



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος

Χρονικός Προγραμματισμός και Κοστολόγηση Έργου
Κατασκευής Μονάδας Βιοαερίου σε Κτηνοτροφική
Μονάδα για Ευέλικτη Ηλεκτροπαραγωγή



Φοιτητής: Γρατσώνης Αριστείδης

Χανιά, 2024



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος

Χρονικός Προγραμματισμός και Κοστολόγηση Έργου
Κατασκευής Μονάδας Βιοαερίου σε Κτηνοτροφική
Μονάδα για Ευέλικτη Ηλεκτροπαραγωγή

Φοιτητής: Γρατσώνης Αριστείδης

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Στυλιανός Ροζάκης

Jacek Dach

Πέτρος Γκίκας

Χανιά, 2024

"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

Η παρούσα διατριβή εξετάζει την κρίσιμη πτυχή της διαχείρισης χρόνου στην κατασκευή εγκατάστασης παραγωγής βιοαερίου. Το βιοαέριο ως κύρια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην κάλυψη ενεργειακών αναγκών αλλά και στην αντιμετώπιση περιβαλλοντικών προβλημάτων, σε μια εποχή όπου η κλιματική κρίση και η κάλυψη των αυξανόμενων ενεργειακών αναγκών αποτελούν πρόκληση. Η αποτελεσματική κατασκευή και διαχείριση των εγκαταστάσεων παραγωγής βιοαερίου είναι επομένως κρίσιμη για την επίτευξη των στόχων αυτών.

Στην παρούσα μελέτη γίνεται χρήση δύο μεθόδων χρονικού προγραμματισμού, της CPM (Critical path method) και της PERT (Program Evaluation Review Technique) για τον χρονικό προγραμματισμό του προτεινόμενου έργου κατασκευής μονάδας παραγωγής βιοαερίου 240KW στην επαρχία Uthrusk της Πολωνίας σε κανονικές συνθήκες, αλλά και σε συνθήκες αβεβαιότητας. Η μονάδα στοχεύει στην αξιοποίηση ζωικών αποβλήτων της περιοχής, και πιο συγκεκριμένα της πανεπιστημιακής φάρμας στο Uthrusk, με δυνατότητα ευέλικτης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της αποθήκευσης του παραγόμενου βιοαερίου. Αρχικά, για το θεωρητικό τμήμα της έρευνας, έγινε εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση για τις μεθόδους χρονικού προγραμματισμού, τη διαχείριση έργων, τη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης, τις διαφορετικές μεθόδους επεξεργασίας αποβλήτων και την αναγκαιότητα έργων που στοχεύουν στη βιωσιμότητα και την αειφόρο ανάπτυξη. Το ερευνητικό μέρος της έρευνας, περιέχει τη δικτυακή ανάλυση και τις δύο μεθοδολογίες χρονικού προγραμματισμού CPM και PERT, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση της χρονικής διαχείρισης της διαδικασίας κατασκευής του έργου που αποτελείται από 75 δραστηριότητες. Οι δραστηριότητες αυτές αφορούν στην κατασκευή, την εύρεση και εκπαίδευση του προσωπικού, τα διαδικαστικά και τα οικονομικά ζητήματα, ενώ η πιθανή διάρκεια της κάθε διεργασίας δόθηκε από εταιρία υλοποίησης παρόμοιων έργων.

Εν συνεχεία, πραγματοποιήθηκαν οι κατάλληλοι υπολογισμοί στο πρόγραμμα excel, σύμφωνα με τους οποίους βρέθηκε ότι, όσον αφορά τη μέθοδο CPM, η ελάχιστη διάρκεια ολοκλήρωσης προσδιορίστηκε στις 97 εβδομάδες, ενώ αναφορικά με τη μέθοδο PERT, στις 113,5 εβδομάδες. Έπειτα, από το χρονικό διάστημα που έδωσε η μέθοδος PERT υπολογίστηκε, με τη χρήση κανονικής κατανομής, η πιθανότητα ολοκλήρωσης του έργου εντός $113,5 \pm 10$ εβδομάδων.

Εν κατακλείδι, πραγματοποιήθηκε ο σχολιασμός και η παράθεση των συμπερασμάτων της μελέτης. Λαμβάνοντας υπόψη την ανάλυση αλλά και τα αποτελέσματα της μελέτης περίπτωσης η έρευνα αυτή επιχειρεί να εμπλουτίσει την ήδη υπάρχουσα βιβλιογραφία και στοχεύει να παράσχει την τεχνογνωσία για τη βελτιστοποίηση και την ανάπτυξη παρόμοιων δομών παραγωγής βιοαερίου.

Abstract

This thesis examines the critical aspect of time management in the construction of a biogas plant. Biogas as a main renewable energy source can contribute significantly to meeting energy needs but also to addressing environmental problems, at a time when the climate crisis and the meeting of growing energy needs pose a significant challenge. Effective construction and management of biogas production facilities is therefore critical to achieving these goals.

In this study, two time scheduling methods, CPM (Critical path method) and PERT (Program Evaluation Review Technique) are used for the time scheduling of the proposed construction project of a 240KW biogas production plant in Uhrusk province, Poland under normal conditions, but also in conditions of uncertainty. The plant aims to utilize animal waste from the area, and more specifically from the university farm in Uhrusk, with the possibility of flexible electricity production through the storage of the produced biogas. Initially, for the theoretical part of the research, an extensive literature review was done on time planning methods, project management, the process of anaerobic digestion, different waste treatment methods and the necessity of projects aimed at sustainability and sustainable development. The research part of the research contains the network analysis and the two time planning methodologies CPM and PERT, which were used to realize the time management of the construction process of the project consisting of 75 activities. These activities concern construction, personnel and procedures and the possible duration of each process was given by a company implementing similar projects.

Subsequently, the appropriate calculations were carried out in the excel program, according to which it was found that, regarding the CPM method, the minimum completion time was determined at 97 weeks, while regarding the PERT method, at 113,5 weeks. Then, from the time interval given by the PERT method, using a normal distribution, the probability of completing the project within $113,5 \pm 10$ weeks was calculated.

In conclusion, the commenting and quoting of the conclusions of the study was carried out. Taking into account the analysis as well as the results of the case study this research attempts to enrich the already existing literature and aims to provide the know-how for the optimization and development of similar biogas production facilities.

Ευχαριστίες

Η διεκπεραίωση της διπλωματικής μου διατριβής υπήρξε για μένα το πιο δημιουργικό αλλά και το πιο απαιτητικό μέρος των σπουδών μου, και σίγουρα δεν θα μπορούσα να τα είχα καταφέρει χωρίς τη βοήθεια ορισμένων ανθρώπων. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υπεύθυνο καθηγητή μου, Κ. Ροζάκη, για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε, καθώς και για την άριστη συνεργασία μας. Εν συνεχεία, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη φοιτήτρια Olga Karwowska για τη συνδρομή της στη συλλογή δεδομένων. Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την εκτίμησή μου προς την οικογένειά μου, για τη στήριξη που μου έδειξε σε αυτό το ταξίδι, καθώς και για την κοπέλα μου, που ήταν εκεί κάθε στιγμή, πρόθυμη να με βοηθήσει σε οτιδήποτε χρειαζόμουν.

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Abstract.....	4
Ευχαριστίες.....	5
Εισαγωγή.....	9
Κεφάλαιο 1 Το βιοαέριο σήμερα	11
1.1-Το βιοαέριο	11
1.2-Αναερόβια Χώνευση	11
1.3-Η βιοενέργεια	13
1.4-Εισαγωγή στις εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου	14
1.5- Παράμετροι της Διαδικασίας.....	15
1.6- Τύποι εγκαταστάσεων αναερόβιων χωνευτών	16
1.7- Το βιοαέριο ως πηγή ενέργειας	19
1.8- Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της χρήσης βιοαερίου	20
1.9- Είναι οικονομικά συμφέρον το βιοαέριο από ζωικά απόβλητα και πότε;	21
1.10- Βιοαέριο με αναβάθμιση	23
Κεφάλαιο 2 Εισαγωγή στην διαχείριση έργων	25
2.1- Εισαγωγικά για την διαχείριση έργων	25
2.2- Κύκλος ζωής έργου	26
2.3- Δομή ανάλυσης εργασιών	27
2.4- Οι μέθοδοι PERT και CPM	28
2.5- Οι μέθοδος CPM.....	29
2.6- Οι μέθοδος PERT	31
2.7- Επισκόπηση αρθρογραφίας σχετικής με την εφαρμογή χρονικού προγραμματισμού σε περιπτώσεις μονάδων βιοαερίου	32
Κεφάλαιο 3 Η περίπτωση του UHRUSK.....	33
3.1- Η μονάδα	33
Κεφάλαιο 4 Χρονικός προγραμματισμός με τις μεθόδους PERT και CPM	35
4.1- Χρονικός προγραμματισμός με τη μέθοδο CPM	35
4.2- Χρονικός προγραμματισμός με τη μέθοδο PERT	51
4.3- Υπολογισμός της πιθανότητας ολοκλήρωσης του έργου σε 133 ± 10 εβδομάδες	53
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα	55
Βιβλιογραφία.....	56
Παραρτήματα	59

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Οι δραστηριότητες κατηγοριοποιημένες	36
Πίνακας 2: Οι δραστηριότητες και η πιθανή διάρκεια τους	43
Πίνακας 3: Η εφαρμογή της μεθόδου CPM.....	45
Πίνακας 4: Οι δραστηριότητες της κρίσιμης διαδρομής	47
Πίνακας 5: Οι δραστηριότητες της κρίσιμης διαδρομής κατηγοριοποιημένες	49
Πίνακας 6: Η εφαρμογή της μεθόδου PERT	51
Πίνακας 7: Πίνακας τιμών κανονικής κατανομής.....	62

Κατάλογος Εικόνων-Διαγραμμάτων

Εικόνα 1: Στάδια αναερόβιας χώνευσης (Τριανταφυλλίδης , 2018)	13
Εικόνα 2: διαδικασία αναερόβιας χώνευσης (Tanigawa, 2017)	14
Εικόνα 3: Απλή απεικόνιση μονάδας βιοαερίου (Rahman, et al., 2017)	16
Εικόνα 4: Χωνευτήρας καλυμμένης λίμνης (Bramorski, 2010)	16
Εικόνα 5: Χωνευτήρας ροής βύσματος (Bentley, 2012)	17
Εικόνα 6: Χωνευτήρας Πλήρους μίξης (Mateescu & Constantinescu, 2010)	17
Εικόνα 7: Χωνευτήρας σταθερής μεμβράνης (Hamilton, 2017)	18
Εικόνα 8: Κατηγορίες χωνευτήρων με τα Χαρακτηριστικά τους (Ο'Connor, et al., 2021)	19
Εικόνα 9: Κύκλος ζωής έργου (Γενικό Λογιστήριο της Δημοκρατίας, 2018)	27
Εικόνα 10: απλό δίκτυο AON	28
Εικόνα 11: Δορυφορική απεικόνιση του Uhusk και της πειραματικής φάρμας.....	33
Εικόνα 12: Η προτεινόμενη μονάδα για την πειραματική φάρμα (Pochwatka, et al., 2023) ...	34
Διάγραμμα 1: Διάγραμμα Α φάσης δραστηριοτήτων	40
Διάγραμμα 2: Διάγραμμα Β φάσης δραστηριοτήτων	40
Διάγραμμα 3: Διάγραμμα Γ φάσης δραστηριοτήτων	41
Διάγραμμα 4: Καμπύλη κανονικής κατανομής (University of North Carolina, 2008)	53
Διάγραμμα 5: Διάγραμμα Gantt- Μέρος 1	59
Διάγραμμα 6: Διάγραμμα Gantt- Μέρος 2.....	60
Διάγραμμα 7: Διάγραμμα Gantt- Μέρος 3.....	61

Εισαγωγή

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία αφορά το Χρονικό Προγραμματισμό του έργου κατασκευής μονάδας παραγωγής βιοαερίου στην περιοχή Uhrusk της Πολωνίας. Αρχικά, στόχος των Μονάδων επεξεργασίας ζωικών αποβλήτων και παραγωγής βιοαερίου αποτελεί η περιβαλλοντική και οικονομική βιωσιμότητα, αλλά και η αειφόρος ανάπτυξη. Με τον χρονικό προγραμματισμό του έργου, επιτυγχάνεται η οικονομική και περιβαλλοντική βιωσιμότητα της κατασκευής, μέσω της αύξησης της αποτελεσματικότητας της διαχείρισης και της κατασκευής.

Η αφορμή για τη δημιουργία της παρούσας διπλωματικής ήταν η εργασία των Rochwatka, et al., που έδειξε την οικονομική και περιβαλλοντική βιωσιμότητα της λειτουργίας τέτοιας μονάδας στο Uhrusk, προκαλώντας την ανάγκη για περαιτέρω διερεύνηση της κατασκευής και διαχείρισης της μονάδας, ισχύος 240 kw, που εμπίπτει στην κατηγορία μεσαίου μεγέθους μονάδων και θα εξυπηρετεί τα ζωικά απόβλητα από την πειραματική φάρμα του Πανεπιστημίου.

Για τη βέλτιστη διαχείριση του έργου κατασκευής απαιτείται η εφαρμογή κατάλληλων τεχνικών και μεθοδολογιών διοίκησης, σχεδιασμένων για τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου έργου. Πιο συγκεκριμένα, θα εφαρμοστούν μέθοδοι χρονικού προγραμματισμού με στόχο τη βέλτιστη ποιότητα, τη σχεδίαση, το συντονισμό, την τήρηση των τεχνικών προδιαγραφών του έργου, καθώς και τον περιορισμό του κόστους και του χρόνου. Ο προγραμματισμός έργων βασίζεται στις σχέσεις αλληλεξάρτησης μεταξύ των εκάστοτε δραστηριοτήτων και στις χρονικές στιγμές έναρξης και λήξης κάθε δραστηριότητας, ενώ υπολογίζει τη διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου. Παράλληλα, εκτιμά τις απαιτήσεις σε προσωπικό και πόρους, ενώ δίνει και τη δυνατότητα παρακολούθησης και ελέγχου του έργου. Στη συγκεκριμένη εργασία εφαρμόζονται δύο μέθοδοι χρονικού προγραμματισμού έργων, η μέθοδος της Κρίσιμης Διαδρομής (Critical Path Method) και η Τεχνική Αξιολόγησης και Αναθεώρησης Προγράμματος (Project Evaluation and Review Technique). Αυτές οι μέθοδοι αφορούν την ανάλυση του έργου σε δίκτυο, με βασική διαφορά τους τον χρόνο κάθε δραστηριότητας, καθώς στη CPM θεωρείται δεδομένος, ενώ αντίθετα στην PERT γίνεται στοχαστική εκτίμηση με τους αισιόδοξους και τους απαισιόδοξους χρόνους ολοκλήρωσης κάθε διεργασίας.

Η σημασία της συγκεκριμένης ερευνητικής εργασίας συναντάται στην ανάγκη εμπλουτισμού της βιβλιογραφίας, γύρω από τη διαχείριση έργων βιωσιμότητας, και πιο συγκεκριμένα έργων που αφορούν τη διαχείριση βιοαερίου, καθώς κατά την διάρκεια της έρευνας για την εργασία εντοπίστηκαν αρκετά κενά. Εκτός των παραπάνω, η προκειμένη έρευνα, ως μελέτη περίπτωσης, μπορεί να προσφέρει τεχνογνωσία και γνώση για τη βιωσιμότητα της κατασκευής και του προτεινόμενου έργου, αλλά και άλλων αντίστοιχου μεγέθους, καθώς ο χρονικός προγραμματισμός διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη σχεδίαση, το συντονισμό και την τήρηση των τεχνικών προδιαγραφών του έργου. Συμβάλει λοιπόν σημαντικά στην ομαλή εξέλιξη της κατασκευής και παρέχει μια συμβατική μέθοδο επικοινωνίας μεταξύ των συμμετεχόντων φορέων για τη ομαλή ροή των απαραίτητων για την κατασκευή διαδικασιών, τους ελέγχους και τη διαχείριση πληροφοριών. Μέσα από τη διαδικασία επεξεργασίας και συγγραφής της έρευνας, επιχειρούνται να απαντηθούν τα εξής: Αν τέτοιες επενδύσεις είναι βιώσιμες, εάν το γενικότερο κλίμα γύρω από το βιοαέριο είναι ευνοϊκό, τα θετικά και τα αρνητικά της τεχνολογίας παραγωγής βιοαερίου, αλλά κυρίως κατά πόσο η άρτια

διαχείριση και ο χρονικός προγραμματισμός του έργου θα επηρεάσουν το χρόνο κατασκευής της μονάδας (παράμετρος που επηρεάζει την οικονομική βιωσιμότητα της).

Η παρούσα διπλωματική χωρίζεται σε 5 κεφάλαια, το πρώτο εκ των οποίων είναι αφιερωμένο στο βιοαέριο και αναλύει την αναερόβια χώνευση και τα στάδια της, τους τύπους και τις παραμέτρους λειτουργίας των υπάρχουσών εγκαταστάσεων, τη χρήση του βιοαερίου σήμερα και τα οικονομικά αποτελέσματα παρόμοιων μονάδων από τη βιβλιογραφία. Το δεύτερο κεφάλαιο περιέχει πληροφορίες για το χρονικό προγραμματισμό έργων και την αναγκαιότητα του, καθώς και την επεξήγηση των μεθόδων PERT και CPM, που χρησιμοποιούνται στο ερευνητικό μέρος. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά στη πειραματική φάρμα Uhrusk, παραθέτοντας πληροφορίες για το ζωικό κεφάλαιο, καθώς και τις γεωγραφικές & διοικητικές πληροφορίες, ενώ το τέταρτο κεφάλαιο αποτελεί το ερευνητικό μέρος της εργασίας, με την εφαρμογή των μεθόδων χρονικού προγραμματισμού. Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο παρατίθενται τα Συμπεράσματα, συγκρίνοντας τα ευρήματα της παρούσας μελέτης με ανάλογα ευρήματα στη βιβλιογραφία και αποδίδοντας γενικότερο σχολιασμό.

Κεφάλαιο 1: Το βιοαέριο σήμερα

1.1. Το Βιοαέριο

Το Βιοαέριο είναι φυσικό αέριο που παράγεται από τη διάσπαση οργανικής ύλης από αναερόβια βακτήρια και χρησιμοποιείται στην παραγωγή ενέργειας. Διαφέρει από το φυσικό αέριο, καθώς αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που παράγεται βιολογικά μέσω αναερόβιας χώνευσης και όχι ένα ορυκτό καύσιμο που παράγεται από γεωλογικές διεργασίες. Αποτελείται κυρίως από αέριο μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα και ίχνη αζώτου, υδρογόνου και μονοξειδίου του άνθρακα (Badurek, 2023). Ακόμα, είναι ένα από τα πιο σημαντικά καύσιμα που συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών, σε σχέση με τα συμβατικά δίκτυα φυσικού αερίου. Αν και οι τρέχοντες πόροι είναι ανεπαρκείς, υπάρχει σημαντικό ενδιαφέρον για την καθιέρωση της βιωσιμότητας και της ενσωμάτωσης του βιοαερίου στο χαρτοφυλάκιο της βιομηχανίας αερίων καυσίμων. Λόγω ευκολίας στη χρήση του και της προσαρμοστικότητας του, το βιοαέριο μπορεί να αποτελέσει ευκαιρία τόσο για τις αναπτυσσόμενες όσο και για τις ανεπτυγμένες χώρες, όσον αφορά στη μείωση του ενεργειακού εφοδιασμού που εξαρτάται από τα ορυκτά καύσιμα, το μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, αλλά και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, το βιοαέριο είναι μια ελκυστική εναλλακτική οδός παροχής ενέργειας για περιοχές που έχουν ισχυρή εξάρτηση από τον εφοδιασμό με ορυκτά καύσιμα (Macor & Alberto, 2020).

1.2. Αναερόβια Χώνευση

Η αναερόβια χώνευση είναι η διαδικασία μέσω της οποίας τα βακτήρια διασπούν την οργανική ύλη εν απουσία οξυγόνου. Για την παραγωγή βιοαερίου λαμβάνει χώρα σε αντιδραστήρες που ποικίλλουν σε σχήμα και μέγεθος, οι οποίοι περιέχουν πολύπλοκες μικροβιακές κοινότητες που διασπούν τα απόβλητα και παράγουν βιοαέριο, αλλά και στερεά και υγρά τελικά προϊόντα που απορρίπτονται από το χωνευτήρα (Environmental Protection Agency, 2023). Η αναερόβια χώνευση από οργανικά απόβλητα έχει κερδίσει την παγκόσμια προσοχή, καθώς προσφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη. Πιο συγκεκριμένα, μπορεί να μειώσει τα τοπικά απόβλητα μέσω της ανακύκλωσης, η οποία θα εξοικονομήσει πόρους, θα μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και θα δημιουργήσει οικονομική ανθεκτικότητα ενόψει ενός αβέβαιου μέλλοντος για την παραγωγή ενέργειας και τη διάθεση αποβλήτων. Η παραγωγική χρήση των τοπικών απορριμμάτων μέσω της ανακύκλωσης εξοικονομεί πόρους, μειώνοντας τον χώρο υγειονομικής ταφής, αλλά και των επιπτώσεων της στο σύνολο της ζωής. Η μετατροπή των αποβλήτων σε ανανεώσιμη πηγή ενέργειας θα βοηθήσει στην απαλλαγή από τις εκπομπές άνθρακα, μειώνοντας τις επιβλαβείς εκπομπές και τους ρύπους (Uddin, et al., 2021). Επομένως, είναι μια ελκυστική τεχνολογία που επιδιώκει την ταυτόχρονη επίτευξη επεξεργασίας λυμάτων και παραγωγής βιοενέργειας. Αναλυτικότερα, το μεθάνιο που παράγεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή θερμότητας, καυσίμου και ηλεκτρικής ενέργειας και να μειώσει την εξάρτησή μας από συμβατικές πηγές ενέργειας, όπως τα ορυκτά καύσιμα, για την κάλυψη της συνεχούς αυξανόμενης ζήτησης ενέργειας.

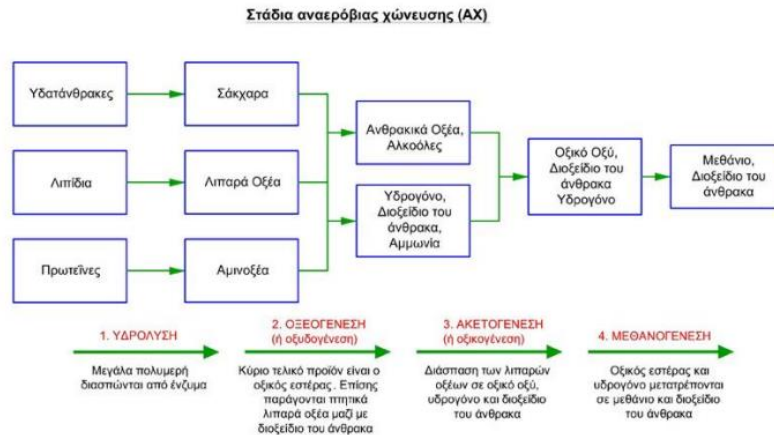
Η αναερόβια χώνευση περιλαμβάνει την αποδόμηση πολύπλοκων οργανικών ενώσεων σε μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα υπό αναερόβιες συνθήκες σε μια ακολουθία τεσσάρων βασικών βημάτων: υδρόλυση, οξεογένεση, ακετογένεση και μεθανογένεση (Bikash, et al., 2021). Η επιτυχία της διαδικασίας καθορίζεται από τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των μικροοργανισμών που πραγματοποιούν τα τέσσερα προαναφερθέντα στάδια (Verma, 2002).

Πιο αναλυτικά, στη διεργασία της υδρόλυσης, Οι υδρολυτικοί μικροοργανισμοί εκκρίνουν εξωκυτταρικού τύπου ένζυμα που μετατρέπουν υδατάνθρακες, λιπίδια και πρωτεΐνες σε σάκχαρα, λιπαρά οξέα και αμινοξέα, αντίστοιχα. Μετά την ενζυματική διεργασία, τα προϊόντα της υδρόλυσης μπορούν να διαχέονται, μέσω των κυτταρικών μεμβρανών των οξινογόνων μικροοργανισμών. Η υδρόλυση έχει κατά κύριο λόγο, από μόνη της, βέλτιστη θερμοκρασία μεταξύ 30-50 °C και pH μεταξύ 5-7 (O'Connor, et al., 2021).

Αναφορικά με την Οξεογένεση, απορροφώντας τα προϊόντα της υδρόλυσης μέσω των κυτταρικών τους μεμβρανών, οι οξινογόνοι μικροοργανισμοί μπορούν να παράγουν μεγαλύτερα οργανικά οξέα, όπως το προπιονικό και το βουτυρικό, αλλά και ενδιάμεσα πτητικά λιπαρά οξέα (Meegoda, et al., 2018).

Μετά την παραγωγή οξικού άλατος από την οξεογένεση, μέρος του αρχικού υποστρώματος έχει ήδη μετατραπεί σε υπόστρωμα κατάλληλο για την διεργασία της μεθανογένεσης, ωστόσο, άλλα παραγόμενα πτητικά λιπαρά οξέα δεν έχουν ακόμη γίνει κατάλληλα για τους μεθανογόνους μικροοργανισμούς. Η Ακετογένεση είναι η διεργασία κατά την οποία αυτά τα υψηλότερα πτητικά λιπαρά οξέα και άλλα ενδιάμεσα μετατρέπονται σε οξικό άλας, ενώ παράγεται και υδρογόνο (Hansen & Cheong , 2013).

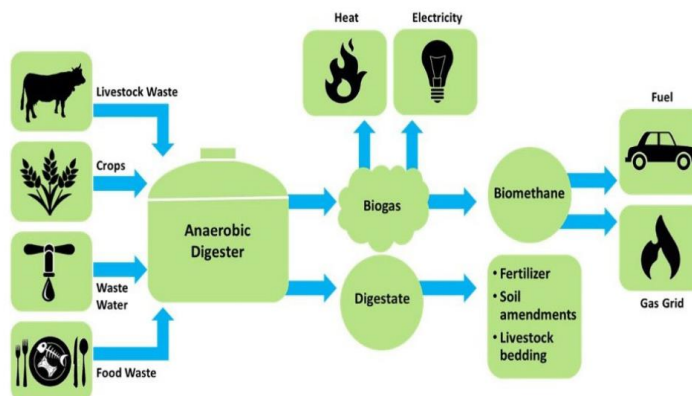
Η Μεθανογένεση είναι το τελευταίο στάδιο της αναερόβιας χώνευσης, με την παραγωγή μεθανίου λαμβάνει χώρα όταν τα ενδιάμεσα προϊόντα καταναλώνονται από μεθανογόνους μικροοργανισμούς. Οι μεθανογόνοι μικροοργανισμοί αυτοί είναι υποχρεωτικά αναερόβιοι. Σχετικά με τις περιβαλλοντικές ανάγκες της μεθανογένεσης, οι μικροοργανισμοί απαιτούν υψηλότερο pH από τα προηγούμενα στάδια της διεργασίας, εκτός από χαμηλότερο δυναμικό οξειδοαναγωγής, το οποίο αποτελεί μια σημαντική πρόκληση για την καλλιέργεια. Ταυτόχρονα, οι μεθανογόνοι μικροοργανισμοί παρατηρείται ότι έχουν αρκετά αργό χρόνο αναγέννησης σε σχέση με τους άλλους μικροοργανισμούς στην διεργασία, πάνω από 5-16 ημέρες (Meegoda, et al., 2018). Η μεθανογένεση αναφέρεται ότι είναι πιο αποτελεσματική σε pH 6,5–8,2 με βέλτιστη τιμή το 7,0 (Grando, et al., 2017).



Εικόνα 1: Στάδια αναερόβιας χώνευσης (Τριανταφυλλίδης , 2018)

1.3. Η βιοενέργεια

Η βιοενέργεια είναι κύρια ανανεώσιμη ενέργεια και διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο στη μείωση των εκπομπών άνθρακα, μέσω της οικολογικής βιωσιμότητας και της υψηλής απόδοσης. Σε σύγκριση με άλλες επιλογές ανανεώσιμης ενέργειας, η βιοενέργεια έχει μοναδικά χαρακτηριστικά. Πρώτον, είναι διαθέσιμοι μεγάλοι όγκοι πρώτης ύλης βιομάζας για αξιοποίηση, που αποθηκεύονται στη Γη. Επιπλέον, καθώς η βιομάζα είναι ένα βιολογικό υλικό που προέρχεται από ζωντανούς ή πρόσφατα ζωντανούς οργανισμούς, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τη χρήση βιοπροϊόντων μπορούν να αντισταθμιστούν από την απορρόφηση και δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα από την αναγέννηση των πόρων βιομάζας. Ως εκ τούτου, η χρήση βιομάζας μπορεί να πετύχει το στόχο για ουδετερότητα στις εκπομπές άνθρακα. Επιπλέον, η βιοενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε διάφορους τύπους προϊόντων ενέργειας, όπως βιοαέριο, βιοντίζελ και βιοαιθανόλη, που θα μπορούσαν να διευκολύνουν την αποθήκευση και χρήση της (Wang, et al., 2021). Πάνω από το 90% του βιοαερίου που παράγεται στον κόσμο χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή ενέργειας και θερμότητας το 2018, ενώ μόνο το υπόλοιπο 9% χρησιμοποιήθηκε ως βιομεθάνιο στον τομέα της κινητικότητας ή για έγχυση στο δίκτυο φυσικού αερίου (IEA, 2020). Η βιομηχανία βιοαερίου διαδραματίζει εξέχοντα ρόλο στις παγκόσμιες αγορές ενέργειας, όπου αντιπροσωπεύει περίπου το 3,3% της παγκόσμιας κατανάλωσης φυσικού αερίου (Kotagodahetti, et al., 2023).



Εικόνα 2: διαδικασία αναερόβιας χώνευσης (Tanigawa, 2017)

1.4. Εισαγωγή στις εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου

Μια μονάδα βιοαερίου λειτουργεί συνολικά ως μια μεγάλη μονάδα ανακύκλωσης και παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας. Αντίστοιχα, οι μονάδες βιοαερίου περιλαμβάνουν τη διεξαγωγή πολύπλοκων και πολυάριθμων φυσικών και χημικών διεργασιών, λόγω της μεγάλης ποικιλίας πρώτων ακατέργαστων υλών για επεξεργασία για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Wang, et al., 2021). Τα κύρια εξαρτήματα ενός συστήματος χωνευτή μεγέθους εκμεταλλεύσεως, είναι το σύστημα χειρισμού υδαρούς πολτού, συμπεριλαμβανομένων του χώρου προετοιμασίας του πολτού, της αντλίας κοπριάς ή άλλης μεθόδου φόρτωσης και της δεξαμενής εκροής, ο ένας ή οι περισσότεροι θάλαμοι χωνευτηρίου και το περίβλημα για τον εξοπλισμό θέρμανσης, η ανάδευση και ο υδραυλικός εξοπλισμός. Για την καλύτερη απόδοση, αυτά τα εξαρτήματα θα πρέπει:

- Να είναι βαθμονομημένα ώστε να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες θερμότητας,
- Να παρέχουν μια απλή διαδρομή για το υλικό που διαρρέει το σύστημα,
- Να είναι αυτοματοποιημένα και προσβάσιμα για πιθανές επισκευές και συντήρηση

Επιπλέον, είναι σημαντικό να υπάρχει συμμόρφωση με τις κρατικές και περιφερειακές διατάξεις και κανονισμούς ασφαλείας κατά το σχεδιασμό ενός τέτοιου συστήματος, καθώς το βιοαέριο αποτελεί εύφλεκτη και, ως εκ τούτου, επικίνδυνη ύλη. Μπορεί να προκαλέσει πνιγμό και όταν έχει συγκέντρωση στον αέρα σε επίπεδα 6-15%, γίνεται εκρηκτικό. Επίσης, όλα τα υλικά που έρχονται σε επαφή με την κοπριά ή το βιοαέριο πρέπει να είναι ανθεκτικά στη διάβρωση, ενώ ο σχεδιασμός θα πρέπει να ενσωματώνει εναλλακτικές μεθόδους μετακίνησης πολτού ή βιοαερίου μέσω του συστήματος, καθώς ένας φραγμένος σωλήνας θα μπορούσε να έχει ως αποτέλεσμα τη διαρροή υδαρούς πολτού από τον χωνευτήρα. Όλοι οι σωλήνες και οι γραμμές αερίου θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλοι ώστε να παρέχουν πρόσβαση για συσκευές καθαρισμού (Homan, et al., 2023).

1.5. Παράμετροι της Διαδικασίας

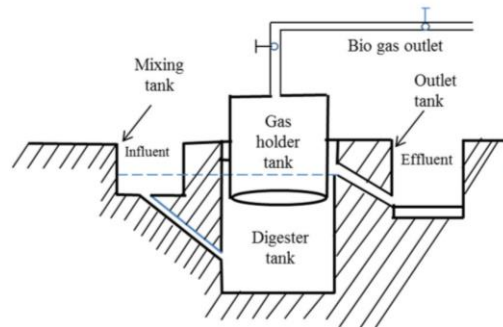
Χημικοί και φυσικοί παράγοντες επηρεάζουν την αναερόβια χώνευση, συμπεριλαμβανομένης της σποράς, της ανάδευσης, της θερμοκρασίας, της αναλογίας άνθρακα αζώτου, του ρυθμού οργανικής φόρτωσης, του υδραυλικού χρόνου κατακράτησης και των πτητικών λιπαρών οξέων. Οποιοσδήποτε αλλαγές σε αυτές τις παραμέτρους μπορεί να οδηγήσουν σε διάσπαση της διαδικασίας του χωνευτήρα, καθώς αυτό αλλάζει το περιβάλλον των μικροβίων και την κίνηση μέσα στον χωνευτήρα. Έτσι, για να μεγιστοποιηθεί η παραγωγή βιοαερίου, είναι σημαντικό να ελέγχονται αυτές οι παράμετροι.

Το pH είναι επίσης ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τη διαδικασία (Uddin, et al., 2021). Εάν υπάρχει σε χαμηλά ή υψηλά επίπεδα στην πρώτη ύλη βιοαερίου, η εξουδετέρωση της πρώτης ύλης είναι σημαντική πριν τροφοδοτηθεί στη μονάδα. Το pH μπορεί να ενισχυθεί τεχνητά με την προσθήκη μιας βάσης στον αντιδραστήρα όταν υπάρχει αμελητέα οξίνιση κατά την αναερόβια φάση (Khalid, et al., 2011).

Σχετικά με την θερμοκρασία, η μέγιστη παραγωγή βιοαερίου λαμβάνει χώρα σε δύο βαθμίδες θερμοκρασίας. Τα μεσόφιλα βακτήρια ακμάζουν κοντά στους 35°C ενώ τα θερμοφιλα βακτήρια στην περιοχή 49°-60°C. Η παραγωγή αερίου εμφανίζει μείωση όταν τα βακτήρια υπόκεινται σε θερμοκρασίες που αποκλίνουν από αυτά τα όρια. Ενώ τα θερμοφιλα βακτήρια παράγουν σχετικά αυξημένη ποσότητα αερίου, συχνά η ποσότητα του παραγόμενου αερίου δεν συμφέρει λόγο της ενέργειας που απαιτείται για την άνοδο της θερμοκρασίας του αντιδραστήρα (Homan, et al., 2023).

Η σύνθεση της κοπριάς διακυμαίνεται ανάλογα με τις πρακτικές διαχείρισης της εκμετάλλευσης και με τις διαφορές στις μερίδες ζωοτροφών. Η ποσότητα κοπριάς που μπορεί να συλλεχθεί επίσης θα ποικίλλει. Αυτό εξαρτάται από την μάζα, τον τύπο και τον αριθμό των μονάδων του ζωικού κεφαλαίου, την τροφή και τον βαθμό εγκλεισμού τους. Παραδείγματος χάριν, εάν μπορούσε να συλλεχθεί όλη η κοπριά από μια αγελάδα γαλακτοπαραγωγής βάρους 1.680 κιλών, θα μπορούσαν να συλλεχθούν περίπου 57 κιλά ημερησίως (Homan, et al., 2023). Ένας χωνευτήρας μπορεί αντί για κοπριά αγελάδων γαλακτοπαραγωγής να επεξεργάζεται ποικίλα απόβλητα αγροκτήματος, όπως φλοιούς καλαμποκιού, άχυρο, γρασίδι και φύλλα. Ανεξάρτητα από το υλικό που χρησιμοποιείται, η παραγωγή αερίου είναι αποτελεσματικότερη όταν οι πρώτες ύλες που τροφοδοτούνται στον χωνευτήρα έχουν ορισμένο pH και αναλογία άνθρακα-αζώτου (Homan, et al., 2023).

Όσον αφορά το κόστος, οι δαπάνες για τη συντήρηση του εξοπλισμού αντιπροσωπεύουν ένα μεγάλο μέρος, εκτός από την παραδοσιακή εισροή παραγωγής για παλιοσίδερα, καύσιμα και προκαταρκτικά πάγια κόστη. Εν τω μεταξύ, τα οφέλη των έργων βιομάζας προέρχονται κυρίως από τις πωλήσεις ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από την τιμή πώλησης του ηλεκτρισμού. Πρόσθετα έσοδα μπορούν να προέλθουν από τη μεταπώληση λιπασμάτων που παράγονται κατά την παραγωγή βιομάζας (Wang, et al., 2021).

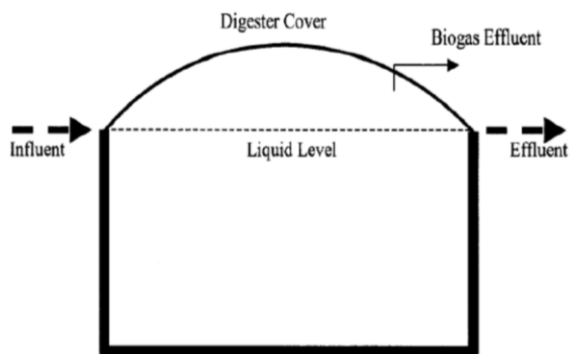


Εικόνα 3: Απλή απεικόνιση μονάδας βιοαερίου (Rahman, et al., 2017)

1.6. Τύποι εγκαταστάσεων αναερόβιων χωνευτών

Καλυμμένης λίμνης

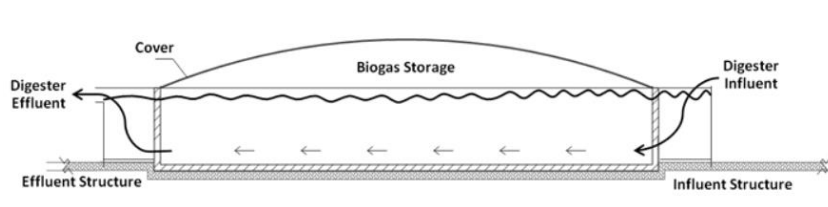
Σε ένα σχέδιο καλυμμένης λίμνης, το μεθάνιο ανακτάται και διοχετεύεται στη συσκευή καύσης από μια καλυμμένη λίμνη με εύκαμπτο κάλυμμα. Ορισμένα συστήματα χρησιμοποιούν ένα μόνο κύτταρο για συνδυασμένη χώνευση και αποθήκευση. Αν και αυτές οι εγκαταστάσεις είναι το φθηνότερο διαθέσιμο σύστημα αναερόβιας χώνευσης, δεν χρησιμοποιούνται συνήθως στην Ευρώπη, καθώς απαιτούν θερμά κλίματα για να διατηρηθεί επαρκής θερμοκρασία χωνευτή για να ευδοκιμήσουν τα μεθανογόνα βακτήρια. Τα κύρια χαρακτηριστικά της είναι: ποσοστό στερεών: 0,5 έως 3%, χρόνος συγκράτησης υδραυλικού συστήματος (HRT): 40 έως 60 ημέρες, συνπύψη: όχι βέλτιστη (Enviromental Protection Agency, 2023).



Εικόνα 4: Χωνευτήρας καλυμμένης λίμνης (Bramorski, 2010)

Ροής βύσματος

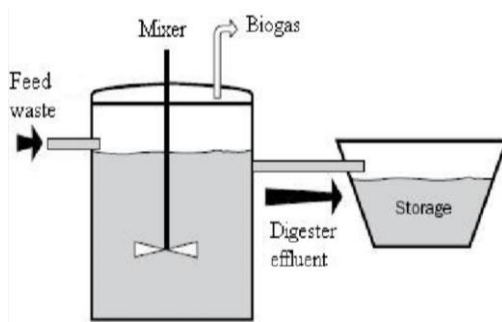
Οι χωνευτές ροής βύσματος χρησιμοποιούνται κυρίως σε γαλακτοκομικές επιχειρήσεις που συλλέγουν κοπριά με απόξεση. Τα συστήματα μικτής ροής βύσματος έχουν χρησιμοποιηθεί σε μια ευρύτερη ποικιλία λειτουργιών εφόσον μπορούν να ανεχθούν ένα ευρύτερο φάσμα συγκεντρώσεων στερεών. Αυτά τα συστήματα λειτουργούν καλύτερα με γαλακτοκομική κοπριά, που χειρίζεται απόξεση, με ελάχιστη κλινোসτρωμή. Τα κύρια χαρακτηριστικά της είναι: ποσοστό στερεών: 11 έως 13%, HRT: 15+ ημέρες, συνπύψη: όχι βέλτιστη πρακτική (Enviromental Protection Agency, 2023).



Εικόνα 5: Χωνευτήρας ροής βύσματος (Bentley, 2012)

Πλήρους Μίξης

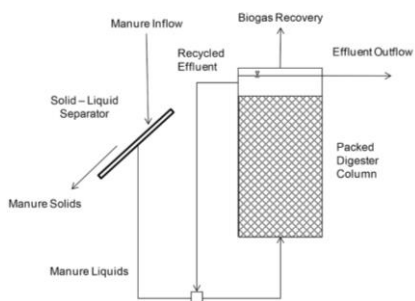
Οι χωνευτές πλήρους μίξης έχουν σχεδιαστεί με κλειστή, θερμαινόμενη δεξαμενή με μηχανικό, υδραυλικό σύστημα ή σύστημα ανάμιξης αερίου. Οι χωνευτές πλήρους μείγματος λειτουργούν καλύτερα όταν υπάρχει κάποια αραιώση της αποβαλλόμενης κοπριάς με νερό. Τα κύρια χαρακτηριστικά της είναι: ποσοστό στερεών: 3 έως 10%, HRT: 15+ ημέρες, συνπύψη: ναι (Enviromental Protection Agency, 2023).



Εικόνα 6: Χωνευτήρας Πλήρους μίξης (Mateescu & Constantinescu, 2010)

Σταθερής μεμβράνης

Οι χωνευτές σταθερής μεμβράνης περιέχουν πλαστικά μέσα στα οποία προσκολλώνται και αναπτύσσονται βακτήρια, αντί να βασίζονται αποκλειστικά σε αιωρούμενα βακτήρια για τη διάσπαση της πρώτης ύλης του χωνευτηρίου. Αυτοί οι χωνευτές λειτουργούν καλύτερα με κοπριά σε εύκρατα και θερμά κλίματα. Ποσοστό στερεών: 1 έως 5%, HRT: συνήθως 5 ημέρες ή λιγότερο, συνπύψη: ναι (Enviromental Protection Agency, 2023). Οι χωνευτές σταθερής μεμβράνης είναι μικρότεροι σε μέγεθος από τους συμβατικούς χωνευτές, κάτι που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν η διαθεσιμότητα γης είναι περιορισμένη (O'Connor, et al., 2021).



Εικόνα 7: Χωνευτής σταθερής μεμβράνης (Hamilton, 2017)

Άλλοι δύο χωνευτές, άξιοι αναφοράς, είναι ο χωνευτήρας παρτίδας, που χρησιμοποιεί την απλούστερη μορφή χώνευσης, όπου η κοπριά προστίθεται στον αντιδραστήρα στην αρχή της διαδικασίας σε μια παρτίδα και ο αντιδραστήρας παραμένει κλειστός για τη διάρκεια της διαδικασίας, καθώς και οι επαγόμενοι αντιδραστήρες κουβέρτας, που είναι χωνευτές στους οποίους μια κουβέρτα λάσπης αναπτύσσεται και διατηρεί αναερόβια βακτήρια, παρέχοντας ένα περιβάλλον πλούσιο σε βακτήρια, από το οποίο πρέπει να περάσει η πρώτη ύλη.

Προχωρώντας, οι εγκαταστάσεις αναερόβιας χώνευσης «μικρής», «μεσαίας» και «μεγάλης» κλίμακας έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στην ερευνητική βιβλιογραφία, με διαφορετικές χώρες να δημιουργούν τις δικές τους ταξινομήσεις. Αυτές οι ταξινομήσεις στο ευρωπαϊκό πλαίσιο έχουν συνδεθεί με πληρωμές FIT, οι οποίες βασίζονται στην ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από το εργοστάσιο. Οι πληρωμές εξαρτώνται από το μέγεθος της μονάδας όσον αφορά την εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ, αντιστακώνοντας το υψηλότερο κόστος παραγωγής που σχετίζεται με έργα μικρού και μεσαίου μεγέθους (O'Connor, et al., 2021).

Οι εγκαταστάσεις μικρής κλίμακας με ηλεκτρική ισχύ CHP μεταξύ 15 και 99 kWe χρησιμοποιούνται γενικά για την εξυπηρέτηση εφαρμογών αγροτικής κλίμακας και έχουν σημαντική παραγωγή καθαρής ενέργειας (θερμότητας και ισχύος) με βάση τη βιομάζα που είναι διαθέσιμη σε τέτοια περιβάλλοντα εκμετάλλευσης. Πιο αναλυτικά, η εκτιμώμενη παραγωγή ενέργειας από τη μέση γεωργική εκμετάλλευση 16,1 εκταρίων γης στην Ευρωπαϊκή Ένωση μέσω καλλιέργειας και χώνευσης αραβοσίτου θα είναι μεταξύ 431 και 586 Mweh ετησίως. Αυτό αντιστοιχεί σε ηλεκτρική δυναμικότητα CHP 49–67 kWe (O'Connor, et al., 2021).

Τα συστήματα μεσαίας κλίμακας περιλαμβάνουν εγκαταστάσεις που εμπίπτουν μεταξύ του φάσματος των εγκαταστάσεων μικρής κλίμακας που περιεγράφηκαν παραπάνω και των μεγάλων συστημάτων κοινής ωφέλειας. Σταθμοί AD μεσαίας κλίμακας έχουν οριστεί ως συστήματα με ηλεκτρική ισχύ CHP, που κυμαίνεται από 100 έως 300 kWe, η οποία είναι ενεργειακή παραγωγή που θα μπορούσε να καλύψει τις ανάγκες των μικρών κοινοτήτων (15 έως 20 νοικοκυριών) (O'Connor, et al., 2021).

Εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας καλούνται συστήματα με CHP ηλεκτρική παραγωγή > 300 kWe ή κατανάλωση πρώτης ύλης άνω των 5000 τόνων ετησίως. Πρόσφατες μεγάλες εγκαταστάσεις AD στη Γαλλία εμπλέκονται σε μονάδες μεγαλύτερης δυναμικότητας, με τις εγκαταστάσεις να έχουν μέση παραγωγική ικανότητα 115.400 τόνων ετησίως. Οι εγκαταστάσεις

μεγάλης κλίμακας είναι συνήθως πιο περίπλοκες στη συντήρηση και λειτουργία, αλλά επωφελούνται από οικονομίες κλίμακας (O'Connor, et al., 2021).

AD Categories	Passive System	Low-Rate Systems			High-Rate Systems		
Digester Types	Covered Lagoon	Garage-Type Digester	Plug-Flow Digester	Complete Mix Digester	Fixed Film Digester	Induced Blanket Digester	Up-flow Anaerobic Sludge Blanket
Digestion Vessel	In-ground clay or synthetically lined storage	Above ground	Rectangular in-ground tank	In/above ground tank	In/above ground tank	In/above ground tank	In/above ground tank
Temperature Range	Psychrophilic/ Mesophilic	Mesophilic	Mesophilic	Mesophilic/ Thermophilic	Thermophilic	Thermophilic	Thermophilic
Ease of operation & maintenance	Low	Medium	Low	Medium	High	High	High
Supplemental heat	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Total solids concentration	0.5–2%	15–50%	11–14%	3–10%	2–4%	6–12%	<3%
Solids characteristics	Coarse	Fine to coarse	Coarse	Medium to coarse	Fine	Medium to coarse	Fine
Hydraulic retention time	30–45 days	<14 days	15–20 days	20–30 days	3–5 days	3–5 days	3–5 days
Optimum climatic conditions	Warm climates	All climates	All climates	All climates	All climates	All climates	All climates
Advantages	<ul style="list-style-type: none"> - Low capital and maintenance costs - Easily applicable to hydraulic flushing - Low maintenance requirements 	<ul style="list-style-type: none"> - High organic dry material is applicable - Can operate in aerobic and anaerobic conditions 	<ul style="list-style-type: none"> - Operation and maintenance relatively simple - Energy crops are applicable 	<ul style="list-style-type: none"> - Provides good mixing of substrate in the reactor - Adequate solids degradation 	<ul style="list-style-type: none"> - Highly Efficient - Bacteria is retained by the bed - Small reactor size - Low retention time 	<ul style="list-style-type: none"> - Reduced need for solid separation - Fast hydraulic retention time 	<ul style="list-style-type: none"> - Efficient process - Bacteria is retained
Disadvantages	<ul style="list-style-type: none"> - Low biogas yields - Bacteria wash-out if short-circuiting occurs - Highly dependent on ambient temperature - Large area required - Solid settling issues 	<ul style="list-style-type: none"> - Requires stackable material - Difficult to operate - Relatively expensive 	<ul style="list-style-type: none"> - Substrate does not mix longitudinally - Low biogas production - Difficult to remove settled solids - Periodic cleaning is required 	<ul style="list-style-type: none"> - Retention time not guaranteed - Bacteria wash-out if short-circuiting occurs - Capital and energy costs is relatively expensive 	<ul style="list-style-type: none"> - Difficult to operate due to the increased mechanical components - Periodic cleaning is necessary - It is necessary to replace the film periodically 	<ul style="list-style-type: none"> - Relatively Expensive - Complex operation - Does not accept fat 	<ul style="list-style-type: none"> - Relatively Expensive - Complex operation - Does not accept fat

Εικόνα 8: Κατηγορίες χωνευτήρων με τα Χαρακτηριστικά τους (O'Connor, et al., 2021)

1.7. Το Βιοαέριο ως πηγή ενέργειας (Διείσδυση του στην ενεργειακή αγορά σήμερα, Γενικότερο κλίμα για την μελλοντική χρήση του)

Η ανάπτυξη του βιοαερίου ήταν και είναι άνιση σε ολόκληρο τον κόσμο, καθώς εξαρτάται όχι μόνο από τη διαθεσιμότητα πρώτων υλών αλλά και από πολιτικές που ενθαρρύνουν την παραγωγή και χρήση του. Η Ευρώπη, η Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας και οι Ηνωμένες Πολιτείες αντιπροσωπεύουν το 90% της παγκόσμιας παραγωγής. Η Ευρώπη είναι ο μεγαλύτερος παραγωγός βιοαερίου σήμερα, με τη Γερμανία να είναι η μεγαλύτερη αγορά και να φιλοξενεί τα δύο τρίτα της χωρητικότητας των μονάδων βιοαερίου της (IEA, 2020).

Υπάρχουν επί του παρόντος περίπου 50 εκατομμύρια μικροχωνευτήρες, 132.000 χωνευτές μικρής, μεσαίας και μεγάλης κλίμακας και 700 μονάδες αναβάθμισης που λειτουργούν παγκοσμίως και με βάση την τρέχουσα εκτίμηση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας 87 TWh, αξιοποιείται το 1,6-2,2% από το συνολικό ολικό πιθανό δυναμικό (Jain, 2019).

Συγκεκριμένα για την Πολωνία, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 2021 ήταν η υψηλότερη στην ιστορία της, με 179,4 TWh. Το μερίδιο της Πολωνίας στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μειώθηκε σε περίπου 17%, παρά την παραγωγή ρεκόρ από αυτές τις πηγές ύψους

30 TWh. Η συνολική διαθέσιμη ισχύς αυξήθηκε κατά 3,7 GW, με τη χωρητικότητα των συμβατικών μονάδων να παραμένει σταθερή εδώ και χρόνια, με εγκατεστημένη ισχύ 36 GW. Η χωρητικότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αυξάνεται +4,4 GW ετησίως (International Trade Administration, 2022), με στατιστικές να δείχνουν ότι η Πολωνία διαθέτει 301 μονάδες βιοαερίου με συνολική ισχύ 231 MW, όπου οι μισές από αυτές είναι γεωργικές. Αν και είναι ελαφρώς πίσω από το εθνικό σχέδιο για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, το οποίο καθορίστηκε το 2010, όπου το βιοαέριο είχε πρωταγωνιστικό ρόλο με στόχο την επίτευξη ισχύος 280 MW έως το 2016 και 980 MW έως το 2020, η πρόσφατη πολιτική ελπίζει σε μεγάλη επέκταση στο εγγύς μέλλον, που θα είναι κυρίως στο αγροτικό βιοαέριο. Το μέλλον βλέπει μια επέκταση 100-120 MW νέας δυναμικότητας βιοαερίου ετησίως, η οποία θα οδηγήσει στην επίτευξη του στόχου του 1GW έως το 2023-2025 (European Biogas Association, 2023).

Εκτός των παραπάνω, η Πολωνία έχει τη δυνατότητα να παράγει έως και 8 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα βιομεθανίου, ή 30,5 TWh ηλεκτρικής ενέργειας, από βιοαέριο. Περίπου το 1 τοις εκατό της ηλεκτρικής ενέργειας της Πολωνίας προέρχεται από βιοαέριο, το οποίο είναι περίπου όσο καταναλώνουν όλα τα νοικοκυριά στην πρωτεύουσα της Βαρσοβίας. Σύμφωνα με ειδικούς, η χώρα έχει τη δυνατότητα να κατασκευάσει συνολικά αρκετές χιλιάδες μονάδες βιοαερίου και βιομεθανίου, παρέχοντας πάνω από 10 φορές την τρέχουσα δυναμικότητα. Τα τρέχοντα σχέδια προβλέπουν την κατασκευή μονάδων βιοαερίου σε γεωργικές περιοχές. Μονάδες βιοαερίου που τροφοδοτούνται από ιλύ και βιολογικά απόβλητα μονάδων επεξεργασίας λυμάτων μπορούν να κατασκευαστούν κοντά σε πόλεις (International Trade Administration, 2022).

Προχωρώντας, αξίζει να αναφερθεί ότι παρόλο που η ενέργεια από βιομάζα διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στην αναμόρφωση των τοπικών ενεργειακών δομών, ο κίνδυνος αναποτελεσματικής μετατροπής περιορίζει εμπορικά την επέκταση των έργων βιομάζας. Συγκεκριμένα, η κατάλληλη προεπεξεργασία των διαφοροποιημένων ενεργειακών πόρων επιβάλλει λειτουργική πίεση λόγω της αύξησης των επενδύσεων στις εγκαταστάσεις και του επακόλουθου κόστους συντήρησης.

1.8. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της χρήσης βιοαερίου

Οι μονάδες βιοαερίου είναι υψίστης σημασίας, διότι μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στην ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό σύστημα, λόγω της ευέλικτης λειτουργικότητάς τους. Η δυνατότητα αποθήκευσης του ενεργειακού φορέα τους επιτρέπει να παράγουν ενέργεια με τρόπο προσανατολισμένο στη ζήτηση και να συμμετέχουν σε αγορές ηλεκτρικής ενέργειας που εστιάζουν στην εξισορρόπηση της προσφοράς και της ζήτησης ενέργειας. Και καθώς ο μετασχηματισμός του ενεργειακού συστήματος προς ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι μία ευρέως αναγνωρισμένη μέχρι τώρα αναγκαιότητα, παράλληλα η αυξανόμενη ενσωμάτωση αιολικών και φωτοβολταϊκών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής θέτει προκλήσεις για τη σταθερότητα του δικτύου, λόγω της υψηλής ισχύος παραγωγής αυτών των τεχνολογιών (Nigussie , et al., 2017).

Το βιοαέριο προστατεύει το περιβάλλον (νερό, αέρας και έδαφος), είναι κερδοφόρα ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και υπεύθυνη ως μία ασφαλής λύση διαχείρισης απορριμμάτων, έχοντας καθαρό θετικό αντίκτυπο όσον αφορά το κόστος και τη φιλικότητα προς το περιβάλλον, σε σύγκριση με τις μη ανανεώσιμες εναλλακτικές λύσεις (Nigussie , et al., 2017). Εάν όλη η

διαθέσιμη κοπριά από βοοειδή, βουβάλια, χοίρους και κοτόπουλα υποβληθεί σε αναερόβια χώνευση, θα μπορούσε να μειώσει τις παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά περίπου 1 GT CO_{2eq} ετησίως (7,1 GT από το παγκόσμιο ζωικό κεφάλαιο), που είναι περισσότερο από το 13% των τρεχουσών εκπομπών του ζωικού κεφαλαίου (World Biogas Association, 2019).

Εκτός από τα κλιματικά οφέλη, η αναερόβια χώνευση μπορεί να μειώσει το κόστος που σχετίζεται με την αποκατάσταση των απορριμμάτων καθώς και να ωφελήσει τις τοπικές οικονομίες. Παραδείγματος χάριν, η κατασκευή των 13.500 πιθανών συστημάτων βιοαερίου στις Ηνωμένες Πολιτείες θα μπορούσε να προσθέσει πάνω από 335.000 προσωρινές θέσεις εργασίας και 23.000 μόνιμες θέσεις εργασίας. Η αναερόβια χώνευση μειώνει επίσης τις οσμές, τα παθογόνα και τον κίνδυνο ρύπανσης του νερού από τα απόβλητα των ζώων. Το χωνεμένο υλικό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ή να πωληθεί ως λίπασμα, μειώνοντας την ανάγκη για χημικά λιπάσματα. Το χωνεμένο υπόλειμμα μπορεί επίσης να προσφέρει πρόσθετα έσοδα όταν πωλείται ως βελτιωτικό εδάφους (Tanigawa, 2017).

Ωστόσο, η αυξανόμενη εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι ο κύριος παράγοντας που συμβάλλει στις περιβαλλοντικές κρίσεις. Οι ακαθαρσίες στο βιοαέριο έχουν πολλές επιπτώσεις στην υγεία καθώς και περιβαλλοντικές συνέπειες. Οι προσμίξεις του βιοαερίου, για παράδειγμα, διοξείδιο του άνθρακα και NO_x, έχουν διαφορετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις όπως η κλιματική αλλαγή που οδηγεί σε πλημμύρες, εξάπλωση μεταδοτικών ασθενειών και άλλες καταστροφές. Όσον αφορά τη δημόσια υγεία, για παράδειγμα, το υδρόθειο, που συγκαταλέγεται στους κύριους ρύπους του βιοαερίου, χαρακτηρίζεται ως βαρύτερο από τον αέρα, ιδιαίτερα τοξικό και εύφλεκτο αέριο, ενώ κατά την εισπνοή αντιδρά με τα βιολογικά ένζυμα της ροής του αίματος και έχει ως αποτέλεσμα την αναστολή της κυτταρικής αναπνοής που προκαλεί ξαφνική κατάρρευση, πνευμονική παράλυση και θάνατο. Όπως έχει περιγραφεί, το βιοαέριο είναι κατά μέσο όρο 10 φορές πιο τοξικό από το φυσικό αέριο όσον αφορά την τοξικότητα των διοξινών και των φουρανίων και εξάγει τρεις φορές περισσότερες εκπομπές NO_x από το πρότυπο φυσικό αέριο. Οι εκπομπές SO_x συνέβαλαν περίπου στο 6% της τοξικότητας του βιοαερίου στην ανθρώπινη υγεία (Werkneh, 2022). Αντίστοιχα, εάν το βιοαέριο δεν υποβληθεί σε επεξεργασία για την απομάκρυνση των ακαθαρσιών του, η θερμική του αξία θα μειωθεί και αυτές οι ακαθαρσίες θα προκαλέσουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

1.9. Συμφέρει οικονομικά το βιοαέριο από ζωικά απόβλητα και πότε;

Το βιοαέριο που παράγεται από τα ζωικά απόβλητα μπορεί να αποφέρει σταθερά οφέλη στις αγροτικές επιχειρήσεις, όπως η ανάκτηση αξίας από τα γεωργικά απόβλητα, η μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από το υπολειπόμενο μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας, η μείωση των περιβαλλοντικών υποχρεώσεων, η μείωση του κόστους και η βοήθεια στο κλείσιμο του κύκλου υλικών και ενέργειας με την ανάπτυξη πρακτικών με βάση μια κυκλική οικονομία. Επιπλέον, το βιοαέριο μπορεί να αποτελέσει σημείο εκκίνησης για μια σειρά προϊόντων μεγάλης αξίας σε αγροτικές ιδιοκτησίες, όπως η ηλεκτρική ενέργεια, το βιολίπασμα, το βιομεθάνιο, η ανάκτηση διοξειδίου του άνθρακα και η θερμότητα. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως αέριο μαγειρέματος (Romulo, et al., 2020).

Θα πρέπει πάντα να είναι πρωταρχικής σημασίας η ενέργεια εισόδου που χρησιμοποιείται για τη λειτουργία μιας μονάδας αναερόβιας χώνευσης να είναι χαμηλότερη από την παραγόμενη ενέργεια εξόδου. Εάν η διαδικασία είναι ενεργειακά θετική, οι εγκαταστάσεις AD θα μετατραπούν ουσιαστικά σε εργαλεία που παράγουν πολλαπλά οφέλη με τη μορφή ανακτημένου νερού (γεωργία, βιομηχανία, πόσιμο νερό ανάλογα με την αποτελεσματικότητα επεξεργασίας), θρεπτικά συστατικά, ενέργεια και άλλες χημικές ουσίες προστιθέμενης αξίας (Massara, et al., 2017). Σε σχετική έρευνα στην Αυστρία εξετάστηκαν τρία σενάρια για ευέλικτη παραγωγή ενέργειας με συνεχή παραγωγή βιομεθανίου σε μονάδα βιοαερίου. Τα σενάρια δεν αποδείχτηκαν περισσότερο κερδοφόρα από το σενάριο αναφοράς που υπολόγιζε μόνο την παραγωγή βιομεθανίου ως την τιμή ηλεκτρικής ενέργειας στην ενδοημερήσια αγορά. Ένα κατάλληλο υποστηρικτικό σχήμα, όπως σύστημα πριμοδότησης τροφοδοσίας, απαιτείται για τη συμμετοχή στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας για να είναι οικονομικά βιώσιμη (Saracevic, et al., 2020).

Από έρευνα που μελετούσε ποιο υπόστρωμα έχει καλύτερα αποτελέσματα κατά την αναερόβια χώνευση βρέθηκε ότι από μία φιλική προς το περιβάλλον άποψη, η καλύτερη στρατηγική ήταν η παραγωγή βιοαερίου με βάση την κοπριά ζώων με PSA. Ο λόγος για αυτό μπορεί να είναι διπλός. Πρώτον, λόγω της χαμηλότερης διαθεσιμότητας πρώτης ύλης, όπου η απόδοση βιοαερίου είναι χαμηλότερη, επομένως υπάρχουν χαμηλότερες διαρροές και ενεργειακές απαιτήσεις. Δεύτερον, η υψηλότερη αποτελεσματικότητα της διαδικασίας PSA, που επιβεβαιώνεται με την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιδόσεων, όπου ο RNG με βάση την κοπριά ζώων απεικονίστηκε ως περιβαλλοντικά φιλικός με τον μικρότερο αντίκτυπο στο GWP. Ωστόσο, όλες οι διαδρομές RNG, που βασίζονται στο ζωικό κεφάλαιο, έλαβαν τις χαμηλότερες βαθμολογίες σε ένα φιλοοικονομικό περιβάλλον αποφάσεων. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε χαμηλότερες οικονομίες κλίμακας σε σύγκριση με τις άλλες δύο πηγές που παράγουν υψηλότερους όγκους βιοαερίου, σε σύγκριση με τις γεωργικές εκτάσεις. Επιπλέον, η μεγάλης κλίμακας παραγωγή βιοαερίου με ζωικά απόβλητα αποτελεί πρόκληση, λόγω των τοπικών συνθηκών που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα των πόρων (Kotagodahetti, et al., 2023).

Σύμφωνα με έρευνα των Sarasevic et al, τα σενάρια με προφίλ παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προσανατολισμένα στη ζήτηση δεν εμφάνισαν καλύτερα οικονομικά αποτελέσματα με σταθερή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό προκαλείται κυρίως από τις χαμηλές διακυμάνσεις των τιμών κατά τη διάρκεια της ημέρας στην αγορά. Πρόσθετα έσοδα ήταν αυτά που λαμβάνονται με τη συμμετοχή στις αγορές για δευτερογενή έλεγχο αποθεμάτων ενέργειας κατά τη διάρκεια των περισσότερων από τους προσομοιωμένους μήνες. Ωστόσο, οι χαμηλές τιμές ενέργειας μπορούν επίσης να οδηγήσουν σε ασύμφορα αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η αλλαγή λειτουργίας σε ευέλικτη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δεν συμβαίνει, και απαιτεί σημαντικές τεχνικές προσαρμογές, καθώς η εγκατεστημένη χωρητικότητα αποθήκευσης βιοαερίου και οι γραμμές φυσικού αερίου στη μονάδα βιοαερίου ήταν επαρκείς για όλες σχεδόν τις περιπτώσεις προσομοίωσης. Στρατηγική παραγωγής με προσαρμογές του βιοαερίου ή του βιομεθανίου είναι απαραίτητη σε περιόδους όπως αυτές για να διασφαλιστεί η παροχή βιοαερίου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τα αποτελέσματα μιας ανάλυσης ευαισθησίας έδειξαν ότι η εκκίνηση της μονάδας και το κόστος συντήρησης επηρεάζουν σημαντικά την κερδοφορία των σεναρίων και ως εκ τούτου πρέπει να ελαχιστοποιηθούν (Saracevic, et al., 2020).

Σε άλλη έρευνα σχετικά με την κατασκευή μονάδας βιοαερίου στην ανατολική Πολωνία έχουν βγει αρκετά συμπεράσματα με κύριο ότι παρότι τα βιοαπόβλητα από γαλακτοκομικές μονάδες έχουν υψηλό ενεργειακό δυναμικό και μπορεί να χρησιμεύσουν ως καλό υπόστρωμα για παραγωγή βιοαερίου και μεθανίου και ενώ η διαχείριση των γαλακτοκομικών αποβλήτων στη διαδικασία της ζύμωσης μεθανίου επιτρέπει τη σημαντική μείωση του κόστους χρήσης του, ενώ σχετίζεται άμεσα με το υψηλό φορτίο BOD και COD. Η δημιουργία συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας από μονάδα βιοαερίου χωρίς χρηματοοικονομική κρατική στήριξη φάνηκε οικονομικά αδικαιολόγητη, ενώ για περιβαλλοντικούς και κοινωνικούς λόγους, η κατασκευή μονάδας βιοαερίου είναι επωφελής και πρέπει να εφαρμοστεί (Kozłowski, et al., 2019).

Επιπλέον, το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της ευέλικτης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι συνήθως υψηλότερο σε σύγκριση με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας βασικού φορτίου για πληθώρα λόγων, όπως για παράδειγμα η ανάγκη εξειδικευμένου εξοπλισμού, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης κ.α. Το υψηλότερο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας απαιτεί δημόσια στήριξη για να γίνει οικονομικά βιώσιμο. Ως εκ τούτου, πρέπει να γίνουν πολιτικές επιλογές σχετικά με το επιθυμητό καθεστώς επιδοτήσεων για ευέλικτο έλεγχο ισχύος. Ωστόσο, τα πρόσθετα οφέλη από την παραγωγή βιοαερίου θα μπορούσαν να δικαιολογήσουν τέτοιες επιδοτήσεις. Τρίτον, για περαιτέρω ανάπτυξη, ο νόμος για την πράσινη ηλεκτρική ενέργεια πρέπει να τροποποιηθεί, προκειμένου να δημιουργηθεί ένα πλαίσιο που να επιτρέπει τη συμμετοχή στην αγορά ελέγχου ηλεκτρικής ενέργειας (Stürmer , et al., 2021).

1.10. Βιοαέριο με Αναβάθμιση

Το βιοαέριο γίνεται πιο πολύτιμο και φαίνεται ακόμη πιο ποικιλόμορφο στις πιθανές χρήσεις του μέσω της αναβάθμισης. Η αναβάθμιση του βιοαερίου σε βιομεθάνιο εξακολουθεί να αντιπροσωπεύει ένα μικρό μέρος της βιβλιογραφίας. Η άμεση χρήση είναι μόνο ένα εν μέρει ενδιαφέρον επιχειρηματικό μοντέλο σε περιοχές χωρίς καλά ανεπτυγμένη υποδομή διανομής φυσικού αερίου (Mertins & Wawer, 2022). Οι δυνατότητες ευέλικτης χρήσης και αναβάθμισης φαίνονται πολλά υποσχόμενες στη βιβλιογραφία. Εάν οι επιλογές υποστρωμάτων για ευέλικτη παραγωγή εγκαταλειφθούν στο μέλλον, οι συνέργειες διαφορετικών επιλογών ευελιξίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή υπηρεσιών συστήματος. Από την άλλη πλευρά, η αναβάθμιση του βιοαερίου σε βιομεθάνιο προσφέρει το πλεονέκτημα πολλαπλών χρήσεων. Ειδικά σε εφαρμογές όπου δεν υπάρχουν άλλες πράσινες εναλλακτικές, το βιομεθάνιο θα μπορούσε να παίξει καθοριστικό ρόλο στο μέλλον. Για παράδειγμα, το βιομεθάνιο μπορεί να καλύψει τις ανάγκες με βάση το μεθάνιο στη βιομηχανία ή να χρησιμεύσει ως καύσιμο για βαριές μεταφορές. Στο μέλλον, ωστόσο, η αναβάθμιση του βιομεθανίου θα πρέπει πάντα να συνοδεύεται από δέσμευση και χρήση ή αποθήκευση CO₂, με στόχο την αύξηση της κερδοφορίας και τα περιβαλλοντικά οφέλη. Η ανάπτυξη της τιμής του CO₂ θα έχει σημασία για τις μονάδες βιοαερίου στο μέλλον. Αφενός, αυτό επηρεάζει το ύψος των εσόδων από την εμπορία πιστοποιητικών για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και, αφετέρου, τον ανταγωνισμό με τα ορυκτά καύσιμα, τα οποία γίνονται συγκριτικά ακριβότερα λόγω υψηλότερης τιμής CO₂, με αποτέλεσμα σε ανταγωνιστικό πλεονέκτημα για το βιοαέριο. Ωστόσο, όπως έχουν δείξει διάφορες μελέτες, τα μέσα πολιτικής υποστήριξης είναι ιδιαίτερα

σημαντικά για την ανάπτυξη του αποθέματος των μονάδων βιοαερίου μιας χώρας (Mertins & Wawer, 2022).

Η αναβάθμιση του βιοαερίου σε βιομεθάνιο είναι σχετικά νέα αλλά πλέον μια δοκιμασμένη τεχνολογία. Ενώ ορισμένες μονάδες αναβαθμίζουν βιοαέριο που θα χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο οχημάτων, άλλοι το διοχετεύουν στα τοπικά ή εθνικά δίκτυα. Μονάδες έχουν ήδη αρχίσει να δεσμεύουν CO₂ για χρήση σε θερμοκήπια και στη βιομηχανία τροφίμων και ποτών. Υπάρχουν πάνω από 540 εργοστάσια αναβάθμισης που λειτουργούν, ενώ εκτιμώνται 700 εργοστάσια που αναβαθμίζουν βιοαέριο σε βιομεθάνιο παγκοσμίως (Jain, 2019).

Η έρευνα των Czekala et al έδειξε ότι η λειτουργία των μονάδων αποβλήτων βιοαερίου είναι πολύ πιο κερδοφόρα από τις παραδοσιακές, όχι μόνο για οικονομικούς λόγους. Ο συνδυασμός των τομέων των αγροδιατροφών, των αποβλήτων και της ενέργειας μπορεί να αποφέρει πολλά οφέλη. Η αποφυγή του κόστους που σχετίζεται με τη διαχείριση των απορριμμάτων, με ταυτόχρονη απόκτηση οφελών που σχετίζονται με την πώληση φυσικού αερίου ή ηλεκτρικής ενέργειας, θα επιτρέψει την ανάπτυξη, τον εκσυγχρονισμό και την κατασκευή νέων εγκαταστάσεων. Οι θετικές επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον συμπληρώνουν τα οικονομικά οφέλη, εφόσον η διαχείριση των απορριμμάτων από τη βιομηχανία αγροδιατροφής σε ελεγχόμενες συνθήκες συμβάλει σημαντικά στην προστασία από την κλιματική αλλαγή (Czekala, et al., 2023).

Κεφάλαιο 2: Εισαγωγή στη διαχείριση έργων

2.1. Εισαγωγικά για τη διαχείριση έργων

Έργο είναι το σύνολο συμφωνημένων δραστηριοτήτων με καθορισμένη αρχή, μέση και τέλος. Αυτές οι δραστηριότητες μαζί παράγουν επιχειρηματικά προϊόντα ή υπηρεσίες, σύμφωνα με μια εγκεκριμένη επιχειρηματική υπόθεση που χρηματοδοτείται από ανώτερα διευθυντικά στελέχη εντός ενός οργανισμού.

Η Διαχείριση Έργου παρέχει δομή και έλεγχο του περιβάλλοντος του έργου, έτσι ώστε οι συμφωνημένες δραστηριότητες να παράγουν τα σωστά προϊόντα ή υπηρεσίες, προκειμένου να ανταποκρίνονται στις προσδοκίες του πελάτη. Τα έργα είναι προσωρινές δομές που πρέπει να τυγχάνουν σωστής διαχείρισης και ελέγχου, ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι τους. Συνήθως, παραδίδονται σε περιβάλλον όπου τόσο η χρηματοδότηση όσο και οι πόροι είναι περιορισμένοι και υπόκεινται σε ανταγωνισμό.

Ένα έργο έχει κύκλο ζωής, που στηρίζεται σε ένα σχέδιο, το οποίο είναι η διαδρομή και η ακολουθία των διαφόρων δραστηριοτήτων που ορίζονται για την παραγωγή των προϊόντων του. Η διαχείριση έργου είναι μια ελεγχόμενη υλοποίηση του σχεδίου έργου υπό την καθοδήγηση της ανώτερης διοίκησης του οργανισμού. Παραδοσιακά, ένα επιτυχημένο έργο είναι αυτό που έχει παραδώσει τα προϊόντα ή τις υπηρεσίες του σύμφωνα με το σχέδιο του έργου, ικανοποιώντας τους γενικούς επιχειρηματικούς στόχους. Η επιτυχία του έργου φαίνεται πλέον όλο και περισσότερο ως προς την παροχή προβλεπόμενων επιχειρηματικών οφελών ή της ικανότητας που απαιτείται για την παροχή οφελών εντός της επιχείρησης.

Ένα έργο που υλοποιείται σωστά θα έχει συνήθως:

- Χορηγία ανώτερου επιπέδου μέσα από τον οργανισμό
- Ισχυρές ρυθμίσεις ηγεσίας, λογοδοσίας και διοίκησης
- Σχέδιο έργου και επαρκείς πόρους για την υλοποίηση του σχεδίου
- Σαφείς διαδικασίες για τη διαχείριση κινδύνων, θεμάτων, επικοινωνιών και οφελών
- Αποτελεσματικές ρυθμίσεις διασφάλισης του έργου και άρτια καθορισμένες δομές αναφοράς
- Ένα σαφώς κατανοητό πεδίο εφαρμογής

Μερικά από τα βασικά έγγραφα που συνδέονται συνήθως με ένα σωστά διαχειριζόμενο έργο είναι:

- Μία επιχειρηματική υπόθεση που δικαιολογεί την επένδυση και τις προτεινόμενες αλλαγές
- Ένα έγγραφο έναρξης έργου που καθορίζει τους στόχους του και τα μέσα για την επίτευξή τους
- Ένα σχέδιο έργου που καθορίζει τα κύρια προϊόντα ή υπηρεσίες και όλους τους σχετικούς πόρους και δραστηριότητες

- Πρότυπα για την αναφορά προόδου και την επισήμανση θεμάτων
- Μητρώα καταγραφής κινδύνων, θεμάτων και διαχείρισης της κλιμάκωσής τους
- Εκθέσεις τελικού έργου και διδαγμάτων
- Μια έκθεση ανασκόπησης μετά το έργο, ανεξάρτητη από αυτό, που αναφέρει εκτιμήσεις σε σχέση με ενδεχόμενα αποτελέσματα, συμπεριλαμβανομένου του βαθμού στον οποίο έχουν πραγματοποιηθεί τα προβλεπόμενα οφέλη (Department of Finance, 2023)

2.2. Κύκλος ζωής έργου

Στην φάση έναρξης ενός έργου εντοπίζεται μία ευκαιρία η ένα επιχειρησιακό πρόβλημα και συντάσσετε η έκθεση επιχειρησιακής σκοπιμότητας έργου. Κατά τη διάρκεια ή πριν ή μετά την σύνταξη της έκθεσης επιχειρησιακής σκοπιμότητας έργου, συγγράφονται συνήθως η ανάλυση κόστους-οφέλους και η μελέτη σκοπιμότητας για την εύρεση εναλλακτικής λύσης, με το μέγιστο καθαρό όφελος. Μετά την δημιουργία της έκθεσης, προτείνεται η τελική συνιστάμενη λύση. Όταν η συνιστάμενη λύση εγκριθεί, λαμβάνοντας υπόψη το νομοθετικό πλαίσιο περί της δημοσιονομικής ευθύνης και πλαισίου και συμπεριλαμβάνοντας το στον προϋπολογισμό, διορίζονται το επιτελικό στέλεχος και ο υπεύθυνος συντονιστής για την εκπόνηση του τεχνικού δελτίου του έργου, το οποίο αναλύει το αντικείμενο, τους στόχους, τη δομή, τις δραστηριότητες, τις οικονομικές ανάγκες, τα χρονοδιαγράμματα, τους κινδύνους, τους περιορισμούς και τις εργασιακές υποθέσεις για το έργο. Όταν το τεχνικό δελτίο έργου εγκριθεί, ακολουθεί ο διορισμός των υπόλοιπων μελών της ομάδας διαχείρισης του έργου (Γενικό Λογιστήριο της Δημοκρατίας, 2018).

Η φάση προγραμματισμού ενός έργου αφορά τον προγραμματισμό όλων των παραμέτρων του , έτσι ώστε να είναι έτοιμο προς υλοποίηση. Για τον σκοπό αυτό, πρέπει να εκπονούνται τα εξής σχέδια:

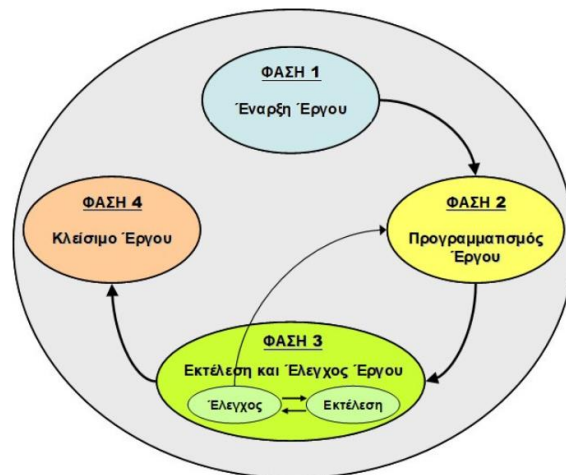
- Χρονοδιάγραμμα: Ορισμός της ακολουθίας δραστηριοτήτων και δημιουργία χρονοδιαγράμματος
- Σχέδιο διαχείρισης πόρων: Διαχείριση των θεμάτων που αφορούν την εργασίας, τον εξοπλισμό και των υλικών,
- Προϋπολογισμός: Προσδιορισμός εσωτερικών και εξωτερικών μεγεθών κόστους,
- Σχέδιο διαχείρισης κινδύνων: Εύρεση πιθανών κινδύνων και των πιθανών βημάτων για την αντιμετώπιση τους,
- Σχέδιο ποιότητας: Ορισμός ποιοτικών στόχων για το έργο και καθορισμός των δράσεων ελέγχου και διασφάλισης ποιότητας,
- Σχέδιο διαχείρισης ζητημάτων: Καθορισμός διεργασιών για τον προσδιορισμό, εκτίμηση και επίλυση ζητημάτων που τυχών προκύψουν στο έργο,
- Σχέδιο διαχείρισης αλλαγών: Καθορισμός διεργασιών για τη διαχείριση τυχών μεταβολών με άμεση επίπτωση στο έργο,
- Σχέδιο αποδοχής παραδοτέων: Ορισμός κριτηρίων για την αποδοχή των παραδοτέων του έργου και καθορισμός των διεργασιών για την εκτέλεση των δοκιμών ,

- Επικοινωνιακό πλάνο: Καθορισμός ευρημάτων και πληροφοριών προς διανομή και επιλογή των κατάλληλων τρόπων για τη διανομή τους.

Σε αυτό το στάδιο επιλέγονται συνήθως οι δείκτες απόδοσης που θα χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια για την παρακολούθηση της προόδου του έργου και την αξιολόγηση της απόδοσής του σε σύγκριση με διατυπωμένους στόχους και σκοπούς (Γενικό Λογιστήριο της Δημοκρατίας, 2018).

Η φάση της εκτέλεσης ενός έργου αφορά την ολοκλήρωση κάθε δραστηριότητας και εργασίας που εντάσσεται στο προγραμματισμένο χρονοδιάγραμμα. Στην διάρκεια εκτέλεσης των διαδικασιών και των εργασιών εκτελείται επίσης μία σειρά διαχειριστικών διαδικασιών για την παρακολούθηση του χρόνου, του κόστους, των πόρων, των κινδύνων, κλπ. Ο φορέας υλοποίησης φέρει αποκλειστικά την ευθύνη για την επίτευξη των επιθυμητών αποτελεσμάτων του έργου (Γενικό Λογιστήριο της Δημοκρατίας, 2018).

Τέλος, κατά το κλείσιμο ενός έργου περιλαμβάνονται όλα τα βήματα και εργασίες που διασφαλίζουν την πλήρη αποπεράτωση του έργου και το άρτιο κλείσιμο της σύμβασης. Επίσης, περιλαμβάνεται η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που επιτεύχθηκαν και των επιμέρους διαδικασιών που χρησιμοποιήθηκαν στο έργο (Γενικό Λογιστήριο της Δημοκρατίας, 2018).



Εικόνα 9: Κύκλος ζωής έργου (Γενικό Λογιστήριο της Δημοκρατίας, 2018)

2.3. Δομή Ανάλυσης εργασιών

Η δομή Ανάλυσης Εργασιών (WBS) είναι μια ιεραρχική αποσύνθεση του συνολικού εύρους εργασίας, που πρέπει να πραγματοποιηθεί για την επίτευξη των στόχων του έργου και τη δημιουργία των απαιτούμενων αποτελεσμάτων. Το WBS διοργανώνει και ορίζει το συνολικό εύρος του έργου, δημιουργώντας διαχειρίσιμα μέρη, που διευκολύνουν τον προγραμματισμό, τη διαχείριση και τον έλεγχο (Project Management Institute, 2017).

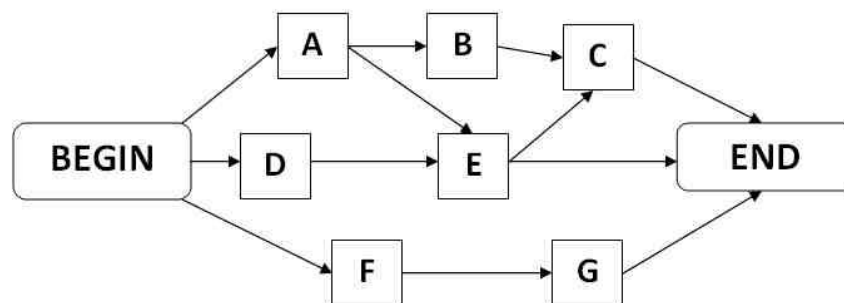
Η δομή ανάλυσης εργασιών (WBS) είναι ένα εργαλείο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για έργα, προγράμματα, ακόμη και πρωτοβουλίες για την κατανόηση της εργασίας που πρέπει να

γίνει για την επιτυχή παραγωγή ενός παραδοτέου. Εντοπίζονται πολλαπλά οφέλη από τη δημιουργία ενός WBS καθώς:

- Ορίζει και οργανώνει την εργασία που απαιτείται
- Διευκολύνει τη γρήγορη ανάπτυξη ενός χρονοδιαγράμματος, κατανέμοντας εκτιμήσεις προσπάθειας σε συγκεκριμένα τμήματα του WBS
- Χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό πιθανών κινδύνων εμβέλειας εάν έχει υποκατάστημα που δεν είναι καλά καθορισμένο
- Χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό σημείων επικοινωνίας
- Παρέχει μια εικόνα των επιπτώσεων όταν τα παραδοτέα υστερούν
- Χρησιμοποιείται για την εμφάνιση και την ανάθεση ευθυνών
- Μπορεί να δείξει σημεία ελέγχου και ορόσημα
- Παρέχει ένα τρόπο εκτίμησης του κόστους του έργου
- Διασφαλίζει ότι δεν θα ξεχαστούν σημαντικά παραδοτέα
- Μπορεί να βοηθήσει στην κατανομή των πόρων
- Παρέχει μια αποδεδειγμένη και επαναλαμβανόμενη προσέγγιση στο σχεδιασμό έργων (University of Waterloo, 2024)

2.4. Οι μέθοδοι PERT και CPM

Οι CPM και PERT είναι δύο σύγχρονες τεχνικές σχεδιασμού και προγραμματισμού που χρησιμοποιούνται ευρέως στις κατασκευές, την πληροφορική και την άμυνα. Μπορούν να εφαρμοστούν σε λύσεις πολλών προβλημάτων και να χρησιμοποιηθούν στον προγραμματισμό έργων μεγάλης κλίμακας. Με την εύκολη εφαρμογή τους, αυτές οι δύο τεχνικές παρέχουν μεγάλο όφελος στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων. Ακόμα, μπορούν να συνδυαστούν με την ασαφή λογική και την τεχνική κερδισμένης αξίας (Mazlum & Guneri, 2015).



Εικόνα 10: απλό δίκτυο AON

2.5. Η Μέθοδος CPM

Η μέθοδος κρίσιμης διαδρομής (CPM) είναι μια τεχνική μοντελοποίησης έργου που αναπτύχθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1950 από τους Walker, DuPont, Kelley Jr. και τον Rand. Η CPM χρησιμοποιείται σε όλες τις μορφές έργων, συμπεριλαμβανομένων, μεταξύ άλλων, των έργων κατασκευής, της αεροδιαστημικής και της άμυνας, της ανάπτυξης λογισμικού, των ερευνητικών έργων, της μηχανικής και της συντήρησης εγκαταστάσεων. Οποιοδήποτε έργο με αλληλεξαρτώμενες δραστηριότητες μπορεί να εφαρμόσει τη συγκεκριμένη μέθοδο μαθηματικής ανάλυσης. Η πρώτη φορά που χρησιμοποιήθηκε η CPM για σημαντική ανάπτυξη ουρανοξυστών ήταν το 1966 κατά την κατασκευή των πρώην δίδυμων πύργων του Παγκόσμιου Κέντρου Εμπορίου στη Νέα Υόρκη. Αν και το αρχικό πρόγραμμα και η προσέγγιση CPM δεν χρησιμοποιούνται πλέον, ο όρος εφαρμόζεται γενικά σε οποιαδήποτε προσέγγιση που χρησιμοποιείται για την ανάλυση ενός λογικού διαγράμματος δικτύου έργου.

Η διαδικασία χρήσης της μεθόδου κρίσιμης διαδρομής σε μια φάση σχεδιασμού έργου έχει έξι βήματα:

Βήμα 1: Προδιαγραφή δραστηριότητας

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί η δομή ανάλυσης εργασιών (WBS) για να προσδιοριστούν οι δραστηριότητες που εμπλέκονται στο έργο. Αυτή είναι η κύρια είσοδος για τη μέθοδο κρίσιμης διαδρομής. Στην προδιαγραφή δραστηριότητας, μόνο οι δραστηριότητες υψηλότερου επιπέδου επιλέγονται για CPM, ενώ όταν χρησιμοποιούνται λεπτομερείς δραστηριότητες, το CPM μπορεί να γίνει πολύ περίπλοκο για διαχείριση και διατήρηση.

Βήμα 2: Καθιέρωση σειράς δραστηριοτήτων

Σε αυτό το βήμα, καθιερώνεται η σωστή σειρά δραστηριοτήτων. Για αυτό, πρέπει να γίνονται τρεις ερωτήσεις για κάθε εργασία στη λίστα:

- Ποιες εργασίες πρέπει να πραγματοποιηθούν προτού πραγματοποιηθεί αυτή η εργασία;
- Ποιες εργασίες πρέπει να ολοκληρωθούν ταυτόχρονα με αυτήν την εργασία;
- Ποιες εργασίες πρέπει να γίνουν αμέσως μετά από αυτή την εργασία;

Βήμα 3: Διάγραμμα δικτύου

Μόλις προσδιοριστεί σωστά η ακολουθία δραστηριοτήτων, μπορεί να σχεδιαστεί το διάγραμμα δικτύου.

Βήμα 4: Εκτιμήσεις για κάθε δραστηριότητα

Αυτό θα μπορούσε να είναι μια άμεση είσοδος από το φύλλο εκτίμησης που βασίζεται στο WBS. Οι περισσότερες εταιρείες χρησιμοποιούν μια μέθοδο εκτίμησης τριών σημείων για την εκτίμηση εργασιών. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν τέτοιες πληροφορίες εκτίμησης για αυτό το βήμα της διαδικασίας.

Βήμα 5: Προσδιορισμός της κρίσιμης διαδρομής

Για αυτό, πρέπει να προσδιοριστούν τέσσερις παράμετροι για κάθε δραστηριότητα του δικτύου.

Ενωρίτερος χρόνος έναρξης (EST) → Η νωρίτερη ώρα που μπορεί να ξεκινήσει μια δραστηριότητα μόλις τελειώσουν οι προηγούμενες εξαρτημένες δραστηριότητες

Ενωρίτερος χρόνος τερματισμού (EFT) = EST + διάρκεια δραστηριότητας

Αργότερος χρόνος λήξης (LFT) → Η τελευταία ώρα που μπορεί να ολοκληρωθεί μια δραστηριότητα χωρίς να καθυστερήσει το έργο

Αργότερος χρόνος έναρξης (LST) = LFT – διάρκεια δραστηριότητας

Το χρονικό περιθώριο για μια δραστηριότητα είναι ο χρόνος μεταξύ του Ενωρίτερου (EST) και του Αργότερου χρόνου έναρξης (LST) ή μεταξύ του Ενωρίτερου (EFT) και του τελευταίου χρόνου τερματισμού (LFT). Κατά τη διάρκεια του, μια δραστηριότητα μπορεί να καθυστερήσει χωρίς να καθυστερήσει η ημερομηνία λήξης του έργου. Η κρίσιμη διαδρομή είναι η μεγαλύτερη διαδρομή του διαγράμματος δικτύου. Οι δραστηριότητες στην κρίσιμη διαδρομή έχουν επίδραση στην προθεσμία του έργου, ενώ εάν μια δραστηριότητα αυτής της διαδρομής καθυστερήσει, το έργο θα καθυστερήσει.

Σε περίπτωση που η διαχείριση έργου χρειάζεται να επιταχύνει το έργο, οι χρόνοι για δραστηριότητες κρίσιμης διαδρομής θα πρέπει να μειωθούν.

Βήμα 6: Διάγραμμα κρίσιμης διαδρομής για την εμφάνιση της προόδου του έργου

Το διάγραμμα κρίσιμης διαδρομής είναι ένα ζωντανό τεχνούργημα. Επομένως, αυτό το διάγραμμα θα πρέπει να ενημερωθεί με τις πραγματικές τιμές μόλις ολοκληρωθεί η εργασία. Αυτό δίνει πιο ρεαλιστικά στοιχεία για την προθεσμία και η διαχείριση του έργου μπορεί να γνωρίζει εάν είναι σε καλό δρόμο όσον αφορά τα παραδοτέα.

Πλεονεκτήματα της CPM

Τα πλεονεκτήματα της CPM είναι τα ακόλουθα:

- Προσφέρει μια οπτική αναπαράσταση των δραστηριοτήτων του έργου
- Παρουσιάζει το χρόνο για την ολοκλήρωση των εργασιών και το συνολικό έργο
- Προσφέρει παρακολούθηση κρίσιμων δραστηριοτήτων

Ο Προσδιορισμός κρίσιμης διαδρομής απαιτείται για κάθε φάση σχεδιασμού έργου, δίνοντας στη διαχείριση του έργου τη σωστή ημερομηνία ολοκλήρωσης του συνολικού έργου. Ένα διάγραμμα κρίσιμης διαδρομής θα πρέπει να ενημερώνεται συνεχώς με πραγματικές πληροφορίες καθώς το έργο εξελίσσεται, προκειμένου να βελτιωθούν οι προβλέψεις διάρκειας του έργου (Khare, et al., 2019).

2.6. Η Μέθοδος PERT

Στην μέθοδο CPM η χρονική διάρκεια της κάθε δραστηριότητας του έργου είναι δεδομένη και σταθερή, δηλαδή δεν διέπτεται από αβεβαιότητα, που θα μπορούσε να μεταβάλλει το μέτρο της. Υπάρχει λοιπόν βεβαιότητα για την διάρκεια των δράσεων, οι οποίες είναι απολύτως ελεγχόμενες και τυποποιημένες. Στην πράξη όταν δεν υπάρχει επαρκής εμπειρία ή επαρκεί στατιστικά στοιχεία, η επίδραση εξωτερικών παραγόντων απαιτεί την αναγνώριση της έλλειψης βεβαιότητας ως προς τη διάρκεια κάθε δραστηριότητας που μπορεί να επιλυθεί με τη χρήση κατάλληλων στατιστικών κατανομών. Η μέθοδος PERT λειτουργεί με βάση την υπόθεση ότι ο χρόνος ολοκλήρωσης κάθε δραστηριότητας είναι μια στοχαστική μεταβλητή που ακολουθεί την κατανομή βήτα (beta distribution), και περιλαμβάνει:

- Χρήση της κατανομής βήτα για την εύρεση της διάρκειας των δραστηριοτήτων
- Χρήση της κανονικής κατανομής για την εύρεση της διάρκειας του έργου
- Ευελιξία, με τη μέθοδο να ξεπερνά τον περιορισμό της μεθόδου CPM για δεδομένη διάρκεια δραστηριοτήτων
- Τη δυνατότητα να συμπεριληφθεί στους υπολογισμούς η στοχαστική φύση της διάρκειας των δραστηριοτήτων ενός έργου
- Υπολογισμό της πιθανότητας ολοκλήρωσης ενός έργου σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα
- Υπολογισμό της συνολικής διάρκειας ολοκλήρωσης ενός έργου με κάποια βεβαιότητα που θέτετε
- Αντί μιας δεδομένης τιμής για τη χρονική διάρκεια της δραστηριότητας, τρεις εκτιμήσεις για την τιμή της:

Αισιόδοξη εκτίμηση O, η πιο αισιόδοξη εκτίμηση της διάρκειας της δράσης, που θα προέκυπτε υπό τις πιο ευνοϊκές συνθήκες.

Πιθανή εκτίμηση M, η τιμή που θα εμφανιζόταν πιο συχνά, αν η δράση επαναλαμβανόταν πολλές φορές.

Μέγιστη ή απαισιόδοξη εκτίμηση P, που θα προέκυπτε υπό τις πιο δυσμενείς συνθήκες (Καρφάκη, 2021).

Η Μέθοδος PERT αποτελεί ένα εργαλείο διαχείρισης που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του χρόνου που απαιτείται για την ολοκλήρωση ενός έργου, με την υπολογιστική διαδικασία που ακολουθήθηκε να είναι η παρακάτω.

Αρχικά υπολογίζετε ο αναμενόμενος χρόνος ολοκλήρωσης της κάθε δραστηριότητας όπου:

Αναμενόμενος Χρόνος (TE): Είναι η καλύτερη εκτίμηση του χρόνου που απαιτείται για την ολοκλήρωση μιας δραστηριότητας, και υπολογίζεται ως:

$$TE = \frac{(O + 4M + P)}{6}$$

Εν συνεχεία, υπολογίζεται η τυπική απόκλιση, όπου:

Τυπική απόκλιση (SD): Μετρά τον βαθμό αβεβαιότητας ή κινδύνου που σχετίζεται με τον αναμενόμενο χρόνο.

Υπολογίζεται ως: $SD = \frac{(P - O)}{6}$

Στη συνέχεια υπολογίζεται η Διακύμανση, όπου:

Διακύμανση (VAR): Υπολογίζεται ως: $VAR = S * D^2$

Και τέλος η Ολική Διακύμανση, όπου:

Ολική Διακύμανση (TV): είναι το άθροισμα των αποκλίσεων όλων των δραστηριοτήτων που αποτελούν την κρίσιμη διαδρομή του έργου.

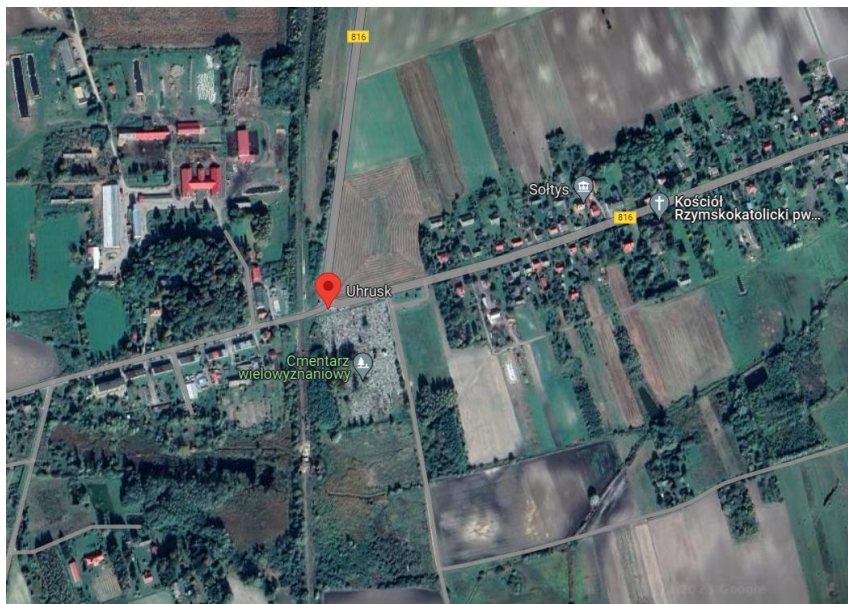
2.7. Επισκόπηση αρθρογραφίας σχετικής με την εφαρμογή χρονικού προγραμματισμού σε περιπτώσεις βιοαερίου

Ο προγραμματισμός και ο έλεγχος του χρονοδιαγράμματος είναι κύρια βήματα στη διαχείριση κατασκευής ενός έργου. Μια μελέτη στο Iran το 2018, εφάρμοσε προγραμματισμό του έργου για ανάλυση και αξιολόγηση της κατασκευής μονάδας βιοαερίου με σταθερό θόλο, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο CPM, εκτιμώντας ότι ο συνολικός χρόνος κατασκευής του έργου θα είναι 38 εβδομάδες (Zareei, 2018).

Επιπρόσθετα, μελέτη, που διεξήχθη πρόσφατα στο Bangladesh, που σκοπό είχε να διερευνήσει τον προγραμματισμό έργων στο πλαίσιο της κατασκευής μιας μονάδας βιοαερίου, αξιοποιώντας παράλληλα τις δυνατότητες της μεθόδου της κρίσιμης διαδρομής, μέσα από δομημένες συνεντεύξεις με ειδικούς του κλάδου, συγκεντρώνοντας ποιοτικές γνώσεις σχετικά με την πολυπλοκότητα των εργασιών, τα πιθανά σημεία συμφόρησης και τις προκλήσεις που ενυπάρχουν στην κατασκευή, βρήκε ότι το έργο θα πρέπει να ολοκληρωθεί εντός 38 εβδομάδες (Islam, et al., 2024), όπως και στην παραπάνω μελέτη. Ωστόσο, η βιβλιογραφία, που στηρίζει το παραπάνω θέμα είναι ιδιαίτερα περιορισμένη. Η σημαντική διαφορά μεταξύ του χρόνου κατασκευής μεταξύ των αναφορών και της παρούσας έρευνας μπορεί να οφείλετε στα διαφορετικά οικονομικά περιβάλλοντα των κρατών.

Κεφάλαιο 3: Η Περίπτωση του Uhrusk

Η πειραματική φάρμα βρίσκεται στη νοτιοανατολική Πολωνία ($51^{\circ}17'47''\text{N}$ $250^{\circ}37'28''\text{E}$), στο χωριό Uhrusk στη διοικητική περιφέρεια Gmina Wola Uhruska, στην κομητεία Włodawa, στο βοεβοδάσιο του Λούμπλιν, στην ανατολική Πολωνία. Η έκτασή της είναι 576 εκτάρια γεωργικής γης, εκ των οποίων πάνω από 130 εκτάρια είναι χορτολιβαδικές εκτάσεις, εκ των οποίων το μη θερισμένο οικόπεδο είναι περίπου 27 εκτάρια λόγω της περιοχής Nature 2000. Αυτή τη στιγμή υπάρχουν τέσσερις ράτσες βοοειδών στην πειραματική φάρμα, κυρίως αγελάδες γαλακτοπαραγωγής. Τα κυρίαρχα είδη φυτών της καλλιέργειας είναι τα δημητριακά, δηλαδή το σιτάρι, το τριτικάλε, το κριθάρι, ο αραβόσιτος, καθώς και τα όσπρια. Η φυτική παραγωγή υπόκειται σε μεγάλο βαθμό στη ζωική παραγωγή πολλαπλών κατευθύνσεων. Η έκταση που απομένει για την παροχή χονδροειδών ζωοτροφών είναι 40 εκτάρια για τον αραβόσιτο και 25 εκτάρια για τα όσπρια, παρέχοντας πλήρη τροφή για το αγρόκτημα. Άχυρο ελαιοκράμβης και λίγο άχυρο δημητριακών που δεν χρησιμοποιούνται για σίτιση του ζωικού κεφαλαίου παραμένουν στο χωράφι και οργώνονται. Η φάρμα παράγει 2.500 έως 3.500 τόνους κοπριάς αγελάδας και καταναλώνει περίπου 63.100 kWh ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως. Το δίκτυο μέσης τάσης καθώς και η γραμμή φυσικού αερίου διατρέχουν τα 263 αγροτεμάχια (Pochwatka, et al., 2023).



Εικόνα 11: Δορυφορική απεικόνιση του Uhrusk και της πειραματικής φάρμας

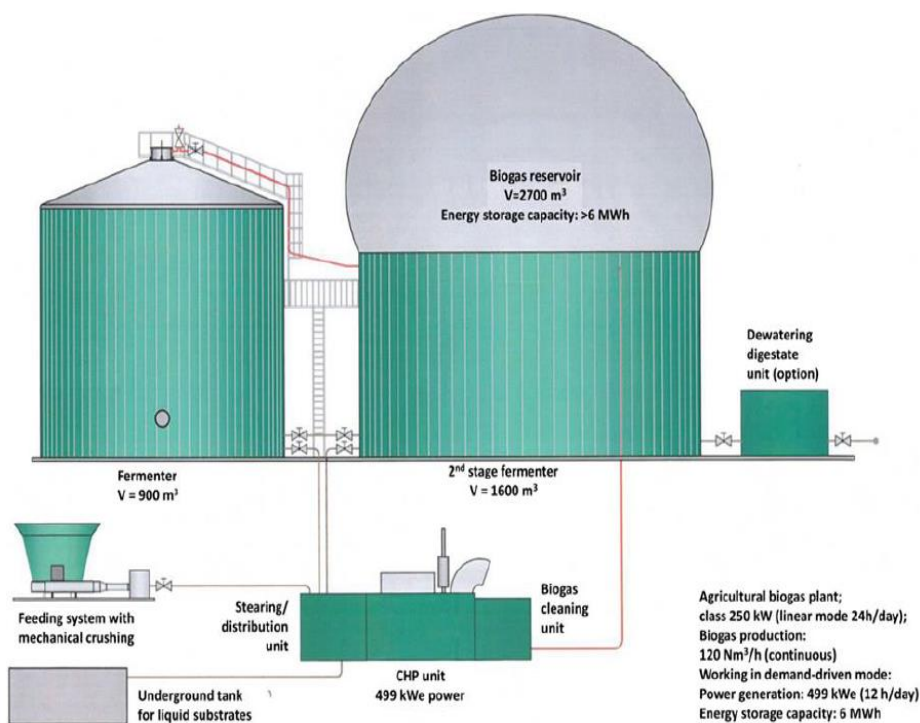
Η έρευνα των Pochwatka, et al στόχευσε να αναλύσει την ενεργειακή και οικονομική επίδραση μιας μονάδας βιοαερίου, που βασίζεται στη ζήτηση για την εξυπηρέτηση της πειραματικής φάρμας του Uhrusk. Μελετήθηκαν 5 υποστρώματα και δύο περιπτώσεις τρόπου λειτουργίας για παραγωγή βιοαερίου. Τα 5 υποστρώματα που παράγονται απευθείας στο αγρόκτημα, θεωρήθηκαν υλικά για υπόστρωμα στη μονάδα βιοαερίου και είναι τα εξής:

μεσοκαλλιέργειες, άχυρο σιταριού, χόρτο, αραβόσιτος και κοπριά. Όλα τα παραγόμενα, από τη φάρμα, πιθανά υποστρώματα αναλύθηκαν ως προς την απόδοση μεθανίου στο Poznań University of Life Sciences. Για τους οικονομικούς υπολογισμούς της μελέτης, χρησιμοποιήθηκε το κόστος επένδυσης και εκμετάλλευσης από την αγορά βιοαερίου και πληροφορίες από τη μονάδα βιοαερίου Przybroda (499 KW ηλεκτρικής ισχύος). Σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας της μονάδας εξετάστηκαν 2 σενάρια, λειτουργία 12 ώρες την ημέρα μονάδας 250 KW με μια επιπλέον συμπαραγωγή 499 KW και συνεχή λειτουργία 24 ωρών μονάδας 250 KW.

Τα συμπεράσματα της έρευνας ήταν τα εξής: Αρχικά, η ενεργειακή και οικονομική ανάλυση έδειξε ότι η επένδυση στη μονάδα βιοαερίου θα ήταν κερδοφόρα σε όλα τα σενάρια, με το καλύτερο σενάριο να είναι η λειτουργία μονάδας βιοαερίου 250KW με γνώμονα τη ζήτηση με CHP 499 kWε και λειτουργία 12ώρες/ημέρα με περίοδο απόσβεσης της επένδυσης τα 3,41 χρόνια. Δεδομένου ότι η μονάδα βιοαερίου σχεδιάζεται να λειτουργεί με γνώμονα τη ζήτηση, θα ήταν επίσης δυνατό να πραγματοποιηθούν επιθεωρήσεις της μονάδας συμπαραγωγής όταν δεν λειτουργεί. Ως αποτέλεσμα, αυτή η μικρή μονάδα (250Kw) με συμπαραγωγή 499 KW θα μπορούσε να παράγει έως και 2.126 MWh/έτος, με επιπλέον πηγή εσόδων τη χρήση βιομάζας (κυρίως βιοαποβλήτων) ως υπόστρωμα (Pochwatka, et al., 2023).

Σχετικά με την περιβαλλοντική βιωσιμότητα, η αξία της προγραμματισμένης γεωργικής μονάδας βιοαερίου είναι η περιβαλλοντική επίδραση της μείωσης των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, ότι χάρη στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας από βιομάζα που μετατρέπεται σε βιοαέριο και από την χρήση του χωνεμένου υπολείμματος από την μονάδα θα μειωθούν οι εκπομπές CO₂ με 2,180,763.23 kg CO₂ να μην απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα.

Το σχέδιο της μονάδας στην ιδανική περίπτωση σύμφωνα με την έρευνα φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 12: Η προτεινόμενη μονάδα για την πειραματική φάρμα (Pochwatka, et al., 2023)

Κεφάλαιο 4: Χρονικός προγραμματισμός με τις μεθόδους PERT και CPM

4.1 Χρονικός προγραμματισμός με τη μέθοδο CPM

Η κρίσιμη διαδρομή των δραστηριοτήτων και των δράσεων που οδηγεί στην κατασκευή μονάδας βιοαερίου ισχύος 240 KW βρέθηκε αφού έγιναν υπολογισμοί με τη διάρκεια κάθε ενέργειας και με τη χρήση των κατάλληλων διαγραμμάτων. Οι πληροφορίες δόθηκαν από κατασκευαστική εταιρεία.

Αρχικά, οι βασικές ενέργειες εκκίνησης ξεκινούν με την εγγραφή της εταιρείας, την εκτίμηση της δυνατότητας σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο, το νερό κ.λπ. Οι πιθανές ρυθμίσεις του δικτύου, ο προσδιορισμός πιθανών καταναλωτών και ζήτησης, καθώς και η διαθεσιμότητα πρώτης ύλης, οδηγούν μέχρι και την επιλογή της τοποθεσίας του εργοστασίου. Στη συνέχεια, ακολουθούν το σχέδιο απόκτησης πρώτων υλών, διαπραγματεύσεις με προμηθευτές πρώτων υλών και εκτίμηση οικονομικών αναγκών, ανάλυση και στρατηγική αγοράς, επιλογή τεχνολογίας, σχεδιασμός εργοστασίου, περιγραφή διαχείρισης, τα οποία συμβάλλουν στο τελικό επιχειρηματικό σχέδιο. Για την έναρξη των κατασκευαστικών εργασιών πρέπει να ολοκληρωθούν δύο βασικές σειρές ενεργειών. Η λήψη αδειών, η εύρεση και η πληρωμή τεχνικών εργολάβων και συνεργείων κατασκευής, το ειδικό αναπτυξιακό έργο, η ανάπτυξη γης, η σφραγίδα σχεδιασμού, η δήλωση διαχειριστή και επόπτη, ως μία σειρά, και η αίτηση για τραπεζικό κατάστημα, το οικονομικό σχέδιο, ο κατάλογος προμηθευτών των κύριων στοιχείων εξοπλισμού, οι πληρωμές για εξοπλισμό, η παραγγελία υπομημάτων, η οργάνωση αγοράς και η παράδοση πρώτων και δομικών υλικών και εξοπλισμού, ως η άλλη σειρά. Στη συνέχεια, ακολουθεί το κομμάτι της προκατασκευαστικής φάσης που αφορά τους εργαζόμενους, την απασχόληση και κάποιες εργασίες. Ξεκινά με την προετοιμασία για την πρόσληψη και την τεκμηρίωση, την εκπαίδευση και τη συμβολή στην έναρξη λειτουργίας του εργοστασίου, τη δημιουργία συστήματος επιθεωρήσεων, ξηρών δοκιμών και παροχής υποστρώματος, εργασίες που τροφοδοτούν βακτήρια. Και τέλος, σύνδεση στο δίκτυο. Η τρίτη κατηγορία δραστηριοτήτων επικεντρώνεται στην κατασκευή, ξεκινώντας με την εξασφάλιση σχεδίου και γραφείου, διαβουλεύσεις, εκσκαφές και τοποθέτηση θεμελίων, προδιαγραφές εδάφους και θεμελίωσης για εκτέλεση και αποδοχή.

Στη συνέχεια, σειρά έχουν οι εργασίες στις ηλεκτρολογικές και τηλετεχνικές εγκαταστάσεις, η κατασκευή συστημάτων σωληνώσεων και σωλήνων θέρμανσης, οι τεχνικές προδιαγραφές εκτέλεσης και αποδοχής τεχνολογικών εγκαταστάσεων, η κατασκευή άλλων στοιχείων της μονάδας, η προετοιμασία πυθμένα χωνευτών, η δεξαμενή χωνευτή, η βάση αερίου και η κατασκευή δεξαμενής υποδοχής, η τοποθέτηση της μόνωσης, οι κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα/μεταλλικές κατασκευές (συμπεριλαμβανομένων δεξαμενών), οι τεχνικές προδιαγραφές εκτέλεσης και παραλαβής εργασιών. Συμβολή στη σύνδεση της μονάδας βιοαερίου με το δίκτυο θερμότητας, εγκατάσταση του τεχνολογικού μέρους της μονάδας βιοαερίου, τεχνικές προδιαγραφές για την εκτέλεση και αποδοχή συστημάτων ύδρευσης και αποχέτευσης, δημιουργία τεχνολογίας παρακολούθησης και ελέγχου συστημάτων, δημιουργία σχεδιασμού μηχανοποίησης με τη βοήθεια υπολογιστή και βελτιστοποίηση.

Οι δραστηριότητες που απαρτίζουν το έργο μπορούν επίσης να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τον σκοπό που υπηρετεί η κάθε μια, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Πιο

συγκεκριμένα, στην κατηγορία εργασιακά εμπεριέχονται δραστηριότητες εύρεσης, πρόσληψης και εκπαίδευσης προσωπικού, ενώ στα οργανωτικά, δραστηριότητες σχετικές με το σχεδιασμό της εγκατάστασης και του τρόπου λειτουργίας. Στην κατηγορία των Διαδικαστικών-Πολιτικών-Νομικών, εντοπίζονται οι δραστηριότητες που σχετίζονται με έκδοση αδειών, δημόσιες διαβουλεύσεις και τήρηση νομικών υποχρεώσεων. Εν συνεχεία, στην κατηγορία Οικονομικά-Αγορές εντοπίζονται οι δραστηριότητες αγορών πρώτων υλών και εξοπλισμού, λήψης δανείων και κονδυλίων και αιτήσεων σε αρμόδιους οργανισμούς. Τέλος, στις Προκατασκευές-Κατασκευές-Εγκαταστάσεις εντάσσονται οι δραστηριότητες που σχετίζονται με την κατασκευή και τη διαχείριση της κατασκευής της μονάδας.

Πίνακας 1: Οι δραστηριότητες κατηγοριοποιημένες

Εργασιακά	Οργανωτικά	Διαδικαστικά-Πολιτικά-Νομικά	Οικονομικά-Αγορές	Κατασκευαστικά-Τεχνικά
Εύρεση τεχνικού εργολάβου	Εγγραφή της εταιρείας	Δημόσιες διαβουλεύσεις	Λήψη τραπεζικής υπόσχεσης	Έργο χωροταξικής ανάπτυξης
Ανακήρυξη του υπεύθυνου κατασκευής και του επιβλέποντος	Εκτίμηση της δυνατότητας σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο, το νερό κ.λπ.	Άδεια σύνδεσης στο ηλεκτρικό δίκτυο	Υποβολή αίτησης στο σχετικό ταμείο της ΕΕ	Λεπτομερής σχεδιασμός ανάπτυξης γης
Πρόσληψη συνεργείου κατασκευής	Πιθανή ρύθμιση του δικτύου που θα συνδεθεί	Άδεια σύνδεσης στο δίκτυο ύδρευσης και στο αποχετευτικό σύστημα τεχνικών κτιρίων	Υποβολή αίτησης στο σχετικό περιφερειακό ταμείο προστασίας του περιβάλλοντος	Οικοδομικό έργο/μελέτη
Προσλήψεις υπαλλήλων	Εκτίμηση της τοπικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας	Άδεια πρόσβασης από δημόσιο δρόμο στο οικόπεδο	Ανανέωση του οικονομικού σχεδίου μετά από εξέταση αιτήσεων για χρηματοδότηση	Εξασφάλιση σχεδίου κατασκευής, κατασκευή κατασκευαστικού γραφείου

Προετοιμασία για πρόσληψη υπαλλήλων και δημιουργία τεκμηρίωσης	Προσδιορισμός πιθανών καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας	Νερό και νόμιμη άδεια για όμβρια και χιόνια	Πληρωμή προκαταβολών για παραγγελθέντα εξοπλισμό	Εκσκαφικές εργασίες
Εκπαίδευση υπαλλήλων	Προκαταρκτική αξιολόγηση της διαθεσιμότητας πρώτων υλών	Σφραγισμένο αρχιτεκτονικό και κατασκευαστικό σχέδιο	Πρώτη πληρωμή	Συνεννόηση με γεωδαιτολόγο
	Επιλέγοντας τη σωστή τοποθεσία	Οικοδομική άδεια	Αγορά απαραίτητων πρώτων υλών και δομικών υλικών	Κατασκευή θεμελίωσης
	Επιλογή τεχνολογίας που χρησιμοποιείται στην Εγκατάσταση	Δήλωση έναρξης οικοδομικών εργασιών	Παραγγελία συμπαραγωγής	Τεχνικές προδιαγραφές εδάφους και θεμελίωσης για την εκτέλεση και την παραλαβή των εργασιών
	Επιλογή σχεδιασμού μονάδας	Προετοιμασία της τεκμηρίωσης που απαιτείται για την πρόσληψη κατασκευαστικής ομάδας	Παραγγελία κοντέινερ τεχνολογίας	Προετοιμασία του πυθμένα του χωνευτηρίου
	Επιχειρηματικό σχέδιο- σχέδιο λειτουργίας	Τεχνικές προδιαγραφές για την εκτέλεση και αποδοχή τεχνολογικών εγκαταστάσεων	Παραγγελία σταθμού επεξεργασίας αερίου	Κατασκευή δεξαμενής χωνευτή
	Επιχειρηματικό σχέδιο- διαχείριση και περιγραφή οργάνωσης	Γενικές τεχνικές προδιαγραφές εκτέλεσης και παραλαβής εργασιών	Σειρά στοιχείων δεξαμενής	Δεξαμενή υποδοχής κτιρίου

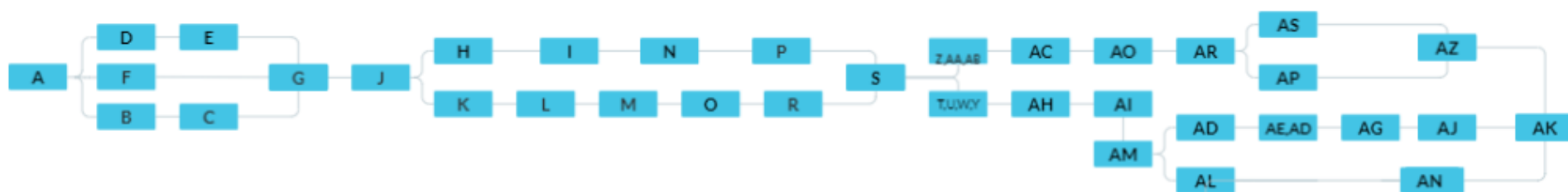
Σχέδιο απόκτησης πρώτων υλών	Ξηρή δοκιμή μονάδας βιοαερίου	Παραγγελία βιδωτών αντλιών	Κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα/μεταλλικές κατασκευές (συμπεριλαμβανομένων δεξαμενών) τεχνικές προδιαγραφές εκτέλεσης και αποδοχής εργασιών
Διαπραγματεύσεις με προμηθευτές πρώτων υλών	Παροχή τροφοδοσίας υποστρώματος	Τελική πληρωμή	Κατασκευή άλλων στοιχείων της μονάδας βιοαερίου
Επιχειρηματικός σχεδιασμός-αξιολόγηση οικονομικών αναγκών για ένα έργο	Καθιέρωση συστήματος τακτικών τεχνικών επιθεωρήσεων της εγκατάστασης		Κατασκευή θήκης υγραερίου
Επιχειρηματικό σχέδιο- απόκτηση κεφαλαίων			Κατασκευή συστημάτων σωληνώσεων/ σωλήνων θέρμανσης
Επιχειρηματικό σχέδιο- εκτιμήσεις κερδοφορίας, ανάλυση αγοράς και στρατηγική			Τεχνικές προδιαγραφές για την εκτέλεση και αποδοχή συστημάτων ύδρευσης και αποχέτευσης
Τελικό επιχειρηματικό σχέδιο			Τοποθέτηση της μόνωσης
Κατάλογος προμηθευτών των κύριων στοιχείων τεχνολογικού εξοπλισμού			Κατασκευή ηλεκτρολογικών και τηλετεχνικών εγκαταστάσεων
Οργάνωση παράδοσης δομικών υλικών και εξοπλισμού			Εγκατάσταση του τεχνολογικού μέρους της μονάδας βιοαερίου
Οργάνωση παράδοσης πρώτων υλών για			Σύνδεση της μονάδας βιοαερίου με το δίκτυο θερμότητας

Χρονικός Προγραμματισμός και Κοστολόγηση Έργου Κατασκευής Μονάδας Βιοαερίου σε Κτηνοτροφική Μονάδα για
Ευέλικτη Ηλεκτροπαραγωγή

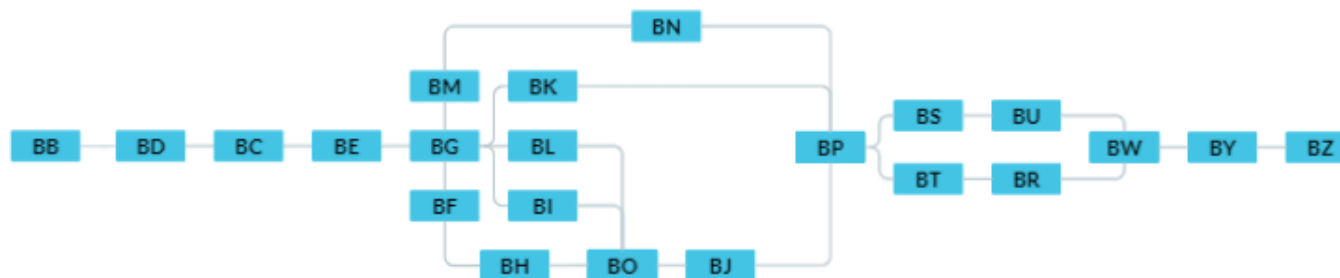
	την κατασκευή εργοστασίων				Λειτουργεί τροφοδοτώντας βακτήρια
	Δημιουργία σχεδιασμού με τη βοήθεια υπολογιστή για μηχανοποίηση και βελτιστοποίηση				
	Δημιουργία τεχνολογίας παρακολούθησης και ελέγχου συστήματος				
	Έναρξη λειτουργίας της μονάδας βιοαερίου				
	Σύνδεση στο δίκτυο				

Τα διαγράμματα των δραστηριοτήτων παρατίθενται παρακάτω :

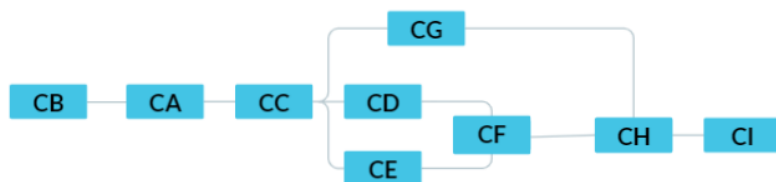
Διάγραμμα 1: Διάγραμμα Α φάσης δραστηριοτήτων:



Διάγραμμα 2: Διάγραμμα Β φάσης δραστηριοτήτων:



Διάγραμμα 3: Διάγραμμα Γ φάσης δραστηριοτήτων



Εύρεση Ενωρίτερου και Αργότερου χρόνου:

Για τον υπολογισμό της διάρκειας του προτεινόμενου έργου, είναι αναγκαία η ανάδειξη της κρίσιμης διαδρομής, με την χρήση Ενωρίτερων και Αργότερων χρόνων έναρξης και λήξης κάθε δραστηριότητας.

Οι δραστηριότητες χωρίς προαπαιτούμενες εργασίες, έχουν χρόνο έναρξης ίση με το μηδέν: $EST_A=0$

Ο Ενωρίτερος χρόνος έναρξης για δραστηριότητες με μόνο μια προαπαιτούμενη δραστηριότητα, θα είναι ίσος με τον Ενωρίτερο χρόνο λήξης της προαπαιτούμενης προσθέτοντας τη διάρκεια της. Όταν προηγούνται περισσότερες από μία δραστηριότητες, τότε οι υπολογισμοί γίνονται με αυτή με την μεγαλύτερη καθυστέρηση (Μελισσαροπούλου, 2022):

Ο Ενωρίτερος χρόνος τερματισμού μιας δραστηριότητας ισούται με τον Ενωρίτερο χρόνο έναρξης της προσθέτοντας την διάρκεια της:

$$EFT=EST + d$$

Παραδείγματος χάριν:

$$EFT_A = EST_A + d_A = 0 + 2 = 2 \text{ εβδομάδες}$$

Εν συνέχεια, υπολογίζονται ο Αργότερος χρόνος έναρξης και λήξης κάθε δραστηριότητας του έργου. Για την εύρεση τους, με την χρήση του Αργότερου χρόνου λήξης της τελικής δραστηριότητας, μπορούν να συμπληρωθούν και οι υπόλοιποι χρόνοι, με τον εξής τύπο:

$$LST = LFT - d$$

Για παράδειγμα, η δραστηριότητα CL έχει ως Τελευταίο χρόνο λήξης 116 εβδομάδες. Αρα, ο Αργότερος χρόνος έναρξής της θα είναι ίσως με:

$$LST = LFT - d = 97 - 2 = 95 \text{ εβδομάδες}$$

Τέλος υπολογίζετε ο πρόσθετος χρόνος (slack) του δικτύου του έργου, όπου για την εύρεσή του γίνετε χρήση του παρακάτω τύπου:

$$SLACK = LST - EST = LFT - EFT$$

Παραδείγματος χάριν, ο επιπλέον χρόνος της δραστηριότητας D θα είναι:

$$SLACK_A = LST_A - EST = 9 - 3 = 6 \text{ εβδομάδες}$$

Πίνακας 2: Οι δραστηριότητες και η πιθανή διάρκεια τους

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ	ΠΡΟΑΠΑΙΟΥΜΕΝΕΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ (Εβδομ.)
A		Εγγραφή της εταιρείας	2
B	A	Εκτίμηση της δυνατότητας σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο, το νερό κ.λπ.	6
C	B	Πιθανή προσαρμογή του δικτύου που πρόκειται να συνδεθεί	2
D	A	Εκτίμηση της τοπικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας	1
E	D	Προσδιορισμός πιθανών καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας	1
F	A	Προκαταρκτική αξιολόγηση της διαθεσιμότητας πρώτων υλών	1
G	A, B, E	Επιλογή της σωστή τοποθεσίας	1
H	J	Επιλογή της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται στις εγκαταστάσεις βιοαερίου	1
I	H	Επιλογή σχεδιασμού μονάδας	1
N	I	Επιχειρηματικό σχέδιο- Σχέδιο λειτουργίας	2
P	N	Επιχειρηματικό σχέδιο- Διαχείριση και περιγραφή οργάνωσης	1
J	G	Δημόσιες διαβουλεύσεις	8
K	J	Σχέδιο απόκτησης πρώτων υλών	1
L	K	Διαπραγματεύσεις με προμηθευτές πρώτων υλών	3
M	L	Επιχειρηματικό σχέδιο- αξιολόγηση των οικονομικών αναγκών για ένα έργο	1
O	M	Επιχειρηματικό σχέδιο- απόκτηση κεφαλαίων	2
R	O	Επιχειρηματικό σχέδιο- εκτιμήσεις κερδοφορίας, ανάλυση αγοράς και στρατηγική	1
S	N, R	Τελικό επιχειρηματικό σχέδιο	1
T	S	Αδεια σύνδεσης στο ηλεκτρικό δίκτυο	2
U	S	Αδεια σύνδεσης στο δίκτυο ύδρευσης και στο αποχετευτικό σύστημα τεχνικών κτιρίων	2
W	S	Αδεια για πρόσβαση από δημόσιο δρόμο στο οικόπεδο	2
Y	S	Νερό και νόμιμη άδεια για όμβρια και χιόνια	2
Z	S	Απόκτηση τραπεζικής υπόσχεσης	6
AA	S	Αίτηση στο σχετικό ταμείο της ΕΕ	6
AB	S	Αίτηση στο σχετικό περιφερειακό ταμείο προστασίας του περιβάλλοντος	6
AC	S	Ανανέωση του οικονομικού σχεδίου μετά από εξέταση των αιτήσεων για χρηματοδότηση	1
AO	AC	Κατάλογος προμηθευτών των κύριων στοιχείων του τεχνολογικού εξοπλισμού	1
AR	AO	Πληρωμή προκαταβολών για παραγγελθέντα εξοπλισμό	1
AD	AM	Έργο χωρικής ανάπτυξης	2
AE	AD	Λεπτομερής σχεδιασμός ανάπτυξης γης	2
AF	AD	Οικοδομικό έργο/μελέτη	2
AG	AE, AF	Αρχιτεκτονικό και κατασκευαστικό σχέδιο με σφραγίδα	1

Χρονικός Προγραμματισμός και Κοστολόγηση Έργου Κατασκευής Μονάδας Βιοαερίου σε Κτηνοτροφική Μονάδα για Ευέλικτη Ηλεκτροπαραγωγή

AH	T, U, W, Y	Άδεια κατασκευής	2
AI	AH	Εύρεση τεχνικού εργολάβου	2
AJ	AG	Ανακήρυξη του υπεύθυνου κατασκευής και του επιβλέποντος	1
AK	AJ, AN, AZ, BA	Δήλωση έναρξης (έναρξης) οικοδομικών εργασιών	1
AN	AL	Πρόσληψη συνεργείου κατασκευής	1
AL	AM	Προετοιμασία των απαραίτητων εγγράφων για την πρόσληψη κατασκευαστικής ομάδας - συμβόλαια, ασφάλιση κ.λπ	1
AM	AI	Πρώτη πληρωμή	1
AP	AR	Αγορά των απαραίτητων πρώτων υλών και δομικών υλικών	2
AS	AR	Παραγγελία συμπαραγωγής	18
AT	AR	Παραγγελία ενός κοντέινερ τεχνολογίας	12
AU	AR	Παραγγελία σταθμού επεξεργασίας αερίου	12
AW	AR	Σειρά στοιχείων δεξαμενής	6
AY	AR	Σειρά των βιδωτών αντλιών	14
AZ	AP, AS, AT, AU, AW, AY	Οργάνωση παράδοσης δομικών υλικών και εξοπλισμού	1
BA	AP, AS, AT, AU, AW, AY	Οργάνωση παράδοσης πρώτων υλών για την κατασκευή	1
BB	AK	Εξασφάλιση σχεδίου κατασκευής, κατασκευή κατασκευαστικού γραφείου	1
BC	BD	Ανασκαφικές εργασίες	2
BD	BB	Συνεννόηση με γεωδαίτη	1
BE	BC	Κατασκευή θεμελίωσης	1
BG	BE	Τεχνικές προδιαγραφές εδάφους και θεμελίωσης για την εκτέλεση και την παραλαβή των εργασιών	1
BF	BG	Προετοιμασία του πυθμένα του χωνευτηρίου	1
BH	BF	Κατασκευή δεξαμενής χωνευτηρίου	3
BI	BG	Δεξαμενή υποδοχής κτιρίου	2
BJ	BO	Κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα/κατασκευές από χάλυβα (συμπεριλαμβανομένων δεξαμενών) τεχνικές προδιαγραφές εκτέλεσης και αποδοχής εργασιών	1
BK	BE	Κατασκευή άλλων στοιχείων της μονάδας βιοαερίου	5
BL	BG	Κατασκευή θήκης αερίου	2
BM	BG	Κατασκευή συστημάτων σωληνώσεων/σωλήνων θέρμανσης	4
BN	BM	Τεχνικές προδιαγραφές για την εκτέλεση και αποδοχή συστημάτων ύδρευσης και αποχέτευσης	2
BO	BH, BI, BL	Τοποθέτηση της μόνωσης	2
BP	BJ, BK, BN	Κατασκευή ηλεκτρολογικών και τηλετεχνικών εγκαταστάσεων	4
BU	BS	Δημιουργία σχεδιασμού με τη βοήθεια υπολογιστή για μηχανοποίηση και βελτιστοποίηση	2
BS	BP	Δημιουργία τεχνολογίας παρακολούθησης και ελέγχου συστημάτων	2
BR	BT	Τεχνικές προδιαγραφές για την εκτέλεση και αποδοχή τεχνολογικών εγκαταστάσεων	3

Χρονικός Προγραμματισμός και Κοστολόγηση Έργου Κατασκευής Μονάδας Βιοαερίου σε Κτηνοτροφική Μονάδα για Ευέλικτη Ηλεκτροπαραγωγή

BT	BP	Εγκατάσταση του τεχνολογικού μέρους της μονάδας βιοαερίου	3
BW	BR, BU	Σύνδεση της μονάδας βιοαερίου με το δίκτυο θερμότητας	1
BY	BW	Γενικές τεχνικές προδιαγραφές εκτέλεσης και αποδοχής εργασιών	1
BZ	BY	Τελική πληρωμή	1
CA	CB	Πρόσληψη εργαζομένων	1
CB	BZ	Προετοιμασία για πρόσληψη υπαλλήλων και δημιουργία τεκμηρίωσης	1
CC	CA	Εκπαίδευση υπαλλήλων	1
CD	CC	Ξηρή δοκιμή μονάδας βιοαερίου	2
CE	CC	Παροχή υποστρώματος	1
CF	CE, CD	Λειτουργεί τροφοδοτώντας βακτήρια	7
CG	CC	Καθιέρωση συστήματος τακτικών τεχνικών επιθεωρήσεων της εγκατάστασης	1
CH	CG, CF	Εναρξη λειτουργίας της μονάδας βιοαερίου	1
CI	CH	Σύνδεση στο δίκτυο	2

Πίνακας 3: Η εφαρμογή της μεθόδου CPM

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ	ΠΡΟΑΠΑΙΟΥΜΕΝΕΣ	ΔΙΑΡΚΕΙΑ	EST (EARLIEST START TIME)	EFT (EARLIEST FINISH TIME)	LST (LATEST START TIME)	LFT (LATEST FINISH TIME)	SLACK	CRITICAL
A		2	0	2	0	2	0	1
B	A	6	2	8	2	8	0	1
C	B	2	8	10	8	10	0	1
D	A	1	2	3	8	9	6	0
E	D	1	3	4	9	10	6	0
F	A	1	2	3	9	10	7	0
G	A, B, E	1	10	11	10	11	0	1
H	J	1	15	16	22	23	7	0
I	H	1	11	12	23	24	12	0
N	I	2	12	14	24	26	12	0
P	N	1	14	15	26	27	12	0
J	G	8	11	19	11	19	0	1
K	J	1	19	20	19	20	0	1
L	K	3	20	23	20	23	0	1
M	L	1	23	24	23	24	0	1
O	M	2	24	26	24	26	0	1
R	O	1	26	27	26	27	0	1
S	N, R	1	27	28	27	28	0	1
T	S	2	28	30	47	49	19	0
U	S	2	28	30	47	49	19	0

Χρονικός Προγραμματισμός και Κοστολόγηση Έργου Κατασκευής Μονάδας Βιοαερίου σε Κτηνοτροφική Μονάδα για
Ευέλικτη Ηλεκτροπαραγωγή

W	S	2	28	30	47	49	19	0
Y	S	2	28	30	47	49	19	0
Z	S	6	28	34	28	34	0	1
AA	S	6	28	34	28	34	0	1
AB	S	6	28	34	28	34	0	1
AC	S	1	34	35	34	35	0	1
AO	AC	1	35	36	35	36	0	1
AR	AO	1	36	37	36	37	0	1
AD	AM	2	35	37	50	52	15	0
AE	AD	2	37	39	52	54	15	0
AF	AD	2	37	39	52	54	15	0
AG	AE, AF	1	39	40	54	55	15	0
AH	T, U, W, Y	2	30	32	49	51	19	0
AI	AH	2	32	34	51	53	19	0
AJ	AG	1	40	41	55	56	15	0
AK	AJ, AN, AZ, BA	1	56	57	56	57	0	1
AN	AL.	1	36	37	55	56	19	0
AL.	AM	1	35	36	54	55	19	0
AM	AI	1	34	35	53	54	19	0
AP	AR	2	37	39	53	55	16	0
AS	AR	18	37	55	37	55	0	1
AT	AR	12	37	49	43	55	6	0
AU	AR	12	37	49	43	55	6	0
AW	AR	6	37	43	41	47	4	0
AY	AR	14	37	51	41	55	4	0
AZ	AP, AS, AT, AU, AW, AY	1	55	56	55	56	0	1
BA	AP, AS, AT, AU, AW, AY	1	55	56	55	56	0	1
BB	AK	1	56	57	56	57	0	1
BC	BD	2	58	60	58	60	0	1
BD	BB	1	57	58	57	58	0	1
BE	BC	1	60	61	60	61	0	1
BG	BE	1	61	62	61	62	0	1
BF	BG	1	62	63	62	63	0	1
BH	BF	3	63	66	63	66	0	1
BI	BG	2	62	64	67	69	5	0
BJ	BO	1	68	69	68	69	0	1
BK	BE	5	62	67	64	69	2	0
BL	BG	2	62	64	62	64	0	1
BM	BG	4	62	66	63	67	1	0
BN	BM	2	66	68	67	69	1	0

Χρονικός Προγραμματισμός και Κοστολόγηση Έργου Κατασκευής Μονάδας Βιοαερίου σε Κτηνοτροφική Μονάδα για Ευέλικτη Ηλεκτροπαραγωγή

BO	BH, BI, BL	2	66	68	66	68	0	1
BP	BJ, BK, BN	4	69	73	69	73	0	1
BU	BS	2	81	83	77	79	4	0
BS	BP	2	79	81	78	80	1	0
BR	BT	3	76	79	76	79	0	1
BT	BP	3	73	76	73	76	0	1
BW	BR, BU	1	79	80	79	80	0	1
BY	BW	1	80	81	80	81	0	1
BZ	BY	1	81	82	81	82	0	1
CA	CB	1	83	84	83	84	0	1
CB	BZ	1	82	83	82	83	0	1
CC	CA	1	84	85	84	85	0	1
CD	CC	2	85	87	85	87	0	1
CE	CC	1	85	86	86	87	1	0
CF	CE, CD	7	87	94	87	94	0	1
CG	CC	1	85	86	93	94	8	0
CH	CG, CF	1	94	95	94	95	0	1
CI	CH	2	95	97	95	97	0	1

Μετά τη χρήση της μεθόδου CPM οι δραστηριότητες που απαρτίζουν την κρίσιμη διαδρομή των δραστηριοτήτων είναι οι εξής:

Πίνακας 4: Οι δραστηριότητες της κρίσιμης διαδρομής

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
A	Εγγραφή Της Εταιρείας
B	Εκτίμηση Της Δυνατότητας Σύνδεσης Με Το Ηλεκτρικό Δίκτυο, Το Νερό Κ.Λπ.
C	Πιθανή Προσαρμογή Του Δικτύου Που Πρόκειται Να Συνδεθεί
G	Επιλέγοντας Τη Σωστή Τοποθεσία
J	Δημόσιες Διαβουλεύσεις
K	Σχέδιο Απόκτησης Πρώτων Υλών
L	Διαπραγματεύσεις Με Προμηθευτές Πρώτων Υλών
M	Επιχειρηματικό Σχέδιο- Αξιολόγηση Των Οικονομικών Αναγκών Για Το Έργο
O	Επιχειρηματικό Σχέδιο- Απόκτηση Κεφαλαίων
R	Επιχειρηματικό Σχέδιο- Εκτιμήσεις Κερδοφορίας, Ανάλυση Αγοράς Και Στρατηγική
S	Τελικό Επιχειρηματικό Σχέδιο
Z	Απόκτηση Τραπεζικής Υπόσχεσης
AA	Αίτηση Στο Σχετικό Ταμείο Της ΕΕ

AB	Αίτηση Στο Σχετικό Περιφερειακό Ταμείο Προστασίας Του Περιβάλλοντος
AC	Ανανέωση Του Οικονομικού Σχεδίου Μετά Από Εξέταση Των Αιτήσεων Για Χρηματοδότηση
AO	Κατάλογος Προμηθευτών Των Κύριων Στοιχείων Του Τεχνολογικού Εξοπλισμού
AR	Πληρωμή Προκαταβολών Για Παραγγελθέντα Εξοπλισμό
AK	Δήλωση Έναρξης (Έναρξης) Οικοδομικών Εργασιών
AS	Παραγγελία Συμπαράγωγής
AZ	Οργάνωση Παράδοσης Δομικών Υλικών Και Εξοπλισμού
BA	Οργάνωση Παράδοσης Πρώτων Υλών Για Την Κατασκευή Εργοστασίων
BB	Εξασφάλιση Σχεδίου Κατασκευής, Κατασκευή Κατασκευαστικού Γραφείου
BC	Ανασκαφικές Εργασίες
BD	Συνεννόηση Με Γεωδαίτη
BE	Κατασκευή Θεμελίωσης
BG	Τεχνικές Προδιαγραφές Εδάφους Και Θεμελίωσης Για Την Εκτέλεση Και Την Παραλαβή Των Εργασιών
BF	Προετοιμασία Του Πυθμένα Του Χωνευτηρίου
BH	Κατασκευή Δεξαμενής Χωνευτηρίου
BJ	Κατασκευές Από Οπλισμένο Σκυρόδεμα/Κατασκευές Από Χάλυβα (Συμπεριλαμβανομένων Δεξαμενών) Τεχνικές Προδιαγραφές Εκτέλεσης Και Αποδοχής Εργασιών
BL	Κατασκευή Θήκης Αερίου
BO	Τοποθέτηση Της Μόνωσης
BP	Κατασκευή Ηλεκτρολογικών Και Τηλετεχνικών Εγκαταστάσεων
BR	Τεχνικές Προδιαγραφές Για Την Εκτέλεση Και Αποδοχή Τεχνολογικών Εγκαταστάσεων
BT	Εγκατάσταση Του Τεχνολογικού Μέρους Της Μονάδας Βιοαερίου
BW	Σύνδεση Της Μονάδας Βιοαερίου Με Το Δίκτυο Θερμότητας
BY	Γενικές Τεχνικές Προδιαγραφές Εκτέλεσης Και Αποδοχής Εργασιών
BZ	Τελική Πληρωμή
CA	Πρόσληψη Εργαζομένων
CB	Προετοιμασία Για Πρόσληψη Υπαλλήλων Και Δημιουργία Τεκμηρίωσης
CC	Εκπαίδευση Υπαλλήλων
CD	Ξηρή Δοκιμή Μονάδας Βιοαερίου
CF	Λειτουργεί Τροφοδοτώντας Βακτήρια
CH	Έναρξη Λειτουργίας Της Μονάδας Βιοαερίου
CI	Σύνδεση Στο Δίκτυο

Πίνακας 5: Οι δραστηριότητες της κρίσιμης διαδρομής κατηγοριοποιημένες

Εργασιακά	Οργανωτικά	Διαδικαστικά-Πολιτικά-Νομικά	Οικονομικά-Αγορές	Κατασκευαστικά-Τεχνικά
Προσλήψεις υπαλλήλων	Εγγραφή της εταιρείας	Δημόσιες διαβουλεύσεις	Λήψη τραπεζικής υπόσχεσης	Εξασφάλιση σχεδίου κατασκευής, κατασκευή κατασκευαστικού γραφείου
Προετοιμασία για πρόσληψη υπαλλήλων και δημιουργία τεκμηρίωσης	Εκτίμηση της δυνατότητας σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο, το νερό κ.λπ.	Δήλωση έναρξης οικοδομικών εργασιών	Υποβολή αίτησης στο σχετικό ταμείο της ΕΕ	Εκσκαφικές εργασίες
Εκπαίδευση υπαλλήλων	Πιθανή ρύθμιση του δικτύου που θα συνδεθεί	Τεχνικές προδιαγραφές για την εκτέλεση και αποδοχή τεχνολογικών εγκαταστάσεων	Υποβολή αίτησης στο σχετικό περιφερειακό ταμείο προστασίας του περιβάλλοντος	Συνεννόηση με γεωδαίτη
	Επιλέγοντας τη σωστή τοποθεσία	Γενικές τεχνικές προδιαγραφές εκτέλεσης και παραλαβής εργασιών	Ανανέωση του οικονομικού σχεδίου μετά από εξέταση αιτήσεων για χρηματοδότηση	Κατασκευή θεμελίωσης
	Σχέδιο απόκτησης πρώτων υλών	Ξηρή δοκιμή μονάδας βιοαερίου	Πληρωμή προκαταβολών για παραγγελθέντα εξοπλισμό	Τεχνικές προδιαγραφές εδάφους και θεμελίωσης για την εκτέλεση και την παραλαβή των εργασιών
	Διαπραγματεύσεις με προμηθευτές πρώτων υλών		Παραγγελία συμπαραγωγής	Προετοιμασία του πυθμένα του χωνευτηρίου
	Επιχειρηματικός σχεδιασμός-αξιολόγηση οικονομικών αναγκών για ένα έργο		Τελική πληρωμή	Κατασκευή δεξαμενής χωνευτή

Επιχειρηματικό σχέδιο- απόκτηση κεφαλαίων			Κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα/μεταλλικές κατασκευές
Επιχειρηματικό σχέδιο- εκτιμήσεις κερδοφορίας, ανάλυση αγοράς και στρατηγική			Κατασκευή θήκης υγραερίου
Τελικό επιχειρηματικό σχέδιο			Τοποθέτηση της μόνωσης
Κατάλογος προμηθευτών των κύριων στοιχείων τεχνολογικού εξοπλισμού			Κατασκευή ηλεκτρολογικών και τηλετεχνικών εγκαταστάσεων
Οργάνωση παράδοσης δομικών υλικών και εξοπλισμού			Εγκατάσταση του τεχνολογικού μέρους της μονάδας βιοαερίου
Οργάνωση παράδοσης πρώτων υλών για την κατασκευή εργοστασίων			Σύνδεση της μονάδας βιοαερίου με το δίκτυο θερμότητας
Έναρξη λειτουργίας της μονάδας βιοαερίου			Λειτουργεί τροφοδοτώντας βακτήρια
Σύνδεση στο δίκτυο			

Ο συνολικός αριθμός δραστηριοτήτων της κρίσιμης διαδρομής είναι 44 δραστηριότητες και ο απαραίτητος χρόνος για δραστηριότητες στην κρίσιμη διαδρομή είναι 97 εβδομάδες.

4.2. Χρονικός προγραμματισμός με τη μέθοδο PERT

Για την εφαρμογή της μεθόδου PERT ορίζονται με O, P οι οπτιμιστικοί και απαισιόδοξοι χρόνοι ολοκλήρωσης μιας δραστηριότητας, ενώ με P η πιθανή διάρκεια ολοκλήρωσης της, όπως χρησιμοποιήθηκε στη μέθοδο CPM.

Σχετικά με δραστηριότητες με πολύ μεγάλη διακύμανση μεταξύ των Οπτιμιστικών και των Απαισιόδοξων χρόνων όπως π.χ. η A, C, J, Z, η διακύμανση φαίνεται να οφείλεται στο ότι οι εργασίες αυτές είναι κυρίως γραφειοκρατικές και απαιτούν συνεργασία μεταξύ του φορέα κατασκευής και φορέων του δημοσίου, γεγονός το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε πολύ μεγάλες καθυστερήσεις.

Πίνακας 6: Η εφαρμογή της μεθόδου PERT

ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ	ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ	O	P	M	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	EST	EFT	LST	LFT	SLACK
A		1	16	2	4,17	0,00	4,17	0,00	4,17	0,00
B	A	6	16	6	7,67	4,17	11,83	4,17	11,83	0,00
C	B	1	24	2	5,50	11,83	17,33	11,83	17,33	0,00
D	A	1	1	1	1,00	4,17	5,17	15,33	16,33	11,17
E	D	1	1	1	1,00	5,17	6,17	16,33	17,33	11,17
F	A	1	1	1	1,00	4,17	5,17	16,33	17,33	12,17
G	A, B, E	1	2	1	1,17	17,33	18,50	17,33	18,50	0,00
H	J	1	2	1	1,17	23,17	24,33	33,67	34,83	10,50
I	H	1	2	1	1,17	18,50	19,67	34,83	36,00	16,33
N	I	2	3	2	2,17	19,67	21,83	36,00	38,17	16,33
P	N	1	3	1	1,33	21,83	23,17	38,17	39,50	16,33
J	G	8	35	8	12,50	18,50	31,00	18,50	31,00	0,00
K	J	1	1	1	1,00	31,00	32,00	31,00	32,00	0,00
L	K	2	4	3	3,00	32,00	35,00	32,00	35,00	0,00
M	L	1	2	1	1,17	35,00	36,17	35,00	36,17	0,00
O	M	2	3	2	2,17	36,17	38,33	36,17	38,33	0,00
R	O	1	2	1	1,17	38,33	39,50	38,33	39,50	0,00
S	N, R	1	2	1	1,17	39,50	40,67	39,50	40,67	0,00
T	S	2	4	2	2,33	40,67	43,00	60,50	62,83	19,83
U	S	2	4	2	2,33	40,67	43,00	60,50	62,83	19,83
W	S	2	4	2	2,33	40,67	43,00	60,50	62,83	19,83
Y	S	2	4	2	2,33	40,67	43,00	60,50	62,83	19,83
Z	S	4	12	6	6,67	40,67	47,33	40,67	47,33	0,00
AA	S	4	12	6	6,67	40,67	47,33	40,67	47,33	0,00
AB	S	4	12	6	6,67	40,67	47,33	40,67	47,33	0,00
AC	S	1	2	1	1,17	47,33	48,50	47,33	48,50	0,00
AO	AC	1	2	1	1,17	48,50	49,67	48,50	49,67	0,00
AR	AO	1	2	1	1,17	49,67	50,83	49,67	50,83	0,00
AD	AM	2	3	2	2,17	49,00	51,17	64,67	66,83	15,67

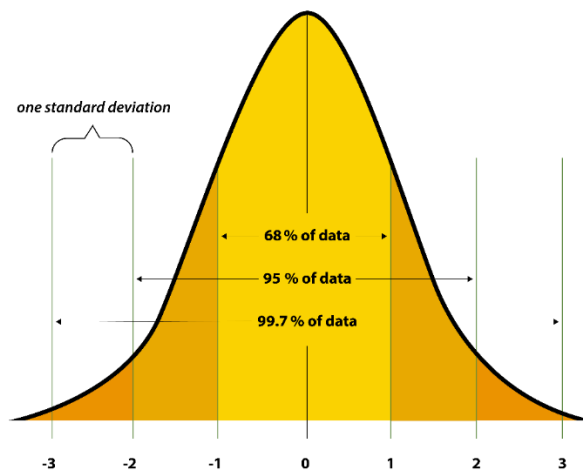
Χρονικός Προγραμματισμός και Κοστολόγηση Έργου Κατασκευής Μονάδας Βιοαερίου σε Κτηνοτροφική Μονάδα για
Ευέλικτη Ηλεκτροπαραγωγή

AE	AD	2	3	2	2,17	51,17	53,33	66,83	69,00	15,67
AF	AD	2	2	2	2,00	51,17	53,17	66,83	68,83	15,67
AG	AE, AF	1	1	1	1,00	53,17	54,17	68,83	69,83	15,67
AH	T, U, W, Y	2	4	2	2,33	43,00	45,33	62,83	65,17	19,83
AI	AH	2	3	2	2,17	45,33	47,50	65,17	67,33	19,83
AJ	AG	1	1	1	1,00	54,17	55,17	69,83	70,83	15,67
AK	AJ, AN, AZ, BA	1	1	1	1,00	70,83	71,83	70,83	71,83	0,00
AN	AL	1	1	1	1,00	50,00	51,00	69,83	70,83	19,83
AL	AM	1	1	1	1,00	49,00	50,00	68,83	69,83	19,83
AM	AI	1	4	1	1,50	47,50	49,00	67,33	68,83	19,83
AP	AR	2	3	2	2,17	50,83	53,00	67,67	69,83	16,83
AS	AR	18	24	18	19,00	50,83	69,83	50,83	69,83	0,00
AT	AR	10	16	12	12,33	50,83	63,17	57,50	69,83	6,67
AU	AR	10	16	12	12,33	50,83	63,17	57,50	69,83	6,67
AW	AR	4	8	6	6,00	50,83	56,83	57,17	63,17	6,33
AY	AR	8	12	14	12,67	50,83	63,50	57,17	69,83	6,33
AZ	AP, AS, AT, AU, AW, AY	1	1	1	1,00	69,83	70,83	69,83	70,83	0,00
BA	AP, AS, AT, AU, AW, AY	1	1	1	1,00	69,83	70,83	69,83	70,83	0,00
BB	AK	1	3	1	1,33	70,83	72,17	70,83	72,17	0,00
BC	BD	2	3	2	2,17	73,17	75,33	73,17	75,33	0,00
BD	BB	1	1	1	1,00	72,17	73,17	72,17	73,17	0,00
BE	BC	1	1	1	1,00	75,33	76,33	75,33	76,33	0,00
BG	BE	1	1	1	1,00	76,33	77,33	76,33	77,33	0,00
BF	BG	1	1	1	1,00	77,33	78,33	77,33	78,33	0,00
BH	BF	3	4	3	3,17	78,33	81,50	78,33	81,50	0,00
BI	BG	1	3	2	2,00	77,33	79,33	82,50	84,50	5,17
BJ	BO	1	1	1	1,00	83,50	84,50	83,50	84,50	0,00
BK	BE	4	6	5	5,00	77,33	82,33	79,50	84,50	2,17
BL	BG	2	3	2	2,17	77,33	79,50	77,33	79,50	0,00
BM	BG	3	5	4	4,00	77,33	81,33	78,67	82,67	1,33
BN	BM	1	2	2	1,83	81,33	83,17	82,67	84,50	1,33
BO	BH, BI, BL	2	2	2	2,00	81,50	83,50	81,50	83,50	0,00
BP	BJ, BK, BN	4	5	4	4,17	84,50	88,67	84,50	88,67	0,00
BU	BS	2	2	2	2,00	96,83	98,83	92,83	94,83	4,00
BS	BP	2	2	2	2,00	94,83	96,83	94,00	96,00	0,83
BR	BT	3	3	3	3,00	91,83	94,83	91,83	94,83	0,00
BT	BP	4	3	3	3,17	88,67	91,83	88,67	91,83	0,00
BW	BR, BU	1	2	1	1,17	94,83	96,00	94,83	96,00	0,00
BY	BW	1	1	1	1,00	96,00	97,00	96,00	97,00	0,00

BZ	BY	1	1	1	1,00	97,00	98,00	97,00	98,00	0,00
CA	CB	1	2	1	1,17	99,17	100,33	99,17	100,33	0,00
CB	BZ	1	2	1	1,17	98,00	99,17	98,00	99,17	0,00
CC	CA	1	2	1	1,17	100,33	101,50	100,33	101,50	0,00
CD	CC	1	3	2	2,00	101,50	103,50	101,50	103,50	0,00
CE	CC	2	2	1	1,33	101,50	102,83	102,17	103,50	0,67
CF	CE, CD	6	9	7	7,17	103,50	110,67	103,50	110,67	0,00
CG	CC	1	2	1	1,17	101,50	102,67	109,67	110,83	8,17
CH	CG, CF	1	1	1	1,00	110,67	111,67	110,67	111,67	0,00
CI	CH	1	2	2	1,83	111,67	113,50	111,67	113,50	0,00

Η κρίσιμη διαδρομή προέκυψε ίδια με τη μέθοδο CPM. Ο χρόνος ολοκλήρωσης υπολογίζεται ως το άθροισμα των μέσων τιμών των δραστηριοτήτων που ανήκουν στην κρίσιμη διαδρομή και υπολογίστηκε να είναι σημαντικά μεγαλύτερος από το αποτέλεσμα της μεθόδου CPM (113,5 εβδομάδες), λόγω των μεγάλων διακυμάνσεων μεταξύ οπτιμιστικών και απαισιόδοξων χρόνων σε συγκεκριμένες δραστηριότητες.

4.3. Υπολογισμός της πιθανότητας ολοκλήρωσης του έργου σε $113,5 \pm 10$ εβδομάδες



Διάγραμμα 4: Καμπύλη κανονικής κατανομής (University of North Carolina, 2008)

Ορίζουμε το επιθυμητό χρονικό διάστημα ολοκλήρωσης του έργου 10 εβδομάδες νωρίτερα, ενώ με τη χρήση της αναμενόμενης συνολικής διάρκειας του έργου TE και την τυπική απόκλιση γίνεται ο υπολογισμός της βοηθητικής μεταβλητής Z:

$$Z = \frac{D - TE}{\sqrt{TV^2}} = \frac{103,5 - 113,5}{\sqrt{7,3^2}} = -1,37$$

Παρατηρούμε ότι σύμφωνα με τον πίνακα κανονικής κατανομής η πιθανότητα ολοκλήρωσης του έργου σε λιγότερο από 103,5 εβδομάδες, είναι 8,53%.

Εν συνεχεία για το επιθυμητό χρονικό διάστημα να είναι αυξημένο κατά 10 εβδομάδες από την αναμενόμενη διάρκεια του έργου:

$$Z = \frac{D - TE}{\sqrt{TV^2}} = \frac{123,5 - 113,5}{\sqrt{7,3^2}} = 1,37$$

Και σύμφωνα με τον πίνακα κανονικής κατανομής η πιθανότητα ολοκλήρωσης του έργου σε λιγότερο από 123,5 εβδομάδες, από αυτό που υπολογίστηκε, είναι 91,47%.

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα

Στην παρούσα έρευνα μελετήθηκε και εφαρμόστηκε ο χρονικός προγραμματισμός του προτεινόμενου έργου κατασκευής επεξεργαστή βιομάζας και παραγωγής βιοαερίου, στην επαρχία Uthrusk της Πολωνίας. Η μονάδα θα έχει ισχύ 240kW και κύριο σκοπό να εξυπηρετεί την πειραματική φάρμα Uthrusk, που ανήκει στο Φυσικό Πανεπιστήμιο του Λουμπλιν. Η συλλογή στοιχείων και τεχνικών προδιαγραφών πραγματοποιήθηκε από αρμόδια εταιρία υλοποίησης παρόμοιων έργων.

Στην προκειμένη μελέτη, για την εύρεση της χρονικής διάρκειας του έργου, μέσω της ανάδειξης της κρίσιμης διαδρομής του, χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι, η CPM και η PERT. Πιο συγκεκριμένα, στη μέθοδο CPM επιχειρείται να βρεθεί το κρίσιμο μονοπάτι (η διαδρομή με ελάχιστη διάρκεια) μεταξύ των δραστηριοτήτων, χρησιμοποιώντας τη διάρκεια της κάθε δραστηριότητας, ενώ στη μέθοδο PERT η διάρκεια εκτιμάται με οπτιμιστικούς και πεσιμιστικούς χρόνους. Μέσω της μεθόδου CPM, βρέθηκε ότι η χρονική διάρκεια του έργου κατασκευής θα είναι 97 εβδομάδες, ενώ με τη μέθοδο PERT προέκυψε 113,5 εβδομάδες, χρησιμοποιώντας το ίδιο κρίσιμο μονοπάτι.

Ωστόσο, λόγω του ότι στο κομμάτι της κατασκευής και των άλλων διεργασιών πριν τη λειτουργία της μονάδας υπάρχει πάντα ο αστάθμητος παράγοντας της επικράτησης συνθηκών που δεν μπορούν να προβλεφθούν στο στάδιο του σχεδιασμού, όπως παραδείγματος χάριν υγειονομικές κρίσεις, ακραία καιρικά φαινόμενα, γεωπολιτικές εξελίξεις, είναι πιθανές καθυστερήσεις στο χρονοδιάγραμμα, οπότε και αναγκαία η ύπαρξη περιθωρίων ασφάλειας.

Η μέθοδος PERT, έδωσε αυξημένη χρονική διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου συγκριτικά με τη μέθοδο CPM, καθώς εισάγει στους υπολογισμούς την αβεβαιότητα στο χρόνο ολοκλήρωσης των δραστηριοτήτων. Το συγκεκριμένο έργο περιέχει πολλές, χρονοβόρες και αλληλεξαρτημένες δραστηριότητες, με αποτέλεσμα την απαίτηση σημαντικά μεγάλου χρονικού για την ολοκλήρωση του. Οι χρονικές διάρκειες, όπως υπολογίστηκαν σε αυτή την έρευνα, είναι σημαντικά υψηλότερες από ότι σε άλλες έρευνες που μελετούν αντίστοιχες περιπτώσεις με αυτές τις μεθόδους. Η διαφορά αυτή μπορεί να οφείλεται στις διαφοροποιήσεις (Οικονομικές, Νομικές, Εργατικές) μεταξύ κρατών.

Στο σύγχρονο οικονομικό περιβάλλον το κέρδος μιας ταχύτερης κατασκευής είναι πολλάπλο. Ένα έργο με ελαχιστοποιημένο χρόνο υλοποίησης καταφέρνει παράλληλα να ελαχιστοποιήσει τα διαχειριστικά κόστη, τις οικονομικές της ανάγκες και δαπάνες καθώς και τα ρίσκα επενδυτικών αποφάσεων.

Στην παρούσα διατριβή, ωστόσο, εντοπίστηκαν και ορισμένες αδυναμίες. Αρχικά, οι διάρκειες των διαδικασιών, όπως δόθηκαν, μπορεί να διαφέρουν στην επαρχία Uthrusk, λόγω διαφορών σε γεωλογικά, καιρικά, διοικητικά και οικονομικά κριτήρια. Επιπλέον, είναι αρκετά συχνό το ενδεχόμενο υπολογιστικού σφάλματος και επομένως τα αποτελέσματα να μην είναι τόσο αξιόπιστα. Όσον αφορά τη βιβλιογραφία, διακρίνεται μεγάλη ανάγκη για τον περαιτέρω εμπλουτισμό της, με έρευνες που θα αφορούν τόσο τη διαχείριση, όσο και το χρονικό προγραμματισμό έργων κατασκευής μονάδων επεξεργασίας βιομάζας, με σκοπό τη μελλοντική δυνατότητα εξαγωγής πιο έγκυρων και αξιόπιστων συμπερασμάτων. Συμπερασματικά, η διαχείριση και η σωστή εφαρμογή χρονικού προγραμματισμού σε ένα έργο που στοχεύει στη βιωσιμότητα και στην αειφόρο ανάπτυξη μπορεί να επιφέρει πολύτιμα αποτελέσματα και τις βάσεις για τη μετέπειτα ορθή κατασκευή και διαχείριση, τέτοιου είδους, μελλοντικών έργων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Badurek, C., 2023. Biogas. *Encyclopedia Britannica*.
- Bentley, J., 2012. Modeling a solar-heated anaerobic digester for the developing world using system dynamics.
- Bikash, T., Tarek, R., Kaur Brar, S. & Surampalli, K. B., 2021. Critical insights into psychrophilic anaerobic digestion: Novel strategies for improving biogas production. Στο: *Waste Management*., pp. 513-526.
- Bramorski, T., 2010. Trends In Green Agribusiness: A Look At Anaerobic Digesters. *Journal of Business & Economics Research (JBER)*.
- Czekala, W., Jasinski, T. & Dach, J., 2023. Profitability of the agricultural biogas plants operation in Poland, depending on the substrate use model. *ENERGY REPORTS*, pp. 196-203.
- Dach, J. et al., 2022. The energetic and economic analysis of demand-driven biogas plant investment possibility in dairy farm.
- Department of Finance, 2023. *Introduction to project management*, London: Department of Finance.
- Environmental Protection Agency, 2023. *Recovering Value from Waste*, AgSTAR.
- European Biogas Association, 2023. *Poland: Expanded biogas target can be obtained*.
- Grando, R. L., Fonseca, F. V. & Antunes, A. M. d. S., 2017. Mapping of the Use of Waste as Raw Materials for Biogas Production. *Journal of Environmental Protection*.
- Hamilton, D., 2017. Anaerobic Digestion of Animal Manures: Types of Digesters.
- Hansen, C. & Cheong, D., 2013. Handbook of Farm, Dairy, and Food Machinery Engineering. Στο: *Agricultural Waste Management in Food Processing*. Cambridge.
- Homan, E., Shaw, M., Bartlett, H. & Persson, S., 2023. Biogas from Manure. *PennState Extension*.
- IEA, 2020. *Outlook for biogas and biomethane: Prospects for organic growth*, Paris: IEA.
- International Trade Administration, 2022. *POLAND ENERGY BIOGAS*, Washington, DC.
- Islam, M. A., Mamun, A. & Hassan, S., 2024. Project Schedule for the Construction of a Biogas Plant Through Critical Path Method. *Frontiers*.
- Jain, S., 2019. *Global Potential of Biogas*, World Biogas Association.
- Khalid, A. και συν., 2011. The anaerobic digestion of solid organic waste. *Waste Management* 31, pp. 1737-1744.
- Khare, V., Khare, C., Nema, S. & Barendar, P., 2019. *Tidal Energy Systems Design, Optimization and Control*.

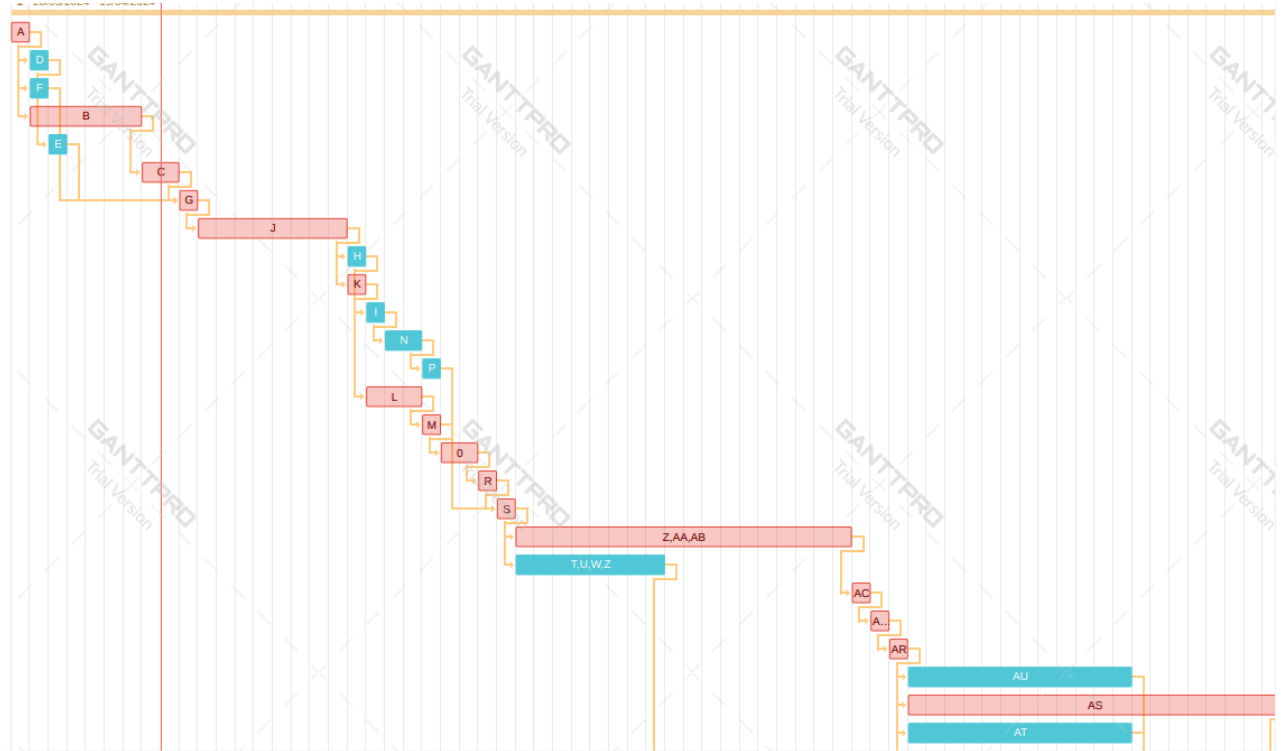
- Kotagodahetti, R., Hewage, . K., Razi, F. & Sadiq, R., 2023. Comparative life cycle environmental and cost assessments of renewable natural gas production pathways. *Energy Conversion and Management*.
- Kozłowski, K. και συν., 2019. Energetic and economic analysis of biogas plant with using the dairy industry. *Energy*.
- Macor, A. & Alberto, B., 2020. A Human Health Toxicity Assessment of Biogas Engines Regulated and Unregulated Emissions. *MDPI*.
- Massara, T. και συν., 2017. A review on nitrous oxide (N₂O) emissions during biological nutrient removal from municipal wastewater and sludge reject water. *PubMed*.
- Mateescu, C. & Constantinescu, I., 2010. Environmental hazards and anaerobic treatment of wastewaters generated in alcohol industry. *Environmental Engineering and Management Journal*.
- Mazlum, M. & Guneri, A. F., 2015. CPM, PERT and Project Management With Fuzzy Logic Technique and Implementation On A Business. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, pp. 348-347.
- Meegoda, J. N., Li, B., Patel, K. & Wang, L. B., 2018. A Review of the Processes, Parameters, and Optimization of Anaerobic Digestion. *International Journal of Environmental Research and Public Health*.
- Mertins, A. & Wawer, T., 2022. How to use biogas?: A systematic review of biogas utilization pathways and business models. *Bioresources and Bioprocessing*.
- Nigussie, A., Kindeya, G., Ataklti, . T. & Nerea, H., 2017. Links between biogas technology adoption and health status of households in rural Tigray, Northern Ethiopia. *Energy Policy*, pp. 284-292.
- O'Connor, S. et al., 2021. Biogas production from small-scale anaerobic digestion plants on European farms. Στο: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Pochwatka, P. και συν., 2023. The energetic and economic analysis of demand-driven biogas plant investment possibility in dairy farm. *Energy*.
- Project Management Institute, 2017. *A GUIDE TO THE PROJECT MANAGEMENT BODY OF KNOWLEDGE*.
- Rahman, . M., Faizal, H. M., Saat, A. & Wahid, M., 2017. Economics of biogas plants and solar home systems: For household energy applications. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*.
- Romulo, J. . H. G. και συν., 2020. Forming clusters based on strategic partnerships and circular economy for biogas production: A GIS analysis for optimal location. *Biomass and Bioenergy*.
- Saracevic, E. και συν., 2020. Economic and Technical Evaluation of Flexible Power Generation Scenarios for a Biogas Plant. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water*, pp. 328-343.
- Schäfer, D., Britz, W. & Kuhn, T., 2017. Flexible Load of Existing Biogas Plants: A Viable Option to Reduce Environmental Externalities and to Provide Demand-driven Electricity?. *GJAE 66*.

- Smith, P., 2016. Soil carbon sequestration and biochar as negative emission technologies. *Global Change Biology*, pp. 1315-1324.
- Stürmer, B., F. T. & Sarasevic, E., 2021. Opportunities for the integration of existing biogas plants into the Austrian electricity market. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Tanigawa, S., 2017. Fact Sheet | Biogas: Converting Waste to Energy. *EESI*.
- Uddin, M. N. και συν., 2021. Prospects of Bioenergy Production From Organic Waste Using Anaerobic Digestion Technology: A Mini Review. *Frontiers*.
- University of North Carolina, 2008. Sampling Distributions for Counts and Proportions. *Freeman and Company*.
- University of Waterloo, 2024. *University of Waterloo*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://uwaterloo.ca/ist-project-management-office/methodologies/project-management/planning/work-breakdown-structure/wbs-benefits>
- Verma, S., 2002. Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solid Wastes. *Columbia University*.
- Wang, J., Chai, Y., Shao, . Y. & Qian, X., 2021. Techno-economic Assessment of Biogas Project: a Longitudinal Case Study from Japan. *Resources, Conservation & Recycling* .
- Werkneh, A. A., 2022. Biogas impurities: environmental and health implications, removal technologies and future perspectives. *Heliyon*.
- World Biogas Association, 2019. *Global Potential of Biogas*, World Biogas Association.
- Zareei, S., 2018. Project scheduling for constructing biogas plant using critical path method. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 756-759.
- Γενικό Λογιστήριο της Δημοκρατίας, 2018. *Οδηγός Βέλτιστων Πρακτικών*, Γενικό Λογιστήριο της Δημοκρατίας.
- Καρφάκη, Ε., 2021. *ΧΡΟΝΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΕΡΓΩΝ ΤΠΕ*. Πελοπόννησο: Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου.
- Μελισσαροπούλου, Β., 2022. *ΧΡΟΝΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΥΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΑΡΠΗΣΣΑ ΠΑΡΟΥ*. Χανιά
- Τριανταφυλλίδης, Α., 2018. *Αξιοποίηση αστικών οργανικών αποβλήτων προς παραγωγή ενέργειας*. Θεσσαλονίκη

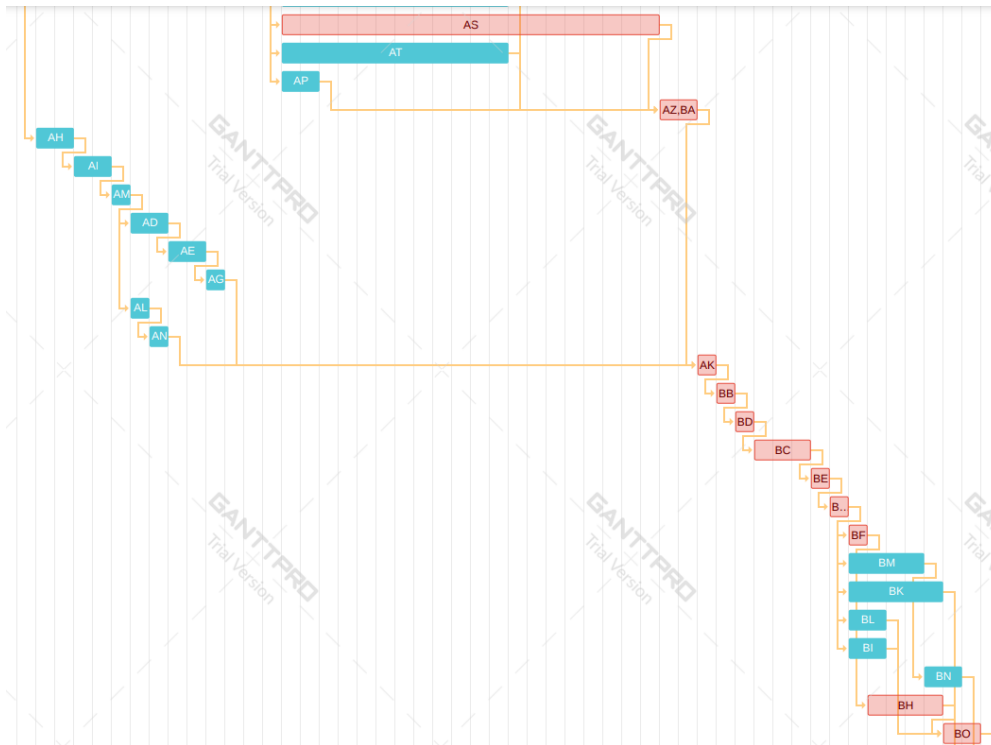
Παραρτήματα

Το διάγραμμα Gantt δημιουργήθηκε μέσω του ιστότοπου GanttPRO

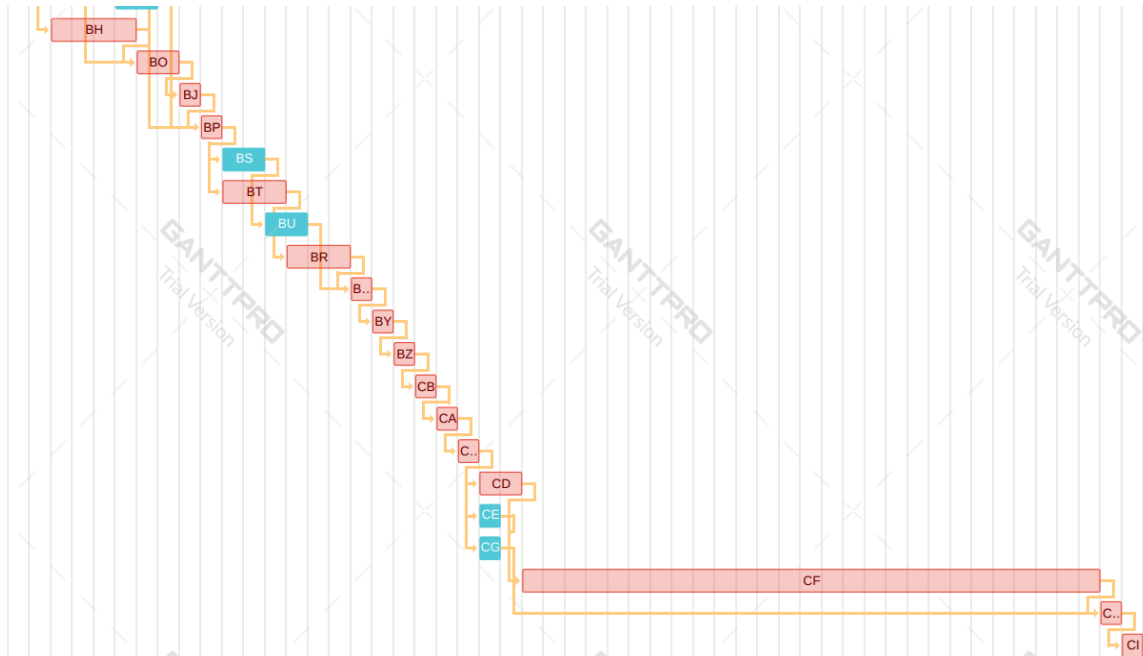
Διάγραμμα 5: Διάγραμμα Gantt- Μέρος 1



Διάγραμμα 6: Διάγραμμα Gantt- Μέρος 2



Διάγραμμα 7: Διάγραμμα Gantt- Μέρος 3



Πίνακας 7: Πίνακας τιμών κανονικής κατανομής

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