξ. (17)}$$

Αυτό σημαίνει πως η δραστηριότητα A έχει μηδενικό περιθώριο να καθυστερήσει, αλλιώς θα υπάρξουν καθυστερήσεις και στην ολοκλήρωση ολόκληρου του έργου. Αντίθετα, ο επιπλέον χρόνος της δραστηριότητας B ισούται με :

$$\begin{aligned} (Slack\ time)_B &= LS_B - ES_B \\ &= LF_B - EF_B = 66 - 26 \\ &= 81 - 41 = 40 \text{ ημέρες} \end{aligned} \quad \text{Εξ. (18)}$$

Όπου αυτό σημαίνει πως η δραστηριότητα Β έχει τη δυνατότητα να καθυστερήσει έως και 40 ημέρες, χωρίς αυτό να έχει ως αποτέλεσμα την καθυστέρηση ολόκληρου του έργου. Οι δραστηριότητες με μηδενικό περιθώριο, ανήκουν στις δραστηριότητες της κρίσιμης διαδρομής.

Στον Πίνακα 8 παρατίθενται όλοι οι χρόνοι του δικτύου του έργου.

**Πίνακας 8: Στοιχεία δικτύου του έργου**

A/A	Δραστηριότητες	Προαπαιτούμενες	Διάρκεια (Μέρες)	ES	EF	LS	LF	Επιπλέον χρόνος
<b>A</b>	Υποβολή αναλυτικού σχεδίου εκτέλεσης έργου	-	26	0	26	0	26	0
<b>B</b>	Επιλογή μελετητή για την συγγραφή της μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων	A	15	26	41	66	81	40
<b>C</b>	Επιλογή αναδόχου για την κατασκευή των νέων τεχνολογιών	A	15	26	41	26	41	0
<b>D</b>	Συλλογή στοιχείων για την αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης της ΕΕΛ Μάρπησσας	B	15	41	56	81	96	40
<b>E</b>	Αυτοψία στην ΕΕΛ για επιθεώρηση της υφιστάμενης κατάστασης	D	2	56	58	96	98	40
<b>F</b>	Σύνταξη και υποβολή μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων	E	75	58	133	98	173	40
<b>G</b>	Συλλογή στοιχείων για τη σύνταξη μελέτης κατασκευής	C	30	41	71	41	71	0
<b>H</b>	Αυτοψία στην ΕΕΛ για τον προσδιορισμό τεχνικών παραμέτρων των νέων τεχνολογιών	G	2	71	73	71	73	0
<b>I</b>	Σύνταξη μελέτης κατασκευής	H	160	73	233	73	233	0
<b>J</b>	Έκδοση Απόφασης Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων	F	60	133	193	173	233	40
<b>K</b>	Ασφάλιση έργου	I,J	20	233	253	325	345	92



<b>L</b>	Επιλογή αναδόχου για την εγκατάσταση των νέων τεχνολογιών	I,J	15	233	248	233	248	0
<b>M</b>	Λήψη των απαιτούμενων προστατευτικών μέτρων στην έναρξη κάθε εργασίας	L	1	248	249	248	249	0
<b>N</b>	Απαραίτητες εκσκαφές για τη διαμόρφωση του χώρου του εργοταξίου	M	4	249	253	250	254	1
<b>O</b>	Δημιουργία περίφραξης και διατάξεων επιτήρησης	M	3	249	252	251	254	2
<b>P</b>	Τοποθέτηση ειδικής σήμανσης στα σημεία κατασκευής του έργου	M	2	249	251	252	254	3
<b>Q</b>	Υγειονομικές εγκαταστάσεις	M	5	249	254	249	254	0
<b>R</b>	Προμήθεια πρώτων υλών για την κατασκευή των απαραίτητων αντλιοστασίων	N,O,P,Q	10	254	264	281	291	27
<b>S</b>	Προμήθεια βάσεων στήριξης εξοπλισμού	N,O,P,Q	10	254	264	257	267	3
<b>T</b>	Προμήθεια μικροεσχάρας και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού	N,O,P,Q	20	254	274	255	275	1
<b>U</b>	Προμήθεια αυτοκαθαριζόμενων φίλτρων ανοδικής ροής και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού	N,O,P,Q	20	254	274	257	277	3
<b>V</b>	Προμήθεια συσκευής καθίζησης με λαμέλλες και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού	N,O,P,Q	20	254	274	254	274	0
<b>W</b>	Προμήθεια αυτοματισμών των νέων μονάδων	N,O,P,Q	20	254	274	285	305	31
<b>X</b>	Προμήθεια συστημάτων	N,O,P,Q	20	254	274	285	305	31



	παρακολούθησης των νέων μονάδων							
<b>Y</b>	Κατασκευή των απαραίτητων αντλιοστασίων	R	14	264	278	291	305	27
<b>Z</b>	Τοποθέτηση βάσεων στήριξης εξοπλισμού	S	7	264	271	267	274	3
<b>AA</b>	Εγκατάσταση μικροεσχάρας και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού	T	30	274	304	275	305	1
<b>AB</b>	Εγκατάσταση αυτοκαθαριζόμενων φίλτρων ανοδικής ροής και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού	U,Z	28	274	302	277	305	3
<b>AC</b>	Εγκατάσταση συσκευής καθίζησης με λαμέλλες και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού	V,Z	31	274	305	274	305	0
<b>AD</b>	Εγκατάσταση αυτοματισμών των νέων μονάδων	W,Y,AA,AB,AC	7	305	312	305	312	0
<b>AE</b>	Τοποθέτηση συστημάτων παρακολούθησης των νέων μονάδων	X,Y,AA,AB,AC	5	305	310	307	312	2
<b>AF</b>	Σύνδεση του προτεινόμενου έργου με την υφιστάμενη ΕΕΛ	AD,AE	6	312	318	312	318	0
<b>AG</b>	Απομάκρυνση κύριων και βοηθητικών εργοταξιακών εγκαταστάσεων μετά την περαίωση του έργου	AF	2	318	320	318	320	0
<b>AH</b>	Δοκιμαστική λειτουργία και έλεγχος του συνόλου της μονάδας	AG	20	320	340	325	345	5
<b>AI</b>	Εκπαίδευση του προσωπικού της μονάδας	AG	25	320	345	320	345	0

<b>AJ</b>	Δοκιμαστική λειτουργία και τεχνική αξιολόγηση του συνόλου της μονάδας	K,ΑH,ΑΙ	316	345	661	345	661	0
-----------	---	---------	-----	-----	-----	-----	-----	---

Στο συγκεκριμένο κατασκευαστικό έργο, διακρίνουμε πως η κρίσιμη διαδρομή του δικτύου θα είναι A-C-G-H-I-L-M-Q-V-AC-AD-AF-AG-AI-AJ και η συνολική του διάρκεια 661 ημέρες.

### 5.3. Προσδιορισμός του χρόνου ολοκλήρωσης του έργου με την μέθοδο PERT

Όπως έχει αναφερθεί και στο Κεφάλαιο 1, η μέθοδος PERT στηρίζεται στην υπόθεση ότι ο χρόνος ολοκλήρωσης μιας δραστηριότητας, είναι μια στοχαστική μεταβλητή που ακολουθεί την «Βήτα» κατανομή που περιλαμβάνει τρεις παραμέτρους οι οποίες αντιστοιχούν σε τρεις χρονικές εκτιμήσεις, την αισιόδοξη (ο), την απαισιόδοξη (ρ) και την πιθανότερη (m).

Παρακάτω ακολουθεί ο πίνακας με τις εκτιμήσεις των τριών χρόνων σε ημέρες για κάθε δραστηριότητα, καθώς μπορούμε να υπολογίσουμε το μέσο χρόνο για κάθε δραστηριότητα και τη διακύμανση βάσει των τύπων αναγράφονται στο Κεφάλαιο 1.

Για παράδειγμα για τη δραστηριότητα A ο μέσος χρόνος μ, θα ισούται με :

$$\begin{aligned}\mu_A &= \frac{(o_A + 4m_A + p_A)}{6} \\ &= \frac{(24 + 104 + 28)}{6} \\ &= 26 \text{ ημέρες}\end{aligned}\quad \text{Εξ. (19)}$$

Και η διακύμανση της A αντίστοιχα θα ισούται με:

$$\begin{aligned}\sigma_A^2 &= \left(\frac{(p_A - o_A)}{6}\right)^2 = \left(\frac{28 - 24}{6}\right)^2 \\ &= 0,444\end{aligned}\quad \text{Εξ. (20)}$$

Πίνακας 9: Τιμές μέσου χρόνου και διακύμανσης

A/A	Αισιόδοξος χρόνος (ο)	Πιθανότερος χρόνος (m)	Απαισιόδοξος χρόνος (ρ)	Μέσος χρόνος (μ)	Τυπική απόκλιση (σ)	Διακύμανση (σ²)
<b>A</b>	24	26	28	26,00	0,67	0,44
<b>B</b>	13	15	19	15,33	1,00	1,00
<b>C</b>	13	15	20	15,50	1,17	1,36
<b>D</b>	13	15	19	15,33	1,00	1,00
<b>E</b>	1	2	3	2,00	0,33	0,11
<b>F</b>	70	75	78	74,67	1,33	1,78
<b>G</b>	28	30	32	30,00	0,67	0,44
<b>H</b>	1	2	3	2,00	0,33	0,11
<b>I</b>	155	160	165	160,00	1,67	2,78

J	55	60	65	60,00	1,67	2,78
K	14	20	21	19,17	1,17	1,36
L	12	15	20	15,33	1,33	1,78
M	1	1	2	1,17	0,17	0,03
N	3	4	7	4,33	0,67	0,44
O	1	3	4	2,83	0,50	0,25
P	1	2	3	2,00	0,33	0,11
Q	4	5	7	5,17	0,50	0,25
R	7	10	24	11,83	2,83	8,03
S	7	10	24	11,83	2,83	8,03
T	16	20	30	21,00	2,33	5,44
U	15	20	30	20,83	2,50	6,25
V	15	20	36	21,83	3,50	12,25
W	15	20	33	21,33	3,00	9,00
X	15	20	33	21,33	3,00	9,00
Y	12	14	16	14,00	0,67	0,44
Z	6	7	9	7,17	0,50	0,25
AA	25	30	39	30,67	2,33	5,44
AB	25	28	39	29,33	2,33	5,44
AC	25	31	45	32,33	3,33	11,11
AD	6	7	8	7,00	0,33	0,11
AE	3	5	7	5,00	0,67	0,44
AF	5	6	8	6,17	0,50	0,25
AG	1	2	5	2,33	0,67	0,44
AH	15	20	29	20,67	2,33	5,44
AI	15	25	35	25,00	3,33	11,11
AJ	302	316	330	316,00	4,67	21,78

Ο τρόπος με τον οποίο βρίσκουμε την κρίσιμη διαδρομή είναι ακριβώς ο ίδιος με αυτόν της μεθόδου CPM όπου διάρκειες είναι οι μέσες τιμές της κατανομής βήτα για κάθε δραστηριότητα.

Παρακάτω εμφανίζεται ο πίνακας με τους Ενωρίτερους και Αργότερους χρόνους Έναρξης και Λήξης των δραστηριοτήτων, καθώς και το κρίσιμο μονοπάτι.

**Πίνακας 10: Στοιχεία δικτύου του έργου για τη μέθοδο PERT**

A/A	Προαπαιτούμενες	Διάρκεια (Μέρες)	ES	EF	LS	LF	Επιπλέον χρόνος
A	-	26,00	0,00	26,00	0,00	26,00	0,00
B	A	15,33	26,00	41,33	66,17	81,50	40,17
C	A	15,50	26,00	41,50	26,00	41,50	0,00

D	B	15,33	41,33	56,67	81,50	96,83	40,17
E	D	2,00	56,67	58,67	96,83	98,83	40,17
F	E	74,67	58,67	133,33	98,83	173,50	40,17
G	C	30,00	41,50	71,50	41,50	71,50	0,00
H	G	2,00	71,50	73,50	71,50	73,50	0,00
I	H	160,00	73,50	233,50	73,50	233,50	0,00
J	F	60,00	133,33	193,33	173,50	233,50	40,17
K	I,J	19,17	233,50	252,67	330,67	349,83	97,17
L	I,J	15,33	233,50	248,83	233,50	248,83	0,00
M	L	1,17	248,83	250,00	248,83	250,00	0,00
N	M	4,33	250,00	254,33	250,83	255,17	0,83
O	M	2,83	250,00	252,83	252,33	255,17	2,33
P	M	2,00	250,00	252,00	253,17	255,17	3,17
Q	M	5,17	250,00	255,17	250,00	255,17	0,00
R	N,O,P,Q	11,83	255,17	267,00	283,50	295,33	28,33
S	N,O,P,Q	11,83	255,17	267,00	258,00	271,50	2,83
T	N,O,P,Q	21,00	255,17	276,17	257,67	278,67	2,50
U	N,O,P,Q	20,83	255,17	276,00	259,17	280,00	4,00
V	N,O,P,Q	21,83	255,17	277,00	255,17	277,00	0,00
W	N,O,P,Q	21,33	255,17	276,50	288,00	309,33	32,83
X	N,O,P,Q	21,33	255,17	276,50	288,00	311,33	32,83

Y	R	14,00	267,00	281,00	295,33	309,33	28,33
Z	S	7,17	267,00	274,17	269,83	278,67	2,83
AA	T	30,67	276,17	306,83	278,67	309,33	2,50
AB	U,Z	29,33	276,00	305,33	280,00	309,33	4,00
AC	V,Z	32,33	277,00	309,33	277,00	309,33	0,00
AD	W,Y,AA,AB,AC	7,00	309,33	316,33	309,33	316,33	0,00
AE	X,Y,AA,AB,AC	5,00	309,33	314,33	311,33	316,33	2,00
AF	AD,AE	6,17	316,33	322,50	316,33	322,50	0,00
AG	AF	2,33	322,50	324,83	322,50	324,83	0,00
AH	AG	20,67	324,83	345,50	329,17	349,83	4,33
AI	AG	25,00	324,83	349,83	324,83	349,83	0,00
AJ	K,AH,AI	316,00	349,83	665,83	349,83	665,83	0,00

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της PERT, προκύπτει το ίδιο κρίσιμο μονοπάτι με αυτό της CPM, A-C-G-H-I-L-M-Q-V-AC-AD-AF-AG-AI-AJ και η συνολική του διάρκεια είναι 666 ημέρες.

Η σημασία της διακύμανσης των δραστηριοτήτων παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην εκτίμηση ολοκλήρωσης του έργου. Δραστηριότητες οι οποίες δεν ανήκουν στο κρίσιμο μονοπάτι, έχουν μηδενική επίπτωση σε οποιαδήποτε χρονική αλλαγή περάτωσης του έργου εκτός εάν η καθυστέρηση τους ξεπεράσει το συνολικό περιθώριο (slack). Στη συνέχεια υπολογίζουμε τις διακυμάνσεις των δραστηριοτήτων της κρίσιμης διαδρομής.

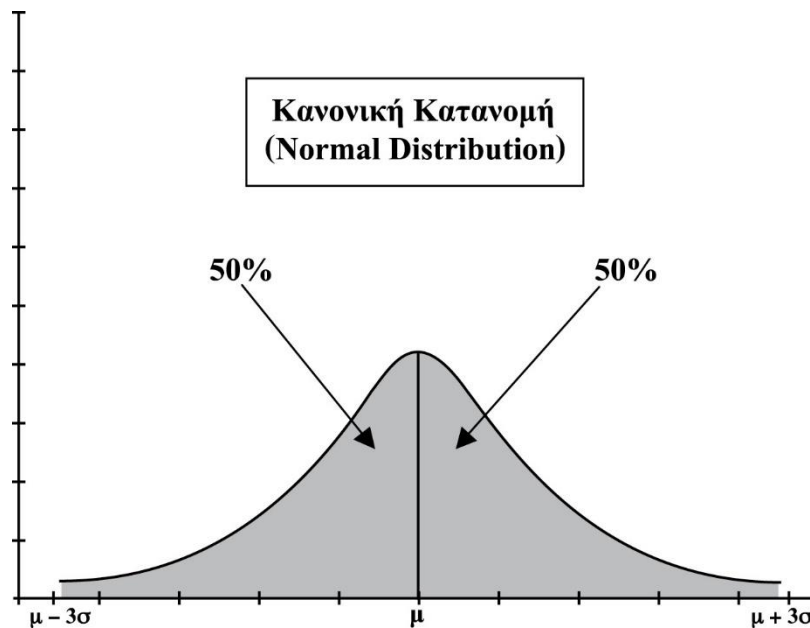
Για τον υπολογισμό της διακύμανσης ολοκλήρωσης του έργου θα πρέπει πρώτα να υπολογιστεί η μέση τιμή, δηλαδή η αναμενόμενη διάρκεια της κρίσιμης διαδρομής όπως επίσης και το άθροισμα των διακυμάνσεων των μεταβλητών που θα μας δώσει τη συνολική διακύμανση της διάρκειας του έργου, οπότε:

- Μέση τιμή κρίσιμων δραστηριοτήτων =  $\mu_A + \mu_C + \mu_G + \mu_H + \mu_I + \mu_L + \mu_M + \mu_Q + \mu_V + \mu_{AC} + \mu_{AD} + \mu_{AF} + \mu_{AG} + \mu_{AI} + \mu_{AJ} = 665,83$  ημέρες

- Διακύμανση των κρίσιμων δραστηριοτήτων  $= \sigma_A^2 + \sigma_C^2 + \sigma_G^2 + \sigma_H^2 + \sigma_I^2 + \sigma_L^2 + \sigma_M^2 + \sigma_Q^2 + \sigma_V^2 + \sigma_{AC}^2 + \sigma_{AD}^2 + \sigma_{AF}^2 + \sigma_{AG}^2 + \sigma_{AI}^2 + \sigma_{AJ}^2 = 64,25$
- Τυπική απόκλιση των κρίσιμων δραστηριοτήτων  $= \sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{64,25} = 8,02$

Υπολογισμός της πιθανότητας ολοκλήρωσης του έργου σε λιγότερο από 666 ημέρες.

Για τον υπολογισμό αυτό θα γίνει χρήση των ιδιοτήτων της Κανονικής Κατανομής (Normal Distribution).



Εικόνα 12: Διάγραμμα Κανονικής Κατανομής

Έχοντας ως επιθυμητό D το χρονικό διάστημα των 30 ημερών, την αναμενόμενη συνολική διάρκεια του έργου TE και την τυπική απόκλιση, μπορούμε πλέον να αντικαταστήσουμε στη σχέση για τη βοηθητική μεταβλητή Z (πιθανότητας της κανονικοποιημένης μεταβλητής Z με μέσο μηδέν και τυπική απόκλιση 1) που μας δίνει η στατιστική θεωρία και να έχουμε :

- $Z = \frac{D - TE}{\sqrt{\sigma^2}} = \frac{636 - 666}{8,02} = -3,74$

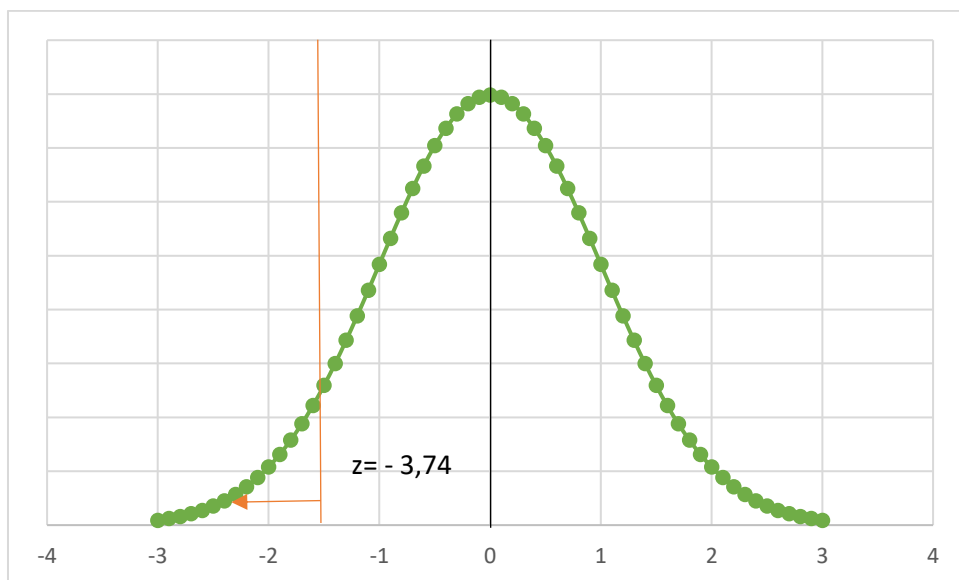


ΠΙΝΑΚΕΣ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΚΑΝΟΝΙΚΗΣ  
ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ

z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.50000	0.50399	0.50798	0.51197	0.51595	0.51994	0.52392	0.52790	0.53188	0.53586
0.1	0.53983	0.54380	0.54776	0.55172	0.55567	0.55962	0.56356	0.56749	0.57142	0.57535
0.2	0.57926	0.58317	0.58706	0.59095	0.59483	0.59871	0.60257	0.60642	0.61026	0.61409
0.3	0.61791	0.62172	0.62552	0.62930	0.63307	0.63683	0.64058	0.64431	0.64803	0.65173
0.4	0.65542	0.65910	0.66276	0.66640	0.67003	0.67364	0.67724	0.68082	0.68439	0.68793
0.5	0.69146	0.69497	0.69847	0.70194	0.70540	0.70884	0.71226	0.71566	0.71904	0.72240
0.6	0.72575	0.72907	0.73237	0.73565	0.73891	0.74215	0.74537	0.74857	0.75175	0.75490
0.7	0.75804	0.76115	0.76424	0.76730	0.77035	0.77337	0.77637	0.77935	0.78230	0.78524
0.8	0.78814	0.79103	0.79389	0.79673	0.79955	0.80234	0.80511	0.80785	0.81057	0.81327
0.9	0.81594	0.81859	0.82121	0.82381	0.82639	0.82894	0.83147	0.83398	0.83646	0.83891
1.0	0.84134	0.84375	0.84614	0.84850	0.85083	0.85314	0.85543	0.85769	0.85993	0.86214
1.1	0.86433	0.86650	0.86864	0.87076	0.87286	0.87493	0.87698	0.87900	0.88100	0.88298
1.2	0.88493	0.88686	0.88877	0.89065	0.89251	0.89435	0.89617	0.89796	0.89973	0.90147
1.3	0.90320	0.90490	0.90658	0.90824	0.90988	0.91149	0.91309	0.91466	0.91621	0.91774
1.4	0.91924	0.92073	0.92220	0.92364	0.92507	0.92647	0.92786	0.92922	0.93056	0.93189
1.5	0.93319	0.93448	0.93574	0.93699	0.93822	0.93943	0.94062	0.94179	0.94295	0.94408
1.6	0.94520	0.94630	0.94738	0.94845	0.94950	0.95053	0.95154	0.95254	0.95352	0.95449
1.7	0.95543	0.95637	0.95728	0.95818	0.95907	0.95994	0.96080	0.96164	0.96246	0.96327
1.8	0.96407	0.96485	0.96562	0.96638	0.96712	0.96784	0.96856	0.96926	0.96995	0.97062
1.9	0.97128	0.97193	0.97257	0.97320	0.97381	0.97441	0.97500	0.97558	0.97615	0.97670
2.0	0.97725	0.97778	0.97831	0.97882	0.97932	0.97982	0.98030	0.98077	0.98124	0.98169
2.1	0.98214	0.98257	0.98300	0.98341	0.98382	0.98422	0.98461	0.98500	0.98537	0.98574
2.2	0.98610	0.98645	0.98679	0.98713	0.98745	0.98778	0.98809	0.98840	0.98870	0.98899
2.3	0.98928	0.98956	0.98983	0.99010	0.99036	0.99061	0.99086	0.99111	0.99134	0.99158
2.4	0.99180	0.99202	0.99224	0.99245	0.99266	0.99286	0.99305	0.99324	0.99343	0.99361
2.5	0.99379	0.99396	0.99413	0.99430	0.99446	0.99461	0.99477	0.99492	0.99506	0.99520
2.6	0.99534	0.99547	0.99560	0.99573	0.99585	0.99598	0.99609	0.99621	0.99632	0.99643
2.7	0.99653	0.99664	0.99674	0.99683	0.99693	0.99702	0.99711	0.99720	0.99728	0.99736
2.8	0.99744	0.99752	0.99760	0.99767	0.99774	0.99781	0.99788	0.99795	0.99801	0.99807
2.9	0.99813	0.99819	0.99825	0.99831	0.99836	0.99841	0.99846	0.99851	0.99856	0.99861
3.0	0.99865	0.99869	0.99874	0.99878	0.99882	0.99886	0.99889	0.99893	0.99897	0.99900

Εικόνα 13: Πίνακας Κανονικής Κατανομής

Από την Εικόνα 13 παρατηρούμε ότι στο 3,74, ο Πίνακας δίνει περίπου 0,999, Άρα  $p(z < -3,74) = 1 - 0,999 = 0,001$  ή 1%. Δηλαδή η πιθανότητα να ολοκληρωθεί το έργο σε λιγότερο από 666 ημέρες είναι 1%.



Εικόνα 14: Κανονική Κατανομή με χρήση μεταβλητής z

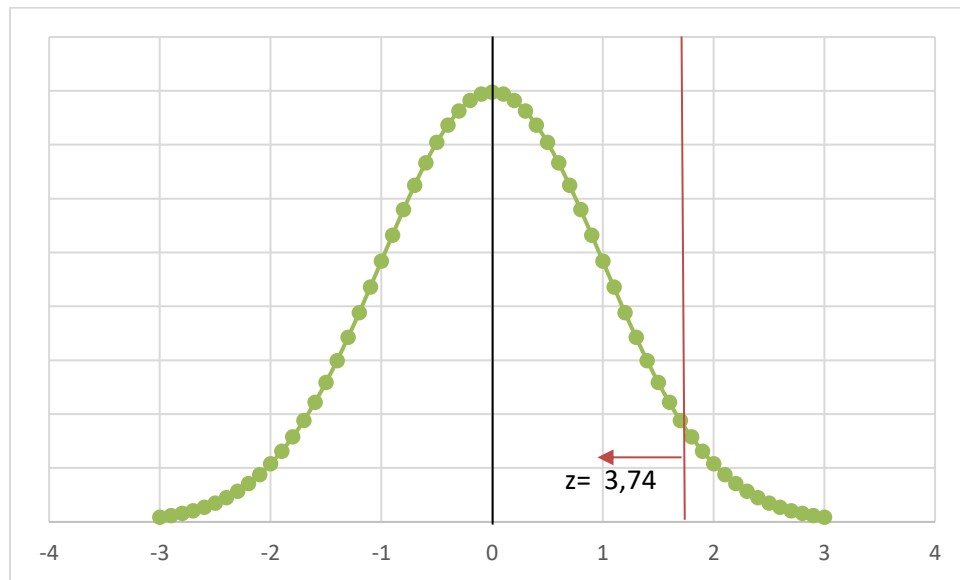
Υπολογισμός της πιθανότητας ολοκλήρωσης του έργου σε περισσότερο από 666 μέρες

Αντίστοιχα όπως κάναμε και πριν, με το επιθυμητό D να είναι αυξημένο κατά 30 ημέρες από τον αναμενόμενο χρόνο ολοκλήρωσης του έργου, ακολουθούμε τα ίδια βήματα για την εύρεση της μεταβλητής Z (Εικόνα 13).

- $$Z = \frac{D-TE}{\sqrt{\sigma^2}} = \frac{696-666}{8,02} = 3,74$$

Με τη βοήθεια της και του πίνακα Κανονικής Κατανομής καταλήγουμε στο ότι:

Η  $p(z > 3,74) = 0,999$  ή 99%. Οπότε η πιθανότητα να ολοκληρωθεί το έργο ένα μήνα αργότερα από τον αναμενόμενο χρόνο είναι 99%.



Εικόνα 15: Κανονική Κατανομή με χρήση μεταβλητής z

Με τη χρήση της μεθόδου PERT, μπορούμε πολύ εύκολα να υπολογίσουμε τις πιθανότητες ολοκλήρωσης του έργου, για χρόνο μικρότερο ή μεγαλύτερο από τον αναμενόμενο.

## Κεφάλαιο 6: Οικονομικά στοιχεία του προτεινόμενου έργου

Η παρουσιαζόμενη κοστολόγηση αφορά την προσεγγιστική εκτίμηση, με βάση τα υφιστάμενα στοιχεία. Πιο εξειδικευμένη προσέγγιση και ακριβέστερη εκτίμηση μπορεί να γίνει μελλοντικά κατά τα στάδια ωρίμανσης της πιλοτικής μονάδας επεξεργασίας.

### 6.1. Κόστος εξοπλισμού, εγκατάστασης και αρχικής λειτουργίας

Το κόστος αρχικής επένδυσης για την μελέτη-σχεδιασμό, τα κύρια και βοηθητικά έργα και τη δοκιμαστική λειτουργία των νέων τεχνολογιών παρουσιάζεται στον Πίνακα 11.

**Πίνακας 11: Κόστος μελέτης και σχεδιασμού, προμήθειας και εγκατάστασης εξοπλισμού, εγκατάστασης, επίβλεψης κατασκευών και δοκιμαστικής λειτουργίας.**

Παράμετρος	Προϋπολογισμός (συμπεριλαμβμένου ΦΠΑ)
<b>Μελέτη και σχεδιασμός μονάδας</b>	<b>68.750€</b>
Έκθεση Υφιστάμενης κατάστασης	6.160 €
Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων	10.960 €
Μελέτη Κατασκευής	51.640€
<b>Κύρια έργα και βοηθητικά- συνοδά έργα</b>	<b>146.670 €</b>
Κατασκευή δομικών έργων για την εγκατάσταση του βασικού ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και βοηθητικών διατάξεων (βάση έδρασης του εξοπλισμού από μπετόν, φρεάτιο αντλιοστασίου)	10.270 €
Εργασίες διαμόρφωσης περιβάλλοντος χώρου (εκσκαφές- επιχωματώσεις, τσιμεντοστρώσεις δαπέδων), στο βαθμό που θα χρειαστεί.	4.400 €
Προμήθεια βασικού ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού (μικροσχάρες, αμμόφιλτρα, λαμέλλες)	88.000 €
Προμήθεια βοηθητικού ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού (πίνακες διανομής, αυτοματισμοί, συστήματα ελέγχου και προστασίας, μετρητικές διατάξεις)	29.330 €

Ηλεκτρομηχανολογικές εργασίες διασύνδεσης και ρύθμισης του εξοπλισμού της προτεινόμενης διάταξης.	14.670 €
<b>Επίβλεψη κατασκευής</b>	<b>38.390€</b>
Ενδιάμεση έκθεση επίβλεψης κατασκευής εγκαταστάσεων	19.590 €
Έκθεση τελικής αυτοψίας κατασκευής εγκαταστάσεων	18.800 €
<b>Δοκιμαστική λειτουργία των νέων τεχνολογιών</b>	<b>33.220 €</b>
<b>Σύνολο</b>	<b>287.030€</b>

*\*\*Οι τιμές έχουν βασιστεί σε κόστη του 2021, όπου σήμερα έχουν γίνει κάποιες ανατιμήσεις.*

### Μελέτη-σχεδιασμός & επίβλεψη μονάδας

Η μελέτη και ο σχεδιασμός της προτεινόμενης διάταξης περιλαμβάνουν την Έκθεση Υφιστάμενης κατάστασης της ΕΕΛ, τη Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) και την Μελέτη Κατασκευής της Μάρπησσας.

Η Έκθεση Υφιστάμενης Κατάστασης αποτυπώνει την υφιστάμενη κατάσταση της Εγκατάστασης Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) Μάρπησσας, καθώς επίσης αναλύονται όλα τα δεδομένα μετρήσεων που σχετίζονται με τις απαιτήσεις του έργου και των νέων τεχνολογιών. Αναλυτικότερα, αποτυπώνονται οι κύριες παράμετροι λειτουργίας της ΕΕΛ (καταναλώσεις ενέργειας, παροχές αιχμής, εποχικότητα παροχών, κ.λπ.), που δεν περιγράφονται επαρκώς σε υφιστάμενες μελέτες. Επιπλέον, η καταγραφή της υφιστάμενης κατάστασης για τους σκοπούς του έργου απαιτεί τον προσδιορισμό πρόσθετων παραμέτρων από την υφιστάμενη κατάσταση, λόγω των απαιτήσεων των νέων τεχνολογιών που θα εφαρμοστούν.

Η Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) απαιτείται για τις ανάγκες τροποποίησης των περιβαλλοντικών όρων του αδειοδοτημένου έργου και αφορά την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της λειτουργίας της υφιστάμενης μονάδας της ΕΕΛ Μάρπησσας του Δήμου Πάρου, με τις προτεινόμενες εργασίες αναβάθμισης των εγκαταστάσεων της για τη διαχείριση των αυξανόμενων αναγκών και τη μείωση του λειτουργικού κόστους της.

Τέλος, η μελέτη κατασκευής περιλαμβάνει: τη μελέτη εφαρμογής και τα σχέδια κατασκευής, τους απαιτούμενους αυτοματισμούς και τη συνδεσμολογία, τα ισοζύγια μάζας, τα απαιτούμενα υλικά. Η μελέτη περιλαμβάνει και αναλυτικά σχέδια. Πιο συγκεκριμένα, η μελέτη κατασκευής παρουσιάζει πλήρη σχέδια όλων των επιμέρους μονάδων της προτεινόμενης διάταξης, στα οποία αποτυπώνονται όλα τα συστήματα και υποσυστήματα, καθώς και τα και τεχνικά τους χαρακτηριστικά. Επίσης παρουσιάζονται διαγράμματα ροής και περιγράφονται αναλυτικά οι απαιτούμενοι αυτοματισμοί και η συνδεσμολογία όλων των επιμέρους μονάδων της προτεινόμενης διάταξης. Τέλος, περιγράφεται το λογικό διάγραμμα παρακολούθησης του Προγραμματιζόμενου Λογικού Ελεγκτή (PLC), καθώς και των διαφόρων συστημάτων παρακολούθησης (on-line off-line) της προτεινόμενης διάταξης.

### Κύρια έργα και Βοηθητικά συνοδά έργα

Τα κατασκευαστικά έργα της μονάδας χωρίζονται σε κύρια και βοηθητικά-συνοδά έργα. Τα κατασκευαστικά έργα περιλαμβάνουν την κατασκευή δομικών έργων εγκατάστασης βασικού ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και βοηθητικών διατάξεων (βάση έδρασης του εξοπλισμού από μπετόν, φρεάτιο αντλιοστασίου) και επίσης την εγκατάσταση βασικού ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού (μικροσχάρες, αμμόφιλτρα, λαμέλλες). Από την άλλη, τα βοηθητικά-συνοδά έργα συμπεριλαμβάνουν εργασίες διαμόρφωσης περιβάλλοντος χώρου (εκσκαφές-επιχωματώσεις, τσιμεντοστρώσεις δαπέδων κ.λπ.), εγκατάσταση βοηθητικού ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού (πίνακες διανομής, αυτοματισμοί, συστήματα ελέγχου και προστασίας, μετρητικές διατάξεις) και ηλεκτρομηχανολογικές εργασίες διασύνδεσης και ρύθμισης του εξοπλισμού της προτεινόμενης διάταξης με προσωπικό του αναδόχου, αλλά και με εξωτερικούς εμπειρογνώμονες με αναλώσιμα λειτουργίας & συντήρησης έως το πέρας της δοκιμαστικής λειτουργίας, συμπεριλαμβανομένου του κόστους κροκιδωτικού στη μονάδα αμμοφίλτρανσης καθώς και της διαχείρισης της ιλύος.

### Επίβλεψη κατασκευής

Η Επίβλεψη κατασκευής του έργου ΑΝΕΛΙΞΗ περιλαμβάνει την ενδιάμεση έκθεση επίβλεψης κατασκευής εγκαταστάσεων και την έκθεση τελικής αυτοψίας κατασκευής εγκαταστάσεων.

Η ενδιάμεση έκθεση επίβλεψης κατασκευής εγκαταστάσεων αφορά την επιστάσια των κατασκευαστικών έργων από τη ΔΕΥΑ Πάρου σε συνεργασία με το Πολυτεχνείο Κρήτης. Η ΔΕΥΑ Πάρου θα επιβλέπει την εξέλιξη των κατασκευαστικών έργων (τήρηση χρονοδιαγράμματος, έλεγχος ποιότητας υλικών, κ.λπ.) με τη βοήθεια διπλωματούχων μηχανικών. Παράλληλα, η εξέλιξη των εργασιών θα παρακολουθείται επίσης και από το Πολυτεχνείο Κρήτης του που έχει την τεχνογνωσία των νέων τεχνολογιών. Το Πολυτεχνείο Κρήτης θα προτείνει τυχόν παρεμβάσεις για την βελτιστοποίηση της λειτουργίας των εγκαταστάσεων κατόπιν αναλύσεων δειγμάτων (ποιοτικά χαρακτηριστικά στην είσοδο, στην έξοδο και στα ενδιάμεσα στάδια της εγκατάστασης) και αυτοψιών. Η ενδιάμεση έκθεση επίβλεψης θα παρουσιάζει την εξέλιξη του έργου, τις εργασίες που έχουν ολοκληρωθεί και τις τρέχουσες, τυχόν προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά την υλοποίηση, τυχόν μεταβολές του χρονοδιαγράμματος, τυχόν αιτιολογημένες παρεκκλίσεις από τη Μελέτη Κατασκευής.

Στο στάδιο εκτέλεσης της Έκθεσης τελικής αυτοψίας κατασκευής εγκαταστάσεων η επιστάσια των έργων θα συνεχιστεί από τη ΔΕΥΑ Πάρου σε συνεργασία με το Πολυτεχνείο Κρήτης. Το Πολυτεχνείο Κρήτης θα προτείνει τυχόν παρεμβάσεις για την βελτιστοποίηση της λειτουργίας. Θα συλλέγονται ποιοτικά χαρακτηριστικά στην είσοδο, στην έξοδο και στα ενδιάμεσα στάδια της προτεινόμενης εγκατάστασης, καθώς και στην τελική έξοδο των εγκαταστάσεων, ενώ μετρήσεις θα γίνονται και στην παραγόμενη ιλύ. Σε αυτή την φάση θα διερευνηθούν από τον ΚΔ εναλλακτικές μέθοδοι διαχείρισης της παραγόμενης ιλύος (εκτός από την αποκομιδή σε ΧΥΤΑ), όπως είναι η ενεργειακή αξιοποίηση (π.χ. με αναερόβια χώνευση). Η τελική έκθεση επίβλεψης θα παρουσιάζει τη συνολική εξέλιξη του έργου, θα περιγράφει αναλυτικά τις εργασίες που εκτελέστηκαν, τυχόν προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά την υλοποίηση, τυχόν μεταβολές του χρονοδιαγράμματος, τυχόν αιτιολογημένες παρεκκλίσεις από τη Μελέτη Κατασκευής.

### Δοκιμαστική λειτουργία των νέων τεχνολογιών

Η δοκιμαστική λειτουργία των νέων τεχνολογιών περιλαμβάνει την τεχνική αξιολόγηση έργου, την παρακολούθηση και καταγραφή τεχνικών-περιβαλλοντικών δεικτών μετά την εφαρμογή των νέων τεχνολογιών.

Κατά τη δοκιμαστική λειτουργία θα πραγματοποιηθούν όλες οι μετρήσεις και η συλλογή στοιχείων που απαιτούνται για την αποτύπωση της νέας κατάστασης στην ΕΕΛ Μάρπησσας



μετά την εφαρμογή των νέων τεχνολογιών. Τα στοιχεία που θα συλλέγονται κατά την περίοδο εφαρμογής θα χρησιμοποιηθούν για την καταγραφή των τεχνικών και περιβαλλοντικών δεικτών του έργου και την έκθεση αξιολόγησης αυτού, αλλά και για την δημιουργία του λογισμικού εργαλείου λήψης αποφάσεων.

## Κεφάλαιο 7: Παρουσίαση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων

### Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε η ανάλυση της διαχείρισης ενός έργου και πιο συγκεκριμένα η ανάλυση της χρονικής παραμέτρου που θα χρειαστεί για την κατασκευή του.

Η συλλογή στοιχείων και τεχνικών προδιαγραφών έγινε από το Εργαστήριο Σχεδιασμού Περιβαλλοντικών Διεργασιών, το οποίο είναι ο συντονιστής του έργου.

Τα αποτελέσματα αφορούν τον υπολογισμό της χρονικής διάρκειας του έργου, μέσω της εύρεσης της κρίσιμης διαδρομής, με τη χρήση δύο διαφορετικών μεθόδων, της CPM και της PERT. Πιο συγκεκριμένα, μέσω της μεθόδου CPM, η χρονική διάρκεια του έργου αναβάθμισης θα είναι 661 ημέρες και με κρίσιμο μονοπάτι των δραστηριοτήτων A-C-G-H-I-L-M-Q-V-AC-AD-AF-AG-AI-AJ, ενώ με τη μέθοδο PERT η συνολική διάρκεια του έργου προέκυψε 665,8 ημέρες, με το ίδιο κρίσιμο μονοπάτι A-C-G-H-I-L-M-Q-V-AC-AD-AF-AG-AI-AJ, όπου:

A/A	Δραστηριότητες
A	Υποβολή αναλυτικού σχεδίου εκτέλεσης έργου
C	Επιλογή αναδόχου για την κατασκευή των νέων τεχνολογιών
G	Συλλογή στοιχείων για τη σύνταξη μελέτης κατασκευής
H	Αυτοψία στην ΕΕΛ για τον προσδιορισμό τεχνικών παραμέτρων των νέων τεχνολογιών
I	Σύνταξη μελέτης κατασκευής
L	Επιλογή αναδόχου για την εγκατάσταση των νέων τεχνολογιών
M	Λήψη των απαιτούμενων προστατευτικών μέτρων στην έναρξη κάθε εργασίας
Q	Υγειονομικές εγκαταστάσεις
V	Προμήθεια συσκευής καθίζησης με λαμέλλες και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού
AC	Εγκατάσταση συσκευής καθίζησης με λαμέλλες και ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού
AD	Εγκατάσταση αυτοματισμών των νέων μονάδων
AF	Σύνδεση του προτεινόμενου έργου με την υφιστάμενη ΕΕΛ
AG	Απομάκρυνση κύριων και βοηθητικών εργοταξιακών εγκαταστάσεων μετά την περαίωση του έργου



<b>AI</b>	Εκπαίδευση του προσωπικού της μονάδας
<b>AJ</b>	Δοκιμαστική λειτουργία και τεχνική αξιολόγηση του συνόλου της μονάδας

Η χρήση του εξειδικευμένου λογισμικού MS Project 2019 αποτέλεσε την επιβεβαίωση των υπολογισμών της μεθόδου PERT, καθώς χρονική διάρκεια και κρίσιμη διαδρομή έδωσαν τα ίδια αποτελέσματα.

Τέλος έγινε η προσέγγιση για μια εκτιμώμενη συνολική κοστολόγηση μελέτης και σχεδιασμού, προμήθειας και εγκατάστασης εξοπλισμού, εγκατάστασης, επίβλεψης κατασκευών και δοκιμαστικής λειτουργίας του έργου, δίνοντας σαν τελικό κόστος το ποσό των 287.030€

### **Σχολιασμός των αποτελεσμάτων**

Γενικά προκύπτει το συμπέρασμα πως λόγω του ότι στο κομμάτι της κατασκευής υπάρχει πάντα ο αστάθμητος παράγοντας της εκδήλωσης κινδύνων που δεν μπορεί να προβλεφθεί στο στάδιο του σχεδιασμού, όπως για παράδειγμα ακραία καιρικά φαινόμενα, εργατικά ατυχήματα, απεργίες κ.α. είναι αναμενόμενες οι καθυστερήσεις στο χρονοδιάγραμμα, οπότε πρέπει να υπάρχουν κάποιες ανοχές, τα λεγόμενα περιθώρια ασφάλειας.

Οι διαφοροποιήσεις των μεθόδων αναδείχθηκαν, μέσω της διαχείρισης της αβεβαιότητας. Η μέθοδος PERT συγκριτικά με την μέθοδο CPM, έδωσε σαν αποτέλεσμα κάτι αναμενόμενο, δηλαδή μεγαλύτερη χρονική διάρκεια και αυτό διότι δίνει το περιθώριο και εισάγει την αβεβαιότητα στο χρόνο εκτέλεσης των δραστηριοτήτων. Το συγκεκριμένο έργο περιέχει αρκετές και χρονοβόρες δραστηριότητες με αποτέλεσμα την απαίτηση μεγάλου χρονικού διαστήματος και αναγκαίων πόρων για την ολοκλήρωση του.

Ο χρόνος στην σύγχρονη εποχή είναι αναντικατάστατος και πολύ ακριβός. Το κέρδος μιας ταχύτερης κατασκευής είναι πολλαπλό, ιδιαίτερα εάν συνυπολογισθεί η εξασφάλιση της της αυτοπροβολής και της φήμης της κατασκευαστικής εταιρίας και φυσικά η ικανοποίηση του πελάτη. Μια κατασκευή που ελαχιστοποιεί το χρόνο υλοποίησης καταφέρει παράλληλα να ελαχιστοποιήσει το διαχειριστικό της κόστος, τις χρηματοδοτικές της δαπάνες και τους ευρύτερους επενδυτικούς κινδύνους. Η αποφυγή μεσοπρόθεσμων ανατιμήσεων, αναταράξεων της αγοράς και του πολιτικοκοινωνικού περιβάλλοντος αποτελούν εξασφάλιση των αρχικών προβλέψεων και συμβάλουν στην επιτυχία του εγχειρήματος.

## Κεφάλαιο 8: Βιβλιογραφία

- Amoatey, P., & Bani, R. (2011). *Wastewater management* (1st εκδ.). Ghana, Africa: INTECH Open Access Publisher.
- Burke, R. (2001). *Project Management- Planning and Control Techniques* (3th εκδ.). United Kindom: JOHN WILEY & SONS LTD.
- Commission of European Communities. (2001). *Disposal and recycling routes for sewage sludge Scientific and technical sub-component report* (Part 3 εκδ.). Luxembourg: European Communities.
- Delta Co Agencies, S. L. (2005). Ανάκτηση January 10, 2022, από <https://www.deltaco.gr/eksoplismos/tritovathmia-epeksergasia/item/51-aftokatharizomena-filtra-ammou>
- ENBIO Ε.Π.Ε. (2015). Ανάκτηση Ιανουάριος 15, 2022, από Βιολογικοί καθαρισμοί - Επεξεργασία νερού & στερεών - υγρών αποβλήτων: <https://www.enbio.gr/i-enbio>
- Gikas, P. (2017). Towards energy positive wastewater treatment plants. *Journal of enviromental management*, σσ. 203(2), 621-629.
- Gu, Y., Li, Y., Li, X., Luo, P., Wang, H., Wang, X., . . . Li, F. (2017). *Energy self-sufficient wastewater treatment plants: Feasibilities and challenges*. Shanghai, China: Energy Procedia.
- Hall, J. (2000). *Proceedings of the Workshop on Problems around Sludge* (1st εκδ.). Italy: European Commission. Ανάκτηση November 18 - 19
- Hernandez-Sancho, F., Molinos-Senante, M., & Sala-Garrido, R. (2011). *Energy efficiency in Spanish wastewater treatment plants: A non-radial DEA approach*. Valencia, Spain: Science of the Total Environment.
- Kosobucki, P. C. (2000). *Sewage sludge composting*. Polish Journal of Enviromental Studies.
- Maylor, H. (2005). *Project management* (3th εκδ.). Bath, England: Financl Times Management.
- PMI. (2013). *A guide to the Project Management Body of Knowledge* (5th εκδ.). United States: PMI Standards Committee.
- Schosseler, P., Lohmann, T., Schmitt, B., Perbal, S., Dubois, C., & Saverborn, K. (2007). *Implementing sustainable sanitation concepts in Luxembourg: methodological approach and outcomes*. Luxembourg: Water Science and Technology.
- Stehouwer, R. (2010). *What is sewage sludge and what can be done with it?* (T. P. University, Επιμελήτης) Ανάκτηση January 10, 2022, από PennState Extension: <https://extension.psu.edu>
- Tchobanoglous, G., Burton, F., & Stensel, D. (2018). *Wastewater engineering - Treatment and Reuse* (4th εκδ.). USA: McGraw-Hill Education.
- Wang L.K., S. N. (2008). *Biosolids Engineering and Management* (7th εκδ.). New York: Humana Press.
- Wastewater Treatment Plants Monitoring Database, S. S. (2020, April 3). (H. M. Energy, Παραγωγός, & Government of the Hellenic Republic) Ανάκτηση January 22, 2022, από <http://astikalimata.ypeka.gr>
- Γκίνος, Α. (2005). *Διαχωρισμός αποβλήτων ελαιοτριβείου με συνδυασμένη χρήση ανόργανων και οργανικών κροκιδωτικών και χαρακτηρισμός φάσεων - Μεταπτυχιακή διατριβή*. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης.
- Δ. Καντιάνης. (2020). *Εφαρμογές σε ειδικά θέματα Διοίκησης Επιχειρήσεων & Λήψεις Αποφάσεων - Διδακτικές Σημειώσεις Project Management*. Αθήνα.
- Ε.ΠΕ.Μ. Α.Ε., Ε.Π.Ε., Π., & Σαρηγιάννης, Δ. (2005). *Συστήματα Επεξεργασίας Λυμάτων Compact* (Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων εκδ.). Δήμου Πάρου: Δ.Δ. Λευκών - Κώστου.

- Κούγκολος, Α. (2005). *Εισαγωγή στην Περιβαλλοντική Μηχανική* (1η εκδ.). Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.
- Νταρακάς, Ε. (2016). *Τεχνικές περιβάλλοντος - Διεργασίες επεξεργασίας νερού και υγρών αποβλήτων* (1η εκδ.). Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Σοφία.
- Υψηλάντης, Π. (2015). *Επιχειρησιακή Έρευνα, Μεθοδοι και τεχνικές λήψεις αποφάσεων* (5η εκδ.). Θεσσαλία: Πρόπομπος.
- Φιτσιλής, Π. (2007). *Διαχείριση Έργων Πληροφορικής* (1η εκδ.). Αθήνα: Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Φιτσιλής, Π. (2015). *Σύγχρονα πληροφοριακά συστήματα επιχειρήσεων* (1η εκδ.). Αθήνα: Κάλυπος.
- Χασιακός, Α., & Θεοδωρακόπουλος, Δ. (2003). *Οικονομικά Τεχνικών Έργων- Χρονικός και Οικονομικός Προγραμματισμός Έργων* (3η εκδ., Τόμ. Γ'). Πάτρα: Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.
- Χρυσικόπουλος, Κ. (2018). *Εισαγωγή στις Διεργασίες Καθαρισμού Νερού και Λυμάτων* (2η εκδ.). Χανιά: Τζιόλα.

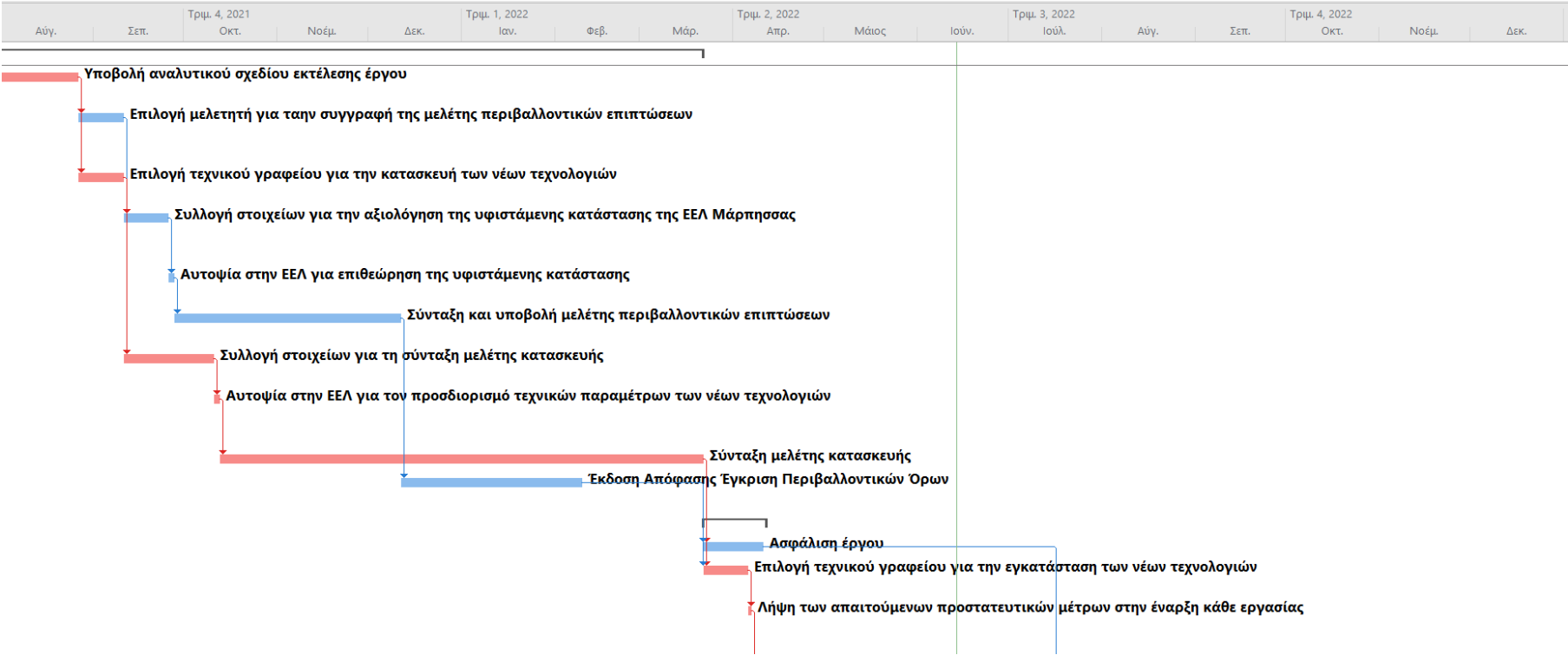
## Κεφάλαιο 9: Παραρτήματα

### Λογισμικό MS Project

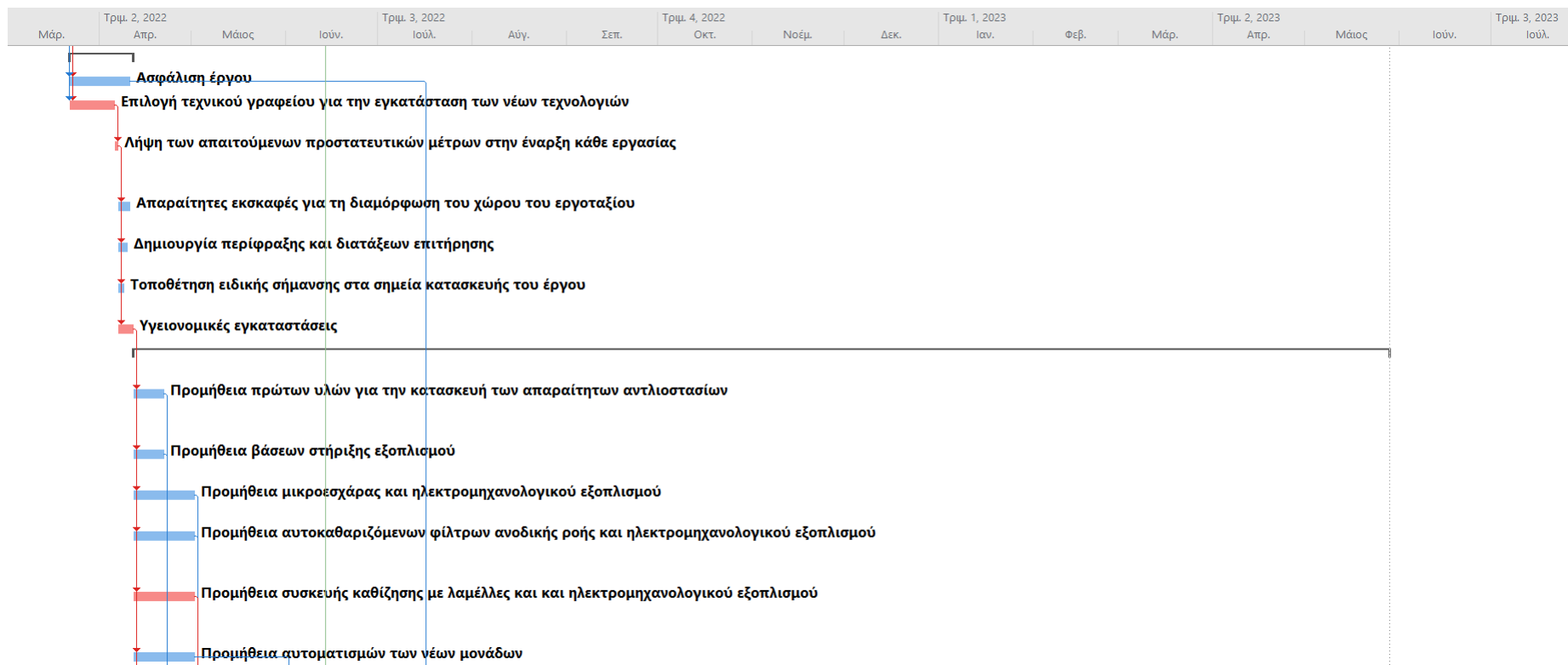
Ο προγραμματισμός των έργων έχει εντοπιστεί σε διάφορες μελέτες ως κύριος παράγοντας για την πρόβλεψη της επιτυχίας ή της αποτυχίας του έργου. Αυτό δείχνει τον κρίσιμο ρόλο των χρονοδιαγραμμάτων στη διαχείριση έργων.

Το λογισμικό MS Project είναι μια διαδικασία που περιλαμβάνει εκτίμηση, αλληλουχία και δραστηριότητες, κατανομή πόρων και συγχρονισμό. Το MS Project είναι το σύγχρονο εργαλείο διαχείρισης έργου που βοηθά να ξεπεραστούν τα εμπόδια που εμφανίζονται, παραμένοντας στον συμβατικό τρόπο σχεδιασμού και οργάνωσης. Βοηθά για το βέλτιστο και πολυμήχανο τρόπο οργάνωσης των δραστηριοτήτων και δίνει την δυνατότητα να ολοκληρωθεί το έργο σε προγραμματισμένη διάρκεια. Στην εμφάνιση του είναι σχεδόν σαν υπολογιστικό φύλλο. Η προετοιμασία του προγράμματος και ο προσδιορισμός της κρίσιμης διαδρομής είναι εύκολα επιτεύξιμοι Μέσω του λογισμικού.

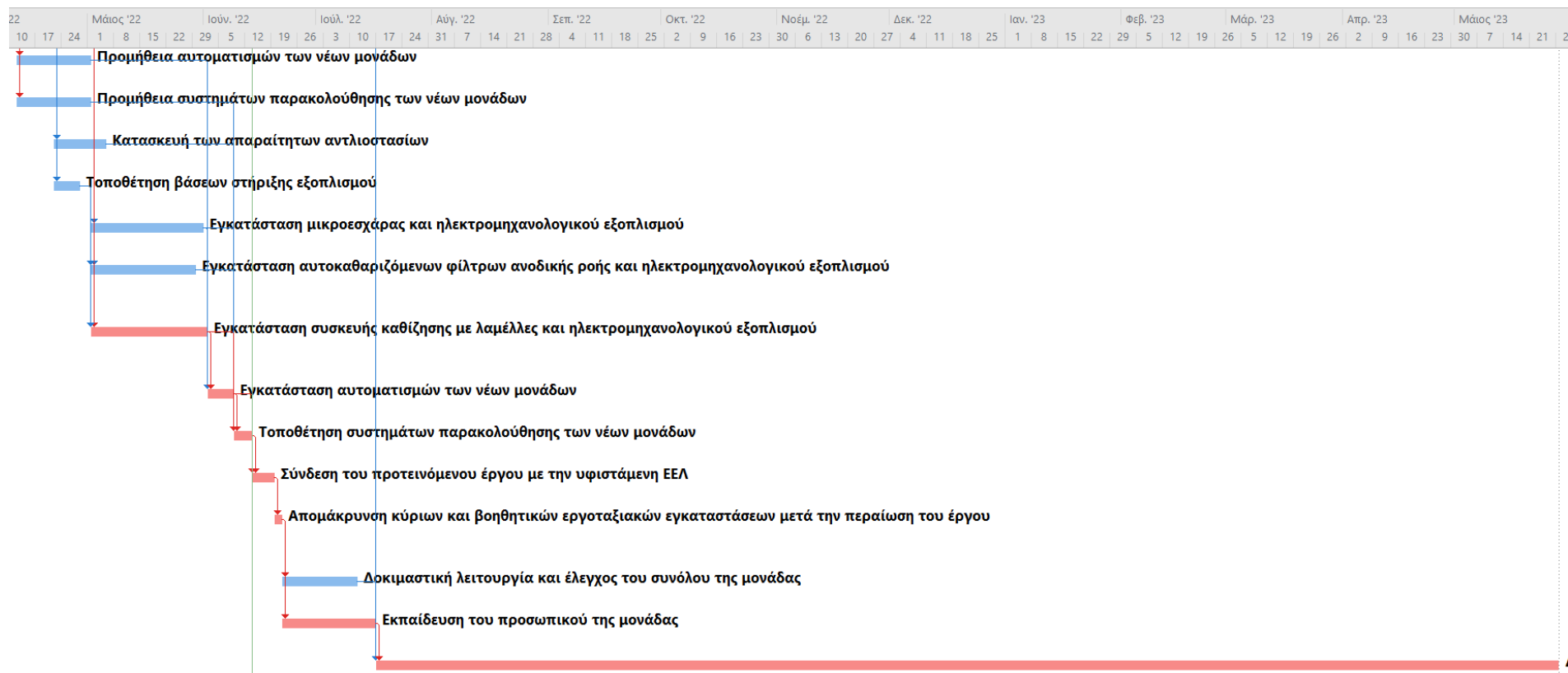
Το Microsoft Project δημιουργεί χρονοδιαγράμματα με τις κρίσιμες διαδρομές και απεικονίζει τις δραστηριότητες σε γράφημα Gantt, όπως για παράδειγμα φαίνονται παρακάτω οι δραστηριότητες, τονίζοντας με κόκκινο χρώμα τις κρίσιμες δραστηριότητες του συγκεκριμένου έργου αναβάθμισης.



Διάγραμμα 6: Διάγραμμα Gantt- Μέρος 1ο



Διάγραμμα 7: Διάγραμμα Gantt- Μέρος 2°



Διάγραμμα 8: Διάγραμμα Gantt- Μέρος 3ο