



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*«Μελέτη τεχνολογιών για την ενεργειακή
αξιοποίηση απορριμμάτων στο δήμο
Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης»*

*«Study of waste treatment technologies for
energy recovery in the municipality of Vari-
Voula-Vouliagmeni»*

Του Μεταπτυχιακού Φοιτητή

Θανόπουλου Σωτήρη

Επιβλέπων

Καρέλλας Σωτήριος, Αναπληρωτής Καθηγητής,
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ

Πρόλογος-Ευχαριστίες

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π., κ. Καρέλλα Σωτήριο για τη δυνατότητα που μου παρείχε να ασχοληθώ με την παρούσα διπλωματική εργασία καθώς και για την γενικότερη εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου. Η αφοσίωση στο αντικείμενό του αποτέλεσε και αποτελεί για μένα πηγή έμπνευσης και κίνητρο να συνεχίσω να προσπαθώ για το καλύτερο.

Ιδιαίτερη αναφορά οφείλω επίσης να κάνω στην συνεισφορά του κ. Δημήτριου-Σωτηρίου Κουρκούμπα, Επιστημονικού Συνεργάτη του Ε.Κ.Ε.Τ.Α./Ι.Δ.Ε.Π. και υποψήφιου διδάκτορα του ΕΜΠ, σχετικά με την καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές που μου παρείχε καθ'όλη τη διάρκεια διεξαγωγής της μελέτης.

Τέλος, πολύτιμη ήταν η βοήθεια των υποψήφιων διδασκάλων του ΕΜΠ Δημήτρη Γκριμέκη και Κωνσταντίνου Μπραϊμάκη σε τεχνικά κυρίως θέματα που αφορούσαν τη συγγραφή της συγκεκριμένης διπλωματικής. Τους ευχαριστώ θερμά για την ανιδιοτελή υποστήριξή τους σε οτιδήποτε και αν χρειάστηκα.

*Σωτήρης Θανόπουλος,
Αθήνα, Σεπτέμβριος 2017*

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	7
Abstract.....	9
Κατάλογος Ακρωνυμίων	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	13
Η έννοια της διαχείρισης των ΑΣΑ.....	13
1.1 Εισαγωγή στην έννοια των Αστικών Στερεών Απορριμμάτων.....	13
1.2 Η υφιστάμενη κατάσταση διαχείρισης ΑΣΑ σε επίπεδο δήμων.....	14
1.3 Ευρωπαϊκό και Ελληνικό Θεσμικό πλαίσιο διαχείρισης ΑΣΑ.....	15
1.4 Εθνικοί στόχοι στη διαχείριση αποβλήτων	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	23
Γενικά για τον δήμο BBB.....	23
2.1 Παραγωγή ΑΣΑ στο δήμο BBB.....	23
2.2 Υφιστάμενη διαχείριση των ΑΣΑ στο δήμο BBB	25
2.2.1 Σύμμεικτα Απορρίμματα: Οικιακά - Κλαδέματα – Ογκώδη.....	25
2.2.2 Ανακυκλώσιμα απόβλητα	27
2.2.3 Αδρανή και διαχείριση αποβλήτων εναλλακτικής διαχείρισης.....	28
2.3 Ετήσιο λειτουργικό κόστος από την υφιστάμενη διαχείριση των απορριμμάτων στο δήμο BBB	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	35
Εξέταση τεχνολογιών ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ για το δήμο BBB	35
3.1 Προτεινόμενες τεχνολογίες για την επεξεργασία των ΑΣΑ στο δήμο BBB.....	35
3.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε τεχνολογίας	36
3.2.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αποτέφρωσης ΑΣΑ	36
3.2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αεριοποίησης ΑΣΑ.....	37
3.2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αναερόβιας χώνευσης ΑΣΑ	38
3.3 Οικονομική αξιολόγηση κάθε τεχνολογίας.....	39
3.4 Πολυκριτηριακή ανάλυση των προτεινόμενων τεχνολογιών ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ για το δήμο BBB	40
3.4.1 Κριτήρια αξιολόγησης τεχνολογιών.....	40
3.4.2 Πρόταση μελέτης-Επιλογή καταλληλότερης τεχνολογίας.....	41
3.4.3 Κρίσιμα σημεία κατά τη διαδικασία λήψης της τελικής απόφασης	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	45

Γενικές πληροφορίες για την τεχνολογία της αναερόβιας χώνευσης	45
4.1 Ορισμός και Διεργασία αναερόβια χώνευσης.....	45
4.2 Περιγραφή τυπικής μονάδας αναερόβιας χώνευσης οργανικού κλάσματος απορριμμάτων	49
4.3 Κατηγοριοποίηση μεθόδων και συστημάτων αναερόβιας χώνευσης	50
4.4 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις αναερόβιας χώνευσης	53
4.4.1 Επιπτώσεις στον αέρα.....	53
4.4.2 Επιπτώσεις στα νερά.....	54
4.4.3 Επιπτώσεις στο έδαφος	54
4.5 Ενεργειακή αξιοποίηση του βιοαερίου.....	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	57
Η προτεινόμενη μονάδα εναλλακτικής διαχείρισης ΑΣΑ στο δήμο BBB... 57	57
5.1 Τα επιμέρους τμήματα λειτουργίας της μονάδας	57
5.2 Σχεδιασμός και Λειτουργία ολοκληρωμένης εγκατάστασης Αναερόβιας Χώνευσης του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ.....	58
5.2.1 Χώρος υποδοχής ΑΣΑ δήμου BBB	58
5.2.2 Μηχανική προ-επεξεργασία ΑΣΑ δήμου BBB	58
5.2.3 Αναερόβια αποδόμηση οργανικού κλάσματος	60
5.2.4 Κομποστοποίηση και Ραφινάρισμα χωνεμένης ιλύς.....	61
5.3 Επιλογή τύπου αναερόβιας χώνευσης.....	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	69
Τεχνοοικονομική ανάλυση.....	69
6.1 Μεθοδολογία εργασίας	69
6.2 Παραδοχές και επισημάνσεις	71
6.3 Εκτίμηση για τα κόστη επένδυσης και λειτουργίας της μονάδας Μηχανικής επεξεργασίας ΑΣΑ (MTF).....	73
6.3.1 Επενδυτικά Κόστη μονάδας μηχανικού διαχωρισμού.....	74
6.3.2 Λειτουργικά Κόστη μονάδας μηχανικού διαχωρισμού	78
6.4 Εκτίμηση για τα κόστη επένδυσης και λειτουργίας της μονάδας Αναερόβιας χώνευσης οργανικού κλάσματος ΑΣΑ (BTF).....	81
6.4.1 Επενδυτικά Κόστη μονάδας αναερόβιας χώνευσης.....	82
6.4.2 Λειτουργικά Κόστη μονάδας αναερόβιας χώνευσης.....	85
6.5 Οικονομικά στοιχεία προτεινόμενης MBT μονάδας.....	88
6.5.1 Συνολικά Επενδυτικά και Λειτουργικά κόστη	88
6.5.2 Έλεγχος ορθότητας εξαχθέντων αποτελεσμάτων.....	90

6.6 Υπολογισμός παραγόμενης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας	91
6.6.1 Παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου (m^3/tn).....	92
6.6.2 Θερμογόνος δύναμη παραγόμενου βιοαερίου (MJ/m^3)	94
6.6.3 Ηλεκτρικός & Θερμικός βαθμός απόδοσης εγκατάστασης	95
6.7 Έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο	97
6.8 Έσοδα από την πώληση των ανακυκλώσιμων υλικών.....	98
6.9 Υπολογισμός νέου κόστους αποκομιδής των απορριμμάτων (διαδικασίες συλλογής, μεταφοράς και εναπόθεσης)	101
6.9.1 Άμεσοι δείκτες συλλογής και μεταφοράς των σύμμεικτων απορριμμάτων στη σχεδιαζόμενη μονάδα.....	101
6.9.2 Νέο άμεσο κόστος ταφής στο ΧΥΤΑ (υπολείμματα και ογκώδη)	103
6.9.3 Άμεσοι δείκτες μεταφοράς αποβλήτων συσκευασίας προς ανακύκλωση	104
6.9.4 Έμμεσοι δείκτες αποκομιδής ΑΣΑ.....	106
6.10 Οικονομική αποτίμηση εναλλακτικής διαχείρισης ΑΣΑ στο δήμο BBB	107
6.10.1 Συνολικά ετήσια κόστη για την περίοδο 2018-2023.....	107
6.10.2 Υπολογισμός Οικονομικών δεικτών	108
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	113
Ενδεικτική χωροθέτηση MBT εγκατάστασης	113
7.1 Βασικά πλαίσια της συμφωνίας μεταξύ δήμου BBB και υπουργείου Αμύνης	113
7.2 Παρουσίαση πλάνου χωροθέτησης της εγκατάστασης.....	115
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8	119
Επίλογος	119
8.1 Συμπεράσματα	119
8.2 Προτάσεις για μελλοντική εργασία.....	120
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	123
<i>Ισοζύγια μάζας στην προτεινόμενη μονάδα αναερόβιας χώνευσης</i>	<i>123</i>
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ	125
<i>Η τεχνολογία BNL και η αποτέφρωση με χρήση ORC</i>	<i>125</i>
B.1 Τεχνολογία BNL	125
B.2 Μονάδα καύσης με οργανικό κύκλο Rankine (Πανεπιστήμιο Αιγαίου).....	133
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ.....	141
<i>Οικονομικά στοιχεία για παρόμοιες μονάδες αναερόβιας χώνευσης στην Ελλάδα (Πηγή: Μεσόγειος Α.Ε.)</i>	<i>141</i>
Βιβλιογραφικές Αναφορές.....	143

Περίληψη

Το βασικό αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι ο σχεδιασμός και η οικονομική αποτίμηση μιας ολοκληρωμένης εγκατάστασης ενεργειακής αξιοποίησης των Αστικών Στερεών Αποβλήτων του δήμου Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης (BBB). Η εξεταζόμενη τεχνολογία είναι η αναερόβια χώνευση του μηχανικά διαχωριζόμενου βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος των σύμμεικτων απορριμμάτων. Η συγκεκριμένη βιολογική μέθοδος φαίνεται να ξεχωρίζει σε σχέση με άλλες θερμικές μεθόδους τόσο από τεχνοοικονομικής όσο και από περιβαλλοντικής άποψης.

Στο **πρώτο κεφάλαιο**, έπειτα από μια μικρή εισαγωγή γύρω από έννοιες που σχετίζονται άμεσα με τα αστικά απορρίμματα, περιγράφεται συνοπτικά η υφιστάμενη κατάσταση διαχείρισής τους στα πλαίσια της Τοπικής Αυτοδιοίκησης. Παρουσιάζονται, επίσης, οι σημαντικότερες αρχές που διέπουν το σχετικό Ευρωπαϊκό και Ελληνικό νομοθετικό πλαίσιο βάσει του οποίου προωθείται η υιοθέτηση εναλλακτικών μεθόδων επεξεργασίας ΑΣΑ έτσι ώστε να επιτευχθεί η σταδιακή εγκατάλειψη των πρακτικών διάθεσης.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο**, παρατίθενται τα υπάρχοντα δεδομένα σχετικά με την ποιοτική και ποσοτική σύσταση του συνόλου των παραγόμενων απορριμμάτων στο δήμο BBB. Επιπλέον, καταγράφεται αφενός το ετήσιο υφιστάμενο λειτουργικό κόστος που απορρέει από τις διαδικασίες συλλογής, μεταφοράς και εναπόθεσης των δημοτικών ΑΣΑ και αφετέρου η αναμενόμενη αναδιαμόρφωσή του εξαιτίας της προβλεπόμενης επιβολής ειδικού τέλους ταφής στο άμεσο μέλλον.

Στο **τρίτο κεφάλαιο**, παρουσιάζονται οι καινοτόμες τεχνολογίες επεξεργασίας αποβλήτων που εξετάζονται για την εναλλακτική διαχείριση των ΑΣΑ στο δήμο BBB. Ανάμεσα στις υποψήφιες επιλογές είναι η καύση, η αεριοποίηση και η αναερόβια χώνευση. Στη συνέχεια, ονοματίζονται εν συντομία τα βασικά πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα και οικονομικά χαρακτηριστικά της κάθε μιας καθώς και τα κριτήρια με βάση τα οποία λαμβάνεται η τελική απόφαση ως προς την καταλληλότερη μέθοδο.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο**, γίνεται αναφορά στα κυριότερα χαρακτηριστικά της προκρινόμενης τεχνολογίας της Αναερόβιας Χώνευσης του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ ως προς την αρχή λειτουργίας της, τις παραμέτρους απόδοσής της αλλά και την περιβαλλοντική της συμπεριφορά. Επίσης, συνοψίζεται το σύνολο των εμπορικά διαθέσιμων παραλλαγών ενώ αναφέρονται επιγραμματικά και τα επιμέρους λειτουργικά στάδια μιας ολοκληρωμένης εγκατάστασης παραγωγής βιοαερίου.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο**, περιγράφεται ο θεωρούμενος τρόπος λειτουργίας καθώς και οι βασικές δυνατότητες της μονάδας επεξεργασίας σύμμεικτων απορριμμάτων που μελετάται. Επιπλέον, αναλύεται το σκεπτικό με βάση το οποίο επιλέγεται ο τύπος της χώνευσης που θα εφαρμοστεί για την αναερόβια βιοαποδόμηση του οργανικού υποστρώματος καθώς και τα οφέλη που συνεπάγονται από την υιοθέτηση της συγκεκριμένης πρότασης.

Στο **έκτο κεφάλαιο**, διεξάγεται λεπτομερής τεχνοοικονομική ανάλυση για το σύνολο της μονάδας διαχείρισης των ΑΣΑ. Αρχικά, πραγματοποιούνται ορισμένες βασικές παραδοχές καθώς και επισημάνσεις σχετικά με την μεθοδολογία που εφαρμόζεται για την εξαγωγή των απαραίτητων οικονομικών αποτελεσμάτων. Στη συνέχεια, ερευνώνται τα επενδυτικά και λειτουργικά κόστη για τις επιμέρους μονάδες μηχανικής και βιολογικής επεξεργασίας, έτσι ώστε συμπεριλαμβανομένου και των εσόδων από την πώληση των ανακτηθέντων υλικών και της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας να διαμορφωθεί το τελικό ετήσιο κόστος που απορρέει από τη λειτουργία της μονάδας. Τέλος, επιχειρείται η αναδιαμόρφωση των δαπανών για τη συλλογή, μεταφορά και εναπόθεση των ΑΣΑ, ως άμεση συνέπεια της υλοποίησης του έργου, προκειμένου να προκύψει μια πλήρη εικόνα για το συνολικό κόστος εναλλακτικής διαχείρισης απορριμμάτων στο δήμο BBB. Οικονομικής φύσεως δείκτες που φανερώνουν τα επίπεδα βιωσιμότητας της μονάδας επίσης υπολογίζονται.

Στο **έβδομο κεφάλαιο**, συνοψίζονται τα βασικά σημεία της συμφωνίας μεταξύ του δήμου BBB και του Υπουργείου Εθνικής Άμυνας σχετικά με την παραχώρηση έκτασης κοντά στη Στρατιωτική Σχολή Ευελπίδων για την κατασκευή των εγκαταστάσεων διαχείρισης των ΑΣΑ. Επιπρόσθετα, προτείνεται ένα πλάνο χωροθέτησης για τα επιμέρους στάδια επεξεργασίας αποβλήτων της μονάδας μέσω της κατάλληλης τοποθέτησης των αντίστοιχων διατάξεων εντός του διαθέσιμου οικοπέδου.

Στο **όγδοο και τελευταίο κεφάλαιο**, παρουσιάζονται τα εξαγόμενα συμπεράσματα έπειτα από την ολοκλήρωση της μελέτης καθώς και ορισμένες προτάσεις για μελλοντική εργασία.

Abstract

The main object of this postgraduate work is the design and economic evaluation of an integrated energy recovery installation via the treatment of Municipal Solid Waste produced into the municipality of Vari-Voula-Vouliagmeni (VVV). The examined technology is anaerobic digestion of mechanically separated biodegradable fraction of mixed waste. This biological process appears to stand out in comparison with other thermal processes from both a techno-economic and an environmental point of view.

In the first chapter, after a brief introduction about meanings directly related to urban waste, the current management situation at local and regional level is summarized. The main principles governing the European and Greek legislative framework are also presented under which the adoption of alternative MSW treatment methods is promoted so as to achieve a gradual abandonment of disposal practices.

The second chapter lists the available data on the qualitative and quantitative composition of total waste generated in the municipality BBB. Additionally, both the current annual operating cost resulting from the collection, transportation and disposal of MSW as well as its expected reconfiguration due to the planned imposition of special burial fees in the near future, are recorded.

In the third chapter, the innovative waste treatment technologies considered for the alternative management of MSW in municipality of VVV are presented. Among the candidate options are incineration, gasification and anaerobic digestion. Moreover, the main advantages, disadvantages and economic characteristics of each are briefly illustrated together with the criteria based on which the final decision is taken concerning the most appropriate method.

The fourth chapter refers to the major characteristics of preferred technology of anaerobic digestion of the organic fraction of MSW regarding its principle of operation, the performance parameters and the environmental behavior. Additionally, all commercially available variants are summarized and the individual operating stages of a complete biogas plant are outlined.

In the fifth chapter, the proposed operation mode and the basic features of the reviewed mixed waste treatment facility are described. Furthermore, the followed reasoning basis on which the most applicable type of fermentation for the anaerobic biodegradation of the organic substrate is chosen as well as the benefits accruing from the adoption of this proposal are analyzed.

In the sixth chapter, a detailed techno-economic analysis is carried out for the whole MSW management project. Initially, some basic assumptions are made as well as observations on the methodology used to extract the necessary financial results. Subsequently, the investment and operating costs for both mechanical and biological treatment sub-

facilities are investigated in order to form the final annual cost arising from the operation of the plant, including the revenues from the sale of recovered materials and generated electricity. Finally, the remodeling of costs for collection, transportation and disposal of MSW, as a direct consequence of the project implementation is attempted for the purpose of providing a complete picture of the total cost of alternative waste management in the municipality of VVV. Economic indicators which show the viability levels of the plant are also calculated.

The seventh chapter includes a summary of the key points of the agreement between the municipality of VVV and the Ministry of National Defense as concerns the concession of an area near the Hellenic Army Academy for the construction of all the set of MSW management facilities. Additionally, a site location plan is proposed for the individual waste processing stages of the plant via the suitable installation of the corresponding devices along the available land.

Finally, the eighth and last chapter presents the conclusions drawn after the completion of the thesis and some suggestions for future research.

Κατάλογος Ακρωνυμίων

BTF = Biological Treatment Facility

CLO = Compost Like Output

CHP = Combined Heat and Power

DEFRA = Department of Environment Food and Rural Affairs

DPBP = Discounted Payback Period

EURITS = European Union for Responsible Incineration and Treatment Special Waste

IRR = Internal rate of return – εσωτερικός βαθμός απόδοσης

MBT = Mechanical Biological Treatment

MTF = Mechanical Treatment Facility

NPV = Net Present Value

PCTF = Post-Composting Treatment Facility

RDF = Refuse Derived Fuel

SPBP = Simple Payback Period

SRF = Solid Recovered Fuel

ΑΕΠΟ = Απόφαση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων

ΑΠΕ = Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

ΑΣΑ = Αστικά Στερεά Απόβλητα

ΒΑΑ = Βιοαποικοδομήσιμα Απόβλητα

ΒΒΒ = Βάρη-Βούλα-Βουλιαγμένη

ΕΕ = Ευρωπαϊκή Ένωση

Ε.Ε.Α.Α. = Ελληνική Εταιρεία Αξιοποίησης και Ανακύκλωσης

ΕΚΑ = Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων

ΕΣΔΑ = Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων

ΚΔΑΥ = Κέντρο Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών

ΚΥΑ = Κοινή Υπουργική Απόφαση

ΜΒΕ = Μηχανική Βιολογική Επεξεργασία

ΜΕΑ = Μονάδα Ενεργειακής Αξιοποίησης

ΜΕΚ = Μηχανή Εσωτερικής Καύσης

ΜΠΕ = Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων

ΟΤΑ = Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης

ΠΕΣΔΑ = Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων

ΡΑΕ = Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας

ΣΗΘ = Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού-Θερμότητας

ΣΜΑ = Σταθμός Μεταφόρτωσης Αποβλήτων

ΦοΔΣΑ = Φορέας Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων

ΧΑΔΑ = Χώροι Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων

ΧΥΤΑ = Χώρος Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων

ΧΥΤΥ = Χώρος Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Η έννοια της διαχείρισης των ΑΣΑ

1.1 Εισαγωγή στην έννοια των Αστικών Στερεών Απορριμμάτων

Σήμερα, ο όρος Αστικά Στερεά Απορρίμματα χρησιμοποιείται για να περιγράψει αφενός τα απόβλητα που προέρχονται από την οικιακή δραστηριότητα και αφετέρου τα απόβλητα που προσομοιάζουν λόγω σύστασης ή φύσεως με τα οικιακά αλλά παράγονται στα πλαίσια είτε εμπορικών και άλλων συναφών δραστηριοτήτων είτε λειτουργίας ιδρυμάτων όπως είναι οι στρατιωτικές μονάδες, τα σχολεία και τα νοσοκομεία. Επιπλέον, στην κατηγορία των αστικών αποβλήτων συμπεριλαμβάνονται διάφορα ογκώδη απόβλητα (στρώματα, έπιπλα κ.α.), υπολείμματα κήπων (φύλλα, κλαδέματα, κηπευτικά κ.α.) καθώς και απόβλητα που προκύπτουν από τον καθαρισμό των δρόμων. [1],[2]

Στην πραγματικότητα, τα αστικά απορρίμματα αποτελούν ένα ιδιαίτερα ετερογενές μίγμα υλικών του οποίου η ποιοτική και ποσοτική σύνθεση συνιστά μια δυναμική παράμετρο που μεταβάλλεται τόσο ως προς τον τόπο όσο και ως προς τον χρόνο.

Τοπικά, η σύσταση των Αστικών Στερεών Απορριμμάτων (ΑΣΑ) μπορεί να διαφοροποιείται έντονα όχι μόνο από χώρα σε χώρα αλλά και μέσα στην ίδια χώρα, από περιφέρεια σε περιφέρεια και από περιοχή σε περιοχή. Χρονικά, η σύσταση των αποβλήτων εμφανίζει επίσης διαχρονικές μεταβολές από έτος σε έτος, από εποχή σε εποχή αλλά ακόμη και από ημέρα σε ημέρα της εβδομάδας.

Πολλοί παράγοντες είναι εκείνοι που υπεισέρχονται και αποτελούν αφορμή για τις τοπικές και χρονικές μεταβολές που εμφανίζονται στην ποιότητα των ΑΣΑ με τις καταναλωτικές και διατροφικές συνήθειες των κατοίκων της περιοχής, τις προτιμώμενες συσκευασίες και το σύνολο των δραστηριοτήτων τους να είναι οι κυριότεροι. [2],[3]

Με βάση μια σειρά δειγματοληψιών και αναλύσεων που έχουν πραγματοποιηθεί στο πέρασμα των χρόνων, μια δόκιμη κατηγοριοποίηση των επιμέρους συστατικών των αστικών αποβλήτων οφείλει να περιλαμβάνει τις εξής ομάδες υλικών:

- Ζυμώσιμα: Περιλαμβάνονται τα υπολείμματα κουζίνας (τροφών) και κήπου.
- Χαρτί: Περιλαμβάνονται τα πάσης φύσεως χαρτιά και χαρτόνια που προέρχονται κυρίως από έντυπο υλικό και συσκευασίες προϊόντων.
- Μέταλλα: Περιλαμβάνεται το σύνολο των μεταλλικών υλικών. Είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός σε σιδηρούχα και μη σιδηρούχα μέταλλα (αλουμίνιο), κυρίως λόγω της μαγνητικής ιδιότητας των πρώτων. Σε ορισμένες αναλύσεις εξετάζονται ως ξεχωριστή υποκατηγορία και οι μπαταρίες λόγω της σχετικά υψηλότερης επικινδυνότητάς τους.
- Γυαλί: Όσον αφορά την ανακύκλωση, γίνεται διαχωρισμός σε λευκό, καφέ και πράσινο γυαλί, καθώς η παραγωγή καφέ και λευκού απαιτεί υαλότριμμα μόνο του ίδιου χρώματος.

- Πλαστικό: Περιλαμβάνεται το σύνολο των πολυμερών αποβλήτων. Χαρακτηριστικό της κατηγορίας αυτής είναι η έντονη ανομοιογένειά της, λόγω των πολλών χρησιμοποιούμενων πολυμερών (π.χ. PVC, PE, PP, PS, PET, ABS, κ.λπ.).
- Δέρμα-Ξύλο-Λάστιχο-Ύφασμα: Χαρακτηρίζονται ως λοιπά καύσιμα.
- Αδρανή: Περιλαμβάνονται χημικά ανενεργά υλικά που καταλήγουν στα οικιακά απόβλητα (π.χ. χρώματα, πέτρες, κ.λπ.).
- Λοιπά: Στο κλάσμα αυτό καταλήγουν τα υλικά εκείνα που δε μπορούν να κατανεμηθούν σε καμία από τις άλλες κατηγορίες.

Ιδιαίτερη αναφορά θα πρέπει να γίνει και για τις επικίνδυνες ουσίες (υδράργυρος, μόλυβδος, κάδμιο, χρώμιο, βρώμιο) που εντοπίζονται πολλές φορές στα αστικά στερεά απόβλητα με αποτέλεσμα να καταλήγουν στους κοινούς πράσινους κάδους αποκομιδής.

Μάλιστα, σε πολλές περιπτώσεις, η έλλειψη περιβαλλοντικής συνείδησης σε συνδυασμό με την ελλιπή ενημέρωση των πολιτών έχει ως αποτέλεσμα τα επικίνδυνα αυτά υλικά που ενσωματώνονται στα ρεύματα των αστικών αποβλήτων να οδηγούνται τελικώς προς ταφή, ενώ στην πραγματικότητα θα έπρεπε να συλλέγονται ξεχωριστά και να υπόκειται σε ειδική επεξεργασία για την αντιμετώπιση των τοξικών, διαβρωτικών, εύφλεκτων ακόμα και καρκινογόνων χημικών ενώσεων από τις οποίες απαρτίζονται [2].

1.2 Η υφιστάμενη κατάσταση διαχείρισης ΑΣΑ σε επίπεδο δήμων

Σήμερα, τόσο η ελάττωση των επιπέδων παραγωγής απορριμμάτων όσο και η εναλλακτική και συνάμα αποτελεσματική διαχείρισή τους αποτελεί μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις σε ολόκληρο τον πλανήτη. Σύμφωνα με την **Ευρωπαϊκή Οδηγία-Πλαίσιο 2008/98/ΕΚ (ΟΠΑ) [4]**, η διαχείριση των ΑΣΑ εμπερικλείει το σύνολο των ενεργειών που σχετίζονται με την παραγωγή, την προσωρινή αποθήκευση, τη συλλογή, τη μεταφορά/μεταφόρτωση, την επεξεργασία/ανάκτηση καθώς και την τελική τους διάθεση. [2],[3]

Στην εγχώρια πραγματικότητα, η διαχείριση των αστικών απορριμμάτων έχει οικονομικές, κοινωνικές, πολιτικές και περιβαλλοντικές προεκτάσεις μιας και αφορά το σύνολο της κοινωνίας από τους διάφορους θεσμικούς κρατικούς φορείς (Υπουργεία, Περιφέρειες, ΟΤΑ-ΦοΔΣΑ) και τους επαγγελματίες (επιστήμονες, μελετητές, εργολήπτες) μέχρι τους απλούς πολίτες. Σε γενικές γραμμές, η Ελλάδα υστερούσε και εξακολουθεί να υστερεί σημαντικά σε σχέση με την υπόλοιπη Ευρώπη τόσο σε επίπεδο υποδομών όσο και σε επίπεδο ευαισθητοποίησης και συμμετοχής των πολιτών [2].

Ειδικότερα, σε επίπεδο δήμων, η μέχρι στιγμής ακολουθούμενη πρακτική έγκειται στην εναπόθεση των συλλεγόμενων δημοτικών στερεών αποβλήτων τους σε χώρους υγειονομικής ταφής (**ΧΥΤΑ**). Οι Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης (**ΟΤΑ**) με την υποστήριξη των Περιφερειών επιφορτίζονται με την ευθύνη της συλλογής και μεταφοράς των αποβλήτων ενώ αντίθετα για την επεξεργασία και την τελική διάθεσή τους είναι υπεύθυνοι οι Φορείς Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (**ΦοΔΣΑ**) υποστηριζόμενοι από τις Περιφέρειες και τη κεντρική διοίκηση, αντίστοιχα. Παρόλα αυτά, το σύστημα διαχείρισης αποβλήτων για τους περισσότερους δήμους χαρακτηρίζεται ανεπαρκές, καθώς υπάρχουν

σοβαρές ελλείψεις σε εξοπλισμό και τεχνολογία, σε ανθρώπινο δυναμικό καθώς και σε χρηματοδότηση από το κράτος.

Επιπρόσθετα, η Ελληνική Εταιρεία Αξιοποίησης και Ανακύκλωσης (**ΕΕΑΑ**) είναι αρμόδια για την αξιοποίηση και ανακύκλωση των ΑΣΑ. Η ΕΕΑΑ, σε συνεργασία με τους Οργανισμούς Τοπικής Αυτοδιοίκησης, είναι υπεύθυνη για τη συλλογή (π.χ. διαθέτοντας μπλε τσάντες στα νοικοκυριά και τοποθετώντας μπλε κάδους στους ΟΤΑ), τη μεταφορά (με ειδικά οχήματα συλλογής) και διάθεση των ΑΣΑ σε ειδικά Κέντρα Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών (**ΚΔΑΥ**).

Γενικότερα, η περαιτέρω προώθηση της ανακύκλωσης και της αξιοποίησης των χρήσιμων υλικών που απορρίπτονται καθώς επίσης και του ζυμώσιμου κλάσματος των ΑΣΑ, διαμέσου της ανάκτησης του ενεργειακού τους περιεχομένου, κρίνεται απαραίτητη όχι μόνο λόγω των πολλαπλών θετικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που θα προκύψουν αλλά και επειδή θα συμβάλλουν στην μερική έστω απαλλαγή των ΟΤΑ και των Φορέων Διαχείρισης από την άμεση εξάρτηση που εμφανίζουν από την ταφή [2].

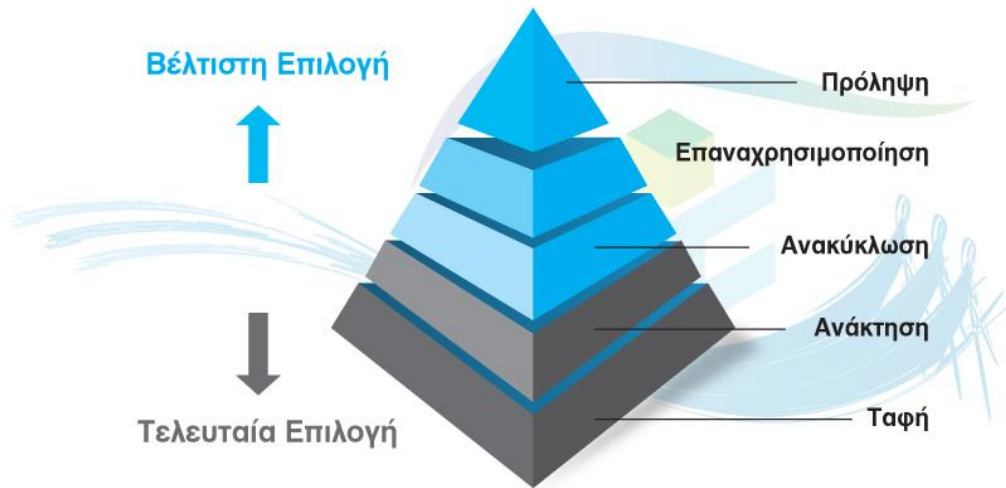
1.3 Ευρωπαϊκό και Ελληνικό Θεσμικό πλαίσιο διαχείρισης ΑΣΑ

Τα Εθνικά Σχέδια Διαχείρισης Αποβλήτων (**ΕΣΔΑ**) των 28 χωρών-μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) διεκπεραιώνονται με βάση τις αρχές που περιγράφονται στην «Ευρωπαϊκή Οδηγία-Πλαίσιο για τη Διαχείριση Αποβλήτων» (**ΟΠΑ**). Εν συντομία, η προαναφερθείσα οδηγία καθορίζει τα μέτρα εκείνα που θα πρέπει να εφαρμόζονται έτσι ώστε να κατορθώνεται η αποφυγή ή η μείωση των αρνητικών επιπτώσεων για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία από την παραγωγή και τη διαχείριση των αποβλήτων.

Επιπλέον, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην βελτιστοποίηση των διαδικασιών διαχείρισης όσον αφορά τους καταναλισκόμενους πόρους και την αποδοτικότητά τους. Επίσης, γίνεται αναφορά στην διευρυμένη ευθύνη του παραγωγού των αποβλήτων, στην αρχή «ο ρυπαίνων πληρώνει», στις αρχές της αυτάρκειας και της εγγύτητας καθώς και στην διαχείριση των επικίνδυνων αποβλήτων. Τέλος, περιγράφονται οι εργασίες διάθεσης και ανάκτησης ενώ θεσμοθετούνται και οι στόχοι ανακύκλωσης, ανάκτησης και ταφής. [3],[5]

Η ΟΠΑ ουσιαστικά αποτυπώνει και την συνολική πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης ως προς τη διαχείριση των ΑΣΑ μιας και εντός αυτής οι διάφορες εναλλακτικές επιλογές διαχείρισης των αποβλήτων κατατάσσονται με περιβαλλοντικά κριτήρια από «βέλτιστες» ως «χειρίστες» υπό μορφή ανεστραμμένης πυραμίδας.

Με βάση την επονομαζόμενη ως **ιεραρχία διαχείρισης των αστικών απορριμμάτων**, η πρόληψη των απόβλητων προβάλλει ως το ιδανικότερο σενάριο. Ό,τι δεν μπορεί να προληφθεί πρέπει να επαναχρησιμοποιείται, να ανακυκλώνεται και να ανακτάται όσο είναι εφικτό, ενώ η υγειονομική ταφή πρέπει να αποτελεί την έσχατη λύση αφού είναι η πιο επιβλαβής επιλογή για το περιβάλλον. [2],[3],[6]



Εικόνα 1.1: Ιεράρχηση διαχείρισης αστικών απορριμμάτων [7]

Στην Ελλάδα, η ΟΠΑ ενσωματώθηκε στο εθνικό Δίκαιο διαμέσου του **Νόμου 4042/2012** ο οποίος δημοσιεύεται στο **ΦΕΚ 24/Α/13.02.2012**. Από τον συγκεκριμένο νόμο εξαιρούνται η διαχείριση των λυμάτων, των ζωικών υποπροϊόντων και των αποβλήτων εξόρυξης και λατομίας. [5],[8]

Η ενσωμάτωση της παραπάνω κοινοτικής οδηγίας στο ελληνικό θεσμικό πλαίσιο αποτέλεσε και την αφετηρία για το ριζικό επαναπροσδιορισμό των αξόνων σχεδιασμού στον τομέα της διαχείρισης των ΑΣΑ, η ικανοποίηση των οποίων απαιτούσε και απαιτεί την άμεση λήψη πρωτοβουλιών και αποφάσεων τόσο από τους **Οργανισμούς Τοπικής Αυτοδιοίκησης (ΟΤΑ)** όσο και από τους αντίστοιχους **Φορείς Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (ΦοΔΣΑ)**.

Πιο συγκεκριμένα, οι Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης καθώς και οι Φορείς Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων καθίστανται πλέον ως οι βασικοί υπεύθυνοι για το σχεδιασμό αλλά και για τη λειτουργία των υφιστάμενων και προγραμματισμένων έργων. Επιπλέον, οι ΟΤΑ είναι αρμόδιοι για την ενεργοποίηση των πολιτών, η συμμετοχή των οποίων θα καθορίσει και το τελικό βαθμό αποτελεσματικότητας των έργων [2].

Στις διατάξεις του Νόμου 4042/2012, πέραν της ενσωμάτωσης των άρθρων της ΟΠΑ, περιλαμβάνονται, συν τοις άλλοις, κυρώσεις για φυσικά και νομικά πρόσωπα που δεν συμμορφώνονται με τις υποχρεώσεις που απορρέουν από αυτόν. Επιπλέον, προβλέπεται η επιβολή προστίμων προς τους Δήμους και τα νομικά πρόσωπα των Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης σε περιπτώσεις που διαπιστώνεται η λειτουργία Χώρων Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων (**ΧΑΔΑ**). Ταυτόχρονα, ορίζεται τόσο το **Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ)** με χρονικό ορίζοντα το έτος 2020 όσο και τα αντίστοιχα **Περιφερειακά Σχέδια Διαχείρισης Αποβλήτων (ΠΕΣΔΑ)** για τις 13 διοικητικές περιφέρειες της Ελλάδας.

Κάθε ΠΕΣΔΑ εκπονείται από τον αντίστοιχο Φορέα Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (**ΦοΔΣΑ**). Επιπλέον, καλούνται οι φορείς επεξεργασίας αποβλήτων όχι μόνο να διαθέτουν Άδεια Λειτουργίας αλλά και να λαμβάνουν Απόφαση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (**ΑΕΠΟ**), στην οποία περιλαμβάνεται η Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (**ΜΠΕ**).

Όσον αφορά τα βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα (**ΒΑΑ**), τίθενται δύο βασικοί στόχοι: Ο πρώτος στόχος αφορά στην ανέλιξη του ποσοστού της **χωριστής διαλογής των βιολογικών αποβλήτων σε επίπεδα τουλάχιστον του 5% επί του συνολικού τους βάρους έως το 2015 και σε ποσοστό τουλάχιστον του 10% έως το 2020**, με το αντίστοιχο συλλεχθέν κλάσμα να προορίζεται ως πρώτη ύλη για διαδικασίες κομποστοποίησης ή χώνευσης.

Ο δεύτερος στόχος αφορά τη **μείωση αυτών που καταλήγουν στους ΧΥΤΑ κατά 35% κ.β. σε σχέση με το έτος αναφοράς (1995)**. Η επίτευξη του συγκεκριμένου στόχου αφενός θα επιβραδύνει τον κορεσμό των ΧΥΤΑ και αφετέρου θα περιορίσει την αποσύνθεση των οργανικών αποβλήτων στους ΧΥΤΑ, η οποία είναι και υπεύθυνη για εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, δημιουργία στραγγισμάτων, δυσωδίας, κ.λπ. **[6],[9]**

Τέλος, στο **Άρθρο 43** (Παράγραφος 1) τον νόμου ορίζεται **ειδικό τέλος ταφής** για τους Οργανισμούς και τις Επιχειρήσεις που διαθέτουν σε χώρους ταφής συγκεκριμένους τύπους αποβλήτων που δεν έχουν υποστεί προηγουμένως άλλου τύπου επεξεργασία. Ειδικότερα, επισημαίνεται ως ανεπιθύμητη και τιμωρείται η διάθεση τόσο των δημοτικών αποβλήτων (βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα και σύμμεικτα) όσο και των αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις. Αντίθετα, *τα υπολείμματα από τις εργασίες επεξεργασίας των αποβλήτων δεν επιβαρύνονται με ειδικό τέλος ταφής κατά την διάθεσή τους σε Χώρο Υγειονομικής Ταφής (ΧΥΤ)*. **[8],[10]**

Ωστόσο, με το **Άρθρο 35** του **Ν.4447/2016**, η εφαρμογή της παραπάνω ρύθμισης αναστέλλεται μέχρι τις **31.12.2017**. Η αναστολή αυτή έρχεται ως συνέχεια των αντίστοιχων αναστολών που εμπεριέχονται στις διατάξεις του **Άρθρου 7** της από 24/12/2015 ΠΝΠ (Α' 182), η οποία κυρώθηκε με το άρθρο πρώτο του **Ν.4366/2016** (Α' 18) για το έτος 2016 και της παραγράφου 2 του **Άρθρου 77** του **Ν.4257/2014** (Α' 93) για το έτος 2015 **[10]**.

Πίνακας 1.1: Ευρωπαϊκή και Ελληνική νομοθεσία σχετικά με την διαχείριση των ΑΣΑ

Θέμα	Ευρωπαϊκή νομοθεσία	Ελληνική νομοθεσία
Διαχείριση στερεών αποβλήτων	Οδηγία 2008/98/ΕΚ	Νόμος 4042/2012 (ΦΕΚ 24/Α/13.02.2012)
Τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας σταθμών ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ	-	Νόμος 4254/2014 (ΦΕΚ 85/Α/7.04.2014)
Θέσπιση ΕΚΑ	Απόφαση 2000/532/ΕΚ	ΚΥΑ Η.ΠΙ 50910/2727 (ΦΕΚ 1909/Β/22.12.03)
Αποτέφρωση αποβλήτων	Οδηγία 2000/76/ΕΚ	ΚΥΑ 22/912/1117/2005 (ΦΕΚ 759/Β/06.06.2005)
Διάθεση - Υγειονομική ταφή	Οδηγία 1999/31/ΕΚ	ΚΥΑ 29407/3508/2002 (ΦΕΚ 1572/Β/16.12.2002) ΚΥΑ 4641/232/2006 (ΦΕΚ 168/Β/13.02.2006)
Απόβλητα συσκευασίας	Οδηγία 94/62/ΕΚ	ΥΑ 9268/469/2007 (ΦΕΚ 286/Β/2.03.2007) ΥΑ 54461/1779/Ε.103/2013 (ΦΕΚ 2500/Β/4.10.2013)
Απόβλητα Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΑΗΕΕ)	Οδηγία 2012/19/ΕΕ	ΠΔ 117/2004 (ΦΕΚ 82/Α/5.03.2004)
Απόβλητα φορητών Ηλεκτρικών Στηλών και Συσσωρευτών (ΗΣ&Σ)	Οδηγία 2006/66/ΕΚ	ΚΥΑ 41624/2057/2010 (ΦΕΚ 1625/Β/11.10.2010)

Συμπερασματικά, η δευτεροβάθμια τοπική αυτοδιοίκηση καλείται να δώσει γρήγορες και άμεσες απαντήσεις σε ένα πολύπλοκο ζήτημα όπως είναι η εναλλακτική διαχείριση των ΑΣΑ ακολουθώντας όσα προβλέπει το υπάρχον θεσμικό πλαίσιο και με τα χρονοδιαγράμματα που θέτουν οι Οδηγίες της Ε.Ε. να πιέζουν ασφυκτικά.

Με βάση την περιγράφουσα αυτή κατάσταση, καθίσταται αναγκαία η εκπόνηση και η υλοποίηση ενός ορθολογιστικού πλάνου διαχείρισης αστικών αποβλήτων εκ μέρους της εκάστοτε δημοτικής αρχής, η οποία θα κινείται γύρω από τρεις βασικούς άξονες δράσης:

- Στη διατύπωση γενικού σχεδίου.
- Στο ρυθμιστικό σύστημα και στο σύστημα ελέγχου.
- Στη διαθεσιμότητα κατάλληλων τεχνικών και εγκαταστάσεων διαχείρισης και διάθεσης, με σκοπό να υλοποιηθεί η επιλεγμένη πορεία για την διαχείριση των αποβλήτων.

Άλλωστε, σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης στερεών αποβλήτων, η διάθεση των ανεπεξέργαστων στερεών αποβλήτων σε χώρους υγειονομικής ταφής οφείλει να αποτελεί

την τελευταία εναλλακτική λύση καθώς συνεπάγεται σπατάλη πόρων που θα μπορούσαν να επαναχρησιμοποιηθούν ή να αξιοποιηθούν.

Τα τελευταία χρόνια, έχουν υπάρξει σημαντικά βήματα προόδου ως προς την εφαρμογή ολοκληρωμένων και συνάμα καινοτόμων συστημάτων διαχείρισης των αποβλήτων, εντός της ελληνικής επικράτειας. Παρόλα αυτά, εξακολουθεί να υπάρχει σημαντική υστέρηση σε σύγκριση με την υπόλοιπη Ευρώπη τόσο σε επίπεδο υποδομών όσο και σε επίπεδο ευαισθητοποίησης και συμμετοχής των πολιτών [2].

1.4 Εθνικοί στόχοι στη διαχείριση αποβλήτων

Οι εθνικοί στόχοι σχετικά με την διαχείριση των αποβλήτων προκύπτουν με βάση την αναπτυξιακή στρατηγική «Ευρώπη 2020» (Europe 2020 growth strategy) σε συνδυασμό με το **Πακέτο Κυκλικής Οικονομίας** (Circular Economy Package). [11],[12]

Πιο συγκεκριμένα, η στρατηγική «Ευρώπη 2020» προωθεί τους ακόλουθους περιβαλλοντικούς και ενεργειακούς στόχους:

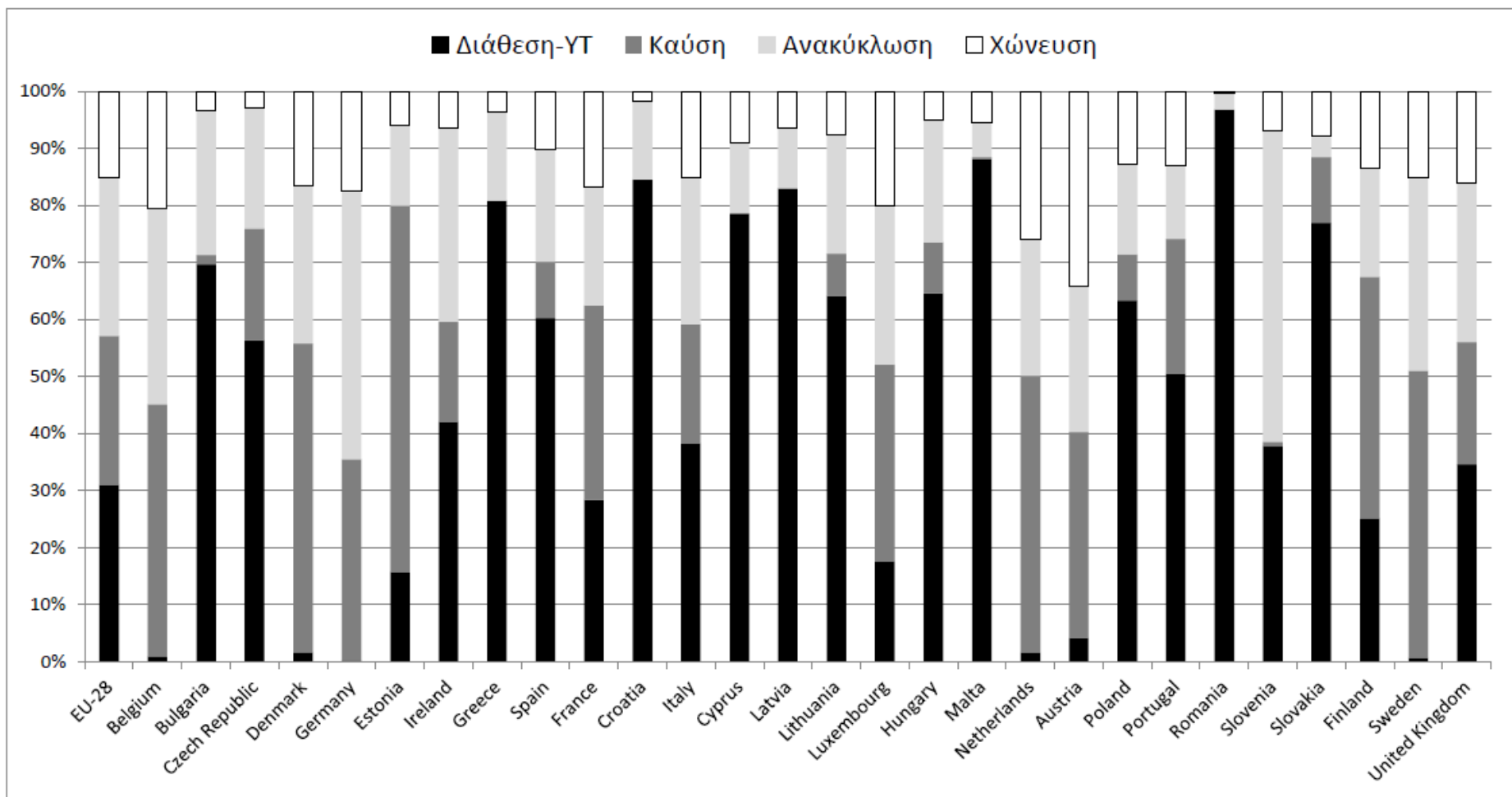
- ✓ Μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου κατά 20% (έως και 30% υπό κατάλληλες προϋποθέσεις) σε σχέση με το έτος 1990
- ✓ 20% παραγόμενη ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές
- ✓ 20% αύξηση στην ενεργειακή απόδοση

Από την άλλη πλευρά, ο περιβαλλοντικός στόχος του Πακέτου Κυκλικής Οικονομίας συνιστάται στη **μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂)** κατά 450 εκατομμύρια τόνους (tn) στο σύνολο των 28 χωρών που ανήκουν στην ΕΕ. Προς την κατεύθυνση αυτή, στις 2 Ιουλίου του 2014, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, ενέκρινε νομοθετική πρόταση και παράρτημα για την αναθεώρηση των στόχων επάνω στην διαχείριση των αστικών αποβλήτων όπως αυτοί περιγράφονται αναλυτικά στην ΟΠΑ αλλά και μέσω των Οδηγιών 1999/31/ΕΚ [9] για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων και 94/62/ΕΚ για τις συσκευασίες και τα απόβλητα συσκευασιών.

Μεταξύ άλλων, η πρόταση αυτή αποσκοπεί τόσο στην ενίσχυση της ανακύκλωσης όσο και στην απόκτηση πρόσβασης σε δευτερεύουσες πρώτες ύλες. Πιο συγκεκριμένα, θέτει τους ακόλουθους «φιλόδοξους» στόχους:

- Αύξηση της ανακύκλωσης των αστικών αποβλήτων σε ποσοστό 65% κατά βάρος επί του συνόλου αυτών μέχρι το 2030.
- Αύξηση της ανακύκλωσης των αποβλήτων συσκευασίας σε ποσοστό 75% κατά βάρος επί του συνόλου αυτών έως το 2030.
- Μείωση της υγειονομικής ταφής στο 10% κατά βάρος επί όλων των ρευμάτων των αποβλήτων έως το 2030.
- Απαγόρευση ταφής των χωριστά συλλεχθέντων αποβλήτων.
- Λήψη μέτρων για την προώθηση της βιομηχανικής συμβίωσης, της αξιοποίησης δηλαδή των παρελκόμενων προϊόντων (by-products) μιας βιομηχανίας ως πρώτη ύλη μιας άλλης βιομηχανίας.

Παρόλο που οι Ευρωπαϊκές κατευθύνσεις είναι πολύ σαφείς και έχουν νομοθετηθεί μέσω των ΕΣΔΑ σε όλα τα Κοινοβούλια της ΕΕ-28, η κατάσταση που επικρατεί στον τομέα της διαχείρισης των ΑΣΑ παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις. Το **Γράφημα 1.1** παρουσιάζει τις τεχνικές επεξεργασίας των ΑΣΑ που ακολουθεί κάθε κράτος-μέλος της ΕΕ-28, βάσει των πιο πρόσφατων στατιστικών στοιχείων της Eurostat [\[13\]](#).



Γράφημα 1.1: Διαχείριση ΑΣΑ στην ΕΕ-28, Έτος 2013 [13]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Γενικά για τον δήμο ΒΒΒ

2.1 Παραγωγή ΑΣΑ στο δήμο ΒΒΒ

Ο δήμος Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης (ΒΒΒ) εντάσσεται διοικητικά στην Περιφέρεια Αττικής (περιφερειακή ενότητα Ανατ. Αττικής). Έχει έκταση περίπου 33,94 km² και σύμφωνα με τα στοιχεία της απογραφής του 2011 φιλοξενεί περίπου 48.817 **κατοίκους**. Ο συγκεκριμένος δήμος προέκυψε από την εφαρμογή του Προγράμματος «Καλλικράτης» και ουσιαστικά δεν είναι τίποτα άλλο από την συνένωση των προϋπαρχόντων δήμων Βούλας, Βάρης και Βουλιαγμένης. Η μεγαλύτερη πληθυσμιακά Δημοτική Ενότητα είναι αυτή της Βούλας με μόνιμο πληθυσμό 28.314 κατοίκους, ακολουθεί η Βάρη με 15.744 κατοίκους και τέλος η Βουλιαγμένη με πληθυσμό 4.759 κατοίκους [14].



Εικόνα 2.1 : Στοιχειώδη χαρτογράφηση του Δήμου ΒΒΒ

Σήμερα, στον δήμο BBB παράγονται περίπου 34.500 τόνοι Αστικών Στερεών Αποβλήτων ετησίως, νούμερο που ισοδυναμεί με κατά κεφαλή παραγωγή ΑΣΑ 706,62 Kg/κάτοικο. Τα παραγόμενα ΑΣΑ έχουν κατά βάση τη μορφή σύμμεικτων αποβλήτων που προέρχονται είτε από τις οικιακές σακούλες σκουπιδιών είτε από διάφορες εμπορικές δραστηριότητες (καταστήματα, εστιατόρια κ.ά.) που παράγουν απόβλητα με σύσταση παρόμοια με εκείνη των οικιακών απορριμμάτων.

Γενικότερα, στο σύνολο των αστικών απορριμμάτων που καλούνται να διαχειριστούν οι φορείς αποκομιδής του δήμου εμπεριέχονται συνήθως οι εξής τύποι αποβλήτων: [1],[2]

- Κατάλοιπα κάθε φύσης, όπως οικιακά απορρίμματα, φύλλα, σκουπίσματα, χαρτιά που τοποθετούνται μέσα στις πλαστικές σακούλες.
- Απορρίμματα από εμπορικές εγκαταστάσεις και βιοτεχνίες, κτίρια γραφείων που τοποθετούνται επίσης σε σακούλες ή κάδους όπως τα οικιακά
- Κοπριές, αφυδατωμένες ιλύες, προϊόντα από καθαρισμούς δρόμων και δημοσίων χώρων, που συγκεντρώνονται σε μεγάλα δοχεία για την αποκομιδή τους.
- Κατάλοιπα από χώρους εκθέσεων αγορές, εορτές, κλπ , που συγκεντρώνονται επίσης σε μεγάλα δοχεία για την αποκομιδή τους.
- Απορρίμματα από σχολεία, στρατιωτικές εγκαταστάσεις, νοσοκομεία (πλην των μολυσματικών) που συγκεντρώνονται σε ειδικούς χώρους.
- Ογκώδη αντικείμενα

*Πίνακας 2.1: Συγκεντρωτικά στοιχεία για τα απορρίμματα στο δήμο Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης (*ΠΗΓΗ: ΕΛΣΝΑ - Οδηγός Σύνταξης Τοπικού Σχεδίου Αποκεντρωμένης Διαχείρισης Αποβλήτων) [14]*

Περιοχή	Σύμμεικτα (tn)	ΚΔΑΥ (tn)			Σύνολο ΑΣΑ (tn)	Ποσοστό Ανακύκλωσης
		Μεικτά	Υπόλειμμα	Καθαρά Ανακυκλώσιμα		
ΔΗΜΟΣ BBB	31.763,18	2.732,00	1.324,00	1.408,00	34.495,18	4,08%
Περιφέρεια Αττικής *	1.667.820,15	122.122,51	74.835,51	47.287,00	1.789.942,66	2,64%

Σημειώνεται ότι ο συγκεκριμένος δήμος θεωρείται από τους πλέον αραιοκατοικημένους σε σύγκριση με τους άλλους Δήμους της πρωτεύουσας ενώ παρουσιάζει το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό το 1/3 περίπου των παραγόμενων αποβλήτων του να είναι κλαδέματα και απόβλητα κήπων. Το φαινόμενο αυτό αιτιολογείται από το γεγονός ότι στο Δήμο BBB εντοπίζονται αρκετές εκτάσεις με πράσινο μιας και θεωρείται προάστιο της Αθήνας που βρίσκεται εκτός του αστικού ιστού.

Τέλος, ο δήμος Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης δεν θα μπορούσε να αποτελεί εξαίρεση από τις επιταγές του σύγχρονου τρόπου ζωής οι οποίες έχουν οδηγήσει στην ολοένα και μεγαλύτερη αύξηση του ρυθμού παραγωγής των απορριμμάτων, που παρατηρείται χρόνο με το χρόνο. Μάλιστα, το φαινόμενο αυτό ενισχύεται ακόμα περισσότερο αν αναλογιστεί

κανείς ότι στον συγκεκριμένο δήμο διαμένουν αρκετά άτομα υψηλών εισοδημάτων με υψηλό ακόμα επίπεδο κατανάλωσης.

2.2 Υφιστάμενη διαχείριση των ΑΣΑ στο δήμο BBB

Η ετήσια παραγωγή Αστικών Στερεών Απορριμμάτων (ΑΣΑ) στο δήμο Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης (BBB) ισούται με 34.495,18 tn/year. Κατά τις διαδικασίες αποκομιδής στην ευρύτερη περιοχή εντοπίζονται τέσσερεις βασικοί τύποι αποβλήτων: Οικιακά απόβλητα, Ογκώδη απόβλητα, Πράσινα απόβλητα και Ανακυκλώσιμα απόβλητα. [14]

- Τα **οικιακά απόβλητα** είναι ένα ανομοιογενές μίγμα απορριμμάτων με βασικότερο συστατικό τα βιοαποδομήσιμα υπολείμματα τροφών που προέρχονται από κουζίνες σπιτιών, μαγειρείων, εστιατορίων, εγκαταστάσεων μαζικής εστίασης και χώρων πωλήσεων λιανικής που βρίσκονται εντός του δήμου. Στο όλο μίγμα εμπεριέχονται και αδρανή απόβλητα (χώματα, πέτρες, απόβλητα εκσκαφών και οικοδομικών κατεδαφίσεων κ.λπ.)
- Τα **πράσινα απόβλητα** είναι κυρίως κλαδέματα καθώς και τα διάφορα φυτικά υπολείμματα που προκύπτουν από τις εργασίες συντήρησης και καθαρισμού των χώρων πρασίνων του δήμου (πλατείες, πεζοδρόμια, νησίδες, πάρκα, κήποι κ.α.)
- Τα **ογκώδη απόβλητα** περιλαμβάνουν κυρίως άχρηστες ηλεκτρικές συσκευές, παλιά έπιπλα και στρώματα, τζάμια, μεγάλου μεγέθους πλαστικά κτλ.
- Τα **ανακυκλώσιμα απόβλητα** είναι κυρίως απόβλητα συσκευασιών με πρώτη ύλη το χαρτί, το πλαστικό, το γυαλί και το αλουμίνιο. Εντάσσονται στο Εθνικό Πρόγραμμα Εναλλακτικής Διαχείρισης συσκευασιών, συλλέγονται στους μπλε κάδους του δήμου και οδηγούνται σε εγκαταστάσεις ανακύκλωσης και ανάκτησης υλικών.

2.2.1 Σύμμεικτα Απορρίμματα: Οικιακά - Κλαδέματα - Ογκώδη

Τα **σύμμεικτα απορρίμματα** αποτελούν ουσιαστικά το σύνολο των οικιακών, πράσινων και ογκωδών αποβλήτων που εναποτίθενται κατά τη διάρκεια του έτους στους **πράσινους** και **γκρι** κάδους του δήμου BBB. Από εκεί συλλέγονται μέσω των απορριμματοφόρων που ανήκουν στο στόλο καθαριότητας προκειμένου να οδηγηθούν στη συνέχεια για εναπόθεση στο **Χώρο Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων των Άνω Λιοσίων (ΧΥΤΑ Φυλής)**.

Τα ισοζύγια του Ειδικού Διαβαθμιδικού Συνδέσμου του Νομού Αττικής (**ΕΔΣΝΑ**) καθώς και η «Μελέτη Ολοκληρωμένου Συστήματος Διαχείρισης Απορριμμάτων για το Δήμο Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης», η οποία εκπονήθηκε κατά τα έτη 2012 και 2013, ανέδειξαν μια ετήσια δυναμικότητα για τα δημοτικά σύμμεικτα απόβλητα ίση με 31.763,18 tn/year.

Η **ποιοτική τους σύσταση**, μπορεί να αποτυπωθεί υπό τη μορφή ποσοστών, σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα: [14]

Πίνακας 2.2: Ποιοτική σύσταση των ΑΣΑ (πλην ανακυκλώσιμων) για το δήμο ΒΒΒ

ΟΙΚΙΑΚΑ	ΚΛΑΔΕΜΑΤΑ	ΟΓΚΩΔΗ
59 %	32 %	9 %

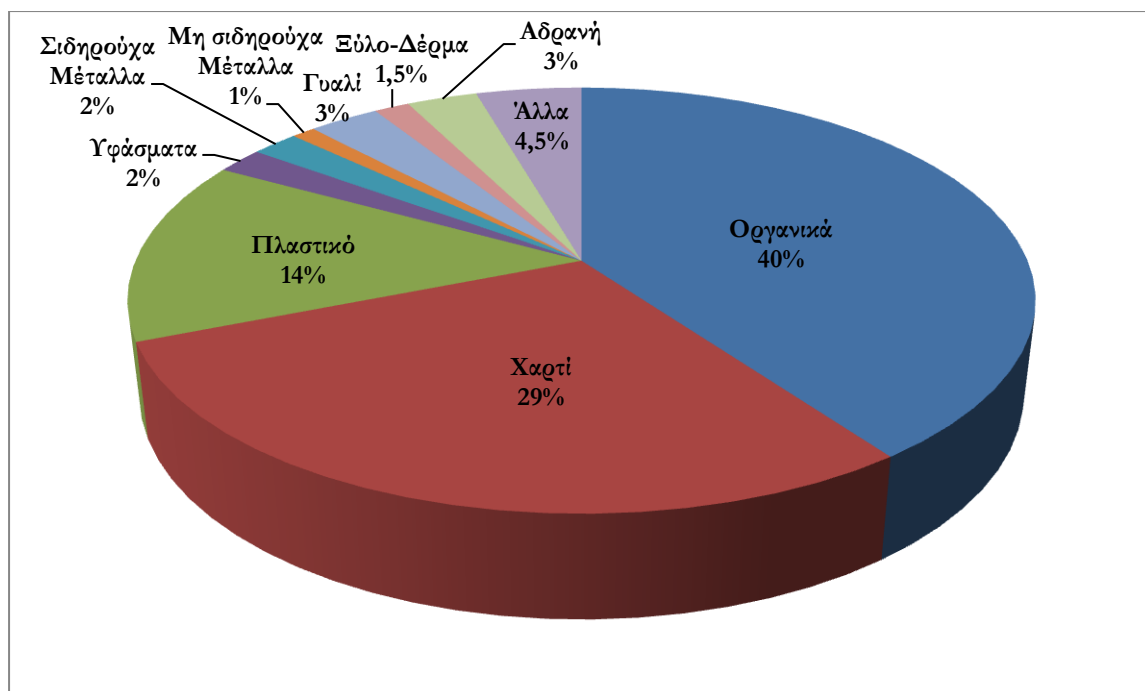
Επιπλέον, ο πίνακας που ακολουθεί καταγράφει τα επίπεδα μηνιαίας παραγωγής για τις επιμέρους κατηγορίες αποβλήτων (πλην ανακυκλώσιμων) για το έτος 2013. Σημειώνεται πως μέχρι και σήμερα δεν έχει παρατηρηθεί κάποια σημαντική διαφοροποίηση στην **ποσοτική σύνθεση** των ΑΣΑ του δήμου ΒΒΒ [14].

Πίνακας 2.3: Ποσότητες απορριμμάτων Δήμου Βάρης Βούλας Βουλιαγμένης (πλην Ανακυκλώσιμων)

Μήνας	Οικιακά (tn)	Κλαδέματα (tn)	Ογκώδη (tn)	Σύνολο (tn)
Ιανουάριος	1.504,71	783,04	297,69	2.585,44
Φεβρουάριος	1.332,87	785,41	417,43	2.535,71
Μάρτιος	1.539,10	1.013,74	309,55	2.862,40
Απρίλιος	1.614,96	795,24	214,89	2.625,09
Μάιος	1.504,19	778,63	133,08	2.415,90
Ιούνιος	1.584,05	794,78	184,81	2.563,64
Ιούλιος	1.679,68	730,11	96,48	2.506,27
Αύγουστος	1.698,54	828,96	153,01	2.680,51
Σεπτέμβριος	1.496,91	947,13	260,94	2.704,98
Οκτώβριος	1.562,70	1.083,35	445,33	3.091,38
Νοέμβριος	1.675,63	832,15	91,53	2.599,31
Δεκέμβριος	1.804,20	737,62	189,28	2.731,09
Μέσος όρος	1.513,31	825,14	259,58	2598,03
Τυπική απόκλιση	98,71	92,63	102,43	147,66
ΣΥΝΟΛΟ	18.997,52 tn	10.110,17 tn	2.794,03 tn	31.763,18 tn

Καταλήγοντας, στην παρούσα μελέτη έχει θεωρηθεί πως τα οικιακά απόβλητα του δήμου παρουσιάζουν παρόμοια σύνθεση με αυτήν των εν Ελλάδι σύμμεικτων απορριμμάτων από πράσινο κάδο. Η σύνθεση των ΑΣΑ στην Ελλάδα είναι παρόμοια με την αντίστοιχη στην υπόλοιπη Ευρώπη με τις μόνες διαφορές να εντοπίζονται στα μεγαλύτερα ποσοστά των οργανικών και στα επίπεδα της περιεχόμενης υγρασίας που μπορεί να φτάνουν μέχρι και το 40% [15].

Στο παρακάτω γράφημα απεικονίζεται η τυπική ποιοτική σύσταση των ΑΣΑ στην Ελλάδα (%κ.β.) σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία από τον Εθνικό Σχεδιασμό Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων και το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ) [6],[15].



Γράφημα 2.1: Ποιοτική σύσταση ΑΣΑ πράσινων κάδων στην Ελλάδα ως έχει (%κ.β.)

2.2.2 Ανακυκλώσιμα απόβλητα

Ο Δήμος BBB συμμετέχει στο πρόγραμμα ανακύκλωσης αποβλήτων συσκευασίας μέσω της συνεργασίας του με την Ελληνική Εταιρεία Αξιοποίησης Ανακύκλωσης ΑΕ (**Ε.Ε.Α.Α**). Τα ανακυκλώσιμα μεταφέρονται σε μονάδα της ΕΕΑΑ και πιο συγκεκριμένα στο **Κέντρο Διαλογής Ανακυκλώσιμων Υλικών (Κ.Δ.Α.Υ)** το οποίο βρίσκεται εντός της Βιομηχανικής Ζώνης Μαρκοπούλου [14].

Από το σύνολο των απορριμμάτων που συλλέγονται από τους **μπλε κάδους** του δήμου, τα **καθαρά ανακυκλώσιμα** είναι 1.408 tη/year. Η υπόλοιπη ποσότητα των 1.324 tη/year προκύπτει ως **υπόλειμμα** από τις διαδικασίες ανάκτησης στο Κ.Δ.Α.Υ και μεταφέρεται στο ΧΥΤΑ, με την εναπόθεση του να επιβαρύνει οικονομικά τον ίδιο το δήμο.

Πίνακας 2.4: Ποσότητες ανακυκλώσιμων αποβλήτων συσκευασίας Δήμος BBB

Δρομολόγια που εκτελούνται κατά τη διάρκεια του έτους	830
Συλλεγόμενες Ποσότητες Ανακυκλώσιμων αποβλήτων	2.732 tη
Μέσο Φορτίο Δρομολογίου (tη)	3
Διάθεση Υπολείμματος (tη)	1.324 tη
Εκτίμηση ποσότητας αποβλήτων συσκευασίας του δήμου που ανακτήθηκε στα ΚΔΑΥ και σε άλλες αδειοδοτημένες υποδομές ανακύκλωσης	1.408 tη

2.2.3 Αδρανή και διαχείριση αποβλήτων εναλλακτικής διαχείρισης

Για λόγους πληρότητας στην περιγραφή των υφιστάμενων διαδικασιών ανακύκλωσης εντός του δήμου BBB, κρίνεται σκόπιμη η παράθεση του **Πίνακα 12** από το αντίστοιχο τοπικό σχέδιο δράσης. Ο συγκεκριμένος πίνακας αποτυπώνει με σαφήνεια τους προβλεπόμενους τρόπους εκμετάλλευσης/ανακύκλωσης των διάφορων αδρανών υλικών, των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών καθώς και των αποσυρόμενων ή/και εγκαταλελειμμένων οχημάτων [14].

Πίνακας 2.5: Διαδικασίες Αξιοποίησης αποβλήτων εναλλακτικής διαχείρισης

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΟΝΟΜΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ / ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Εκτίμηση ποσότητας Αποβλήτων Ηλεκτρικού & Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΑΗΗΕ) που συλλέχθηκαν με ευθύνη του δήμου το 2013	1,98 tn	ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΑΕ/ ΚΑΛΛΙΘΕΑ
Εκτίμηση των αποσυρόμενων οχημάτων (ΟΤΚΖ) που συνέλλεξε ο Δήμος το 2013 είτε με ίδια μέσα είτε μέσω τρίτων	40 τεμάχια	ΑΝΤΥΜΕΤ PLUS ΑΕΒΕ - ΑΣΠΡΟΠΥΡΓΟΣ
Εκτίμηση ποσότητας Αποβλήτων Φορητών Ηλεκτρικών Στηλών που συλλέχθηκαν από χώρους ευθύνης (π.χ. δημοτικά καταστήματα, ανοικτοί χώροι, κλπ) του δήμου το 2013	10.000 τεμάχια	ΑΦΗΣ ΑΕ (Ανακύκλωση Φορητών Ηλεκτρικών Στηλών ΑΕ)/Μελίσσια
Εκτίμηση ποσότητας Αποβλήτων Εκσκαφών, Κατασκευών & Κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ) που παρήχθησαν από τα έργα που εκτέλεσε ο Δήμος το 2013 ή/και που περισυνέλεξε από δημότες του ή δημοτικούς χώρους	300 tn	ΚΟΡΩΠΙ ΕΜΠΟΡΟΛΑΤΟΜΙΚΗ/ ΚΟΡΩΠΙ-ΛΑΤΟΜΕΙΟ

2.3 Ετήσιο λειτουργικό κόστος από την υφιστάμενη διαχείριση των απορριμμάτων στο δήμο BBB

Το ετήσιο λειτουργικό κόστος από τη διαχείριση των απορριμμάτων στο δήμο BBB, η οποία εμπεριέχει την **εναπόθεση των σύμμεικτων απορριμμάτων στο ΧΥΤΑ** καθώς και την **ορισμένη ανάκτηση ανακυκλώσιμων υλικών στο ΚΔΑΥ**, διακρίνεται σε **άμεσο** και **έμμεσο**.

Παρακάτω, απαριθμούνται τα επιμέρους εκείνα κόστη τα οποία εντασσόμενα στις δύο προαναφερθέντες υποκατηγορίες διαμορφώνουν το τελικό ύψος που ανέρχεται το κόστος λειτουργίας για τη συλλογή, τη μεταφορά και τη διάθεση των δημοτικών αποβλήτων: [14]

➤ **ΑΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ**

- Κόστος Καυσίμων και Λιπαντικών που χρησιμοποιούνται από τα οχήματα αποκομιδής
- Κόστος διέλευσης Διοδίων των οχημάτων αποκομιδής
- Εισφορά υπέρ ΕΔΣΝΑ
- Κόστος ασφάλιστρων οχημάτων αποκομιδής
- Κόστος συντήρησης οχημάτων αποκομιδής (εργασίες και ανταλλακτικά)
- Τέλη Κυκλοφορίας Οχημάτων αποκομιδής

➤ **ΕΜΜΕΣΟ ΚΟΣΤΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ**

- Κόστος Προσωπικού (Αμοιβές, Είδη Ατομικής Προστασίας, Γάλα κλπ)
- Κόστος Καυσίμων και Λιπαντικών λοιπών οχημάτων Διεύθυνσης Καθαριότητας & Ανακύκλωσης
- Κόστος ενοικίασης οχημάτων και εγκαταστάσεων
- Προμήθειες / Αποσβέσεις οχημάτων και εγκαταστάσεων
- Κόστος συντήρησης λοιπών οχημάτων και εγκαταστάσεων Διεύθυνσης Καθαριότητας & Ανακύκλωσης (εργασίες και ανταλλακτικά)
- Αναλώσιμα (σάκοι απορριμμάτων, εμβόλια προσωπικού κλπ)
- Ασφάλιστρα λοιπών Διεύθυνσης Καθαριότητας & Ανακύκλωσης
- Τέλη Κυκλοφορίας Οχημάτων λοιπών οχημάτων Διεύθυνσης Καθαριότητας & Ανακύκλωσης

Το απασχολούμενο προσωπικό στον τομέα της καθαριότητας και ανακύκλωσης του δήμου BBB είναι σήμερα **104 άτομα**. Ωστόσο, οι δαπάνες για την ικανοποίηση των αναγκών του προσωπικού (μισθοί, σεμινάρια κ.α.) δεν κατατάσσονται στα άμεσα κόστη, ούτε καν αυτές που σχετίζονται με το προσωπικό που εργάζεται στα απορριμματοφόρα και στους συρμούς αποκομιδής. Οι βασικότεροι λόγοι είναι δύο:

α. Η οποιαδήποτε **βελτίωση στους χρόνους αποκομιδής** και η **μείωση των αποστάσεων μεταφοράς των απορριμμάτων** μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα τις καλύτερες υπηρεσίες προς τους δημότες αλλά **όχι την οποιαδήποτε μείωση του κόστους του προσωπικού**, το οποίο θα εξακολουθεί, σύμφωνα με τα προβλεπόμενα για τους δημοτικούς υπαλλήλους, να εργάζεται. Εξάλλου σήμερα η υπηρεσία υποστελεχώνεται.

β. Η πρόσληψη υπαλλήλων Ιδιωτικού Δικαίου Ορισμένου Χρόνου (8 μηνών συνήθως) καλύπτει ανάγκες που δεν μπορεί να καλύψει το μόνιμο προσωπικό και είναι εφικτή λόγω της ανταποδοτικότητας των υπηρεσιών Καθαριότητας και Ανακύκλωσης. Τυχόν χρήματα που μπορούν να εξοικονομηθούν από την ανάγκη λιγότερων προσλήψεων λόγω βελτίωσης

της οργάνωσης της υπηρεσίας, αναγκαστικά θα πρέπει να επενδυθούν σε άλλες ανταποδοτικές δραστηριότητες στην Καθαριότητα και Ανακύκλωση, δηλαδή πάλι σε κέντρα έμμεσου κόστους.

Οι επιμέρους δαπάνες που συνθέτουν τόσο το άμεσο όσο και έμμεσο κόστος λειτουργίας για τη διαχείριση των ΑΣΑ στο δήμο ΒΒΒ για το **έτος 2013** συνοψίζονται στους παρακάτω πίνακες, σύμφωνα με το τοπικό σχέδιο του δήμου (**Πίνακες 38 και 39**) : **[14]**

Πίνακας 2.6: Επιμέρους κόστη που συνθέτουν το άμεσο ετήσιο λειτουργικό κόστος

Άμεσες Δαπάνες Υπηρεσιών Καθαριότητας και Ανακύκλωσης	Ευρώ (€)
Ασφάλιστρα οχημάτων αποκομιδής	28.996,78
Συντήρηση και Επισκευή αγαθών διαρκούς χρήσης από τρίτους για τα οχήματα αποκομιδής	7.219,48
Τέλη Κυκλοφορίας οχημάτων αποκομιδής	1.980,00
Τέλη διοδίων οχημάτων αποκομιδής	27.000,00
Καύσιμα οχημάτων αποκομιδής	274.477,86
Ανταλλακτικά μηχανικού και λοιπού εξοπλισμού οχημάτων αποκομιδής	39.321,65
Εισφορά υπέρ ΕΣΔΝΑ (ΕΚΚΑΘΑΡΙΣΗ)	1.488.923,24 (45 €/tn)
ΣΥΝΟΛΟ	1.867.919,00

Πίνακας 2.7: Επιμέρους κόστη που συνθέτουν το έμμεσο ετήσιο λειτουργικό κόστος

Έμμεσες δαπάνες διεύθυνσης καθαριότητας και ανακύκλωσης	Ευρώ (€)
Αμοιβές και Έξοδα προσωπικού	3.353.270,31 €
Ενοίκια - Μισθώματα	3.177,41 €
Ασφάλιστρα λοιπών οχημάτων διεύθυνσης καθαριότητας & ανακύκλωσης	34.220,60 €
Συντήρηση και Επισκευή λοιπών αγαθών διαρκούς χρήσης διεύθυνσης καθαριότητας & ανακύκλωσης	8.520,08 €
Τέλη κυκλοφορίας λοιπών μεταφορικών μέσων διεύθυνσης καθαριότητας & ανακύκλωσης	14.492,00 €
Προμήθεια χημικού υλικού (απολυμαντικά, χημικά κλπ)	2.996,28 €
Προμήθεια ειδών καθαριότητας και ευπρεπισμού	16.834,80 €
Προμήθεια λοιπών ειδών υγιεινής και καθαριότητας	37.826,19 €
Καύσιμα και λιπαντικά λοιπών οχημάτων διεύθυνσης καθαριότητας & ανακύκλωσης	57.180,11 €
Προμήθεια μικρών υλικών & εργαλείων για συνεργεία	18.903,32 €
Ανταλλακτικά μηχανικού και λοιπού εξοπλισμού	8.191,61 €
Προμήθεια συστήματος τηλεματικής διαχείρισης οχημάτων	29.030,46 €
Λοιπός εξοπλισμός (Κάδοι κλπ)	15.266,76 €
ΣΥΝΟΛΟ	3.823.236,75

Συνολικά, το ετήσιο κόστος λειτουργίας για την διαχείριση των ΑΣΑ προκύπτει ως άθροισμα των άμεσων και έμμεσων δαπανών για τις υπηρεσίες καθαριότητας και ανακύκλωσης του δήμου. Επιπλέον, η παρούσα μελέτη αναγάγει το δαπανηθέν χρηματικό ποσό σε **ειδικό κόστος ανά τόνο παραγόμενου ΑΣΑ (€/τη)** προκειμένου να υπάρξει ένα μέτρο σύγκρισης με την εναλλακτική πρόταση για την επεξεργασία των ΑΣΑ που θα ακολουθήσει [14].

Πίνακας 2.8: Συνολικό Ετήσιο λειτουργικό κόστος και ειδικό ετήσιο λειτουργικό κόστος διαχείρισης ΑΣΑ για τον δήμο Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης

Άμεσο κόστος/δαπάνες για υπηρεσίες καθαριότητας και ανακύκλωσης	1.867.919,00 €
Έμμεσο κόστος/δαπάνες για υπηρεσίες καθαριότητας και ανακύκλωσης	3.823.236,75 €
Συνολικό Ετήσιο Κόστος Λειτουργίας	5.691.155,75 €
Ειδικό Ετήσιο Κόστος Λειτουργίας	165,00 €/tn ΑΣΑ

Με βάση την ισχύουσα νομοθεσία, από του χρόνου (έτος 2018) ο παραπάνω αριθμός αναμένεται αρκετά αυξημένος μιας και προβλέπεται η επιβολή ειδικού τέλους ταφής με τιμή αφετηρίας τα 35€/tn. Μάλιστα, η τιμή αυτή δεν παραμένει σταθερή αλλά αντίθετα προσαυξάνεται κατά 5 €/tn ετησίως μέχρι και το έτος 2023 όταν και θα ισούται με 60€/tn. Συνεπώς, για την περίοδο 2018-2023, υπολογίζονται τα ειδικά κόστη ταφής του Πίνακα 2.9, τα οποία θα αναδιαμορφώνουν αντιστοίχως και την ετήσια εισφορά υπέρ ΕΣΔΝΑ.

Πίνακας 2.9: Ειδικά τέλη ταφής για την περίοδο 2018-2023 και η αντίστοιχη διαμόρφωση του κόστους διάθεσης (τέλος ΕΣΔΝΑ) ανά έτος

ΕΤΟΣ	ΕΙΔΙΚΟ ΤΕΛΟΣ ΤΑΦΗΣ	ΕΙΣΦΟΡΑ ΥΠΕΡ ΕΣΔΝΑ
2018	35 €/tn	80 €/tn
2019	40 €/tn	85 €/tn
2020	45 €/tn	90 €/tn
2021	50 €/tn	95 €/tn
2022	55 €/tn	100 €/tn
2023	60 €/tn	105 €/tn

Με άλλα λόγια, το ειδικό κόστος διάθεσης των ΑΣΑ στο ΧΥΤΑ Φυλής θα λαμβάνεται ίσο με 45€/tn (**Εισφορά ΕΣΔΝΑ**) πλέον τέλους ταφής που κλιμακώνεται από 35 έως 60 €/tn για τα έτη 2018-2023. Επομένως, θα προκύπτει ένα νέο κόστος εισφοράς της τάξης των 80-105€/tn. [6],[8],[10]

Ο επόμενος πίνακας αποτυπώνει την αναμενόμενη προσαύξηση στα ετήσια λειτουργικά κόστη διαχείρισης των ΑΣΑ του δήμου ΒΒΒ ως συνέπεια της επιβολής του ειδικού κόστους ταφής. Θεωρείται από τη μελέτη πως το ύψος των **επιμέρους άμεσων και έμμεσων δαπανών**, όπως αυτά αναφέρθηκαν προηγουμένως, **δεν έχει διαφοροποιηθεί σημαντικά** με το πέρασμα των χρόνων αλλά κυμαίνεται πάνω κάτω στα ίδια επίπεδα μέχρι και σήμερα.

Πίνακας 2.10: Εκτίμηση του συνολικού ετήσιου λειτουργικού κόστους διαχείρισης ΑΣΑ για τον δήμο Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης κατά την περίοδο 2018-2023

Έτος	Ειδικό τέλος ταφής (€/tn)	Επιπρόσθετη επιβάρυνση λόγω τέλους ταφής (€) (Τέλος ταφής*31.763,18 tn)	Εκτιμώμενο Ετήσιο Λειτουργικό κόστος διαχείρισης ΑΣΑ για τον δήμο BBB (€)	Εκτιμώμενο Ειδικό Ετήσιο Λειτουργικό κόστος διαχείρισης ΑΣΑ για τον δήμο BBB (€/tn)
2018	35	1.111.711,30	6.802.867,05 €	197 €/tn
2019	40	1.270.527,20	6.961.682,95 €	202 €/tn
2020	45	1.429.343,10	7.120.498,85 €	206 €/tn
2021	50	1.588.159,00	7.279.314,75 €	211 €/tn
2022	55	1.746.974,90	7.438.130,65 €	216 €/tn
2023	60	1.905.790,80	7.596.946,55 €	220 €/tn

Υπενθυμίζεται πως, σύμφωνα με τα υπάρχοντα δεδομένα, στο ΧΥΤΑ καταλήγει η **ποσότητα των σύμμεικτων απορριμμάτων** (31.763,18 tn/year) συν την **ποσότητα του υπολείμματος** των Αποβλήτων Συσκευασίας Προς Ανακύκλωση (1.324 tn/year) το οποίο αν και στέλνεται από το ΚΔΑΥ, το κόστος ταφής του επιβαρύνει οικονομικά το δήμο. Συνεπώς, μια συνολική μάζα αποβλήτων ίση με **33.087,18 tn/year** είναι αυτή που οδηγείται σήμερα προς υγειονομική ταφή. Υπενθυμίζεται ότι το υπόλειμμα εξαιρείται από την επιβολή του ειδικού τέλους διάθεσης [14].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Εξέταση τεχνολογιών ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ για το δήμο BBB

3.1 Προτεινόμενες τεχνολογίες για την επεξεργασία των ΑΣΑ στο δήμο BBB

Σήμερα, φαίνεται να έχουν ωριμάσει πιο πολύ από ποτέ οι συνθήκες έτσι ώστε οι δήμοι της χώρας να προχωρήσουν στην αναζήτηση και υιοθέτηση εναλλακτικών λύσεων για την επεξεργασία των ΑΣΑ. Προς αυτή την κατεύθυνση κινείται και ο δήμος Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης ο οποίος συμμετέχει ενεργά στο όλο εγχείρημα αποδέσμευσης από την συμβατική μέθοδο της ταφής των απορριμμάτων στο ΧΥΤΑ.

Άλλωστε, παγιώνεται χρόνο με το χρόνο η αντίληψη πως η μεταφορά και η εναπόθεσή των ΑΣΑ από τον εκάστοτε δήμο σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής απομακρυσμένων περιοχών μπορεί φαινομενικά να συμβάλλει στην αισθητική ανακούφιση των κατοίκων αλλά στην πραγματικότητα είναι μια επιζήμια πρακτική τόσο σε περιβαλλοντικό όσο και οικονομικό επίπεδο [1].

Οι διαθέσιμες μέθοδοι θερμικής και βιολογικής επεξεργασίας αστικών αποβλήτων δύναται να αποτελέσουν σημαντικά εργαλεία στα χέρια της Τοπικής Αυτοδιοίκησης για την επίτευξη των επιμέρους στόχων στον τομέα διαχείρισης των ΑΣΑ, όπως αυτοί έχουν τεθεί από τις πολιτικές και νομοθετικές δεσμεύσεις που η χώρα της Ελλάδας έχει αναλάβει.

Η σημαντική εμπειρία που έχει αποκτηθεί από την υλοποίηση αντίστοιχων έργων στο εξωτερικό σε συνδυασμό με την εγγυημένη απόδοσή τους η οποία εξασφαλίζει την προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος συνιστούν σημαντικά κίνητρα για την ενσωμάτωση καινοτόμων τεχνολογιών ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ εντός του δήμου BBB και όχι μόνο [2].

Στην παρούσα μελέτη, οι τεχνολογίες που εξετάστηκαν πρωταρχικά ήταν η **αποτέφρωση**, η **αεριοποίηση** και η **αναερόβια χώνευση**. Σε δεύτερη φάση, μελετήθηκε η τεχνολογία που λανσάρει η εταιρεία **BNL Clean Energy** με την εμπορική ονομασία **BNL**, η οποία ωστόσο λόγω έλλειψης στοιχείων αλλά και πρακτικής εφαρμογής απορρίφθηκε σχεδόν εξαρχής και παρατίθεται μόνο για πληροφοριακούς λόγους.

Παράλληλα, μέσω μιας παρόμοιας μελέτης που πραγματοποιήθηκε από το Πανεπιστήμιο Αιγαίου στα πλαίσια της συνεργασίας του με το δήμο BBB, προτείνεται η υλοποίηση μιας **μονάδας καύσης με χρήση οργανικού κύκλου Rankine (ORC)** για την θερμική επεξεργασία αποκλειστικά και μόνο των πράσινων αποβλήτων που συλλέγονται κατά την αποκομιδή των ΑΣΑ. [16],[17]

Για τις δύο τελευταίες περιπτώσεις, ορισμένες γενικές παρατηρήσεις ως προς τα βασικά χαρακτηριστικά της λειτουργίας τους μαζί με έναν σχετικό σχολιασμό ως προς την καταλληλότητα τους για την διαχείριση των δημοτικών αστικών αποβλήτων επισυνάπτεται στο **Παράρτημα II** της μελέτης.

3.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε τεχνολογίας

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται εν συντομία τα βασικότερα **θετικά και αρνητικά στοιχεία** κάθε μιας από τις προτεινόμενες καινοτόμους μεθόδους για την εναλλακτική διαχείριση των ΑΣΑ στο δήμο BBB. Σημειώνεται ότι τόσο η αποτέφρωση όσο και η αεριοποίηση πρόκειται για θερμικές μεθόδους επεξεργασίας αποβλήτων ενώ αντίθετα η αναερόβια χώνευση είναι βιολογική μέθοδος.

3.2.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αποτέφρωσης ΑΣΑ

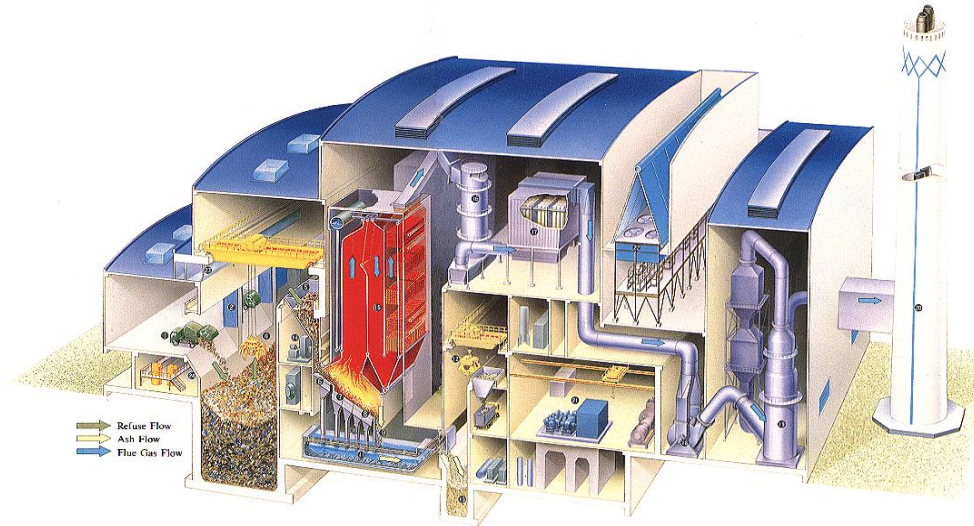
Συγκεντρωτικά, τα κυριότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των εγκαταστάσεων αποτέφρωσης ΑΣΑ συνοψίζονται παρακάτω:

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Όριμη και αξιόπιστη τεχνολογία με πρακτική εφαρμογή σε πολυάριθμες μονάδες σε όλη την Ευρώπη.
2. Παραγωγή υψηλών ποσοτήτων θερμικής ενέργειας μέσω της ανάκτησης θερμότητας των παραγόμενων καυσαερίων.
3. Δυνατότητα επεξεργασίας μεγάλου εύρους υλικών.
4. Απλότητα και ασφάλεια διεργασιών.
5. Χωροθέτηση μικρότερης έκτασης συγκριτικά με Χ.Υ.Τ.Α. για τη λειτουργία της μονάδας.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Εκπομπές ρυπογόνων απαερίων (καυσαέρια και αέρια του θερμοκηπίου) που καθιστούν αναγκαία την ύπαρξη εξελιγμένων συστημάτων καθαρισμού.
2. Παραγωγή τέφρας μέρος της οποίας απαιτεί ξεχωριστή επεξεργασία και χώρο διάθεσης επικίνδυνων αποβλήτων. Υψηλή τοξικότητα ιπτάμενης τέφρας.
3. Υψηλό κόστος επένδυσης και λειτουργίας εξαιτίας των αυξημένων αναγκών συντήρησης και των κοστοβόρων διατάξεων αντιρρύπανσης.
4. Αυξημένη οπτική όχληση.
5. Περιορισμένη κοινωνική αποδοχή.
6. Χαμηλοί βαθμοί απόδοσης.
7. Μη εξελίξιμη τεχνολογία. [2],[18]



Εικόνα 3.1: Τυπική μονάδα αποτέφρωσης απορριμμάτων με τεχνολογία εσχάρας [19]

3.2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αεριοποίησης ΑΣΑ

Συγκεντρωτικά, τα κυριότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των εγκαταστάσεων αεριοποίησης στερεού ανακτηθέντος καυσίμου (RDF) προερχόμενου από αστικά απόβλητα συνοψίζονται παρακάτω:

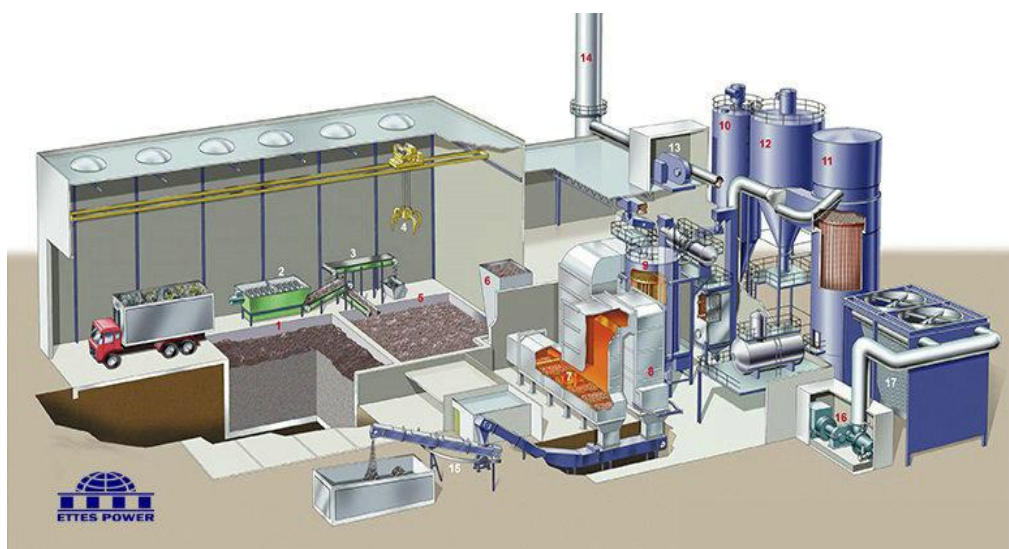
✚ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Πολύ καλή περιβαλλοντική επίδοση: βελτίωση ποιότητας αδρανών κατάλοιπων και δραστική μείωση ρυπαντών όπως είναι οι διοξίνες, τα φουράνια και τα οξειδία του αζώτου (NO_x).
2. Δυνατότητα αυξημένων βαθμών ηλεκτρικής απόδοσης λόγω συνδυασμένου κύκλου και λόγω παραγωγής αέριου προϊόντος με υψηλή θερμογόνο δύναμη.
3. Πληθώρα δυνατοτήτων αξιοποίησης του παραγόμενου καυσίμου αερίου σύνθεσης.
4. Τα υγρά και τα στερεά απόβλητα που προέρχονται από την αεριοποίηση, μετά την απαραίτητη ειδική επεξεργασία τους, μπορούν να αξιοποιηθούν ενεργειακά και να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες εφαρμογές (όπως η οδοποιία) σε αντίθεση με τα απόβλητα της καύσης.
5. Το παράγωγο συνθετικό αέριο έχει μικρότερο όγκο από τα καυσαέρια που είναι το αντίστοιχο προϊόν καύσης, πράγμα που καθιστά τον καθαρισμό του προτιμότερο από αυτόν των καυσαερίων από την άποψη των εγκαταστάσεων καθαρισμού.

✚ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Μικρή εμπειρία εφαρμογών.
2. Αυξημένη επικινδυνότητα, λόγω διακίνησης του καυσίμου αερίου.
3. Πιο σύνθετη και περίπλοκη αρχή λειτουργίας και συντήρησης των μονάδων αυτού του τύπου.

4. Μεγαλύτερα κόστη εγκατάστασης και λειτουργίας συγκριτικά με τις άλλες τεχνολογίες επεξεργασίας ΑΣΑ (πιλοτικός χαρακτήρας εφαρμογών).
5. Απαιτήση για ειδική προ-επεξεργασία των απορριμμάτων πριν την είσοδο τους στον αεριοποιητή (θρυμματισμός, ξήρανση, παραγωγή RDF/SRF).
6. Κοστοβόρα συστήματα καθαρισμού και εξευγενισμού του παραγόμενου συνθετικού αερίου. [2],[20]



Εικόνα 3.2: Τοπική μονάδα αεριοποίησης με προ-επεξεργασία των ΑΣΑ [21]

3.2.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αναερόβιας χώνευσης ΑΣΑ

Συγκεντρωτικά, τα κυριότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των εγκαταστάσεων αναερόβιας χώνευσης του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ συνοψίζονται παρακάτω:

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Παραγωγή βιοαερίου που αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.
2. Σε περίπτωση διαλογής στην πηγή του οργανικού κλάσματος δίνεται η δυνατότητα παραγωγής εδαφοβελτιωτικού πλούσιου σε θρεπτικά συστατικά.
3. Δραστική μείωση των παθογόνων βακτηριδίων.
4. Σχετικά μικρή απαίτηση της μονάδας σε έκταση.
5. Δεν παράγονται αέρια του θερμοκηπίου και οι ρύποι είναι πρακτικά μηδενικοί από τη λειτουργία των μονάδων.
6. Δεν δημιουργούνται προβλήματα οσμών.
7. Οι μονάδες δε δημιουργούν οπτική ρύπανση και υποβάθμιση των παρακείμενων περιοχών.
8. Το πάγιο κόστος των μονάδων, σε σχέση με την διάρκεια ζωής τους, είναι χαμηλό.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Αργή διεργασία.
2. Το κλάσμα των ΑΣΑ που δεν είναι βιοποικοδομήσιμο πρέπει να αφαιρεθεί και να ακολουθήσει άλλη περαιτέρω επεξεργασία.
3. Ευαισθησία συστημάτων σε αυξημειώσεις της οργανικής φόρτισης.
4. Ευαισθησία μεθανογόνων μικροοργανισμών σε ένα ευρύ φάσμα τοξικών ενώσεων.
5. Η ποσότητα της ανακτώμενης ηλεκτρικής ενέργειας από την αναερόβια ζύμωση είναι 2 – 2,5 φορές μικρότερη από την αντίστοιχη στις μονάδες αποτέφρωσης .
6. Περαιτέρω επεξεργασία των εκροών. [2],[22]



Εικόνα 3.3: Τυπική μονάδα αναερόβιας χώνευσης οργανικού κλάσματος ΑΣΑ [23]

3.3 Οικονομική αξιολόγηση κάθε τεχνολογίας

Στην παρούσα μελέτη, το ύψος των οικονομικών απαιτήσεων των υποψήφιων τεχνολογιών για την ενεργειακή αξιοποίηση των ΑΣΑ του δήμου BBB, το οποίο μπορεί να μεταφραστεί και ως το κόστος επένδυσης και λειτουργίας της αντίστοιχης μονάδας, παίζει καθοριστικό ρόλο στη λήψη της τελικής απόφασης.

Οι διάφορες μονάδες θερμικής ή βιολογικής επεξεργασίας των Αστικών Στερεών Απορριμμάτων (ΑΣΑ) απαιτούν αδιαμφισβήτητα ένα σημαντικά υψηλό κόστος για την υλοποίησή τους, στο οποίο συνυπολογίζεται όχι μόνο το **κόστος κατασκευής, λειτουργίας και συντήρησης της αντίστοιχης μονάδας** αλλά και το **κόστος λειτουργίας δευτερευόντων συστημάτων** όπως είναι οι διατάξεις αντιρρύπανσης, οι διατάξεις βελτίωσης/αναβάθμισης της ποιότητας μέρους των παραγόμενων προϊόντων κ.α.

Σε γενικές γραμμές, οι παράμετροι εκείνοι που οι ενδιαφερόμενοι για την κατασκευή τέτοιου είδους μονάδων οφείλουν να λαμβάνουν υπόψη τους έτσι ώστε να καταλήξουν σε μια ρεαλιστική εκτίμηση του συνολικού ετήσιου κόστους ανά μονάδα επεξεργαζόμενου ΑΣΑ (specific treatment cost) είναι οι εξής [2],[24]:

- Το είδος της μεθόδου που εφαρμόζεται.
- Τη δυναμικότητα και το βαθμό απόδοσης της σχεδιαζόμενης μονάδας επεξεργασίας.
- Τη σύσταση και την αναγκαία επεξεργασία των παραγόμενων αποβλήτων.
- Τις γενικότερες οικονομικές παραμέτρους κάθε χώρας (κόστος γης, εργατικό κόστος, κόστος πρώτων υλών, κτλ).
- Τις επενδυτικές δαπάνες για τις υποδομές, το κόστος συλλογής, μεταφοράς, προεπεξεργασίας, επεξεργασίας και ελέγχου περιβαλλοντικής μόλυνσης καθώς και της μεταφοράς των προϊόντων και των υπολειμμάτων.
- Τα έσοδα από την πώληση της παραγόμενης ενέργειας (ηλεκτρικής και θερμικής) και τη δυνατότητα ανάκτησης και πώλησης υλικών.
- Τα τέλη εισόδου (gate fees) των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ μέσω καινοτόμων τεχνολογιών σε σχέση με την μέχρι τώρα διαδεδομένη μέθοδο απόθεσης σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ)
- Τους περιορισμούς και στόχους που θέτει η εκάστοτε ισχύουσα νομοθεσία.

Παρακάτω, συνοψίζονται τα **τυπικά εύρη τιμών** για τα ειδικά επενδυτικά και λειτουργικά κόστη για τις τεχνολογίες της αποτέφρωσης, της αεριοποίησης και της αναερόβιας χώνευσης αντίστοιχα, όπως αυτά αντλήθηκαν από τη σχετική βιβλιογραφία.

Πίνακας 3.1: Εύρη τιμών για τα επενδυτικά και λειτουργικά κόστη των υποψήφιων τεχνολογιών για την ενεργειακή αξιοποίηση των ΑΣΑ του δήμου BBB [25],[26]

Τεχνολογίες Επεξεργασίας ΑΣΑ	Ειδικά Επενδυτικά Κόστη (Specific Investment Costs)	Ειδικά Λειτουργικά Κόστη (Specific Operational Costs)
Καύση (Incineration)	450-750 €/tn	20-60 €/tn
Αεριοποίηση (Gasification)	350-600 €/tn	45-90 €/tn
Αναερόβια Χώνευση (Anaerobic Digestion)	150-400 €/tn	35-80 €/tn

3.4 Πολυκριτηριακή ανάλυση των προτεινόμενων τεχνολογιών ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ για το δήμο BBB

3.4.1 Κριτήρια αξιολόγησης τεχνολογιών

Η ικανοποίηση μιας σειράς παραμέτρων διαφορετικής φύσεως αποτελεί το σημείο-κλειδί για την ανάδειξη της πλέον κατάλληλης και συμβατής τεχνολογίας για την εναλλακτική διαχείριση των ΑΣΑ στο δήμο BBB. Τα κυριότερα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη για τη λήψη της τελικής απόφασης μπορούν να ομαδοποιηθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Οικονομικά κριτήρια** που έχουν να κάνουν με το επενδυτικό και το λειτουργικό κόστος των μονάδων εναλλακτικής επεξεργασίας ΑΣΑ. Το τελικό κόστος επεξεργασίας εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες με τους κυριότερους να σχετίζονται με το είδος της

τεχνολογίας που επιλέγεται, τη χωρητικότητα της σχεδιαζόμενης μονάδας και τις δυνατότητες πώλησης της παραγόμενης ενέργειας.

- **Περιβαλλοντικά κριτήρια** στα οποία συνυπολογίζονται αφενός τα επίπεδα παραγωγής αερίων ρύπων, υγρών αποβλήτων και στερεών υπολειμμάτων και αφετέρου οι δυνατότητες/συνθήκες δέσμευσης ή συλλογής αυτών.

Επιπλέον, μελετούνται οι εκπομπές καυσαερίων των δημοτικών οχημάτων αποκομιδής που είναι υπεύθυνα για την μεταφορά των αποβλήτων από το δήμο στην εγκατάσταση επεξεργασίας καθώς επίσης και η δυνατότητα χρήσης των προϊόντων της εκάστοτε διεργασίας μέσω της ενεργειακής ανάκτησής τους και της εκμετάλλευσης των υποπροϊόντων της διαδικασίας.

Τέλος, λαμβάνονται υπόψη θέματα που αφορούν την ηχορύπανση, την αισθητική όχληση και το επίπεδο ασφάλειας προς αποφυγήν ατυχήματος.

- **Τεχνικά κριτήρια** που έχουν άμεση σχέση αφενός με το σχέδιο ανάπτυξης της υπό μελέτη περιοχής (δήμος BBB) και αφετέρου με τα προβλεπόμενα σχέδια διαχείρισης των αποβλήτων.

Επιπρόσθετα, εξετάζονται θέματα σχετικά με τις δυνατότητες επενδύσεων που προσφέρει η περιοχή, την υπάρχουσα υποδομή, την απόσταση από τα κέντρα πόλεων, τη δυνατότητα ομαλής και απλής λειτουργίας της σχεδιαζόμενης μονάδας, την ευκολία συντήρησής της καθώς και την προβλεπόμενη διάρκεια ζωής.

Επίσης, συνυπολογίζεται η αντοχή στο χρόνο και τις φυσικές φθορές που μπορεί να υποστεί ο σταθμός επεξεργασίας ΑΣΑ ενώ επίσης λαμβάνεται υπόψη και η απαίτηση σε προσωπικό καθώς και ο απαιτούμενος βαθμός εξειδίκευσης αυτού.

- **Κοινωνικά-Θεσμικά κριτήρια** στα οποία συμπεριλαμβάνονται τα θέματα εκείνα που αφορούν την κοινωνική αποδοχή και την πιθανότητα εμφάνισης αντιδράσεων των κατοίκων της υπό εκμετάλλευση περιοχής, τις ευρύτερες πολιτικές συνθήκες καθώς και τη συμφωνία με το υφιστάμενο θεσμικό πλαίσιο. [2]

3.4.2 Πρόταση μελέτης-Επιλογή καταλληλότερης τεχνολογίας

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η **οικονομική βιωσιμότητα** μιας πιθανής εγκατάστασης επεξεργασίας αποβλήτων εντός των ορίων του δήμου είναι ένα βασικό ζητούμενο που οφείλεται να διασφαλιστεί προκειμένου να έχει ρεαλιστικές πιθανότητες η υλοποίηση της. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει πως και τα υπόλοιπα κριτήρια δεν πρέπει να πληρούνται σε έναν επίσης ικανοποιητικό βαθμό μιας και μόνο έτσι είναι δυνατόν να εξασφαλιστεί η υποδειγματική λειτουργία της μονάδας τόσο σε βραχυπρόθεσμη όσο και μακροπρόθεσμη βάση.

Ειδικότερα, η συνεργασία του δήμου BBB με το Εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων του ΕΜΠ αποσκοπεί στην εύρεση εκείνης της μεθόδου επεξεργασίας ΑΣΑ που σε σύγκριση με τις υπόλοιπες που έχουν προταθεί και εξετάζονται, ικανοποιεί σε μεγαλύτερο βαθμό ένα σύνολο απαιτήσεων-στόχων που αποτυπώνονται κατά σειρά προτεραιότητας ως εξής:

- ✓ Φιλική προς το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία διαχείριση των απορριμμάτων με τις πλέον σύγχρονες, αναγνωρισμένες και εγκεκριμένες τεχνολογίες.
- ✓ Ελαχιστοποίηση του οικονομικού κόστους από τη διαχείριση των απορριμμάτων.
- ✓ Μεγιστοποίηση στα πλαίσια του δυνατού της ενεργειακής αποδοτικότητας της εγκατάστασης.

Συνεκτιμώντας τα παραπάνω κριτήρια καθώς και όλα όσα έχουν αναφερθεί μέχρι στιγμής για τις επιμέρους εξεταζόμενες τεχνολογίες, κρίνεται πως μια εγκατάσταση **αναερόβιας χώνευσης του οργανικού υποστρώματος των ΑΣΑ** αποτελεί την καταλληλότερη λύση για το δήμο ο οποίος αναμένεται να αποκομίσει πολλαπλά οφέλη σε όλα τα επίπεδα.

Μια εγκατάσταση βιοαερίου μικρής κλίμακας θα συνεισφέρει αποφασιστικά στην υλοποίηση ενός ολοκληρωμένου σχεδιασμού για τη διαχείριση των στερεών και κυρίως των οργανικών αποβλήτων, στα πλαίσια πάντα της εφαρμογής των προβλεπομένων της Ευρωπαϊκής και Εθνικής νομοθεσίας. Παράλληλα, θα συμβάλλει τόσο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε) όσο και στην επίτευξη δραματικής μείωσης των ποσοτήτων τους που θα οδηγούνται για ταφή.

Η ορθότητα της επιλογής της αναερόβιας χώνευσης ενισχύεται από το γεγονός πως η ετήσια δυναμικότητα των παραγόμενων σύμμεικτων απορριμμάτων εντός του δήμου BBB κινείται σε σχετικά μικρά επίπεδα ενώ παρουσιάζεται και η ιδιαιτερότητα της παραγωγής μεγάλων ποσοτήτων κλαδεμάτων τα οποία συνιστούν ένα πλήρως βιοαποικοδομήσιμο είδος αποβλήτου.

3.4.3 Κρίσιμα σημεία κατά τη διαδικασία λήψης της τελικής απόφασης

Συγκεκριμένα τεχνικά, οικονομικά και περιβαλλοντολογικά χαρακτηριστικά της κάθε τεχνολογίας ήταν αυτά που οδήγησαν τη μελέτη στην τελική επιλογή της αναερόβιας χώνευσης και στην ταυτόχρονη απόρριψη των μεθόδων αποτέφρωσης και αεριοποίησης των αστικών αποβλήτων του δήμου BBB.

Όσον αφορά την περίπτωση της **αποτέφρωσης** απορρίπτεται κυρίως επειδή συνηθίζεται να προτιμάται για μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις επεξεργασίας ΑΣΑ μιας και όσο *αυξάνεται η δυναμικότητα της μονάδας τόσο ελαττώνεται το συνολικό ετήσιο ειδικό κόστος που περιγράφει την εγκατάσταση (scale economies)* [27],[28],[29].

Μάλιστα, μια σχετική μελέτη που διεκπεραιώθηκε για λογαριασμό του Βρετανικού Υπουργείου Περιβάλλοντος (DEFRA) αναφέρει ότι τα ειδικά τελικά κόστη για μονάδες αποτέφρωσης αρχίζουν να κυμαίνονται σε αποδεκτά επίπεδα σε περιπτώσεις επεξεργασίας απορριμμάτων δυναμικότητας μεγαλύτερης ή ίσης των 200.000 τόνων ετησίως [25].

Παράλληλα, οι μονάδες αποτέφρωσης απορριμμάτων προϋποθέτουν την ενσωμάτωση εξελιγμένων συστημάτων συγκράτησης και απομάκρυνσης των παραγόμενων κατά την διάρκεια των θερμικών διεργασιών αέριων ρύπων και στερεών σωματιδίων.

Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τα υψηλότερα, συγκριτικά με τις υπόλοιπες μελετώμενες τεχνολογίες, επίπεδα παραγωγής αέριων του θερμοκηπίου (CO_2/kWh) [30] καθιστούν τη συγκεκριμένη λύση όχι μόνο οικονομικά ασύμφορη αλλά και με λιγοστές πιθανότητες κοινωνικής αποδοχής, παρόλο που τα συστήματα ελέγχου και επεξεργασίας των απαερίων έχουν εξελιχθεί τεχνολογικά και εγγυώνται τήρηση των προβλεπόμενων από τη νομοθεσία ορίων εκπομπών [2],[29].

Ένα επιπλέον ανασταλτικό χαρακτηριστικό των τεχνολογιών καύσης ΑΣΑ είναι ο χαμηλός ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης που παρουσιάζουν με αποτέλεσμα τα επίπεδα παραγωγής ηλεκτρισμού να μην είναι πολλές φορές τα αναμενόμενα σε αντίθεση με την παραγωγή θερμότητας που είναι πάρα πολύ υψηλή.

Αναλυτικότερα, οι εγκαταστάσεις αυτού του είδους θερμικής επεξεργασίας εμφανίζουν ηλεκτρική και θερμική απόδοση της τάξης του 20% και 55% αντίστοιχα. Τα προαναφερθέντα νούμερα μεταφράζονται σε μια ολική απόδοση συμπαραγωγής κοντά στο 75%, όπου $\eta_{\text{CHP}} = \eta_{\text{el}} + \eta_{\text{th}}$ [30].

Στη συνέχεια, η τεχνολογία της **αεριοποίησης** φαίνεται να αποτελεί μια πιο ανταγωνιστική πρόταση για το δήμο ΒΒΒ και για την Ελλάδα γενικότερα, εξαιτίας της υψηλής ηλεκτρικής απόδοσης (~34%) που παρουσιάζει. Πιο συγκεκριμένα, θεωρείται πιο κατάλληλη για την επεξεργασία αστικών απορριμμάτων σε περιπτώσεις χωρών όπου η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα ενώ ταυτόχρονα δεν προβλέπεται κάποιο αγοραστικό ενδιαφέρον για την παραγόμενη θερμική ενέργεια [30].

Επιπρόσθετα, οι μονάδες αεριοποίησης παρουσιάζουν συνήθως καλύτερη περιβαλλοντική συμπεριφορά μιας και οι εκπομπές CO_2 εμφανίζονται μειωμένες στην πλειοψηφία των περιπτώσεων [30]. Επιπλέον, σύμφωνα με την βιβλιογραφία [20], οι μονάδες αυτού του είδους είναι πιο ευέλικτες ως προς την εφαρμογή τους σε μικρής και μεσαίας κλίμακας εγχειρήματα ενεργειακής εκμετάλλευσης απορριμμάτων με δυναμικότητα μικρότερη των 120.000 tn/year και για τα οποία η τεχνολογία της αποτέφρωσης θεωρείται ακατάλληλη και οικονομικά μη βιώσιμη λύση.

Τα ειδικά κόστη επένδυσης για μονάδες αεριοποίησης μπορεί να είναι μικρότερα από τα αντίστοιχα των μονάδων αποτέφρωσης αλλά η απαίτηση για εξειδικευμένη Μηχανική-Βιολογική προ-επεξεργασία καθώς και ξήρανση των ΑΣΑ πριν την εισαγωγή τους στον αεριοποιητή, έχει ως αποτέλεσμα την *αισθητή αύξηση* τους, ακόμα και σε ποσοστά του 40%.

Επιπλέον, η πολυπλοκότητα λειτουργίας των μονάδων αυτού του είδους σε συνδυασμό με τα σύνθετα συστήματα εξευγενισμού και καθαρισμού του παραγόμενου συνθετικού αερίου προϋποθέτουν μεγαλύτερο αριθμό προσωπικού καθώς και επιπλέον εργασίες συντήρησης του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού, δηλαδή περισσότερα ειδικά λειτουργικά κόστη. [31]

Λαμβάνοντας σοβαρά υπόψη όλα τα παραπάνω δεδομένα συμπεριλαμβανομένου και της μη ωριμότητας των τεχνολογιών αεριοποίησης αποβλήτων σε Ευρωπαϊκό τουλάχιστον επίπεδο (υπάρχει μόνο μια μονάδα αεριοποίησης ΑΣΑ στη Lohi της Φινλανδίας), η υλοποίηση μιας μονάδας αεριοποίησης Στερεού Ανακτηθέντος Καυσίμου (SRF/RDF) κρίνεται ακατάλληλη για την ενεργειακή αξιοποίηση των απορριμμάτων που μελετάται για τον δήμο Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης. [30],[31],[32]

Από την άλλη πλευρά, η **αναερόβια χώνευση** εμφανίζεται ως η πλέον κατάλληλη τεχνολογία για τη βιολογική επεξεργασία του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ. Οι μονάδες βιοαερίου μειώνουν δραματικά τα επίπεδα παραγωγής αέριων του θερμοκηπίου [30] ενώ τις περισσότερες φορές συνδυάζονται με τη συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (Combined Heat and Power-CHP) μέσω της καύσης του παραγόμενου αερίου καυσίμου σε μια Μηχανή Εσωτερικής Καύσης (Μ.Ε.Κ) [33].

Επιπλέον, απαιτούν αρκετά **λιγότερα κόστη επένδυσης** σε σύγκριση με τις αντίστοιχες μονάδες καύσης και αεριοποίησης ενώ και τα τέλη εισόδου (gate fees) φαίνονται να είναι αρκετά **μικρότερα**, επίσης. Γενικότερα, το ειδικό ετήσιο κόστος των μονάδων (specific treatment cost) είναι αρκετά χαμηλό σε σχέση με την διάρκεια ζωής τους.

Ωστόσο, οι **ποσότητες ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας** που παράγονται σε τέτοιου τύπου εγκαταστάσεις ανά τόνο επεξεργαζόμενου ΑΣΑ (kWh/tn MSW) είναι φανερά **μειωμένες** σε σχέση με τις δύο προηγούμενες τεχνολογίες. Παρόλα αυτά, ο ανασταλτικός αυτός παράγοντας από μόνος του δεν είναι ικανός να επισκιάσει την σαφή υπεροχή της μεθόδου της αναερόβιας χώνευσης σε οικονομικό, περιβαλλοντικό καθώς και κοινωνικό επίπεδο έναντι των θερμικών μεθόδων της αποτέφρωσης και της αεριοποίησης ΑΣΑ, αντίστοιχα.[30]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Γενικές πληροφορίες για την τεχνολογία της αναερόβιας χώνευσης

4.1 Ορισμός και Διεργασία αναερόβια χώνευσης

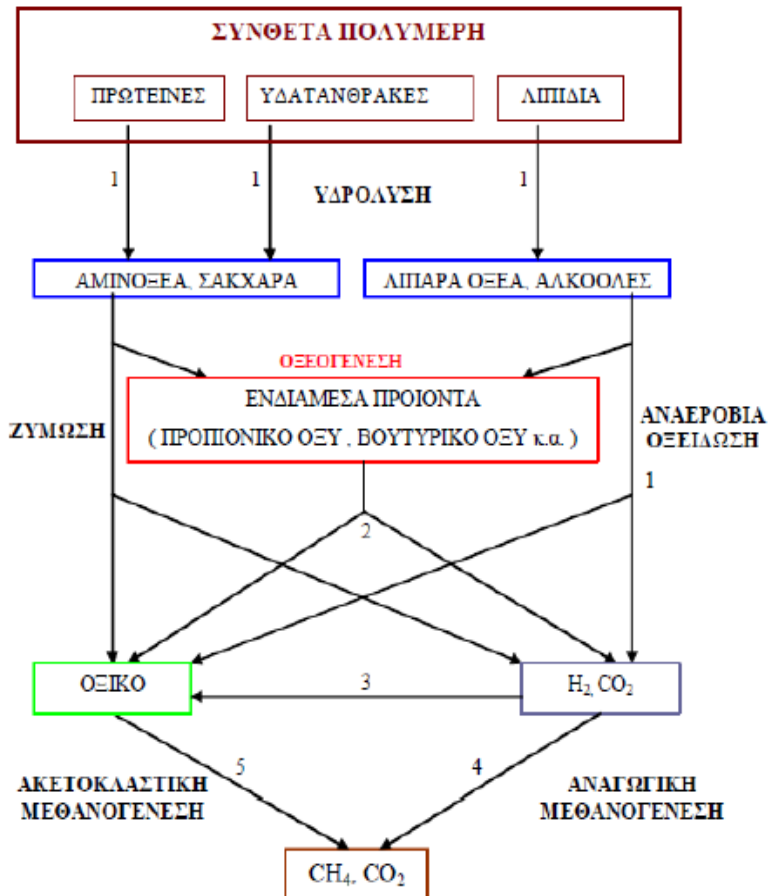
Η Αναερόβια Χώνευση (Anaerobic Digestion) αποτελεί μια βιολογική διεργασία κατά τη διάρκεια της οποίας σύνθετα οργανικά στοιχεία αποσυντίθενται απουσία οξυγόνου, από διάφορους τύπους αναερόβιων μικροοργανισμών. Σε μία εγκατάσταση αναερόβιας χώνευσης, το βασικό προϊόν των βιοχημικών διεργασιών είναι το **βιοαέριο**, αέριο καύσιμο μίγμα με βασικά συστατικά το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και το μεθάνιο (CH_4), και η **χωνεμένη υλύς**, το αποσυντιθέμενο υπόστρωμα της χώνευσης το οποίο είναι πλούσιο σε άζωτο [34].

Η συνολική διαδικασία μετατροπής του οργανικού υλικού σε βιοαέριο περιλαμβάνει τέσσερα (4) διακριτά μεταξύ τους χημικά και βιολογικά στάδια, τα οποία είναι η υδρόλυση, η οξεογένεση, η οξικογένεση, και η μεθανογένεση. Τα επιμέρους αυτά στάδια λαμβάνουν χώρα εντός των βιοαντιδραστήρων, παράλληλα στο χώρο και στο χρόνο, παραμένοντας πάντα ίδια ανεξάρτητα από τον τύπο της χώνευσης που εφαρμόζεται κάθε φορά. Η παραγωγή βιοαερίου φθάνει στην αιχμή της κατά την μεθανογένεση.

Κατά το πρώτο στάδιο της αναερόβιας χώνευσης, σύνθετες πολυμερικές ενώσεις όπως είναι οι υδατάνθρακες, οι πρωτεΐνες και τα λίπη υδρολύονται από εξωκυτταρικά ένζυμα σε διαλυτά προϊόντα μικρότερου μεγέθους (μονομερή ή ολιγομερή) έτσι ώστε να μπορούν να εισχωρήσουν διαμέσου της κυτταρικής μεμβράνης στο εσωτερικό του κυττάρου. Εν συνέχεια, οι παραγόμενες σχετικά απλές ενώσεις της προηγηθείσας διεργασίας ζυμώνονται ή οξειδώνονται αναερόβια σε πτητικά λιπαρά οξέα, αλκοόλες, διοξείδιο του άνθρακα, υδρογόνο και αμμωνία. Τα πτητικά λιπαρά οξέα μετατρέπονται σε οξικό οξύ, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα. Τέλος, παράγεται μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα, είτε από την αναγωγή του διοξειδίου του άνθρακα από το υδρογόνο είτε από το οξικό.

Οι κυριότερες ομάδες βακτηρίων που παίρνουν μέρος στο σύνολο των αντιδράσεων που εξελίσσονται κατά την αναερόβια βιοαποδόμηση του υποστρώματος χωρίζονται, με βάση τη μεταβολική τους δραστηριότητα, στις ακόλουθες κατηγορίες,:

- Βακτήρια ζύμωσης
- Οξικογόνα βακτήρια που παράγουν υδρογόνο
- Οξικογόνα βακτήρια που καταναλώνουν υδρογόνο
- Μεθανογόνα βακτήρια που ανάγουν το διοξείδιο του άνθρακα
- Ακετοκλαστικά μεθανογόνα βακτήρια [22],[35]



Σχήμα 4.1 Μετατροπή του οργανικού υλικού προς μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα κατά τη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης [22]

Έπειτα, οι κυριότεροι **παράμετροι** που επηρεάζουν την απόδοση της αναερόβιας χώνευσης είναι η θερμοκρασία, το είδος και ο βαθμός βιοδιασπασιμότητας του υποστρώματος, ο λόγος C/N, η τιμή του pH, ο ρυθμός οργανικής φόρτισης, η απουσία οξυγόνου καθώς και ο υδραυλικός χρόνος παραμονής (ΥΧΠ) στον αντιδραστήρα [34],[35]. Επιπλέον, η πιθανή παρουσία τοξικών ουσιών στο υπόστρωμα χρήζει ιδιαίτερης προσοχής μιας και ορισμένες εξ' αυτών μπορεί να δράσουν ως **ανασταλτικοί παράγοντες** στις διαδικασίες αναερόβιας χώνευσης αν υπερβούν κάποια συγκεκριμένα όρια συγκέντρωσης [22].

Αναλυτικότερα, σε ένα οργανικό υπόστρωμα προερχόμενο από ΑΣΑ, η ύπαρξη ουσιών που μπορούν να έχουν αρνητική επίδραση στον μικροβιακό πληθυσμό (βαρέα μέταλλα, τοξικές οργανικές ενώσεις, κ.λπ.) είναι ένα σύνηθες φαινόμενο. Η όλη διεργασία μπορεί να ανασταλεί με διάφορους τρόπους είτε από ενδογενή είτε από εξωγενή αίτια. Οι πιο συνηθισμένοι ενδογενείς αναστολείς είναι κατά σειρά η **αμμωνία** (NH₃), τα **οργανικά οξέα** (κυρίως το οξικό οξύ) και οι **θειικές ενώσεις** (θειικά και θειώδη ιόντα, υδρόθειο), η παρουσία των οποίων σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να αποδειχτεί εξαιρετικά τοξική για τους μικροοργανισμούς. [22]

Πίνακας 4.1: Όρια παρεμποδιστικών συγκεντρώσεων ορισμένων ουσιών στο υγρό κλάσμα κατά την αναερόβια χώνευση ΑΣΑ [22]

Ουσία	Όρια συγκεντρώσεων (mg/L)	Παρατηρήσεις
Αέρια αμμωνία	1500-1300	pH>7.4
Αμμωνιακό κατιόν	300	-
Θειώδη	50-100	-
Μέταλλα	<10 (συνήθως)	-
Νάτριο (Na)	3500	Θρεπτικό συστατικό σε επίπεδα 100-200 mg/L
Κάλιο (K)	2500	Θρεπτικό συστατικό σε επίπεδα 200-400 mg/L

Εκτός ελαχίστων εξαιρέσεων, η χρήση της αναερόβιας χώνευσης σε Αστικά Στερεά απόβλητα ήταν περιορισμένη σε παγκόσμιο επίπεδο έως και την αρχή της δεκαετίας του 1980. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας αυτής ήταν που παρατηρήθηκε μία βαθμιαία αύξηση στη χρήση της συγκεκριμένης τεχνικής ως συνοδευτικής ή εναλλακτικής λύσης της πιο συχνά χρησιμοποιούμενης αερόβιας βιοεπεξεργασίας (κομποστοποίησης) των ΑΣΑ [22].

Μάλιστα, η ανάπτυξη μεθόδων αναερόβιας χώνευσης υποστρωμάτων με υψηλή περιεκτικότητα στερεών (High Dry Content) φαίνεται να ήταν κομβικής σημασίας για την ραγδαία αύξηση του παρουσιαζόμενου ενδιαφέροντος για την συγκεκριμένη τεχνολογία.

Σύμφωνα με τα στοιχεία της Στατιστικής Υπηρεσίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Eurostat), σήμερα στην Ευρώπη, έχουν κατασκευαστεί ή είναι υπό τη διαδικασία κατασκευής περισσότερες από 250 εγκαταστάσεις αναερόβιας χώνευσης οι οποίες διαχειρίζονται διαφορετικούς τύπους οργανικών κλασμάτων προερχόμενων από αστικά απορρίμματα, παρουσιάζοντας ένα εύρος χωρητικότητων που ποικίλλει από 2.500 tpa μέχρι 150.000 tpa. [34],[36]

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται κάποιες από τις σημαντικότερες μονάδες αναερόβιας χώνευσης σε παγκόσμια κλίμακα:

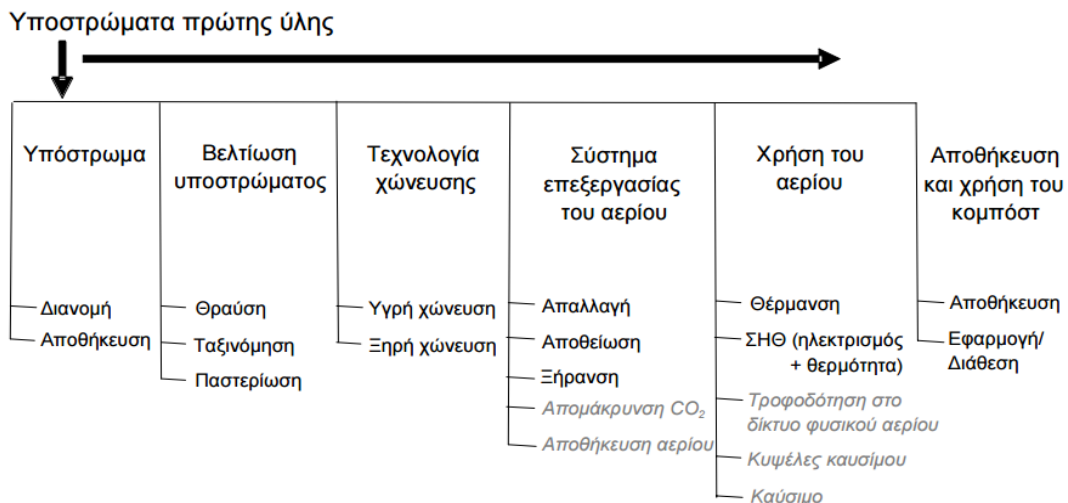
Πίνακας 4.2: Αξιοσημείωτες μονάδες αναερόβιας χώνευσης ΑΣΑ σε παγκόσμια κλίμακα [37],[38]

Εγκατάσταση	Δυναμικότητα (tn/day)	Παραγόμενη ενέργεια (kWh/tn)	Τεχνολογία
Brecht, Βέλγιο	55	165	Dranco
Salzburg, Αυστρία	55	220	Dranco
Amiens, Γαλλία	233	198	Valorga
Tilburg, Ολλανδία	142	152	Valorga
Engelskirchen, Γερμανία	96	235	Valorga
Arnhem, Ολλανδία	137	165	Biocel
Vaasa, Φινλανδία	164	-	Waasa
Verona, Ιταλία	425	113	Semifry
Munich, Γερμανία	18	256	Bekon
Ostrhauderfehn, Γερμανία	33	384	Bekon
Kusel, Γερμανία	21	385	Bekon
Pohlsche Heide, Γερμανία	110	-	Bekon
Munich - expansion, Γερμανία	51	270	Bekon
Bassum, Γερμανία	49	256	Bekon
Saalfeld, Γερμανία	55	460	Bekon
Schmölln, Γερμανία	44	548	Bekon
Melzingen, Γερμανία	36	354	Bekon
Iffezheim, Γερμανία	49	256	Bekon
Göhren, Γερμανία	38	391	Bekon
Steinfurt, Γερμανία	123	205	Bekon
Erfurt, Γερμανία	55	289	Bekon
Ostrhauderfehn - expansion, Γερμανία	14	263	Bekon
Rendsburg, Γερμανία	82	307	Bekon
Rendsburg - expansion, Γερμανία	93	180	Bekon
Vechta, Γερμανία	27	289	Bekon
Cesena, Ιταλία	96	250	Bekon
Voltana, Ιταλία	96	250	Bekon
Naples, Ιταλία	96	250	Bekon
Rimini, Ιταλία	96	250	Bekon
Baar, Ελβετία	49	256	Bekon
Krauchthal, Ελβετία	33	321	Bekon
Thun, Ελβετία	55	416	Bekon
Santa Barbara, Αμερική	192	283	Bekon
Gloucester City, Αμερική	178	162	Bekon
Culiacan, Sinaloa/Μεξικό	12	195	Bekon

4.2 Περιγραφή τυπικής μονάδας αναερόβιας χώνευσης οργανικού κλάσματος απορριμμάτων

Η αναερόβια επεξεργασία του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ γίνεται σε κλειστούς βιοαντιδραστήρες κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες με στόχο την ανάκτηση ενέργειας σε μορφή μεθανίου, τη μείωση του όγκου των ΑΣΑ και τη βιολογική σταθεροποίηση τους. Μια τυπική εγκατάσταση αναερόβιας επεξεργασίας περιλαμβάνει τα ακόλουθα λειτουργικά στάδια:

- Στάδιο παραλαβής, ζύγισης, ελέγχου και αποθήκευσης των εισερχόμενων στη μονάδα απορριμμάτων.
- Μονάδα μηχανικής προ-επεξεργασίας με στόχο την ανάκτηση ανακυκλώσιμων υλικών και/ή την παραγωγή RDF από τα σύμμεικτα απορρίμματα, καθώς επίσης και τον διαχωρισμό του οργανικού κλάσματος. (κυρίως για ξηρή αναερόβια ζύμωση)
- Σύστημα βελτιστοποίησης της διαχωρισμένης πλέον οργανικής πρώτης ύλης που ενίοτε μπορεί να ενσωματώνει διαδικασίες θρυμματισμού, ταξινόμησης και παστερίωσης.
- Σύστημα αποθήκευσης του οργανικού υποστρώματος (στεγασμένος αποθηκευτικός χώρος) καθώς και δίκτυο μεταφοράς και τροφοδοσίας του στους βιοαντιδραστήρες (μηχανικοί φορτωτές, αναβατόρια, μεταφορικές ταινίες).
- Μονάδα αναερόβιας χώνευσης των οργανικών η οποία περιλαμβάνει και σύστημα προσθήκης βιολογικής ιλύος ή/και γεωργικών και βιομηχανικών αποβλήτων σε ορισμένες αναλογίες για συν-επεξεργασία (τεχνολογία συγχώνευσης).
- Σύστημα καθαρισμού και ξήρανσης του παραγόμενου βιοαερίου πριν την αποθήκευση του σε μεγάλες δεξαμενές.
- Μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού-θερμότητας που συνήθως αποτελείται από ένα ζεύγος ηλεκτροπαραγωγής ενός κινητήρα καύσης και μιας γεννήτριας.
- Μονάδα ωρίμανσης χωνεμένης ιλύς προς παραγωγή εδαφοβελτιωτικού υψηλής ποιότητας (compost). [2],[37]



Εικόνα 4.1: Σχηματικό διάγραμμα διεργασιών μονάδας βιοαερίου [39]

4.3 Κατηγοριοποίηση μεθόδων και συστημάτων αναερόβιας χώνευσης

Ο σχεδιασμός και η τεχνολογία των μονάδων βιοαερίου διαφέρουν από χώρα σε χώρα, ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες, τα εθνικά πλαίσια (νομοθεσία και πολιτικές σε θέματα ενέργειας) και την ενεργειακή διαθεσιμότητα. Σύμφωνα με το σχετικό τους μέγεθος, τη λειτουργία και θέση τους, υπάρχουν τρεις κύριες κατηγορίες εγκαταστάσεων αναερόβιας χώνευσης: [34]

- Οι μονάδες βιοαερίου οικογενειακής κλίμακας (μικρής κλίμακας).
- Οι μονάδες βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος (μεσαίας έως μεγάλης κλίμακας).
- Οι κεντρικές μονάδες βιοαερίου/κοινή συγχώνευση (μεσαίας έως μεγάλης κλίμακας).

Ταυτόχρονα, τα συστήματα αναερόβιας χώνευσης που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία του ζυμώσιμου κλάσματος των ΑΣΑ μπορούν να ταξινομηθούν με βάση πέντε (5) βασικά λειτουργικά χαρακτηριστικά τους, τα οποία και καθορίζουν τελικά τον τύπο της εφαρμοζόμενης τεχνολογίας. Τα κριτήρια κατηγοριοποίησης των τεχνολογιών αναερόβιας ζύμωσης είναι τα εξής: [22],[40]

- Η συγκέντρωση ξηράς ουσίας στην πρώτη ύλη
- Η θερμοκρασία
- Το σύστημα τροφοδοσίας/ανάδευσης
- Ο αριθμός των φάσεων/ αντιδραστήρων
- Ο τύπος των χωνευτήρων

Ο πίνακας που ακολουθεί, συγκεντρώνει τις διάφορες κατηγορίες στις οποίες μπορεί να διακριθεί μια διαδικασία αναερόβιας χώνευσης σύμφωνα πάντα με τις προαναφερόμενες λειτουργικές παραμέτρους :

Πίνακας 4.3: Λειτουργικές παράμετροι των συστημάτων αναερόβιας χώνευσης [22]

Θερμοκρασία	Συγκέντρωση στερεών	Σύστημα ανάδευσης	Αριθμός σταδίων	Τύπος Χωνευτήρων
Μεσοφιλικές (~35°C)	Χαμηλά στερεά/ Υγρή χώνευση (<15% ξηρής ουσίας)	Μηχανική ανάδευση	Ενός σταδίου (ένας αντιδραστήρας)	Οριζόντιοι
Θερμοφιλικές (~55°C)	Μεσαία στερεά/ Ημιξηρή χώνευση (10-25% ξηρής ουσίας)	Ανάδευση μέσω των αερίων	Πολλαπλών σταδίων	Κατακόρυφοι
	Υψηλά στερεά/ Ξηρή χώνευση (>25% ξηρής ουσίας)	Συνεχής ροής		Συνδυασμός οριζόντιων και κατακόρυφων
		Διακοπτόμενης τροφοδοσίας		Τύπου γιαράζ

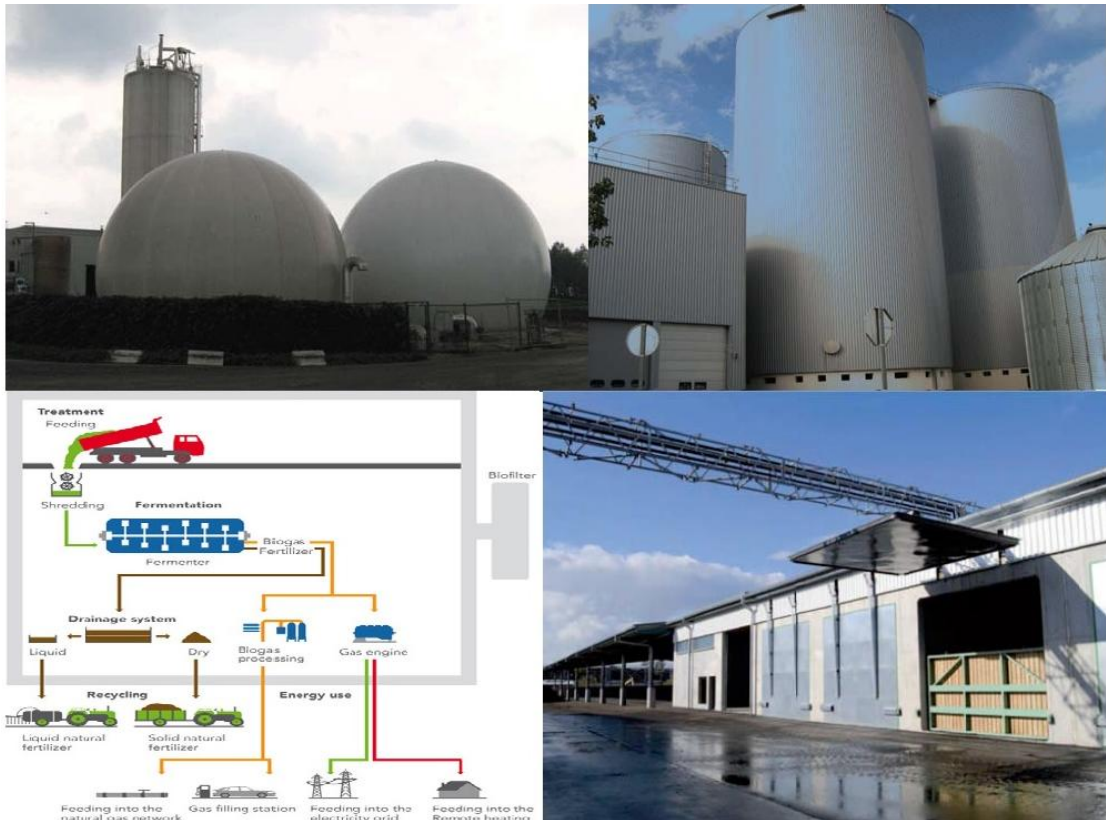
Σύμφωνα με τα τέσσερα πρώτα κριτήρια περιγραφής τεχνολογιών χώνευσης καθώς και τις επιμέρους υποκατηγορίες που προκύπτουν βάσει αυτών, δίνεται η δυνατότητα περιγραφής της πλειοψηφίας των εμπορικά διαθέσιμων συστημάτων, τα οποία χρησιμοποιούνται κατά κόρον στις σύγχρονες μονάδες αναερόβιας ζύμωσης αστικών στερεών απορριμμάτων. Τα πιο σημαντικά από αυτά αποτυπώνονται παρακάτω:

- **Συστήματα ξηρής διακοπτόμενης χώνευσης** (Dry-Batch process) γνωστά κυρίως με τις εμπορικές ονομασίες *BEKON*, *HERHOF GmbH* και *BIOCEL*. Σε αυτά, τα ΑΣΑ φορτώνονται κατά παρτίδες σε ειδικούς θαλάμους που κλείνουν αεροστεγώς, αφού πρώτα εμβολιασθούν με βακτηριακό υπόλειμμα από την προηγούμενη παρτίδα. Παραμένουν εντός των βιοααντιδραστήρων για 20-30 μέρες για πλήρη ζύμωση και παραγωγή του βιοαερίου. Αντί ανάδευσης των ΑΣΑ, ανακυκλώνεται το νερό με άντληση και ψεκάσμο [2],[41].

Συνηθίζεται η εφαρμογή τους σε μονάδες μικρής χωρητικότητας όπου η ξηρά ουσία της πρώτης ύλης κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα (30-40%). Η ανάγκη για βελτίωση στο οικονομικό κυρίως κομμάτι οδήγησε στη ραγδαία ανάπτυξη των συγκεκριμένων τεχνολογιών την τελευταία 15ετία [41].

- **Συστήματα ξηρής συνεχούς χώνευσης** (Dry Continuous process) γνωστά με τις εμπορικές ονομασίες *DRANCO*, *VALORGA* και *KOMPOGAS*. Η βασική αρχή λειτουργίας τους έγκειται στην προσθήκη βιοαποβλήτων στον αντιδραστήρα σε τακτά χρονικά διαστήματα και στην ταυτόχρονη απομάκρυνση ίσης ποσότητας χωνεμένου υλικού [2],[41]. Είναι κατάλληλα για περιεκτικότητες στερεών της τάξης των 20-40% ενώ λειτουργούν κάτω από μεσόφιλες ή θερμόφιλες συνθήκες και με τα επίπεδα παραγωγής βιοαερίου να κυμαίνονται μεταξύ 0.3 και 0.5 m³/kg πτητικών στερεών (VS) [41].

Σήμερα, περισσότερες από 75 μονάδες κάνουν χρήση κάποιας από τις διαθέσιμες παραλλαγές των τεχνολογιών αυτού του τύπου, επιτυγχάνοντας την κατεργασία μεγάλων ποσοτήτων ΑΣΑ με ελάχιστη ποσότητα νερού. Από τον παραπάνω αριθμό, γύρω στις 24 βρίσκονται σε λειτουργία πάνω από 15 χρόνια [41].



Εικόνα 4.2: *a) διεργασία Dranco, b) διεργασία Valorga, c) διεργασία Komrogas, d) διεργασία Bekon [43]*

- **Συστήματα ξηρής ημι-διακοπτόμενης χώνευσης (Semi-dry Batch process)** που συνιστούν μια παραλλαγή της ξηρής διακοπτόμενης ζύμωσης. Περιλαμβάνουν πολλούς διαδοχικούς θαλάμους ζύμωσης, με το βακτηριακό υγρό να διέρχεται από τον ένα θάλαμο στον άλλο με άντληση και ψεκασμό. Δημιουργείται έτσι συνεχής ροή αερίου που επιτρέπει την συνεχή λειτουργία του ηλεκτροπαραγωγικού ζεύγους MEK-γεννήτριας. Η ζύμωση στον κάθε θάλαμο διαρκεί 20-30 μέρες και τα ΑΣΑ τροφοδοτούνται με περιεκτικότητα 30-50% [2].
- **Συστήματα υγρής συνεχούς χώνευσης (Wet Continuous process)**, γνωστά κυρίως με την ονομασία *REFCOM*. Λειτουργούν με περιεκτικότητες στερεών κάτω του 15%, απαιτώντας μεγάλες ποσότητες νερού. Για το λόγο αυτό, το υγρό υπόλειμμα μετά τη ζύμωση ανακυκλώνεται για εξοικονόμηση νερού. Η παραλλαγή αυτή δεν επιλέγεται όταν επιθυμείται η επεξεργασία αποκλειστικά για ΑΣΑ αλλά αντίθετα θεωρείται κατάλληλη για συνδυασμό με λύματα, ζωική κοπριά, και βιομηχανικά απόβλητα.
- **Συστήματα υγρής χώνευσης πολλαπλών σταδίων (Wet multistage process)**. Στην παραλλαγή αυτή τα ΑΣΑ μετατρέπονται σε παχύρρευστο υδατικό διάλυμα (*slurry*) και υφίστανται ζύμωση σε πρώτο στάδιο με παραγωγή πτητικών οργανικών οξέων. Σε δεύτερο στάδιο το διάλυμα με τα πτητικά οξέα μετατρέπεται σε αέριο με ζύμωση σε αναερόβιο αντιδραστήρα υψηλού φορτίου. Βασικό μειονέκτημα της παραλλαγής αυτής γνωστής με τις ονομασίες BTA και PAQUES, είναι η περίπλοκη λειτουργία της [2].

Στον Πίνακα 4.4, συγκεντρώνονται οι πιο δημοφιλείς εμπορικές τεχνολογίες αναερόβιας χώνευσης ΑΣΑ που εφαρμόζονται κατά κόρον σε διάφορες καινοτόμες μονάδες παραγωγής βιοαερίου ανά τον κόσμο.

Πίνακας 4.4: Σύνοψη και βασικές προδιαγραφές των εμπορικά διαθέσιμων συστημάτων αναερόβιας χώνευσης (στοιχεία για το έτος 2008) [44]

Εμπορική ονομασία συστήματος	Αριθμός μονάδων	Εύρος χωρητικότητας (tn/year)	Αριθμός Σταδίων		Συγκέντρωση σε στερεά		Θερμοκρασία λειτουργίας	
			1	2	<20%	>20%	35°C	55°C
AAT	8	3.000-55.000	x		x		x	
ArrowBio	4	90.000-180.000		x	x		x	
BTA	23	1.000-150.000	x	x	x		x	x
Bekon	27	4.500-70.000	x			x	x	
Biocel	1	35.000	x			x	x	
Biopercolat	1	100.000		x		x	x	
Biostab	13	10.000-90.000	x		x			x
DBA-Wabio	4	6.000-60.000	x		x		x	
DRANCO	17	3.000-120.000	x			x		x
Entec	2	40.000-150.000	x		x		x	
Haase	4	50.000-200.000		x	x		x	x
Kompogas	38	1000-110.000	x			x		x
Linde-KCA/BRV	8	15.000-150.000	x	x	x	x	x	x
Preseco	2	24.000-30.000						
Schwarting-Uhde	3	25.000-87.600		x	x			x
Valorga	22	10.000-270.000	x			x	x	x
Waasa	10+	3.000-230.000	x		x		x	x

4.4 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις αναερόβιας χώνευσης

Τα είδη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μιας μονάδας Αναερόβιας Χώνευσης που λαμβάνονται συνήθως υπόψη μπορούν να διακριθούν σε τρεις κατηγορίες, όπως αυτές περιγράφονται περιληπτικά παρακάτω. [22]

4.4.1 Επιπτώσεις στον αέρα

Από τη στιγμή που η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης διενεργείται σε κλειστούς χώρους και το παραγόμενο αέριο συλλέγεται προς επεξεργασία και αξιοποίηση, οι εκπομπές αερίων ρύπων είναι πολύ μικρές (αμελητέες). Αέριες εκπομπές παρατηρούνται σχεδόν αποκλειστικά κατά την καύση του βιοαερίου και αφορούν κυρίως σε οξειδία του αζώτου (NO_x) και του θείου (SO_x).

Η επικινδυνότητα των αερίων αυτών εκπομπών είναι σχετικά μικρή και για το λόγο αυτό στις περισσότερες περιπτώσεις τέτοιων μονάδων ο έλεγχος τους είναι περιορισμένος και πραγματοποιείται κυρίως κατά την είσοδο των απορριμμάτων στη μονάδα.

Σημειώνεται ότι στην περίπτωση που πριν την αναερόβια χώνευση δεν έχει προηγηθεί πρόγραμμα διαλογής στην πηγή, υπάρχει το ενδεχόμενο να υπάρχουν ουσίες υψηλότερης τοξικότητας στο βιοαέριο λόγω της πιθανής παρουσίας διαλυτών και άλλων επικίνδυνων ουσιών στο υπόστρωμα. Ο εκτενής έλεγχος των αποβλήτων κατά την είσοδο τους στη μονάδα επιτυγχάνει επαρκή αντιμετώπιση του κινδύνου αυτού.

4.4.2 Επιπτώσεις στα νερά

Κατά την αναερόβια χώνευση υπάρχει περίσσεια νερού, το οποίο μπορεί να ανακυκλοφορεί εντός της διεργασίας. Στην περίπτωση της μη ανακυκλοφορίας του, το υγρό αυτό απόβλητο πρέπει να επεξεργάζεται σε κατάλληλη μονάδα είτε εντός της εγκατάστασης είτε εκτός αυτής. Οι ποσότητες των υγρών αυτών αποβλήτων υπολογίζονται σε $100 - 300 \text{ m}^3$ ανά τόνο εισερχόμενων αποβλήτων.

Οι μονάδες που επεξεργάζονται οργανικά απόβλητα μετά από διαλογή στην πηγή τείνουν να παράγουν μεγαλύτερες ποσότητες υγρών αποβλήτων, καθώς η υγρασία του ρεύματος τροφοδοσίας τους είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τα σύμμεικτα ΑΣΑ.

4.4.3 Επιπτώσεις στο έδαφος

Οι επιπτώσεις στο έδαφος έχουν σχέση με την εφαρμογή του παραγόμενου υλικού τύπου κομπόστ στο έδαφος, στην περίπτωση που τηρούνται οι σχετικές προδιαγραφές για εδαφική του διάθεση. Συνεπώς οι επιπτώσεις στο έδαφος είναι ίδιες με αυτές της αερόβιας επεξεργασίας.

4.5 Ενεργειακή αξιοποίηση του βιοαερίου

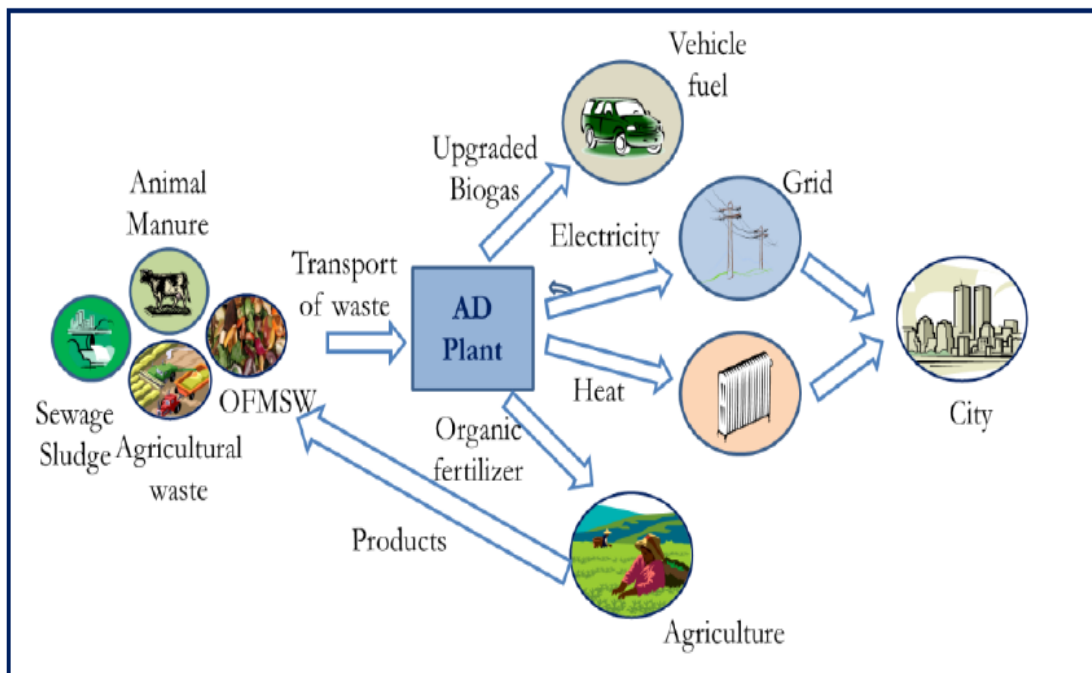
Το βιοαέριο έχει πολλές ενεργειακές χρήσεις οι οποίες διαμορφώνονται ανάλογα με την τοπική ζήτηση για μια συγκεκριμένη μορφή ενέργειας. Οι κυριότερες από αυτές είναι οι εξής: [22],[34]

- Ο απλούστερος τρόπος χρήσης του βιοαερίου είναι η **άμεση καύση του σε λέβητες (boilers) ή καυστήρες**. Η τεχνολογία αυτή εφαρμόζεται στις αναπτυγμένες χώρες, σε καυστήρες φυσικού αερίου. Η θερμότητα που παράγεται έχει πολλές εφαρμογές, όπως για ίδια χρήση στην εγκατάσταση ή παραγωγή ατμού για βιομηχανικές χρήσεις. Οι λέβητες δεν έχουν υψηλές απαιτήσεις ποιότητας αερίου.
- Ένας ακόμα αποδοτικός τρόπος αξιοποίησης του παραγόμενου βιοαερίου είναι μέσω της **συμπαγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ)**. Μία μονάδα ΣΗΘ, με μηχανή εσωτερικής καύσης, έχει αποδοτικότητα μέχρι και 90%, παράγοντας περίπου 35% ηλεκτρισμό και 65% θερμότητα, αντίστοιχα.

Τα δύο είδη παραγόμενης ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των ηλεκτρικών και θερμικών ιδιοκαταναλώσεων της μονάδας. Το υπόλοιπο της ηλεκτρικής ενέργειας *διαχέεται στο εθνικό δίκτυο* και πωλείται σε εγγυημένη τιμή βάσει της ισχύουσας νομοθεσίας, αποφέροντας έτσι σημαντικό οικονομικό όφελος.

Από την άλλη πλευρά, η θερμότητα από την καύση του βιοαερίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις βιομηχανικές διεργασίες, στις γεωργικές δραστηριότητες ή στη θέρμανση των κτιρίων. Τέλος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμένα συστήματα ηλεκτρισμού- θερμότητα- δροσισμού, όπως για παράδειγμα την εν ψυχρώ αποθήκευση τροφίμων ή τον κλιματισμό.

- ο Το βιοαέριο μπορεί επίσης να αναβαθμιστεί για χρήση ως καύσιμο οχημάτων. Σε χώρες όπως η Σουηδία, η Ελβετία και η Γερμανία, η συγκεκριμένη διαδικασία εφαρμόζεται ευρέως με μεγάλη επιτυχία. Μάλιστα στις συγκεκριμένες χώρες έχουν αρχίσει να εγκαθίστανται δίκτυα σταθμών αναβάθμισης καυσίμου και πρατήρια καυσίμων.
- ο Μια σχετικά νέα εφαρμογή, είναι η αναβάθμιση και τροφοδότηση του βιοαερίου στο δίκτυο του φυσικού αερίου και οι πρώτες εγκαταστάσεις, στη Γερμανία και την Αυστρία, τροφοδοτούν με βιομεθάνιο τα δίκτυα του φυσικού αερίου.



Εικόνα 4.3: Διάφορες χρήσεις του παραγόμενου από την αναερόβια χώνευση βιοαερίου [42]

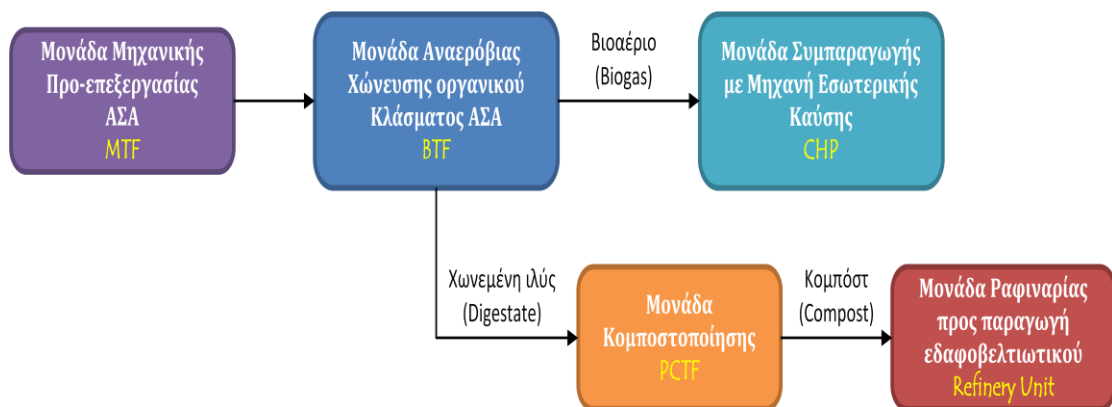
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Η προτεινόμενη μονάδα εναλλακτικής διαχείρισης ΑΣΑ στο δήμο BBB

5.1 Τα επιμέρους τμήματα λειτουργίας της μονάδας

Η πλήρης τεχνική πρόταση της έρευνας αναφέρεται σε μια ολοκληρωμένη εγκατάσταση διαχείρισης σύμμεικτων απορριμμάτων η οποία θα υποστηρίζει τρεις βασικές και συνάμα διακριτές μεταξύ τους δυνατότητες και μία ακόμη που έχει το χαρακτήρα προαιρετικής αλλά συνιστάται:

- **Μονάδα προ-επεξεργασίας απορριμμάτων** (Mechanical Treatment Facility–MTF) στην οποία επιδιώκεται ο διαχωρισμός των οργανικών από το υπόλοιπο ετερογενές μίγμα απορριμμάτων του δήμου BBB. Στη συνέχεια, το εναπομένον βαρύ κλάσμα αποβλήτων (χαρτί, πλαστικό, γυαλί και μέταλλα) υφίσταται επιμέρους διαδικασίες διαχωρισμού μέσω του κατάλληλου μηχανολογικού εξοπλισμού.
- **Μονάδα αναερόβιας χώνευσης** (Biological Treatment Facility–BTF) όπου το οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ βιοαποικοδομείται εντός χωνευτήρων τύπου γκαράζ, παράγοντας κατάλληλη ποσότητα βιοαερίου.
- **Μονάδα συμπαραγωγής** (Combined Heat and Power–CHP) όπου το παραγόμενο βιοαέριο χρησιμοποιείται ως καύσιμο σε μια Μηχανή Εσωτερικής Καύσης (Μ.Ε.Κ) με σκοπό την ανάκτηση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.
- Σε περίπτωση που το επιθυμεί ο δήμος BBB, η μελέτη έχει προβλέψει τη λειτουργία **μονάδας μετα-κομποστοποίησης** προς αερόβια σταθεροποίηση της χωνεμένης υλός (Post-Composting Treatment Facility–PCTF) καθώς επίσης και **μονάδας ραфинаρίσματος** (Refinery Unit) για την περαιτέρω μηχανική επεξεργασία του σταθεροποιημένου υλικού προς παραγωγή εδαφικού υλικού τύπου κομπόστ.



Εικόνα 5.2: Συνοπτικό διάγραμμα λειτουργίας προτεινόμενης MBT μονάδας

5.2 Σχεδιασμός και Λειτουργία ολοκληρωμένης εγκατάστασης Αναερόβιας Χώνευσης του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ

5.2.1 Χώρος υποδοχής ΑΣΑ δήμου BBB

Τα οχήματα αποκομιδής του δήμου BBB εισέρχονται στην εγκατάσταση για να οδηγηθούν αμέσως μετά σε ειδική γεφυροπλάστιγγα προκειμένου να ζυγιστούν και να ελεγχθεί μακροσκοπικά το περιεχόμενό τους. Η απόρριψη των ΑΣΑ γίνεται σε μία τάφρο υποδοχής η οποία βρίσκεται εντός ενός κλειστού και στεγανού κτιρίου με ηλεκτροκίνητες πύλες, που αποτελεί μέρος της μονάδας μηχανικού διαχωρισμού που ακολουθεί. Μπροστά από την πρόσοψη του κτιρίου προβλέπεται ικανός χώρος για τον ελιγμό των οχημάτων προσκόμισης των ΑΣΑ (πλατεία ελιγμών).

Τα αστικά απορρίμματα αποθηκεύονται προσωρινά στις ειδικά διαμορφωμένες δεξαμενές (bunkers) για να παραληφθούν στη συνέχεια από την αρπάγη και μέσω γερανογέφυρας να καταλήξουν στη χοάνη τροφοδοσίας της μηχανικής επεξεργασίας.

5.2.2 Μηχανική προ-επεξεργασία ΑΣΑ δήμου BBB

Η τροφοδοσία των σύμμεικτων αποβλήτων από την αρπάγη στις διατάξεις της μηχανικής επεξεργασίας (Mechanical Treatment Facility–MTF) γίνεται μέσω **ταινιόδρομου με ιμάντα** (conveyor). Αρχικά, τα ΑΣΑ διέρχονται διαδικασιών **χειροδιαλογής** (manual sorting 1) μέσω των οποίων κατορθώνεται ο διαχωρισμός του ετερογενούς μίγματος αποβλήτων σε τρία βασικά ρεύματα: το ρεύμα των οικιακών, το ρεύμα των πράσινων (κυρίως κλαδέματα) και το ρεύμα των ογκωδών και άλλων ανεπιθύμητων υλικών. Κάθε ρεύμα τοποθετείται σε ξεχωριστούς χώρους αποθήκευσης.

Στη συνέχεια, το διαχωρισμένο πια κλάσμα των **οικιακών αποβλήτων** διέρχεται από ένα **περιστρεφόμενο κυλινδρικό τύμπανο** (trommel screening) το οποίο είναι τοποθετημένο σε οριζόντια διεύθυνση και εμφανίζει σε όλο το μήκος της επιφάνειάς του, οπές διαμέτρου 80 mm [45],[46],[47]. Μέσω της περιστροφής του τυμπάνου, επιτυγχάνεται μιας πρώτης τάξης ανάμειξη, ομογενοποίηση αλλά και μείωση των διαστάσεων των συστατικών του κλάσματος αφού περιεχόμενα αντικείμενα όπως είναι το γυαλί, τα μέταλλα και τα αδρανή τεμαχίζουν μαλακότερα υλικά, όπως το χαρτί και τα οργανικά [5]. Στο τέλος της παραπάνω διαδικασίας έχουν προκύψει δύο βασικά ρεύματα ως έξοδοι του περιστρεφόμενου κόσκινου.

Το πρώτο ρεύμα που συνιστά και βασική επιδίωξη της όλης λειτουργίας του τυμπάνου είναι ένα λεπτόκοκκο υγρό κλάσμα (**fine fraction<80mm**) που κατορθώνει και διέρχεται από τις οπές του, έχοντας ως κυρίαρχο συστατικό την πλειονότητα του οργανικού κλάσματος (organic matter) που εμπεριεχόταν στα οικιακά απορρίμματα.

Μάλιστα, υπολογίζεται ότι στο διαχωριστή περιστρεφόμενου τυμπάνου θα επιτυγχάνεται μια ανάκτηση της τάξης του 80–90% του ζυμώσιμου ρεύματος των οικιακών [5],[47],[48]

το οποίο στην περίπτωση που εξετάζεται αποτελείται κυρίως από υπολείμματα τροφών, κουζίνας, μαγειρείων και άλλων χώρων εστίασης που βρίσκονται στο δήμο BBB [14].

Το δεύτερο ρεύμα είναι ένα βαρύ λιγότερο υγρό κλάσμα (**coarse fraction**>80mm) που δεν εξέρχεται από τις σπές αλλά από την άκρη του τυμπάνου και στην σύνθεση του οποίου εμπεριέχονται κατά βάση συστατικά μεγάλου σχετικά μεγέθους και υψηλής θερμογόνου ικανότητας, όπως είναι διαφόρων ειδών πλαστικά (PET,PE,PP,PVC,film), χάρτινα και γυάλινα υλικά/συσκευασίες, σιδηρούχα και μη σιδηρούχα μέταλλα, ξύλο και υφάσματα.

Τόσο το ελαφρύ όσο και το βαρύ κλάσμα αποβλήτων υφίστανται διεργασίες ανάκτησης μετάλλων, οι οποίες έχει προγραμματιστεί να εξελίσσονται παράλληλα. Έτσι, καθένα από τα δύο κλάσματα θα διέρχεται από δύο συστήματα που αποτελούνται έκαστος από ένα **μαγνητικό διαχωριστή** (Magnetic separator) και ένα **διαχωριστή δινορρευμάτων** (Eddy Current Separator) τοποθετημένους σε σειρά [45],[47],[49]. Μέσω των δύο παραπάνω συστημάτων διαχωρισμού επιτυγχάνεται η ανάκτηση κατάλληλης ποσότητας σιδηρούχων και μη σιδηρούχων μετάλλων, τα οποία πιθανότατα θα έχουν απομείνει σε μικρό βαθμό στο πρώτο (ελαφρύ) κλάσμα και σε πολύ μεγαλύτερο ποσοστό στο δεύτερο (βαρύ) κλάσμα.

Στη συνέχεια, το εναπομένον βαρύ κλάσμα αποβλήτων οδηγείται σε ένα **τεμαχιστή** (shredder 1) με σκοπό την ελάττωση του μεγέθους των συστατικών του σε διαστάσεις μικρότερες των 60mm (<60mm) και συνάμα την απαραίτητη αύξηση της ειδικής τους επιφάνειας έτσι ώστε να εξασφαλίζεται αφενός η ικανοποιητική αποδοτικότητα των μετέπειτα μηχανικών διαδικασιών διαχωρισμού και αφετέρου η τελική παραγωγή σχετικά καλής ποιότητας δευτερογενούς καυσίμου RDF από το παραχθέν υπόλειμμα.

Μέσω αυτοματοποιημένων ταινιών μεταφοράς, το τεμαχισμένο βαρύ κλάσμα οδηγείται σε έναν **διαχωριστή εμφύσησης αέρα** (Air Shifter) με τη βοήθεια του οποίου επιτυγχάνεται ο περαιτέρω διαχωρισμός των υλικών του διερχόμενου ρεύματος σε ελαφρότερα συστατικά (**light fraction**) όπως είναι το χαρτί, το πλαστικό και το ξύλο και σε βαρύτερα συστατικά (**heavy fraction**) όπως είναι το γυαλί καθώς και χώματα, πέτρες, χαλίκια και άλλα αδρανή αντικείμενα. [50],[51]

Το κλάσμα των ελαφριών συστατικών θα διέρχεται διαδοχικά από δύο **οπτικούς αισθητήρες Titech NIR** (Optical sorting 1) οι οποίοι θα έχουν θετική κατεύθυνση το χαρτί και το πλαστικό, αντίστοιχα ενώ το κλάσμα των βαρέων συστατικών θα υφίσταται σε πρώτη φάση **διαδικασίες χειροδιαλογής** (manual sorting 2) προς απομάκρυνση εναπομεινάντων αδρανών ή/και ανεπιθύμητων υλικών που δύναται να εντοπιστούν από τον ανθρώπινο παράγοντα και στη συνέχεια θα διέρχεται από έναν οπτικό διαχωριστή με θετική κατεύθυνση το γυαλί (Optical Glass Separator).

Έτσι, κατορθώνεται στοχευμένη ανάκτηση κατάλληλης ποσότητας των τριών παραπάνω ανακυκλώσιμων υλικών, τα διάφορα είδη των οποίων θα συμπιέζονται μέσω πρέσσας και εν συνεχεία θα δεματοποιούνται σε ανεξάρτητα δέματα μέσω ενός δεματοποιητή (baler 1), προτού καταλήξουν σε προσωρινούς χώρους αποθήκευσης όπου και παραμένουν μέχρι να διατεθούν προς πώληση στις διάφορες βιομηχανίες ανακύκλωσης.

Από την άλλη πλευρά, τα δύο επιμέρους υπολειμματικά στερεά ρεύματα (*residues*) που επίσης εμφανίζονται στην έξοδο των διαδικασιών διαχωρισμού που προηγήθηκαν, αφού αναμειχθούν μεταξύ τους, δεματοποιούνται (*baler 2*) λαμβάνοντας την τελική τους μορφή η οποία συνιστά το παραγόμενο στερεό δευτερογενές καύσιμο της όλης διαδικασίας [50].

Το υπόλειμμα/RDF θα αποταμιεύεται σε ειδικά προβλεπόμενους χώρους αποθήκευσης και μαζί με τα ογκώδη καθώς και άλλα ανεπιθύμητα συστατικά, που έχουν απομακρυνθεί από το υπόλοιπο μίγμα σύμμεικτων αποβλήτων ήδη από το αρχικό στάδιο χειροδιαλογής, θα οδηγούνται για ταφή στο ΧΥΤΑ μέσω των απορριμματοφόρων του δήμου. Το ίδιο συμβαίνει και για το υπόλειμμα των μπλε κάδων που επιστρέφεται ως μη ανακυκλώσιμο από το ΚΔΑΥ.

Ταυτόχρονα με την προ-επεξεργασία του ρεύματος των οικιακών αποβλήτων, το ρεύμα των *πράσινων αποβλήτων* διέρχεται από έναν **τεμαχιστή** (*Shredder 2*) έτσι ώστε να μειωθεί το μέγεθος των εμπεριεχόμενων σε αυτό κλαδεμάτων, τα οποία θα εξέρχονται με μια διάμετρο της τάξης των 50 mm [40]. Το κλάσμα των τεμαχισμένων πλέον κλαδεμάτων αναμειγνύεται με το οργανικό κλάσμα που έχει διέλθει από τις οπές του τυμπάνου στα πρώτα στάδια της μηχανικής επεξεργασίας του οικιακού ρεύματος και στο οποίο έχει πραγματοποιηθεί ανάκτηση σιδηρούχων και μη σιδηρούχων μετάλλων (αλουμινίου).

Συνεπώς, στην έξοδο της μονάδας μηχανικής διαλογής, έχει τελικά παραχθεί ένα πλήρως βιογενές και ομογενοποιημένο μίγμα αποβλήτων από υπολείμματα τροφών (*food waste*) και τεμαχισμένα κλαδέματα (*green waste*) το οποίο προορίζεται για να τροφοδοτήσει μια σειρά από χωνευτήρες τύπου γκαράζ προς παραγωγή βιοαερίου.

5.2.3 Αναερόβια αποδόμηση οργανικού κλάσματος

Πιο συγκεκριμένα, αφού ολοκληρωθεί το αρχικό στάδιο της μηχανικής προ-επεξεργασίας, το οργανικό υπόστρωμα μεταφέρεται στη μονάδα βιολογικής επεξεργασίας της πρότυπης εγκατάστασης (*Biological Treatment Facility- BTF*) όπου και τοποθετείται προσωρινά σε δεξαμενές αποθήκευσης εντός κλειστού κτιρίου (*tipping building*). Σε πρώτη φάση, το οργανικό κλάσμα οδηγείται στην **αντλία ανάμειξης** (*mixing unit*) όπου και αναμειγνύεται με το ξηρό ανακτηθέν υπόλειμμα -χωνεμένο υλικό- προηγούμενων διαδικασιών χώνευσης με σκοπό τον εμβολιασμό του με κατάλληλο μικροβιακό πληθυσμό [38],[52].

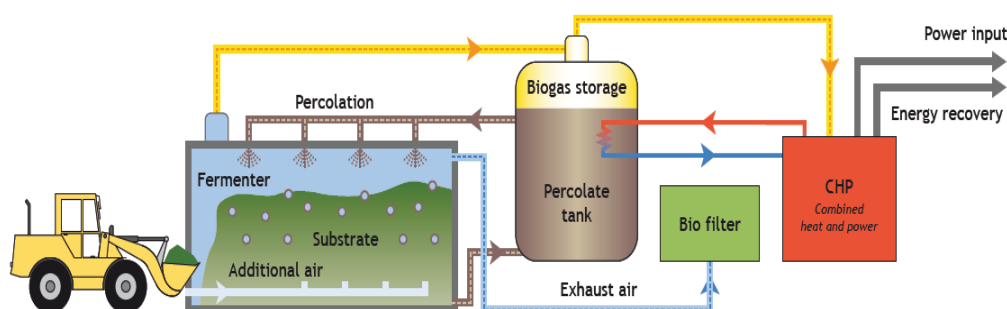
Αμέσως μετά, το εμβολιασμένο πλέον οργανικό υπόστρωμα μεταφέρεται μέσω **μηχανικού φορτωτή** (*wheel loader*) εντός των χωνευτήρων όπου ζυμώνεται υπό αναερόβιες συνθήκες για ένα διάστημα περίπου 4-5 εβδομάδων [42]. Κάθε χωνευτήρας λειτουργεί αυτόνομα και εξοπλίζεται με συστήματα διαχείρισης βιοαερίου, αερισμού, εξαερισμού, διαβροχής και αεροστεγή θύρα.

Ειδικότερα, μέσω κατάλληλου δικτύου σωληνώσεων (*drainage system*), ενσωματωμένου στο δάπεδο, επιτυγχάνεται τόσο ο αερισμός των αποβλήτων όσο και η απομάκρυνση των παραγόμενων στραγγισμάτων τα οποία θα οδηγούνται στη συνέχεια σε μια θερμαινόμενη δεξαμενή αποθήκευσης (*percolate tank*). Έπειτα, στο δάπεδο καθώς και στα τοιχώματα των επιμέρους βιοαντιδραστήρων αναπτύσσεται **σύστημα θέρμανσης** (*heating system*) αποτελούμενο από αγωγούς εντός των οποίων διοχετεύεται ζεστό νερό από την μηχανή

συμπαγωγής για την διατήρηση της θερμοκρασίας στα επιθυμητά επίπεδα. Επιπλέον, στην οροφή κάθε χωνευτή είναι εγκατεστημένο **σύστημα διαβροχής** (percolate spraying system) μέσω του οποίου ανακυκλοφορούνται τα θερμαινόμενα στραγγίσματα εντός του απορριμματικού όγκου, για την ρύθμιση της θερμοκρασίας, της υγρασίας αλλά και τον περαιτέρω εμβολιασμό του υλικού με μικροβιακή μάζα. [38],[42],[52]

Το παραγόμενο βιοαέριο αναρροφάται από την οροφή των βιοαντιδραστήρων μέσω συστήματος αντλιών και κατευθύνεται σε μια δεξαμενή αποθήκευσης. Από το αεροφυλάκιο (gas holder) προωθείται σε εξελιγμένα **συστήματα καθαρισμού** (biogas cleaning system) και **μείωσης της υγρασίας** του (humidity control system) προς βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών του [40],[53]. Στη συνέχεια, το αναβαθμισμένο εν δυνάμει βιοκαύσιμο διοχετεύεται μέσω σωληνώσεων (piping components) εντός μιας πλήρως εξοπλισμένης **Μηχανής Εσωτερικής Καύσης** (gas engine) προς συμπαγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. [38],[46],[52]

Η ροή του παραγόμενου βιοαερίου παρακολουθείται συνεχώς μέσω ενός μετρητή παροχής. Εάν η μονάδα συμπαγωγής ενέργειας είναι εκτός λειτουργίας ή εάν η παραγωγή αερίου υπερβαίνει την απαίτηση της μονάδας, το μη χρησιμοποιήσιμο αέριο ζύμωσης καίγεται σε έναν πυρσό έκτακτης ανάγκης [24].



Εικόνα 5.3: Παράδειγμα λειτουργίας dry-batch μονάδας αναερόβιας χώνευσης (Herhof GmbH) [54]

5.2.4 Κομποστοποίηση και Ραφινάρισμα χωνεμένης ιλύς

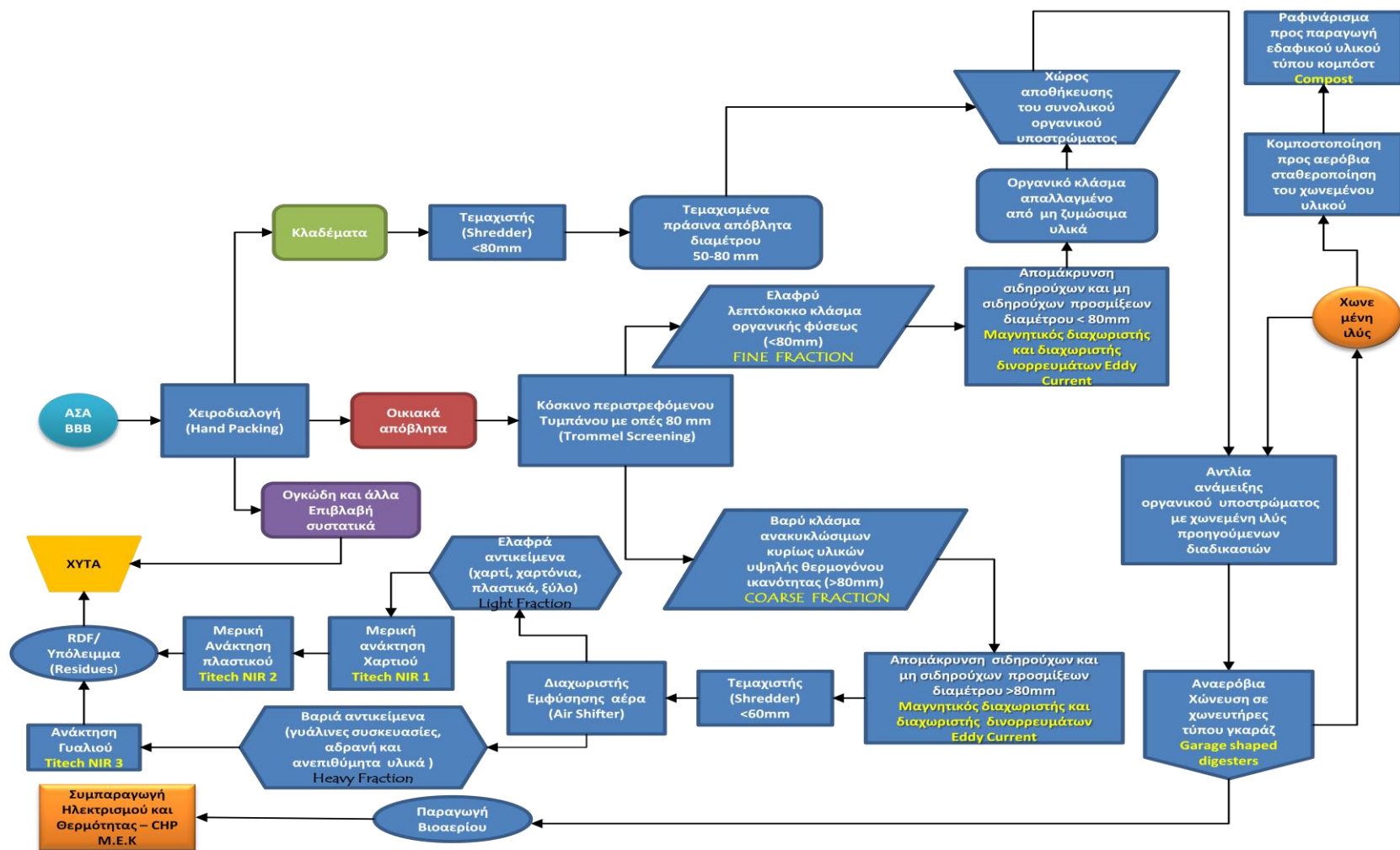
Η ποσότητα του χωνεμένου υπολείμματος (50%) [42] που δεν επαναχρησιμοποιείται για τον εμβολιασμό της καινούργιας τροφοδοσίας θα οδηγείται προς αερόβια σταθεροποίηση διάρκειας περίπου 2-3 εβδομάδων [24],[40]. Οι διαδικασίες μετεπεξεργασίας διεξάγονται εντός **κλειστού συστήματος κομποστοποίησης** (Composting Treatment Facility-CTF) για τον περιορισμό των παραγόμενων δυσσομιών. Αναλυτικότερα, η όλη διεργασία λαμβάνει χώρα σε κελιά (tunnels) που βρίσκονται εντός στεγανού κτιρίου ενώ μέσω της ρύθμισης των συστημάτων αερισμού και διαβροχής διασφαλίζεται η λειτουργία υπό πλήρως ελεγχόμενες συνθήκες [38],[45],[46].

Τα απαέρια της διεργασίας αναρροφούνται μέσω δικτύου αεραγωγών και ανεμιστήρα απαγωγής που είναι εγκατεστημένο στην οροφή του κελιού. Από εκεί οδηγούνται σε χημική πλυντηρίδα και βιόφιλτρο (biofilter) για επεξεργασία πριν τη διάθεση στην ατμόσφαιρα. Η

ρύθμιση της υγρασίας του υλικού θα γίνεται με δίκτυο διαβροχής προσαρμοσμένο στην οροφή έκαστου κελιού [38],[48].

Στη συνέχεια, το παραγόμενο κομπόστ από το χώρο ωρίμανσης μεταφέρεται στη γραμμή εξευγενισμού. Ειδικότερα, η διαδικασία του ραφινάρισματος συνιστάται στο διαχωρισμό του κομποστοποιημένου υλικού από ξένες προσμίξεις (σκληρά πλαστικά, χαλίκια, φύλλο πλαστικού), καθώς και από τα μη πλήρως κομποστοποιημένα οργανικά στερεά [24],[45]. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της λειτουργίας ενός περιστροφικού κόσκινου με οπές διαμέτρου 12mm και βαρυμετρική τράπεζα.

Το υλικό που διέρχεται των οπών αποθηκεύεται προσωρινά στον υποκείμενου του κόσκινου χώρο και εν συνεχεία φορτώνεται σε φορτηγό/ φορτωτή και οδηγείται στο χώρο αποθήκευσης. Το ευμέγεθες υλικό απορρίπτεται σε container προ της τελικής μεταφοράς και διάθεσής του στο ΧΥΤΑ [46].



Εικόνα 5.1: Αναλυτικό διάγραμμα λειτουργίας προτεινόμενης MBT μονάδας

Συμπερασματικά, προτείνεται η κατασκευή μιας **αυτόνομης μονάδας Μηχανικής Βιολογικής Επεξεργασίας (MBE)** σύμμεικτων αποβλήτων στην οποία θα υπάρχουν διάφορες περιοχές λειτουργίας, καθεμία από τις οποίες θα συνεισφέρει ξεχωριστά στην επίτευξη των αντικειμενικών σκοπών της σχεδιαζόμενης εγκατάστασης, που θα είναι κατά σειρά προτεραιότητας οι εξής:

- ✓ **Ενεργειακή αξιοποίηση των ΑΣΑ** (Energy Recovery)
- ✓ **Ανάκτηση ανακυκλώσιμων υλικών** (Material Recovery)
- ✓ **Παραγωγή Στερεού Ανακτηθέντος Καυσίμου** (RDF Production)
- ✓ **Παραγωγή εδαφοβελτιωτικού υλικού** (Compost Production)

5.3 Επιλογή τύπου αναερόβιας χώνευσης

Η επιλογή της καταλληλότερης τεχνολογίας αναερόβιας χώνευσης για την βιολογική επεξεργασία του οργανικού υποστρώματος στην σχεδιαζόμενη εγκατάσταση, προκύπτει έπειτα από τη διεξαγωγή μιας στοιχειώδους σύγκρισης των εμπορικά διαθέσιμων μεθόδων. Κατά την διάρκεια των συγκριτικών αυτών διαδικασιών, εξετάζεται μια σειρά **τεχνικών κριτηρίων** (technical screening criteria) [53], η ικανοποίηση των οποίων συνιστά βασικό ζητούμενο της μελέτης, επηρεάζοντας σημαντικά και την τελική της απόφαση.

Οι βασικότεροι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη αφορούν:

- Την ωριμότητα των επιμέρους υφιστάμενων τεχνολογιών σύμφωνα με τον αριθμό των μονάδων που η κάθε μια από αυτές λειτουργεί σε παγκόσμιο επίπεδο. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις μονάδες μικρής κλίμακας σαν και αυτή που σχεδιάζεται.
- Την ευελιξία και την αποδοτικότητα τους ως προς τον χειρισμό οργανικών κλασμάτων που προέρχονται από αστικά απόβλητα.
- Την δυνατότητα χειρισμού οργανικών υποστρωμάτων παρόμοιας σύνθεσης με αυτήν που προκύπτει από τα ΑΣΑ του δήμου BBB, δηλαδή κατά βάση υπολειμμάτων τροφών και πράσινων αποβλήτων.
- Την παραγωγή τέτοιας ποσότητας και ποιότητας βιοαερίου που να επιτρέπει σχετικά υψηλά επίπεδα ανάκτησης ηλεκτρισμού και θερμότητας μέσω της καύσης του.
- Το επίπεδο των ιδιοκαταναλώσεων σε παρόμοιου τύπου μονάδες. Γενικότερα, επιδιώκεται χαμηλό παρασιτικό φορτίο μιας και η πώληση του συνόλου της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στο εθνικό δίκτυο αποτελεί στρατηγικής σημασίας στόχο από τη στιγμή που συνεπάγεται με άμεσα έσοδα για το δήμο.
- Την επαρκή παροχή πληροφοριών σχετικά με τα κόστη επένδυσης και λειτουργίας των εξεταζόμενων τεχνολογιών έτσι ώστε να δίνεται η δυνατότητα σύγκρισης τους ως προς την οικονομική αποδοτικότητά τους.

- Τις χωροθετικές απαιτήσεις παρόμοιων μονάδων που βρίσκονται ήδη σε λειτουργία ανά τον κόσμο. Με άλλα λόγια, θα πρέπει η τεχνολογία που θα επιλεγεί να ικανοποιεί και τους επιπλέον περιορισμούς που έχουν προκύψει για τη περίπτωση που μελετάται, μιας και η έκταση του παρεχόμενου οικοπέδου είναι συγκεκριμένη.

Τελικά, η μέθοδος που προκρίνεται ως η πλέον κατάλληλη για την αναερόβια χώνευση του οργανικού υποστρώματος των ΑΣΑ του δήμου BBB είναι η **ξηρού τύπου με διακοπτόμενη τροφοδοσία** (dry-batch fermentation) ενώ οι χωνευτήρες που θα χρησιμοποιούνται θα είναι **τύπου γκαράζ** (garage-shaped digesters).

Σήμερα, η ξηρή αναερόβια χώνευση εμφανίζεται ως η πλέον ενδεδειγμένη τεχνολογία για την επεξεργασία οργανικών κλασμάτων που προέρχονται από οικιακά και πράσινα απόβλητα. Αντίθετα, η υγρή χώνευση προτιμάται κυρίως για τον χειρισμό παχύρρευστων υδαρών υπολειμμάτων από γεωκτηνοτροφικές και άλλες δραστηριότητες (slurries) αλλά και διάφορων ειδών λυματολάσπης (sewage sludge) με περιεκτικότητα σε ξηρή ουσία μικρότερη του 15% [40],[42].

Ειδικότερα, για περιπτώσεις μονάδων μικρής κλίμακας, όπως είναι αυτή που εξετάζεται, συνηθίζεται η εφαρμογή ξηρών-διακοπτόμενων διεργασιών ζύμωσης οι οποίες λαμβάνουν χώρα εντός αντιδραστήρων σχήματος γκαράζ (garage-shaped fermenters) [36]. Αυτού του είδους τα συστήματα κατορθώνουν σημαντική εξοικονόμηση χώρου, μείωση των απαιτήσεων σε νερό καθώς και ελαχιστοποίηση των ηλεκτρικών και θερμικών αναγκών σε ιδιοκατανάλωση [44],[54],[55].

Οι χωνευτήρες τύπου γκαράζ οι οποίοι διακρίνονται για τη σταθερότητά και την αξιοπιστία τους, χρησιμοποιούνται ευρέως σε παρόμοιες μονάδες ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ ανά την Ευρώπη εμφανίζοντας δυνατότητες επεξεργασίας που εκτείνονται σε ένα μεγάλο εύρος ετήσιων δυναμικότητων που ξεκινά από 5.000 tη και φτάνει μέχρι 100.000 tη οργανικού κλάσματος ΑΣΑ [42].

Επίσης, έχουν **μεγάλη διάρκεια ζωής** που μπορεί να προσεγγίσει ακόμα και τα 30 χρόνια ενώ επιτρέπουν και **δυνατότητα επέκτασης** σε περίπτωση που το θελήσει κάποια στιγμή ο δήμος. Ωστόσο, το βασικότερο πλεονέκτημα τους έγκειται στην **απουσία διαδικασιών ανάδευσης ή ανάμειξης** κατά τη διάρκεια των αναερόβιων διεργασιών με συνέπεια τα **ετήσια λειτουργικά κόστη να είναι αρκετά χαμηλά** εξαιτίας των περιορισμένων δαπανών όσον αφορά το προσωπικό και την συντήρηση του χρησιμοποιούμενου μηχανολογικού εξοπλισμού. [38],[41],[42]

Τέλος, σχετικά με τη θερμοκρασιακές συνθήκες που αναμένεται να επικρατούν εντός των χωνευτήρων αυτές συνηθίζεται να είναι μεσοφιλικές (37-40 °C) [42],[52]. Γενικότερα, οι μεσόφιλες διεργασίες διακρίνονται για την σταθερότητά τους και για τα χαμηλότερα κόστη επένδυσης και λειτουργίας για αυτό και μέχρι πρότινος ήταν οι πλέον δημοφιλείς σε τέτοιου είδους εφαρμογές [34],[46]. Ωστόσο, οι θερμοφιλικές διεργασίες (50-55 °C) εξαπλώνονται όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια μιας και επιτυγχάνουν υψηλότερα επίπεδα παραγωγής βιοαερίου, της τάξης του 20%, σε συνδυασμό με μεγαλύτερη απομάκρυνση παθογόνων μικροοργανισμών από τα απορρίμματα [38],[41]. Θεωρούνται

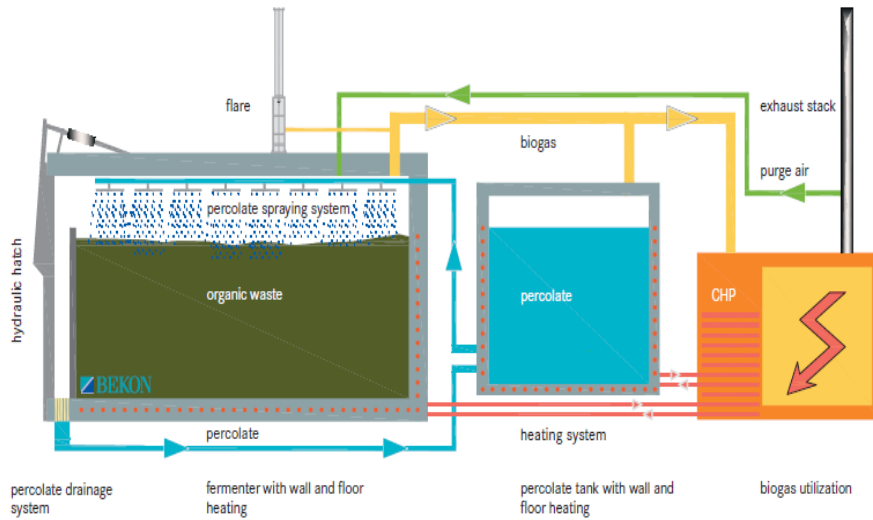
πιο απαιτητικές και επομένως πιο ακριβές σε σχέση με τις μεσόφιλες, λόγω της ιδιαίτερης ευαισθησίας που παρουσιάζουν οι θερμοφιλοί μικροοργανισμοί στις μεταβολές του περιβάλλοντός τους [35],[46].

Συνοψίζοντας, η επένδυση σε μια εγκατάσταση μικρής κλίμακας η οποία κατά το βιολογικό σκέλος επεξεργασίας του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ θα ενσωματώνει τις τεχνολογίες εκείνες που αναλύθηκαν προηγουμένως, εκτιμάται ότι θα αποφέρει σημαντικά κέρδη στον δήμο ΒΒΒ τόσο από άποψη ενεργειακής και οικονομικής αποδοτικότητας της εγκατάστασης όσο και περιβαλλοντικής της συμπεριφοράς μέσω της εξοικονόμησης σημαντικών φυσικών πόρων (νερό).

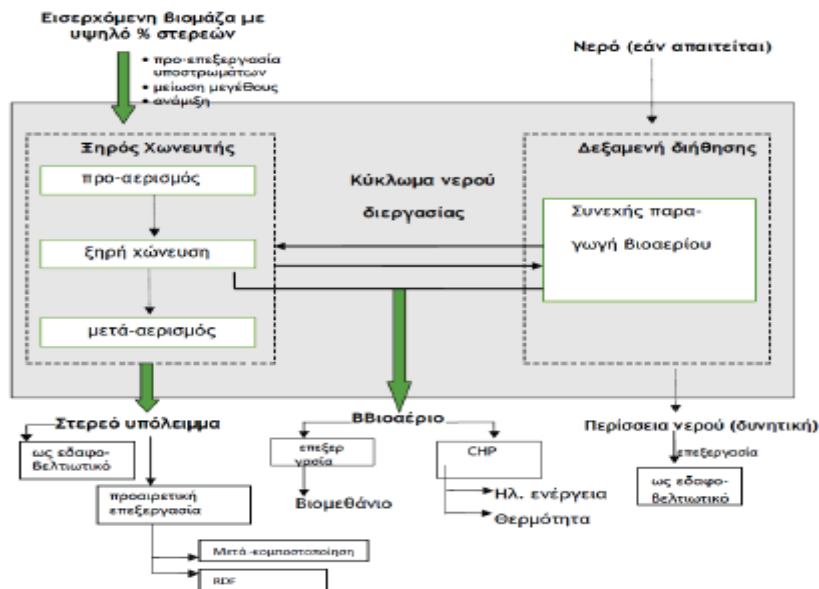
Συγκεντρωτικά, τα **κυριότερα οφέλη** που προβλέπονται από την συνολική υιοθέτηση των προτάσεων της μελέτης για τη μονάδα αναερόβιας χώνευσης κρίνεται ότι είναι τα εξής:

- ✓ Μικρός όγκος μονάδας εξαιτίας της υψηλής συγκέντρωσης στερεών (>40% κ.β.) στα χρησιμοποιούμενα οργανικά υποστρώματα καθώς και δυνατότητα επέκτασής της
- ✓ Χαμηλό κόστος συντήρησης και μείωση του θορύβου σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος επένδυσης για την εγκατάσταση και των μηχανικών μερών.
- ✓ Αυτοματοποιημένη διαδικασία με ελάχιστα κινητά μέρη στο σύνολο της μονάδας, γεγονός που μειώνει δραματικά το κόστος συντήρησης και συνολικά τις φθορές που ίσως να εμφανίζονταν σε άλλες περιπτώσεις.
- ✓ Απλό αλλά σύγχρονο, ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα παρακολούθησης των κυριότερων παραμέτρων (θερμοκρασία, pH, κλπ.) της διεργασίας.
- ✓ Χαμηλές ιδιοκαταναλώσεις ενέργειας κατά τη διάρκεια της διεργασίας (λιγότερο από το 10% της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τη μονάδα συμπαραγωγής).
- ✓ Μειωμένη χρήση νερού που δεν εξαντλεί τους υδατικούς πόρους ειδικά σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν μεγάλα αποθέματα. Για την παροχή της απαραίτητης υγρασίας χρησιμοποιούνται τα στραγγίσματα μέσω ανακυκλοφορίας. [52],[54],[56]
- ✓ Παραγωγή ξηρού χωνεμένου υπολείμματος που δεν απαιτεί περαιτέρω διεργασίες επεξεργασίας, διαχωρισμού και αφυδάτωσης. [42],[52]

Παρακάτω, απεικονίζεται η **αρχή λειτουργίας** δύο εκ των πιο δημοφιλών από τις σύγχρονες εμπορικές τεχνολογίες στην κατασκευή dry-batch μονάδων αναερόβιας ζύμωσης οργανικών κλασμάτων ΑΣΑ, τα οποία μπορεί να είναι είτε προ-διαλεγμένα (*Source Separated waste*) είτε να διαχωρίζονται από το υπόλοιπο των σύμμεικτων απορριμμάτων κατά το στάδιο της μηχανικής προ-επεξεργασίας (*Grey waste*), όπως άλλωστε προβλέπεται να συμβεί και στην προτεινόμενη από την παρούσα μελέτη πρότυπη εγκατάσταση [55].



Εικόνα 5.3: Τεχνολογία ξηρής αναερόβιας χώνευσης τύπου Bekon [38]



Εικόνα 5.4: Τεχνολογία ξηρής αναερόβιας χώνευσης τύπου Helector GmbH (πρώην Loock TNS) [54]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Τεχνοοικονομική ανάλυση

6.1 Μεθοδολογία εργασίας

Η συγκεκριμένη ενότητα της μελέτης εστιάζει στον υπολογισμό του **συνολικού ετήσιου κόστους** (annual treatment cost) που θα προκύψει από την υλοποίηση του προτεινόμενου εναλλακτικού σχεδίου δράσης στον τομέα της διαχείρισης των ΑΣΑ από το δήμο BBB με βάση το οποίο προβλέπεται η κατασκευή αυτόνομης MBT μονάδας.

Σε πρώτη φάση, τόσο το **κόστος επένδυσης** (investment cost) όσο και το ετήσιο **κόστος λειτουργίας** (operating cost) αποτελούν τα χαρακτηριστικότερα οικονομικά μεγέθη της εξεταζόμενης εγκατάστασης και συνεπώς η ρεαλιστική προσέγγισή τους είναι καθοριστικής σημασίας.

Ένα κρίσιμο σημείο που χρήζει ιδιαίτερης προσοχής είναι η μετατροπή του εκτιμώμενου αρχικού κεφαλαίου για την υλοποίηση του έργου σε ετήσιες ισόποσες δόσεις οι οποίες θα καταβάλλονται καθ' όλη τη θεωρούμενη διάρκεια ζωής της εγκατάστασης. Με άλλα λόγια, είναι απαραίτητο τα επενδυτικά κόστη της μονάδας να ανάγονται κάθε φορά σε **ετήσια βάση** προκειμένου να καθίσταται εφικτή η συνέχιση των υπολογισμών μέχρις ότου την κατάληξη σε ένα τυπικό ετήσιο ειδικό κόστος. Συνεπώς, η αναγωγή του αρχικού κεφαλαίου σε ράντα (annuity) επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης του παρακάτω τύπου :

$$A = \frac{P \cdot i \cdot (1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$$

όπου:

A= ράντα σε ετήσια βάση

P= αρχικό κόστος επένδυσης ή Αρχικό Κεφάλαιο

i= επιτόκιο αναγωγής

N=διάρκεια ζωής επένδυσης/μονάδας

Σε δεύτερη φάση, από το άθροισμα του ετήσιου επενδυτικού και λειτουργικού κόστους της μονάδας με το εκ νέου διαμορφωμένο κόστος αποκομιδής αφαιρούνται όλα εκείνα τα έσοδα που προέρχονται τόσο από την **πώληση του συνόλου της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας** στο δίκτυο όσο και από την **πώληση των ανακτηθέντων υλικών** από τη μηχανική προ-επεξεργασία του ρεύματος των οικιακών αποβλήτων, στις διάφορες εγχώριες βιομηχανίες που δραστηριοποιούνται σήμερα στον τομέα της ανακύκλωσης.

Τελικά, το αποτέλεσμα είναι μια χρηματοροή που αντικατοπτρίζει το ετήσιο κόστος που θα χαρακτηρίζει την MBT μονάδα στο σύνολό της. Επισημαίνεται πως για την εύρεση του **ειδικού συνολικού ετήσιου κόστους** (annual specific treatment cost) το οποίο μετράται σε ευρώ ανά τόνο ΑΣΑ (€/tn) απαιτείται η διαίρεση του εξαχθέντος ετησίου κόστους με την ονομαστική χωρητικότητα της εγκατάστασης.

Πίνακας 6.1: Τρόπος υπολογισμού του ετήσιου συνολικού κόστους της προτεινόμενης MBT μονάδας

$$\begin{aligned} & \text{ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ MBT ΜΟΝΑΔΑΣ} \\ & = \\ & \text{ΕΤΗΣΙΟ ΕΠΕΝΔΥΤΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (€)} \\ & + \\ & \text{ΕΤΗΣΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ (€)} \\ & - \\ & \text{ΕΣΟΔΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΩΛΗΣΗ ΤΗΣ} \\ & \text{ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (€)} \\ & - \\ & \text{ΕΣΟΔΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΩΛΗΣΗ} \\ & \text{ΤΩΝ ΑΝΑΚΤΗΘΕΝΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΙΣ} \\ & \text{ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΕΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ (€)} \end{aligned}$$

Σε συνέχεια του υπολογισμού του ετήσιου κόστους που θα περιγράφει την ολοκληρωμένη εγκατάσταση βιοαερίου μικρής κλίμακας, η μελέτη επιχειρεί τον **επαναπροσδιορισμό των ετήσιων δαπανών για την αποκομιδή των ΑΣΑ** των οποίων η μεταβολή αποτελεί άμεση συνέπεια της υλοποίησης το σχεδιαζόμενου έργου. Τα κόστη αυτά αφορούν αφενός τη συλλογή και μεταφορά των σύμμεικτων απορριμμάτων στη μονάδα και αφετέρου την εναπόθεση στο ΧΥΤΑ του RDF που παράγεται κατά το αρχικό στάδιο της μηχανικής προεπεξεργασίας των ΑΣΑ εντός της εγκατάστασης μαζί με τα ογκώδη και το υπόλειμμα που επιστρέφεται από το ΚΔΑΥ.

Το νέο κόστος αποκομιδής των απορριμμάτων είναι το οικονομικό μέγεθος εκείνο που θα συμβάλλει στην απόκτηση μιας συνολικής εικόνας για το ύψος που θα κυμαίνεται το ετήσιο λειτουργικό κόστος από την εναλλακτική διαχείριση των ΑΣΑ στο δήμο BBB σε σύγκριση και με το υφιστάμενο κόστος διαχείρισης που προβλέπει την ταφή των σύμμεικτων αποβλήτων στο ΧΥΤΑ των Άνω Λιοσίων.

Πίνακας 6.2: Τρόπος υπολογισμού του ετήσιου συνολικού κόστους εναλλακτικής διαχείρισης ΑΣΑ

$$\begin{aligned} & \text{ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ} \\ & \text{ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΣΑ} \\ & = \\ & \text{ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ} \\ & \text{MBT ΜΟΝΑΔΑΣ (€)} \\ & + \\ & \text{ΕΤΗΣΙΟ ΚΟΣΤΟΣ} \\ & \text{ΑΠΟΚΟΜΙΔΗΣ ΑΣΑ (€)} \end{aligned}$$

6.2 Παραδοχές και επισημάνσεις

Αρχικά, επισημαίνεται πως, κατά τις τρέχουσες πρακτικές, οι παραγόμενες ποσότητες RDF από μονάδες επεξεργασίας ΑΣΑ στέλνονται προς ταφή μιας και λόγω της χαμηλής τους περιεκτικότητας σε χαρτί και πλαστικά δεν ενδείκνυνται για περαιτέρω ενεργειακή αξιοποίηση [2],[57]. Για το λόγο αυτό, και στο σενάριο λειτουργίας της σχεδιαζόμενης MBT εγκατάστασης έχει θεωρηθεί πως το υπόλειμμα των διεργασιών μηχανικού διαχωρισμού του οικιακού κλάσματος αποβλήτων θα οδηγείται για εναπόθεση στο ΧΥΤΑ.

Σπανιότερα, το RDF μπορεί να πουληθεί στις εγχώριες τσιμεντοβιομηχανίες [15] αν και εφόσον εάν ικανοποιούνται τα ποιοτικά κριτήρια που έχουν οριστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση Εταιρειών Θερμικής Επεξεργασίας Αποβλήτων (EURITS) για τη συναποτέφρωση αποβλήτων [25],[58]. Σε μια τέτοια περίπτωση που δεν συγκεντρώνει παρά ελάχιστες πιθανότητες, η τιμή πώλησης οφείλεται να καθοριστεί από τον ίδιο το δήμο στα πλαίσια των προσπαθειών αύξησης της βιωσιμότητας του μελετώμενου εναλλακτικού σεναρίου διαχείρισης ΑΣΑ.

Επιπλέον, σε περίπτωση που αποφασιστεί η λειτουργία τμήματος μετακομποστοποίησης για τη χωνεμένη ιλύς εντός της εγκατάστασης, έχει θεωρηθεί ότι το παραγόμενο εδαφικό υλικό τύπου κομπόστ θα χρησιμοποιείται για ιδία χρήση σε πάρκα και κήπους του δήμου. Ωστόσο και πάλι η τελική απόφαση για τον τρόπο χρήσης του εδαφοβελτιωτικού επαφίεται στον ίδιο το δήμο και την πολιτική που επιθυμεί να ακολουθήσει. Οι βασικότερες δυνατότητες χρήσεις του υλικού αυτού συγκεντρώνονται συνοπτικά παρακάτω [25]:

- Χρήση στη δασοκομία. Περιορισμένη χρήση εξαιτίας του γεγονότος ότι ο τελικός χρήστης απαιτεί συνήθως αποζημίωση προκειμένου να το χρησιμοποιήσει.
- Χρήση ως εδαφοβελτιωτικό ειδικά σε άγονες περιοχές, για βελτίωση της ποιότητας του εδάφους και διατήρηση της υγρασίας αυτού: έχει ιδιαίτερη εφαρμοσιμότητα.
- Χρήση σε ενεργειακές καλλιέργειες: Περιορισμένες δυνατότητες χρήσης σε καλλιέργειες κράμβης για βιοντίζελ και ιτιάς.
- Χρήση σε κράσπεδα οδικών αρτηριών – αναχώματα, κατασκευές κτιρίων: Απαιτείται η επίστρωση στρώματος φύλλων για συγκράτηση υγρασίας σε δρόμους – συνήθως οι εργολάβοι ζητούν αντίτιμο προκειμένου να το χρησιμοποιήσουν.
- Χρήση σε ρυπασμένους χώρους – για αποκατάσταση χώρων: σημαντική δυνατότητα αξιοποίησης όμως πρόκειται για παροδική χρήση η οποία δεν είναι μόνιμη και επομένως απαιτείται η εξεύρεση και εναλλακτικού τρόπου διάθεσης.
- Χρήση ως υλικό επικάλυψης ή τελική κάλυψη σε ΧΥΤΑ: Μεγάλες δυνατότητες εφαρμογής, χωρίς να αναμένονται έσοδα.

Πιο συγκεκριμένα, το υλικό τύπου κομπόστ που προέρχεται από την αναερόβια επεξεργασία ενός μηχανικά διαχωρισμένου οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ, όπως συμβαίνει στο σενάριο που μελετάται, είναι συνήθως χαμηλής ποιότητας και δεν εμφανίζει δυνατότητες πώλησης ενώ απαιτείται απαραίτητως και διαδικασίες εξευγενισμού. [25],[41]

Αντίθετα, το χωνεμένο υλικό που προέρχεται από την αναερόβια επεξεργασία προ-διαλεγμένων οργανικών αποβλήτων είναι καλύτερης ποιότητας και μπορεί να αποτελέσει την πρώτη ύλη για την παραγωγή ενός υψηλής καθαρότητας και καλής εμφάνισης κομπόστ που θα μπορεί να είναι εμπορεύσιμο. [24],[33]

Ενδεικτικά, η εμπειρία από Ευρωπαϊκές χώρες δείχνει πως το κομπόστ που πληροί τις ελάχιστες προδιαγραφές ποιότητας εφαρμόζεται κατά κύριο λόγο στη γεωργία με μηδενική ή μικρή τιμή πώλησης (0-3 €/tn). Σε ορισμένες χώρες η τιμή πώλησης υψηλής ποιότητας κομπόστ μπορεί να είναι υψηλότερη (20-40 €/tn), σε περιορισμένες όμως ποσότητες και έπειτα από σημαντικό εξευγενισμό [24]. Την ίδια στιγμή, σε αντίστοιχες έρευνες από την *Eunomia* (2009) και τον *Barth* (2008) αναφέρεται ως μέση τιμή πώλησης στην ΕΕ τα 7 €/tn κομπόστ, δηλαδή περίπου 3,5 €/tn εισερχομένων απορριμμάτων [34],[59].

Ανακεφαλαιώνοντας, μια ολοκληρωμένη και συνάμα ρεαλιστική προσέγγιση των οικονομικών απαιτήσεων της υπό εξέταση εγκατάστασης μικρής κλίμακας για την διαχείριση των ΑΣΑ στο δήμο ΒΒΒ προϋποθέτει την εκτίμηση του αρχικού κεφαλαίου και των ετήσιων δαπανών λειτουργίας τόσο για τη μονάδα μηχανικής επεξεργασίας (ΜΤΦ) όσο και για τη μονάδα βιολογικής επεξεργασίας (ΒΤΦ).

Για το λόγο αυτό, η τεχνοοικονομική ανάλυση χωρίζεται σε **δύο διακριτά μέρη**. Στο **πρώτο μέρος** εξετάζονται τα επενδυτικά και λειτουργικά κόστη που απορρέουν από το μηχανικό σκέλος προ-επεξεργασίας των εισερχόμενων σύμμεικτων απορριμμάτων ενώ το **δεύτερο μέρος** ασχολείται με τα αντίστοιχα κόστη της μονάδας αναερόβιας χώνευσης, στα οποία θα εμπεριέχονται και τα κόστη που σχετίζονται με το σύστημα συμπαραγωγής που ακολουθεί.

Υπολογίζεται πως οι εξειδικευμένες και πολύπλοκες μηχανικές διεργασίες διαχωρισμού των σύμμεικτων αποβλήτων θα αυξάνουν σε αρκετά υπολογίσιμο βαθμό τα συνολικά κόστη επένδυσης και λειτουργίας για την πρότυπη εγκατάσταση, σε σχέση με την περίπτωση που στην εγκατάσταση εισέρχονταν βιοαποικοδομήσιμα ΑΣΑ που είχαν συλλεχτεί χωριστά μέσω διαλογής στην πηγή (καφέ κάδοι). [25],[33]

Τέλος, για τη διεκπεραίωση της τεχνοοικονομικής μελέτης που ακολουθεί, έχει θεωρηθεί επιτόκιο αναγωγής 6% και εκτιμώμενη διάρκεια ζωής για την προτεινόμενη μονάδα τα 15 χρόνια. Επίσης, η εγκατάσταση θεωρείται ότι λειτουργεί με ελάχιστες διακοπές (λόγω συντήρησης, βλαβών κ.α.) κατά τη διάρκεια του χρόνου.

Πίνακας 6.3: Υπολογιστικές παραδοχές για την τεχνοοικονομική μελέτη

Επιτόκιο Αναγωγής	6%
Διάρκεια ζωής	15 χρόνια
Ώρες λειτουργίας ανά έτος	8200 ώρες

6.3 Εκτίμηση για τα κόστη επένδυσης και λειτουργίας της μονάδας Μηχανικής επεξεργασίας ΑΣΑ (MTF)

Σύμφωνα με το διάγραμμα ροής που αποτυπώνει την αρχή λειτουργίας της εγκατάστασης ο μηχανολογικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στη μονάδα μηχανικής επεξεργασίας απαρτίζεται από τα παρακάτω μηχανήματα (βλ. διάγραμμα ροής):

- 1 Μηχανή ανοίγματος για τις σακούλες σκουπιδιών (Bag breaker machine)
- 1 ταινιόδρομος με μάντα (Conveyor)
- 1 Κόσκινο περιστρεφόμενου τυμπάνου (Trommel Screen)
- 2 Τεμαχιστές (Shredders)
- 2 Μαγνητικοί διαχωριστές (Magnetic Separators)
- 2 διαχωριστές δινορρευμάτων (Eddy Current Separators)
- 1 Διαχωριστής έμφυσης αέρα (Air Classifier)
- 1 Οπτικός διαχωριστής χαρτιού (Optical paper sorting)
- 1 Οπτικός διαχωριστής πλαστικού (Optical plastic sorting)
- 1 Οπτικός διαχωριστής γυαλιού (Optical glass sorting)
- 2 δεματοποιητές (Balers)

Η μονάδα προ-επεξεργασίας των ΑΣΑ φαίνεται να προσομοιάζει περισσότερο με μια απλή μονάδα ανάκτησης υλικών (Material Recovery Facility- MRF), με την μοναδική αλλά **ουσιώδη** **ωστόσο** **διαφορά** τους να έγκειται στο είδος των αποβλήτων που διαχειρίζονται.

Αναλυτικότερα, οι μονάδες ανάκτησης υλικών επεξεργάζονται καθαρά κλάσματα ανακυκλώσιμων αποβλήτων που προέρχονται από μπλε κάδους (Clean MRF). Αντίθετα, στην περίπτωση του δήμου BBB, η μονάδα προ-επεξεργασίας **καλείται να διαχειριστεί ένα βρώμικο κλάσμα σύμμεικτων αστικών απορριμμάτων από πράσινους και γκρι κάδους**. Τέτοιου τύπου μονάδες εμφανίζονται σε πολλές βιβλιογραφίες [60],[61] με τον όρο Dirty MRF ή Mixed Waste MRF.

Επομένως, η μονάδα μηχανικής προ-επεξεργασίας της εγκατάστασης θα εμφανίζει **αρκετά μεγαλύτερα επενδυτικά και λειτουργικά κόστη** σε σχέση με τα αντίστοιχα των Clean MRF μονάδων, εξαιτίας της μεγαλύτερης πολυπλοκότητας και εξειδίκευσης των απαιτούμενων μηχανικών διεργασιών διαχωρισμού [61].

Στο επόμενο στάδιο της μελέτης, μέσω της αξιοποίησης οικονομικών στοιχείων από παρόμοιας λειτουργίας μονάδες μηχανικής προ-επεξεργασίας αλλά και βάσει εκτιμήσεων εμπορικών εταιριών που δραστηριοποιούνται στον τομέα της ενεργειακής εκμετάλλευσης αστικών απορριμμάτων, γίνεται μια προσπάθεια προσέγγισης των επενδυτικών και λειτουργικών δαπανών που απορρέουν από το μηχανικό σκέλος της μονάδας.

6.3.1 Επενδυτικά Κόστη μονάδας μηχανικού διαχωρισμού

Η παράμετρος εκείνη που διαμορφώνει το ύψος του αρχικού κεφαλαίου που προορίζεται για την υλοποίηση της μονάδας προ-επεξεργασίας (MTFs investment costs) έχει να κάνει κυρίως με την **αγορά του απαραίτητου για τη λειτουργία της μηχανολογικού εξοπλισμού [61]**. Η δημοσιευμένη έρευνα των Tsilemou & Panagiotakopoulos (2007) συγκεντρώνει σε μορφή πίνακα όλα τα τυπικά εύρη τιμών των μηχανημάτων που επανδρώνουν ως επί το πλείστον μια μονάδα μηχανικού διαχωρισμού Αστικών Στερεών Απορριμμάτων [62].

Επισημαίνεται ότι το παρατιθέμενο εύρος τιμών είναι αφενός άμεσα συνδεδεμένο με την χωρητικότητα που θα επιλεγεί για κάθε μηχάνημα και αφετέρου μπορεί να έχει διαφοροποιηθεί σε κάποιο βαθμό με το πέρασμα των χρόνων και την αύξηση του ανταγωνισμού της αγοράς.

Πίνακας 6.4: Ενδεικτικό εύρος τιμών μηχανολογικού εξοπλισμού συναρτήσει της χωρητικότητας [62]

Μηχανολογικός Εξοπλισμός	Χωρητικότητα (tn/h)	Τιμή (€)
Μηχανήματα ανοίγματος σακουλών σκουπιδιών (Bag breakers)	3,00-35,20	48.900 – 157.500
Τύμπανα (Screens)	15,00 – 191,20	35.300 – 218.600
Τεμαχιστές (Shredders)	0,40 – 30,00	11.700 – 103.600
Μαγνητικοί διαχωριστές (Magnetic Separators)	4,30 – 40,00	7.300 – 54.300
Διαχωριστές δινορρευμάτων (Eddy Current Separators)	1,30 – 35,00	29.300 – 108.600
Διαχωριστές με έμφυση αέρα (Air Classifiers)	6,40 – 26,40	44.000 – 102.700

Στα έξοδα για την αγορά μηχανολογικού εξοπλισμού προστίθενται όλες οι **δαπάνες που απορρέουν από την σχεδίαση και τη κατασκευή του κτιρίου** όπου θα στεγάζεται η μονάδα MTF. Αφορούν κυρίως μελέτες και εργασίες από πολιτικούς και ηλεκτρολόγους μηχανικούς καθώς και αλλά συμπληρωματικά έργα/απρόβλεπτα κόστη. [61],[63]

Τέλος, σχετικά με το **κόστος απόκτησης και της μετέπειτα κατάλληλης προετοιμασίας του οικοπέδου** όπου θα τοποθετηθεί η μονάδα μηχανικού διαχωρισμού ΑΣΑ, στην περίπτωση που μελετάται, μετά από σχετική ενημέρωση από το δήμο ΒΒΒ, η παραχώρηση της απαιτούμενης εκτάσεως γης για την κατασκευή της ολοκληρωμένης εγκατάστασης αναερόβιας χώνευσης ΑΣΑ, πραγματοποιήθηκε έναντι μηδενικού αντιτίμου μετά από συμφωνία του ίδιου του δήμου με το Υπουργείο Εθνικής Αμύνης.

Ο *Ariņa* και οι συνεργάτες του [63] εστιάζουν μεταξύ των άλλων και στα κόστη επένδυσης για εγκαταστάσεις μηχανικού διαχωρισμού σύμμεικτων αστικών απορριμμάτων όσον αφορά τη χώρα της Λετονίας. Ειδικότερα, εξετάζονται τρία διαφορετικά σενάρια για ετήσιες δυναμικότητες παραγωγής ΑΣΑ 20.000 tn/year, 40.000 tn/year και 160.000 tn/year με την προβλεπόμενη χωρητικότητα του μηχανολογικού εξοπλισμού για κάθε περίπτωση να είναι 10 tn/h, 20 tn/h και 80 tn/h, αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν εμφανίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 6.5: Επενδυτικά κόστη για τη μηχανική επεξεργασία των σύμμεικτων απορριμμάτων στη χώρα της Λετονίας (*Ariņa et al., 2014*) [63]

Επενδυτικά κόστη (Ευρώ)	Σενάριο 1 (20.000 tn/year)	Σενάριο 2 (40.000 tn/year)	Σενάριο 3 (160.000 tn/year)
Κόστος Μηχανολογικού εξοπλισμού (Mechanical equipment costs)	1.120.000 (56%)	1.770.000 (59%)	4.425.000 (59%)
Κόστος Σχεδιασμού και Κατασκευής κτιρίου (Building costs)	860.000 (43%)	1.200.000 (40%)	3.000.000 (40%)
Άλλα κόστη (Other costs of management)	20.000 (1%)	30.000 (1%)	75.000 (1%)
Σύνολο	2.000.000	3.000.000	7.500.000

Τα ύψη των εξαγόμενων επενδυτικών δαπανών για τη μηχανική επεξεργασία των σύμμεικτων ΑΣΑ στην Λετονία, θεωρούνται από την παρούσα μελέτη σχετικά μικρά, με συνέπεια να επιχειρείται η αναπροσαρμογή τους και πιο συγκεκριμένα η σημαντική προσαύξησή τους μέσω ενός πολλαπλασιαστή ίσου με 4. Η αναδιαμόρφωση του ύψους των επενδυτικών δαπανών της μονάδας MTF αποφασίστηκε έπειτα από συνεκτίμηση των εξής δεδομένων που προέκυψαν στα πλαίσια της έρευνας που πραγματοποιήθηκε:

Σύμφωνα με τα στοιχεία που είναι αναρτημένα στο διαδικτυακό ιστότοπο της Εταιρείας Περιβαλλοντικών Μελετών (epem.gr), το αρχικό δαπανηθέν κεφάλαιο για την υλοποίηση της μονάδας ανάκτησης ανακυκλώσιμων υλικών που βρίσκεται στην περιοχή της Ελευσίνας και είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να δέχεται 30.000 tn/year αποβλήτων από μπλε κάδους, ανήλθε στα 5.390.000€. [64]

Μάλιστα, η συγκεκριμένη MRF μονάδα περιλαμβάνει μηχανήματα όπως περιστρεφόμενο τύμπανο, μαγνητικούς και μη μαγνητικούς διαχωριστές, βαλλιστικούς διαχωριστές, οπτικούς διαχωριστές Titech NIR ενώ ενσωματώνει και διαδικασίες χειροδιαλογής [64]. Η μηχανολογική στελέχωση της μονάδας επισημαίνεται γιατί αν εξαιρεθεί το είδος των απορριμμάτων που καλείται να διαχωρίσει, φαίνεται να προσομοιάζει σε σημαντικό βαθμό ως προς τη λειτουργία της με τη σχεδιαζόμενη μονάδα προ-επεξεργασίας ΑΣΑ.

Το παραπάνω οικονομικό δεδομένο θεωρείται ιδιαίτερα σημαντικό αν συνδυαστεί με τα συμπεράσματα από διάφορες μελέτες οικονομικής ευαισθησίας για τους διάφορους τύπους MRF, με κυριότερες αυτές των *Pressley et al. (2014)* [61] και *Combs (2012)* [65].

Στις προ-αναφερθείσες μελέτες εκτιμάται ότι τα συνολικά επενδυτικά κόστη των “Mixed Waste” μονάδων ανάκτησης υλικών θα είναι **αρκετά μεγαλύτερα** από τα αντίστοιχα των “Recyclable Waste” μονάδων ανάκτησης υλικών, εξαιτίας κυρίως της αύξησης των εξόδων για την απόκτηση του κατάλληλου μηχανολογικού εξοπλισμού (περισσότερα σε πλήθος μηχανήματα με πιο πολύπλοκη τεχνολογία).

Μάλιστα, στην έρευνα του [Pressley](#) και της ομάδας του [61] υπολογίζεται πως τα ειδικά κόστη αγοράς και συντήρησης του μηχανολογικού εξοπλισμού μιας μονάδας ανάκτησης υλικών από σύμμεικτα απόβλητα (Mixed waste MRF) θα είναι **1.3 φορές μεγαλύτερα** από αυτά που αντιστοιχούν σε μια μονάδα ανάκτησης υλικών από ανακυκλώσιμο μίγμα αποβλήτων (Single-stream MRF), συνιστώντας το 32% του συνολικού κόστους στο οποίο έχει συμπεριληφθεί το σύνολο των ειδικών επενδυτικών όσο και λειτουργικών δαπανών για την εκάστοτε μονάδα (€/tn).

Τέλος, πολύτιμη αποδείχτηκε η βοήθεια αφενός της εταιρείας Helactor ([Herhof GmbH](#)) [66] με ειδίκευση σε MBT μεθόδους επεξεργασίας ΑΣΑ και αφετέρου του Εθνικού Κέντρου Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (Ε.ΚΕ.ΤΑ.), μιας και οι δύο συμφώνησαν πως μια τιμή κοντά στα 300 €/tn συνιστά μια ρεαλιστική προσέγγιση για το ειδικό επενδυτικό κόστος μιας μονάδας μηχανικής προ-επεξεργασίας χωρητικότητας περίπου 30.000 tn/year.

Συμπερασματικά, με δεδομένο τον τρόπο λειτουργίας της σχεδιαζόμενης μονάδας ΜΤΕ, καθώς και τον περιεχόμενο μηχανολογικό εξοπλισμό σε αυτή, επιχειρείται η προσαρμογή των τιμών του Πίνακα στα ελληνικά δεδομένα.

Πίνακας 6.6: Επενδυτικά κόστη για τη μηχανική επεξεργασία των σύμμεικτων απορριμμάτων στη χώρα της Ελλάδας

Επενδυτικά κόστη (Ευρώ)	Σενάριο 1 (20.000 tn/year)	Σενάριο 2 (40.000 tn/year)	Σενάριο 3 (160.000 tn/year)
Κόστος Μηχανολογικού Εξοπλισμού (Mechanical equipment costs)	4.480.000 (56%)	7.080.000 (59%)	17.700.000 (59%)
Κόστος Σχεδιασμού και Κατασκευής κτιρίου (Building costs)	3.440.000 (43%)	4.680.000 (40%)	12.000.000 (40%)
Άλλα κόστη (Other costs of management)	80.000 (1%)	240.000 (1%)	300.000 (1%)
Σύνολο	8.000.000	12.000.000	30.000.000

Ο πίνακας που προηγήθηκε μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα για την εξαγωγή μιας τυπικής τιμής για το αρχικό κεφάλαιο που απαιτείται για την υλοποίηση μιας μονάδας μηχανικής διαλογής σύμμεικτων απορριμμάτων δυναμικότητας της τάξης των 32.000 tn/year, όση δηλαδή είναι η ετήσια ποσότητα αποκομιδής σύμμεικτων ΑΣΑ στο δήμο ΒΒΒ.

Μέσω λοιπόν της μεθόδου της γραμμικής παρεμβολής για τα συνολικά επενδυτικά κόστη μονάδων μηχανικής προ-επεξεργασίας αποβλήτων χωρητικότητας 20.000 και 40.000 tn/year προκύπτει πως το αρχικό κεφάλαιο για μια μονάδα της τάξης των 30.000 tn/year κυμαίνεται στα 10.000.000 €, χρηματικό ποσό το οποίο σε ειδικά μεγέθη μεταφράζεται σε 333 €/tn.

Παρατηρείται ότι το αποτέλεσμα αυτό συμφωνεί σε πολύ μεγάλο βαθμό με την εκτίμηση που έγινε από την εταιρεία Helactor, επιβεβαιώνοντας κατά κάποιο τρόπο και την ορθότητα των υπολογισμών που έχουν γίνει μέχρι στιγμής.

Στη συνέχεια, η παρούσα μελέτη εξετάζει **τρία διαφορετικά σενάρια** με την ονομαστική χωρητικότητα της μονάδας μηχανικού διαχωρισμού της εγκατάστασης να αποτελεί τη μεταβαλλόμενη παράμετρο, η τιμή της οποίας θα περιστρέφεται γύρω από την κεντρική τιμή της παραγόμενης ποσότητας σύμμεικτων αστικών αποβλήτων στο δήμο BBB, δηλαδή γύρω από τους 32.000 tn/year.

Πίνακας 6.7: Σενάρια για τα κόστη επένδυσης της μονάδας MTF της εγκατάστασης

ΜΟΝΑΔΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΕΠΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	<i>Σενάριο 1 30.000 tn /year</i>	<i>Σενάριο 2 35.000 tn/year</i>	<i>Σενάριο 3 40.000 tn/year</i>
Επενδυτικό Κόστος (€)	10.000.000	11.000.000	12.000.000
Ειδικό Επενδυτικό Κόστος (€/tn)	<i>333</i>	<i>314</i>	<i>300</i>

Ταυτόχρονα, με την σχετική καθοδήγηση από αντίστοιχης μορφής έρευνες [60],[63] στον Πίνακα 6.8 προτείνεται ένας τυπικός ποσοστιαίος επιμερισμός του κόστους επένδυσης για την υλοποίηση της μονάδας μηχανικής διαλογής MTF, με την αγορά και αποστολή του μηχανολογικού εξοπλισμού να απαιτεί όπως φαίνεται τη μεγαλύτερη δαπάνη.

Πίνακας 6.8: Ποσοστιαίος επιμερισμός του επενδυτικού κόστους της μονάδας MTF [60],[63]

Είδος Επενδυτικών Δαπανών για μονάδα MTF	Ποσοστό επί του κόστους επένδυσης	Εύρος ποσοστού
Αγορά Μηχανολογικού εξοπλισμού	55%	50-60%
Σχεδιασμός και Κατασκευή Κτιρίου	43%	40-50%
Εργασίες προετοιμασίας οικοπέδου	2%	0-5 %

Προσαρμόζοντας τα ποσοστά του **Πίνακα 6.8**, στα κόστη επένδυσης που αναφέρονται για τα σενάρια δυναμικότητας του **Πίνακα 6.7** προκύπτει ένας νέος βελτιωμένος πίνακας στον οποίο παρουσιάζεται κάθε φορά το ύψος των επιμέρους δαπανών που συνθέτουν στο σύνολό τους το αρχικά απαιτούμενο κεφάλαιο για την υλοποίηση της μονάδας μηχανικής διαλογής (MTF). Στο σημείο αυτό, *υπενθυμίζεται πως το οικοπέδο για την τοποθέτηση της MBT εγκατάστασης έχει παραχωρηθεί δωρεάν στο δήμο BBB στα πλαίσια της συνεργασίας του με τη Στρατιωτική Σχολή Ευελπίδων και το Υπουργείο Εθνικής Αμύνης.* **(Βασικός Πίνακας 1)**

Πίνακας 6.9: Αναλυτική περιγραφή σεναρίων για τα επενδυτικά κόστη της μονάδας μηχανικής επεξεργασίας της προτεινόμενης MBT εγκατάστασης επεξεργασίας των ΑΣΑ στο δήμο BBB

	Σενάριο 1 30.000 tn/year	Σενάριο 2 35.000 tn/year	Σενάριο 3 40.000 tn/year
Αγορά Μηχανολογικού εξοπλισμού (€)	5.500.000	6.050.000	6.600.000
Σχεδιασμός & Κατασκευή κτιρίου (€)	4.300.000	4.730.000	5.160.000
Προετοιμασία οικοπέδου (€)	200.000	220.000	240.000
Επενδυτικό Κόστος (€)	10.000.000	11.000.000	12.000.000
Ειδικό Επενδυτικό Κόστος	333 €/tn	314 €/tn	300 €/tn
Ετήσιο Επενδυτικό Κόστος - Annuity (€)	1.240.589	1.364.648	1.488.707
Ειδικό Ετήσιο Επενδυτικό Κόστος-Specific Annuity	41,35 €/tn	39,00 €/tn	37,20 €/tn

6.3.2 Λειτουργικά Κόστη μονάδας μηχανικού διαχωρισμού

Τα **λειτουργικά κόστη** της μονάδας μηχανικής προ-επεξεργασίας ΑΣΑ (MTFs operational costs) θα διαμορφώνονται με βάση μια σειρά από ετήσιες δαπάνες που σχετίζονται με το **κόστος συντήρησης του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού** (maintenance costs), τις **αμοιβές του απασχολούμενου στο μηχανικό στάδιο της εγκατάστασης προσωπικού** (Personnel costs), τα **έξοδα για την ικανοποίηση των ενεργειακών της απαιτήσεων σε νερό, ηλεκτρισμό, καύσιμα, κ.α.** (Consumables and Utilities costs) καθώς και **διάφορα άλλα κόστη** που αφορούν τη συνολική πολιτική διαχείρισής της (Other costs of management).

Κατά αντιστοιχία με τα επενδυτικά κόστη, η μελέτη του [Dące Arina \(2014\) \[63\]](#) αναφέρει τιμές και για τα κόστη λειτουργίας των μονάδων μηχανικού διαχωρισμού σύμμεικτων αστικών απορριμμάτων, όπως φαίνεται και στον πίνακα που ακολουθεί. Σημειώνεται ότι στα «Άλλα κόστη» διαχείρισης της μονάδας MTF, όπως είναι προφανές συμπεριλαμβάνονται και τα κόστη συντήρησης του μηχανολογικού εξοπλισμού.

Πίνακας 6.10: Λειτουργικά κόστη για μηχανική επεξεργασία σύμμεικτων απορριμμάτων στη χώρα της Λετονίας [63]

Λειτουργικά κόστη (Ευρώ)	Σενάριο 1 (20.000 tn/year)	Σενάριο 2 (40.000 tn/year)	Σενάριο 3 (160.000 tn/year)
Αμοιβές προσωπικού (Personnel wage)	108.800 (17%)	144.000 (15%)	168.000 (7%)
Κόστη για καύσιμα και ενέργεια (Fuel and Energy costs)	256.000 (40%)	345.600 (36%)	984.000 (41%)
Άλλα κόστη (Other costs of management)	275.200 (43%)	470.400 (49%)	1.248.000 (52%)
Σύνολο	640.000	960.000	2.400.000

Παρατηρείται πως μια μονάδα μηχανικής ανάκτησης υλικών που εμφανίζει δυνατότητες διαχείρισης σύμμεικτων αποβλήτων ετήσιας δυναμικότητας της τάξης των 40.000 tn/year και διαθέτει μηχανολογικό εξοπλισμό ονομαστικής χωρητικότητας που αγγίζει τα 20 tn/h, παρουσιάζει λειτουργικά κόστη ίσα με 960.000 € (24€/tn).

Ωστόσο, στην προαναφερθείσα μελέτη, σε σχέση με τα κόστη επένδυσης, παρατίθενται και κάποια επιπλέον αποτελέσματα οικονομικής φύσεως που σχετίζονται με την προσέγγιση των ειδικών λειτουργικών δαπανών τεσσάρων τύπων μηχανικής επεξεργασίας ΑΣΑ οι οποίοι εμφανίζουν μεν *διαφορετικά μηχανήματα και διαφορετική αλληλουχία διεργασιών διαχωρισμού των ανακτώμενων υλικών, ενσωματώνουν δε μηχανολογικό εξοπλισμό κοινής δυναμικότητας μεγέθους 10 tn/h* [63].

Πιο συγκεκριμένα, οι αναφερόμενες ειδικές τιμές εκτείνονται από 32€/tn μέχρι 39€/tn, με την περίπτωση που ομοιάζει περισσότερο με τις διεργασίες που θα λαμβάνουν χώρα στο τμήμα μηχανικής διαλογής αποβλήτων της εγκατάστασης ενεργειακής εκμετάλλευσης ΑΣΑ που σχεδιάζεται για λογαριασμό του δήμου BBB, να εμφανίζει λειτουργικά κόστη 36 €/tn [63].

Επιπρόσθετα, ο Stegmann (2015) [67] σε μια παρόμοια τύπου δημοσίευση, που αφορά τη χώρα της Γερμανίας, αναζητά τα επιμέρους κόστη των MBT μεθόδων επεξεργασίας ΑΣΑ προς παραγωγή δευτερογενούς καυσίμου (RDF) κατάλληλου για χρησιμοποίηση ως καύσιμης ύλης σε μονάδα αποτέφρωσης. Το ενδιαφέρον στοιχείο της συγκεκριμένης μελέτης έχει να κάνει με τη ξεχωριστή αναφορά σχετικά με τα ειδικά λειτουργικά κόστη του μηχανικού σκέλους προ-επεξεργασίας των σύμμεικτων απορριμμάτων.

Αναλυτικότερα, έπειτα από την καταγραφή τριών (3) διαφορετικών συνδυασμών-σεναρίων μηχανολογικού εξοπλισμού, η πολυπλοκότητα και η εξειδίκευση των οποίων αυξάνεται σταδιακά από συνδυασμό σε συνδυασμό, εξάγεται το συμπέρασμα ότι για χωρητικότητα 30.000 tn/year, τα αντίστοιχα ειδικά λειτουργικά κόστη κυμαίνονται μεταξύ 24 και 33 €/tn (24 €/tn, 27 €/tn και 33 €/tn, αντίστοιχα) [67].

Στα πλαίσια της έρευνας που πραγματοποιήθηκε για τα λειτουργικά κόστη του τμήματος μηχανικού διαχωρισμού των σύμμεικτων απορριμμάτων της εγκατάστασης, η μελέτη συνεργαζόμενη και πάλι με την εταιρεία Helactor (Herhof GmbH) [66] κατέληξε πως μια τιμή γύρω στα 30 €/tn επεξεργαζόμενου ΑΣΑ, ποσό που μεταφράζεται σε 960.000 € ετησίως, αποτελεί μια αρκετά ρεαλιστική προσέγγιση.

Συμπερασματικά, συνεκτιμώντας όλα τα παραπάνω δεδομένα, θεωρείται πως τα επιμέρους αποτελέσματα των προ-αναφερόμενων ερευνών σχετικά με τις λειτουργικές δαπάνες για μονάδες μηχανικής επεξεργασίας ΑΣΑ δεν διαφοροποιούνται πολύ από την ελληνική πραγματικότητα.

Ωστόσο, κατά τη διαδικασία δημιουργίας των σεναρίων θα λαμβάνεται σοβαρά υπόψη ένα σημαντικό συμπέρασμα που έχει προκύψει από την προσεκτική ανάλυση των στοιχείων που παρατέθηκαν. Αυτό έγκειται στο ότι η αύξηση στις ποσότητες των σύμμεικτων απορριμμάτων που καλείται να επεξεργαστεί μηχανικά η μονάδα σε συνδυασμό με την αύξηση της χωρητικότητας του μηχανολογικού εξοπλισμού (tn/h) έχει ως αποτέλεσμα την όλο και μεγαλύτερη μείωση των ειδικών δαπανών λειτουργίας (€/tn).

Με βάση το σύνολο των διαπιστώσεων που προηγήθηκαν, η μελέτη για το δήμο BBB κρίνει ότι μια ορθή εκτίμηση για το εύρος που θα κυμαίνονται τα ετήσια λειτουργικά κόστη της μονάδας μηχανικού διαλογής της εγκατάστασης είναι μεταξύ 1.000.000-1.200.000 € ή διαφορετικά 33-40 €/tn ετησίως για δυναμικότητες απορριμμάτων τάξης μεγέθους γύρω στους 30.000 tn/year.

Στον Πίνακα 6.11 παρουσιάζονται **τρία διαφορετικά σενάρια** για τα ετήσια κόστη λειτουργίας της εξεταζόμενης μονάδας MTF για ονομαστικές χωρητικότητες αντίστοιχες με αυτές που θεωρήθηκαν στα σενάρια για τα επενδυτικά κόστη. Επιπλέον, στον Πίνακα 6.11 αποτυπώνεται υπό τη μορφή ποσοστών η εκτίμηση της μελέτης για πώς αυτά περίπου θα επιμερίζονται.

Πίνακας 6.11: Σενάρια για τα κόστη λειτουργίας της μονάδας MTF της εγκατάστασης

ΜΟΝΑΔΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ	<i>Σενάριο 1 30.000 tn /year</i>	<i>Σενάριο 2 35.000 tn/year</i>	<i>Σενάριο 3 40.000 tn/year</i>
Λειτουργικό Κόστος (€)	1.120.000	1.200.000	1.250.000
Ειδικό Λειτουργικό Κόστος (€/tn)	37	34	31

Πίνακας 6.12: Ποσοστιαίος επιμερισμός του λειτουργικού κόστους της μονάδας MTF

Είδος Λειτουργικών Δαπανών για μονάδα MTF	Ποσοστό επί του κόστους λειτουργίας	Εύρος ποσοστού
Κόστος Συντήρησης Μηχανολογικού εξοπλισμού	43%	35-45%
Κόστος Προσωπικού (Αμοιβές, σεμινάρια, ασφάλιση κ.α.)	17%	10-25%
Κόστη για πρώτες ύλες και κάλυψη ενεργειακών απαιτήσεων (ηλεκτρική ενέργεια, νερό, καύσιμα, κ.α.)	35%	25-40%
Άλλα κόστη	5%	2-5%

Τόσο ο [Pressley \[61\]](#) όσο και ο [Arina \[63\]](#) στις δημοσιεύσεις τους επισημαίνουν πως όσο πιο εξελιγμένος τεχνολογικά είναι ο μηχανολογικός εξοπλισμός στις μονάδες αυτού του τύπου τόσο μεγαλύτερα είναι τα επίπεδα αυτοματοποίησης, συντελώντας κατά αυτόν τον τρόπο στη δραστική μείωση του αριθμού του απασχολούμενου σε αυτές προσωπικού και άρα και των σχετικών με αυτό λειτουργικών εξόδων.

Ανακεφαλαιώνοντας, στον παρακάτω πίνακα συνδυάζεται το σύνολο των πληροφοριών που αναφέρονται στους **Πίνακες 6.11** και **6.12** προς απόκτηση μιας ολοκληρωμένης εικόνας για τα κόστη που περιγράφουν την ετήσια λειτουργία της μονάδας MTF της προτεινόμενης εγκατάστασης **(Βασικός Πίνακας 2)**

Πίνακας 6.13: Αναλυτική περιγραφή σεναρίων για τα λειτουργικά κόστη της μονάδας μηχανικής επεξεργασίας της προτεινόμενης MBT εγκατάστασης επεξεργασίας των ΑΣΑ στο δήμο BBB

	Σενάριο 1 30.000 tn /year	Σενάριο 2 35.000 tn/year	Σενάριο 3 40.000 tn/year
Κόστος Συντήρησης Μηχανολογικού εξοπλισμού	481.600	516.000	537.500
Κόστος Προσωπικού (Αμοιβές, σεμινάρια κ.α.)	190.400	204.000	212.500
Κόστη για πρώτες ύλες και κάλυψη ενεργειακών απαιτήσεων (ηλεκτρική ενέργεια, νερό, καύσιμα, κ.α.)	392.000	420.000	437.500
Άλλα κόστη	56.000	60.000	62.500
Λειτουργικό Κόστος (€)	1.120.000	1.200.000	1.250.000
Ειδικό Λειτουργικό κόστος	37 €/tn	34€/tn	31€/tn

6.4 Εκτίμηση για τα κόστη επένδυσης και λειτουργίας της μονάδας Αναερόβιας χώνευσης οργανικού κλάσματος ΑΣΑ (BTF)

Σύμφωνα με το σχεδιασμό της μελέτης για τη μονάδα βιολογικής επεξεργασίας του μηχανικά ανακτώμενου οργανικού υποστρώματος των ΑΣΑ, το σύστημα αναερόβιας χώνευσης (dry-batch fermentation) περιλαμβάνει τις εξής διατάξεις:

- Συστήματα αποθήκευσης και μεταφοράς του οργανικού υποστρώματος (Tipping building, Wheel loaders, conveyors)
- Αντλία ανάμειξης οργανικής πρώτης ύλης με χωνεμένη ιλύς προηγούμενων διαδικασιών (Mixing unit)
- Χωνευτήρες τύπου γκαράζ (Garage shaped fermenters)
- Δεξαμενή άντλησης και ψεκασμού του νερού που ανακυκλώνεται κατά τις αναερόβιες διαδικασίες εντός των χωνευτήρων (Percolate Tank)
- Συστήματα καθαρισμού του βιοαερίου (biogas cleaning system) και ελέγχου της υγρασίας του (humidity control equipment)
- Συστήματα σωληνώσεων και βαλβίδων (gas pipeline and valves)
- Δεξαμενή αποθήκευσης του εξυγενισμένου βιοαερίου (Gas storage tank)
- Μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (CHP system with gas engine)
- Δεξαμενή αποθήκευσης χωνεμένης ιλύς (digestate storage area)

Η απόκτηση του προ-αναφερθέντα εξοπλισμού και οι ετήσιες ανάγκες συντήρησης αυτού επηρεάζουν καθοριστικά τη διαμόρφωση τόσο του επενδυτικού όσο και του λειτουργικού κόστους για τη μονάδα αναερόβιας χώνευσης.

Όπως παρατηρείται παραπάνω, ανάμεσα στις άλλες διατάξεις εμφανίζονται και αυτές που χρησιμοποιούνται για τη **συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας** από την καύση του παραγόμενου βιοαερίου. Η τακτική αυτή είναι συνηθισμένη προκειμένου να επιτυγχάνεται ο πλήρης υπολογισμός του αρχικού κεφαλαίου αλλά και των λειτουργικών δαπανών μονάδων ζύμωσης που ενσωματώνουν πανομοιότυπου τύπου διεργασίες με την περίπτωση που εξετάζεται για το δήμο BBB.

Στην έρευνα από [Eunomia \(2009\) \[68\]](#) προσεγγίζονται τα επιμέρους κόστη για διάφορες μεθόδους ενεργειακής εκμετάλλευσης ΑΣΑ. Ειδικά για τη χώρα της Ελλάδας, μια μονάδα ξηρής αναερόβιας χώνευσης βιοαποβλήτων δυναμικότητας 20.000 t_n/year με διατάξεις συμπαραγωγής ενέργειας και συνολική διάρκειας ζωής τα 15 χρόνια εκτιμάται πως θα εμφανίζει αρχικό κόστος επένδυσης ίσο με 399 €/t_n και ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης κοντά στα 31 €/t_n. Στα λειτουργικά έξοδα συμπεριλαμβάνεται και το κόστος του ανθρώπινου δυναμικού.

Τα αποτελέσματα της προ-αναφερθείσας μελέτης αποτελούν μια πρώτη εκτίμηση του επενδυτικού και λειτουργικού κόστους για το κομμάτι της αναερόβιας χώνευσης και στη συνέχεια δύναται να λειτουργήσουν ως ένα είδος επαλήθευσης για την ορθότητα των υπολογισμών που θα ακολουθήσουν για παρόμοιου μεγέθους δυναμικότητες.

Η μεθοδολογία που υιοθετείται για την εκτίμηση των δαπανών επένδυσης και λειτουργίας του συστήματος αναερόβιας χώνευσης της εγκατάστασης συνδέεται άμεσα με την εξαγωγή **γραμμών τάσης** που προκύπτουν από την συγκέντρωση και τη μετέπειτα κατάλληλη αξιοποίησή στοιχείων από την *βιβλιογραφία, από ήδη υπάρχουσες μονάδες καθώς και από παρόμοια προσεγγιστικά μοντέλα που έχουν αναπτυχτεί σε διάφορες έρευνες.*

6.4.1 Επενδυτικά Κόστη μονάδας αναερόβιας χώνευσης

Τα επενδυτικά κόστη για τη dry-batch μονάδα αναερόβιας χώνευσης συνδέονται κυρίως με την **αγορά του βασικού εξοπλισμού**, όπως αυτός περιγράφηκε στην εισαγωγή του δεύτερου σκέλους της τεchnοοικονομικής ανάλυσης. Σε γενικές γραμμές ισχύει πως όσο υψηλότερη είναι η απαιτούμενη τεχνολογία (π.χ. βιοαντιδραστήρες), τόσο υψηλότερο είναι και το κόστος κατασκευής, ενώ συνήθως αντιστρόφως ανάλογα κυμαίνεται το εργατικό κόστος.

Μαζί με τις εξοπλιστικές δαπάνες συνυπολογίζονται όλα εκείνα τα έξοδα που απορρέουν από το σύνολο των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τον **αρχικό σχεδιασμό και την μετέπειτα υλοποίηση της εγκατάστασης** και οι οποίες συνήθως κατηγοριοποιούνται ως εξής: [\[53\],\[69\]](#)

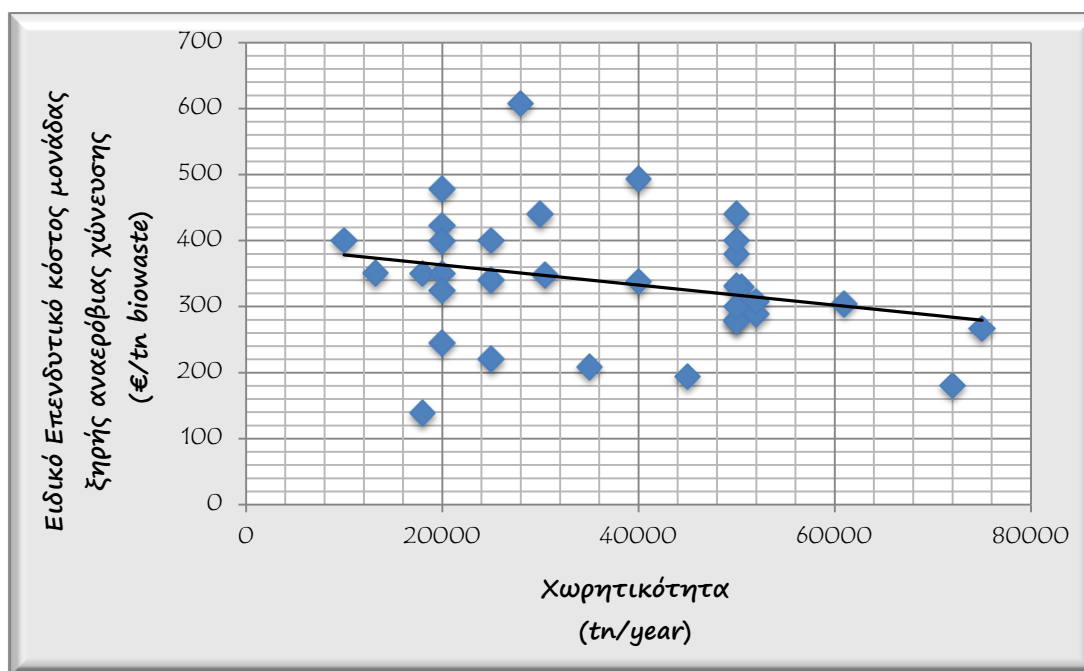
- Εργασίες Πολιτικών Μηχανικών (Civil works)
- Ηλεκτρολογικές εργασίες (Electrical works)
- Προετοιμασία του οικοπέδου που θα εγκατασταθεί η μονάδα αναερόβιας χώνευσης (καθαρισμός, γεωτεχνικές μελέτες κ.α.) καθώς και κατασκευή των απαραίτητων έργων υποδομής για τη λειτουργία της (δρόμοι, υπόγειες σωληνώσεις, συστήματα φωτισμού, συστήματα πυρασφάλειας κ.α.) (General site works)
- Ανέγερση κτιρίων διαφόρων χρήσεων (στεγανοί χώροι υποδοχής και αποθήκευσης, χώροι εποπτείας της λειτουργίας της μονάδας, εργαστήρια κ.α.) (Building costs)
- Διάφορα απρόβλεπτα-συμπληρωματικά κόστη (Miscellaneous costs)

Τέλος, το **σύστημα συμπαραγωγής** (Cogeneration unit), το οποίο μπορεί να ενσωματώνει μία ή περισσότερες μηχανές εσωτερικής καύσης, επιδρά σημαντικά στην διαμόρφωση του τελικού κόστους επένδυσης αφού αποτελεί συνήθως την **υψηλότερη δαπάνη** ανάμεσα σε αυτές που έχουν αναφερθεί μέχρι τώρα.

Μάλιστα, στη σχετική βιβλιογραφία [53],[55] αναφέρεται πως το απαιτούμενο χρηματικό ποσό για την απόκτηση των διατάξεων παραγωγής ενέργειας (ΣΗΘ) οι οποίες εντοπίζονται στα τελικά στάδια των μονάδων αναερόβιας χώνευσης, συνιστά ένα ποσοστό της τάξης του 30% επί του συνολικού κόστους επένδυσης.

Πίνακας 6.14: Επενδυτικά Κόστη για τη μονάδα Αναερόβιας Χώνευσης ΑΣΑ

Επενδυτικό Κόστος Μονάδας Ξηρής Αναερόβιας Χώνευσης ΑΣΑ	1. Απόκτηση γης (έχει παραχωρηθεί δωρεάν στο δήμο BBB) & γενικές εργασίες βελτίωσης του περιβάλλοντα χώρου
	2. Σχεδιασμός και Κατασκευή κτιρίων ○ Μελέτες Πολιτικών Μηχανικών, ○ Ηλεκτρολογικές εργασίες, ○ Εγκατάσταση συστημάτων πυρασφάλειας, θέρμανσης, αερισμού, υγιεινής κ.α.
	3. Εξοπλισμός για την βελτίωση της ποιότητας του ζυμώσιμου κλάσματος των ΑΣΑ ○ Συστήματα ανάμειξης με νερό, ○ Συστήματα ανάδευσης με κατάλληλο μικροβιακό πληθυσμό (digestate), ○ Συστήματα υγειονομοποίησης οργανικού υποστρώματος, κ.α.
	4. Χωνευτήρες τύπου γκαράζ για βιολογική επεξεργασία των ΑΣΑ, Δεξαμενές αποθήκευσης βιοαερίου και νερού, Συστήματα σωληνώσεων
	5. Σύστημα καθαρισμού του παραγόμενου βιοαερίου και ελέγχου της περιεχόμενης υγρασίας του
	6. Εξοπλισμός για τη συμπαραγωγή ενέργειας (ηλεκτροπαραγωγικό ζεύγος Μ.Ε.Κ-γεννήτρια, εναλλάκτες θερμότητας)
	7. Σύστημα Κομποστοποίησης (αν προβλέπεται για την μονάδα)
	8. Συμπληρωματικά έργα, επιπλέον απαιτήσεις σε εξοπλισμό και άλλα απρόβλεπτα κόστη



Διάγραμμα 6.1: Αρχικό ειδικό κόστος επένδυσης μονάδας αναερόβιας χώνευσης ΑΣΑ συναρτήσει της ετήσιας χωρητικότητας (€/tn biowaste)

Όπως αποτυπώνεται με σαφήνεια στο **Διάγραμμα 6.1**, το ειδικό επενδυτικό κόστος και η ετήσια δυναμικότητα είναι δύο μεγέθη αντιστρόφως ανάλογα μεταξύ τους (economies of scale). Αυτό πρακτικά σημαίνει πως όσο αυξάνεται η χωρητικότητα της εγκατάστασης αναερόβιας χώνευσης (tn/year), όσο δηλαδή μεγαλώνει η ποσότητα του οργανικού υποστρώματος που είναι ικανή να διαχειριστεί ετησίως, τόσο θα μειώνονται τα ειδικά κόστη επένδυσης για την υλοποίησή της [28].

Με βάση την εξαγόμενη γραμμή τάσης, η μελέτη απεργάζεται **διαφορετικά σενάρια** για το (ειδικό) κόστος επένδυσης της μονάδας βιολογικής επεξεργασίας του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ συναρτήσει της χωρητικότητά της. Οι τιμές των χωρητικότητων στα επιμέρους σενάρια επιλέγονται με τέτοιο τρόπο ώστε να περιστρέφονται πάντα γύρω από την ετήσια ποσότητα των προς χώνευση μηχανικά διαχωρισμένων βιοαποβλήτων, η οποία σύμφωνα με τα ισοζύγια μάζας που επισυνάπτονται στο **Παράρτημα 1** υπολογίζεται γύρω στους 18.500 tn/year. **(Βασικός Πίνακας 3)**

Πίνακας 6.15: Σενάρια για τα κόστη επένδυσης της μονάδας BTF της εγκατάστασης

ΜΟΝΑΔΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ DRY-BATCH A.D	<i>Σενάριο 1 15.000 tn /year</i>	<i>Σενάριο 2 18.500 tn/year</i>	<i>Σενάριο 3 20.000 tn/year</i>	<i>Σενάριο 4 25.000 tn/year</i>
Επενδυτικό Κόστος (€)	5.550.000	6.752.500	7.200.000	8.875.000
Ειδικό Επενδυτικό Κόστος (€/tn biowaste)	<i>370</i>	<i>365</i>	<i>360</i>	<i>355</i>

Πίνακας 6.16: Εκτίμηση για τον ποσοστιαίο καταμερισμό του αρχικού κόστους επένδυσης της μονάδας αναερόβιας χώνευσης

Είδος Δαπανών Dry-Batch μονάδας Αναερόβιας Χώνευσης	Ποσοστό επί το κόστος επένδυσης (%)
<ul style="list-style-type: none"> • Απόκτηση οικοπέδου (παρέχεται δωρεάν) • Βασικά έργα υποδομής (χωματουργικές εργασίες, εργασίες ενίσχυσης υπεδάφους, έργα οδοποιίας, καθαρισμός κ.α.) 	~5%
<ul style="list-style-type: none"> • Μελέτες ΠΜ και κατασκευή βασικών κτιριακών εγκαταστάσεων (κτίρια διοίκησης, συνεργεία, φυλάκια, γεφυροπλάστιγγες) • Ηλεκτρολογικές & μηχανολογικές εργασίες (ΗΜ εξοπλισμός) • Λοιπά έργα υποδομής (συστήματα ασφάλειας, συστήματα τηλεελέγχου και αυτοματοποίησης κ.λπ.) 	~25%
<ul style="list-style-type: none"> • Εξοπλισμός Αναερόβιας Χώνευσης (χωνευτήρες, δεξαμενές αποθήκευσης οργανικής πρώτης ύλης, αεριοφυλάκια, αναδευτήρες κ.α.) 	~20%
<ul style="list-style-type: none"> • Σύστημα καθαρισμού και ξήρανσης του παραγόμενου βιοαερίου 	~5%
<ul style="list-style-type: none"> • Διάταξη Συμπαράγωγής (Μ.Ε.Κ.) 	~30%
<ul style="list-style-type: none"> • Άλλα συστήματα εξοπλισμός 	~3%
Μερικό Σύνολο	88%
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Σχετικές μελέτες, απαιτούμενες άδειες για τη λειτουργία της μονάδας, περιβαλλοντικά πιστοποιητικά (Project development) 	~7%
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Απρόβλεπτα κόστη (Contingency) 	~5%
Τελικό Σύνολο (CAPEX)	100%

Αξίζει να επισημανθεί πως η εκτίμηση για το πώς περίπου θα επιμερίζονται ποσοστιαία οι δαπάνες που συνθέτουν το σύνολο του αρχικά απαιτούμενου κεφαλαίου για την υλοποίηση της μονάδας αναερόβιας χώνευσης πραγματοποιήθηκε μέσω της αξιοποίησης παρόμοιου τύπου ερευνών στις οποίες εμφανίζονται αποτελέσματα είτε με τη μορφή χρηματικών ποσών [53] είτε με τη μορφή ποσοστών [69].

6.4.2 Λειτουργικά Κόστη μονάδας αναερόβιας χώνευσης

Τα ετήσια λειτουργικά κόστη που απορρέουν από το σύνολο των βιολογικών διεργασιών επεξεργασίας του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος των ΑΣΑ συνιστούν έναν εξίσου σημαντικό παράγοντα επιρροής του τελικού βαθμού οικονομικής βιωσιμότητας της πρότυπης MBT εγκατάστασης διαχείρισης αποβλήτων.

Τα λειτουργικά κόστη της μονάδας αναερόβιας χώνευσης δε διαφοροποιούνται ως προς το είδος τους σε σχέση με τα αντίστοιχα της μονάδας μηχανικής προ-επεξεργασίας και μπορούν να διακριθούν σε σταθερά (Fixed costs) και μεταβλητά κόστη (Variable costs).

Στα σταθερά ετήσια λειτουργικά κόστη εντάσσονται οι αμοιβές του απασχολούμενου στη μονάδα αναερόβιας χώνευσης προσωπικού (Personnel cost) καθώς και άλλες δαπάνες που έχουν άμεση σχέση με το ανθρώπινο δυναμικό και έχουν να κάνουν με την ασφάλιση του, την επιμόρφωσή του με διάφορα σεμινάρια κ.α. (General cost).

Αντίθετα, τα μεταβλητά ετήσια λειτουργικά κόστη συναποτελούνται από τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης του χρησιμοποιούμενου στη μονάδα αναερόβιας χώνευσης εξοπλισμού (O&M costs), τις δαπάνες για την εξασφάλιση της απαιτούμενης ενέργειας για τη λειτουργία της μονάδας (ηλεκτρική ενέργεια, νερό, καύσιμα, χημικά για τον καθαρισμό

του βιοαερίου κ.α.) (Consumables and utilities costs) και διάφορα άλλα κόστη (Other costs) στα οποία θα εντάσσονται και τα κόστη συντήρησης του εξοπλισμού του συστήματος κομποστοποίησης της χωνεμένης υλός σε περίπτωση που επιλεγεί μια τέτοια δυνατότητα για την σχεδιαζόμενη εγκατάσταση. [42],[53],[69]

Πίνακας 6.17: Επιμέρους Λειτουργικά Κόστη για τη μονάδα Αναερόβιας Χώνευσης ΑΣΑ

Λειτουργικό Κόστος Μονάδας Ξηρής Αναερόβιας Χώνευσης ΑΣΑ	1. Κόστος λειτουργίας και συντήρησης εξοπλισμού
	2. Κόστη προσωπικού (Αμοιβές, σεμινάρια κλπ)
	3. Απαιτήσεις σε ηλεκτρισμό, νερό, καύσιμα και άλλες πρώτες ύλες
	4. Κόστος επεξεργασίας χωνεμένης υλός (αν προβλέπεται για τη μονάδα)
	5. Άλλα απρόβλεπτα κόστη λειτουργίας

Σημειώνεται ότι τα κόστη που αφορούν τις απαιτήσεις της μονάδας σε ηλεκτρική ενέργεια δεν λαμβάνονται υπόψη για τη σχεδιαζόμενη μονάδα αναερόβιας ζύμωσης μιας και έχει θεωρηθεί ότι θα ικανοποιούνται από την παραγόμενη ποσότητα ηλεκτρισμού στη μονάδα συμπαραγωγής της πρότυπης εγκατάστασης. Οι απαιτήσεις της μονάδας σε άλλες πρώτες ύλες (νερό), καύσιμα και χημικά θεωρούνται σχεδόν αμελητέες στο σύνολο των ετήσιων λειτουργικών δαπανών.

Επιπρόσθετα, η Garcia (2014) αναφέρει ότι τα κόστη συντήρησης του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού σε μια μονάδα βιοαερίου όμοιας τεχνολογίας και λειτουργίας με αυτή που εξετάζεται στην παρούσα περίπτωση, θα ισούνται περίπου με το 2% του συνολικά δαπανώμενου κεφαλαίου για την υλοποίησή της [42]. Μάλιστα, στα φυλλάδια εταιρειών που ειδικεύονται σε dry-batch τεχνολογίες ζύμωσης με βιοαντιδραστήρες τύπου γκαράζ υποστηρίζεται ότι οι χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης του εξοπλισμού αποτελούν ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματά τους [38],[41],[54].

Σε ό,τι έχει να κάνει με τα κόστη του προσωπικού που απασχολείται σε μονάδες ξηρής αναερόβιας χώνευσης, αυτά αποτελούν το 30% περίπου από τις ετήσιες λειτουργικές δαπάνες [68]. Σημειώνεται ότι το ποσοστό αυτό υπολογίζεται να είναι αρκετά μειωμένο για τη σχεδιαζόμενη μονάδα μιας και ο τρόπος λειτουργίας της είναι σε μεγάλο βαθμό αυτοματοποιημένος.

Ταυτόχρονα, με δεδομένες τις υποχρεώσεις και τις κρατικές συμβάσεις με τις οποίες δεσμεύεται ο δήμος σχετικά με το απασχολούμενο προσωπικό στον τομέα Καθαριότητας και Ανακύκλωσης, προτείνεται η στελέχωση του διοικητικού και τεχνικού προσωπικού της εγκατάστασης με υπάλληλους που ήδη εργάζονται στο Δήμο και των οποίων τα καθήκοντα θα αναβαθμιστούν. Στόχος είναι η εξοικονόμηση κόστους και η πλήρης απασχόληση τυχόν υποαπασχολούμενου προσωπικού του Δήμου.

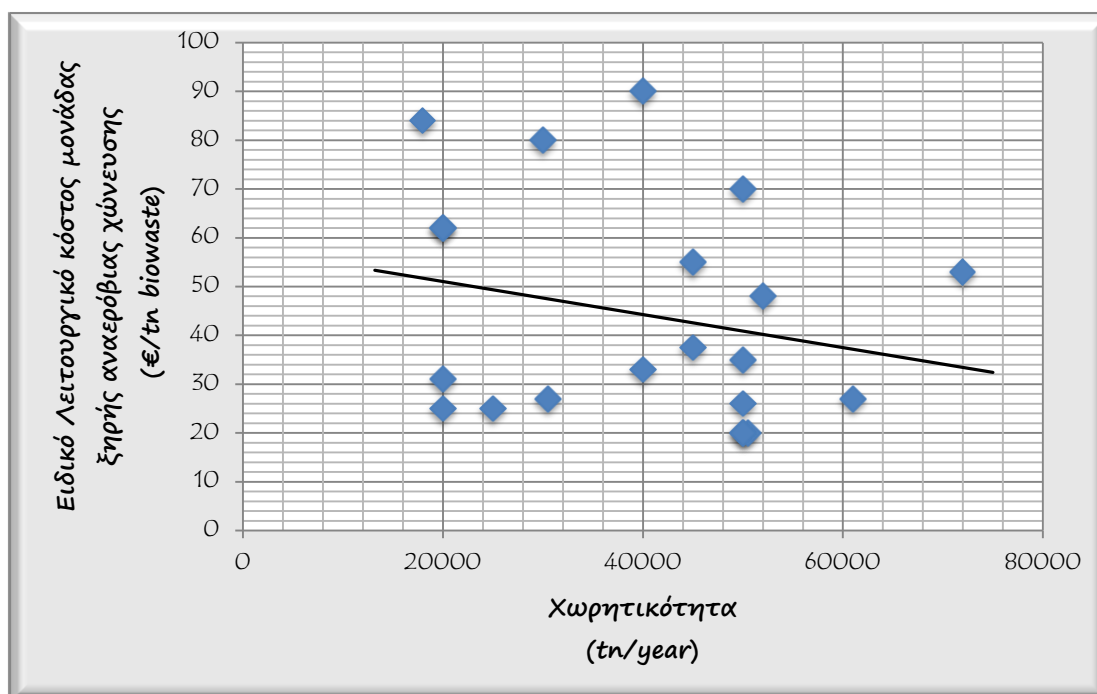
Ενδεικτικά, υπολογίζεται πως μια μονάδα αναερόβιας χώνευσης με βιοαντιδραστήρες σχήματος γκαράζ στους οποίους εισάγεται προ-διαλεγμένη οργανική πρώτη ύλη από υπολείμματα τροφών και πράσινα απόβλητα δυναμικότητας 10.000 tn/year, το απασχολούμενο προσωπικό είναι συνολικά έξι (6) άτομα εκ των οποίων τα τέσσερα (4) απασχολούνται στο λειτουργικό κομμάτι και δύο (2) στο κομμάτι της διεύθυνσης [42].

Μια τυπική προσαρμογή στη δυναμικότητα του μηχανικά προ-επεξεργασμένου οργανικού κλάσματος των συλλεγόμενων ΑΣΑ στο δήμο ΒΒΒ (18.500 tn/year) οδηγεί την μελέτη στην εκτίμηση πως το ανθρώπινο δυναμικό που θα απασχολείται στη μονάδα αναερόβια ζύμωσης θα κυμαίνεται στα 8-10 άτομα.

Πίνακας 6.18: Εκτίμηση για τον ποσοστιαίο καταμερισμό του ετήσιου κόστους λειτουργίας της μονάδας ΒΤΦ [53],[69],[70]

Ετήσιες Λειτουργικές δαπάνες	Ποσοστό επί του λειτουργικού κόστους
Κόστος συντήρησης και λειτουργίας	15-25 %
Κόστη προσωπικού	30-45 %
Κόστη για πρώτες ύλες, καύσιμα	5-10 %
Άλλα κόστη	10-20 %

Στη συνέχεια, εξετάζονται διάφορα **σενάρια** για τα ειδικά λειτουργικά κόστη της μονάδας βιολογικής επεξεργασίας συναρτήσει της ετήσιας χωρητικότητας. Τα σενάρια αυτά είναι βασισμένα στη γραμμή τάσης που εμφανίζεται παρακάτω και έχει προκύψει με βάση την ίδια ακριβώς μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για την εξαγωγή της ανάλογης γραφικής παράστασης για τα ειδικά επενδυτικά κόστη. **(Βασικός Πίνακας 4)**



Διάγραμμα 6.2: Ειδικά ετήσια λειτουργικά κόστη για τη μονάδα αναερόβιας χώνευσης ΑΣΑ συναρτήσει της ετήσιας χωρητικότητας (€/tn biowaste)

Πίνακας 6.19: Σενάρια για τα κόστη λειτουργίας της μονάδας BTF της εγκατάστασης

ΜΟΝΑΔΑ ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ DRY-BATCH A.D	Σενάριο 1 15.000 tn /year	Σενάριο 2 18.500 tn/year	Σενάριο 3 20.000 tn/year	Σενάριο 4 25.000 tn/year
Λειτουργικό Κόστος (€)	795.000	962.000	1.020.000	1.225.000
Ειδικό Λειτουργικό Κόστος (€/tn biowaste)	53	52	51	49

6.5 Οικονομικά στοιχεία προτεινόμενης MBT μονάδας

6.5.1 Συνολικά Επενδυτικά και Λειτουργικά κόστη

Η πρόταση της μελέτης προς το δήμο BBB έγκειται στη δημιουργία μιας καινοτόμου και αυτόνομης MBT εγκατάστασης ενεργειακής αξιοποίησης των ΑΣΑ της οποίας η ονομαστική χωρητικότητα θα ισούται με 35.000 tn/year, με τη μονάδα αναερόβιας χώνευσης να είναι σχεδιασμένη ώστε να δέχεται περίπου 18.500 tn/year οργανικού υποστρώματος. Η επιλογή των χωρητικότητων της εγκατάστασης είναι ενδεικτική μιας και για την επίτευξη του καταλληλότερου συνδυασμού θα πρέπει να πραγματοποιηθεί ανάλυση οικονομικής ευαισθησίας.

Τα συνολικά κόστη επένδυσης και λειτουργίας της MBT μονάδας θα εξαχθούν με βάση τα αντίστοιχα σενάρια που αναπτύχθηκαν για τα επενδυτικά και λειτουργικά κόστη αφενός για τη μονάδα μηχανικής επεξεργασίας (MTF) και αφετέρου για τη μονάδα βιολογικής επεξεργασίας (BTF).

Αρχικά, το σύστημα κομποστοποίησης εξαιρείται από τους όλους υπολογισμούς μιας και παρόλο που ενδείκνυται σαν εφαρμογή για την επεξεργασία του χωνεμένου υλικού, δεν παύει να αποτελεί μια προαιρετική επιλογή που εξαρτάται αποκλειστικά και μόνο από τις προτεραιότητες και τα οικονομικά δεδομένα του ίδιου του δήμου.

Αφού λοιπόν εξαχθούν τα συνολικά κόστη επένδυσης και λειτουργίας της εγκατάστασης, μη συμπεριλαμβανομένου του τμήματος παραγωγής υλικού τύπου κομπόστ, στη συνέχεια προστίθενται σε αυτά και τα αντίστοιχα κόστη που απορρέουν από την υλοποίηση μονάδων ωρίμανσης και ραφιναρίας. Δυστυχώς, όσον αφορά τα ετήσια λειτουργικά κόστη των τελευταίων οι διαθέσιμες πληροφορίες είναι ελάχιστες. Ωστόσο, δεν αναμένεται να επηρεάζουν σημαντικά τις συνολικές ετήσιες δαπάνες οι οποίες θα παρουσιάσουν απλώς μια μικρή άνοδο.

Αναλυτικότερα, κατά τη διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας, ζητήθηκε από την εταιρεία **Μεσόγειος Α.Ε. [70]** ένας πρόχειρος υπολογισμός επάνω στα επιμέρους κόστη για κάθε τμήμα που απαρτίζει μια ολοκληρωμένη MBT εγκατάσταση παρόμοιας δυναμικότητας με αυτή που μελετάται για το δήμο BBB. Πράγματι, η εταιρεία, που ειδικεύεται στη κατασκευή

παρόμοιων έργων, προχώρησε σε μια πρώτη εκτίμηση των οικονομικών μεγεθών για μια μονάδα χωρητικότητας περίπου 40.000 τόνων ΑΣΑ ανά έτος,

Όσον αφορά τα επενδυτικά κόστη των μονάδων κομποστοποίησης και της μονάδας ραφινάρισματος αυτά υπολογίστηκαν γύρω στις 730.000 € και 1.800.000€, αντίστοιχα. Τα ποσά αυτά ισοδυναμούν με μια δαπάνη της τάξης των 2.530.000 €. **(Παράρτημα ΙΙΙ)**

Η παραπάνω εκτίμηση αξιοποιείται κατάλληλα στα πλαίσια της επίτευξης όσο το δυνατόν μεγαλύτερης ακρίβειας στα αποτελέσματα της τρέχουσας τεχνοοικονομικής ανάλυσης για τη μονάδα εναλλακτικής επεξεργασίας απορριμμάτων. Με άλλα λόγια, έχει θεωρηθεί πως αν οι υπεύθυνοι του δήμου BBB καταλήξουν τελικά πως επιθυμούν την παραγωγή υλικού τύπου κομπόστ (Compost Like Output-CLO) από τη χωνεμένη υλύς (digestate) ως μια από τις δυνατότητες της εγκατάστασης, τα συνολικά επενδυτικά κόστη θα αυξάνονται κατά περίπου 2.500.000 € και θα ανέρχονται πλέον σε 20.252.500€.

*Πίνακας 6.20: Συνολικά επενδυτικά και λειτουργικά κόστη ολοκληρωμένης εγκατάστασης ενεργειακής εκμετάλλευσης ΑΣΑ δήμου BBB **(ΒΑΣΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ)***

Επενδυτικά κόστη μονάδας ΜΤΦ	11.000.000 ευρώ
Επενδυτικά κόστη μονάδας ΒΤΦ	6.752.500 ευρώ
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΡΧΙΚΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ (€)	17.752.500 €
ΕΙΔΙΚΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΡΧΙΚΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ (€/tn)	507,2 €/tn
Σύστημα παραγωγής εδαφικού υλικού τύπου κομπόστ: μονάδα κομποστοποίησης και μονάδα ραφινάρισης {Προαιρετική επιλογή}	2.500.000 ευρώ
ΝΕΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΡΧΙΚΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ (€)	20.252.500 €
ΝΕΟ ΕΙΔΙΚΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΑΡΧΙΚΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ (€/tn)	578,6 €/tn
Λειτουργικά κόστη μονάδας ΜΤΦ	1.200.000 ευρώ
Λειτουργικά κόστη μονάδας ΒΤΦ	962.000 ευρώ
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΤΗΣΙΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ (€)	2.162.000 €
ΕΙΔΙΚΕΣ ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΤΗΣΙΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ (€/tn)	61,8 €/tn

Πριν την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης υποενότητας, το αρχικό κατασκευαστικό κόστος της μονάδας ανάγεται σε ράντα (annuity), μια μεταβλητή απαραίτητη για την εξαγωγή της συνολικής ετήσιας χρηματοροής του προτεινόμενου έργου. **(ΒΑΣΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ)**

Πίνακας 6.21: Συνολικά Ετήσια επενδυτικά κόστη (Annuity) ολοκληρωμένης εγκατάστασης ενεργειακής εκμετάλλευσης ΑΣΑ δήμου BBB

Επενδυτικά κόστη μονάδας MTF	11.000.000 ευρώ
Επενδυτικά κόστη μονάδας BTF	6.752.500 ευρώ
Συνολικό αρχικό κεφάλαιο (€)	17.752.500 €
Ετήσια Επενδυτικά κόστη μονάδας MTF (i=6%)	1.132.590 ευρώ
Ετήσια Επενδυτικά κόστη μονάδας BTF	695.256 ευρώ
Συνολικά ετήσια επενδυτικά κόστη Total Annuity (€)	1.827.846 €
Ετήσια Επενδυτικά κόστη μονάδας CTP	257.407 ευρώ
Συνολικά ετήσια επενδυτικά κόστη (συμπερ. συστήματος κομποστοποίησης) Total Annuity with post composting system (€)	2.085.253 €

6.5.2 Έλεγχος ορθότητας εξαχθέντων αποτελεσμάτων

Σε αυτήν την υποενότητα επιχειρείται η **αντιπαραβολή των εξαγόμενων αποτελεσμάτων** με αντίστοιχες εκτιμήσεις που καταγράφονται σε διάφορες βιβλιογραφικές πηγές σχετικά με τα κόστη παρεμφερών εγκαταστάσεων με αυτή που σχεδιάζεται για λογαριασμό του δήμου BBB.

Ειδικότερα, ο *De Mes* και η ομάδα του (2003) στην εργασία τους αναφέρουν ενδεικτικά εύρη τιμών τόσο για τα επενδυτικά όσο και για τα λειτουργικά κόστη τεχνολογιών αναερόβιας χώνευσης είτε προ-διαλεγμένου οργανικού κλάσματος είτε σύμμεικτων ΑΣΑ που έχουν υποστεί προηγουμένως εκτεταμένη μηχανική επεξεργασία [55].

Στην πρώτη περίπτωση (SS-MSW), αναφέρονται ειδικά επενδυτικά κόστη που κυμαίνονται από 596-230 €/tn για δυναμικότητες από 10.000-100.000 tn/year ενώ για την δεύτερη περίπτωση (mixed waste separated at the plant) οι αντίστοιχες τιμές εκτείνονται μεταξύ 648-249 €/tn, δηλαδή παρουσιάζουν αύξηση εξαιτίας του μηχανικού διαχωρισμού που εμφανίζεται ως προ-απαιτήση στη μονάδα. Για τα ειδικά κόστη λειτουργίας των μονάδων υπολογίζεται εύρος τιμών από 80-35 €/tn για χωρητικότητες από 20.000-120.000 tn/year, χωρίς να δίνονται περισσότερες πληροφορίες [55].

Παρατήρηση 1: Γίνεται αντιληπτό πως αν οι παραπάνω τεχνοοικονομικές εκτιμήσεις προσαρμοστούν σε δυναμικότητες παρόμοιας τάξης μεγέθους με αυτές που εξετάζονται για το δήμο BBB, προσομοιάζουν σε σημαντικό βαθμό με τα εξαγόμενα αποτελέσματα από τη μελέτη. Η μόνη υποσημείωση που μπορεί να γίνει είναι πως τα επενδυτικά κόστη εμφανίζονται ελάχιστα προσαυξημένα, όταν συμπεριλαμβάνονται σε αυτά οι δαπάνες για το τμήμα μετακομποστοποίησης. Υπενθυμίζεται ότι το ειδικό κόστος επένδυσης μειώνεται όσο αυξάνεται η δυναμικότητα της μονάδας.

Επιπρόσθετα, η Mesogeos SA (Gkamarazi N.,2015) σχεδιάζει μια ολοκληρωμένη μονάδα επεξεργασίας ΑΣΑ για λογαριασμό του νομού Ηλείας, στην οποία περιλαμβάνονται i) μονάδα μηχανικής προ-επεξεργασίας του σύμμεικτου μίγματος ΑΣΑ, ii) dry-batch μονάδα

αναερόβιας χώνευσης, iii) μονάδα αερόβιας κομποστοποίησης του χωνεμένου στερεού υπολείμματος καθώς και iv) χώρος για τα υπολείμματα εκείνα που δεν μπορούν να αξιοποιηθούν με κανένα τρόπο και οδηγούνται προς ταφή [46].

Η μονάδα μηχανικής επεξεργασίας παρουσιάζει ονομαστική χωρητικότητα 80.000 tn/year ενώ η μονάδα αναερόβιας βιολογικής επεξεργασίας 36.000 tn/year. Το συνολικό αρχικό κεφάλαιο για την κατασκευή της ολοκληρωμένης αυτής εγκατάστασης ανέρχεται στα 29.000.000- 31.000.000 ευρώ ενώ το ειδικό λειτουργικό κόστος στα 38-39 €/tn [46].

Παρατήρηση 2: Τα παραπάνω οικονομικά μεγέθη φανερώνουν επίσης έναν αρκετά καλό βαθμό ρεαλιστικότητας για τα κόστη επένδυσης και λειτουργίας που έχουν προβλεφθεί για τη σχεδιαζόμενη πρότυπη εγκατάσταση διαχείρισης ΑΣΑ στο δήμο ΒΒΒ.

Πιο αναλυτικά, είναι αναμενόμενο τα κατασκευαστικά και λειτουργικά κόστη να ανέρχονται σε υψηλότερα επίπεδα στην έρευνα της Μεσόγειος Α.Ε. μιας και η εγκατάσταση είναι σχεδιασμένη ώστε να δέχεται ετήσια ποσότητα αστικών στερεών αποβλήτων 2,3 φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη στο δήμο ΒΒΒ. Η τεχνική αυτή παράμετρος μεταφράζεται σε αρκετά μικρότερα ειδικά επενδυτικά και λειτουργικά κόστη (€/tn) αλλά και σε αρκετά μεγαλύτερα χρηματικά ποσά (€) όσον αφορά το απαιτούμενο αρχικό κεφάλαιο και το ετήσιο κόστος λειτουργίας.

Επομένως, όλα τα παραπάνω συνηγορούν στο συμπέρασμα πως όλα τα εξαχθέντα νούμερα για τα διάφορα κόστη των μονάδων της υπό μελέτη εγκατάστασης είναι προς τη σωστή κατεύθυνση και αποτυπώνουν με ρεαλιστικό τρόπο τις οικονομικές απαιτήσεις της ολοκληρωμένης εγκατάστασης ενεργειακής εκμετάλλευσης ΑΣΑ.

6.6 Υπολογισμός παραγόμενης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας

Τα έσοδα από την πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας επηρεάζουν άμεσα την τεχνοοικονομική συμπεριφορά της εγκατάστασης, διαμορφώνοντας ουσιαστικά το τελικό ύψος που θα ανέρχονται τα ετήσια ειδικά συνολικά της κόστη (net annual treatment costs).

Όπως έχει επισημανθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, το μεγαλύτερο μέρος του ηλεκτρισμού που παράγεται στη μονάδα συμπαραγωγής από την καύση του βιοαερίου σε μια ή περισσότερες κατάλληλα τροποποιημένες Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (Μ.Ε.Κ) θα πωλείται στο δίκτυο, ενώ μια μικρή ποσότητα αυτού θα καλύπτει τις έτσι και αλλιώς μικρές απαιτήσεις σε ιδιοκατανάλωση της εγκατάστασης.

Παράλληλα, ενδιαφέρον παρουσιάζει και η γνώση της παραγόμενης ποσότητας θερμικής ενέργειας μιας και μπορεί να μην προβλέπονται διαδικασίες πώλησής της στην ελληνική αγορά, ωστόσο με βάση τη συμφωνία που έχει γίνει με το Υπουργείο Άμυνας, προορίζεται να καλύπτει σε σημαντικό βαθμό τις θερμικές ανάγκες της Σχολής Ευελπίδων, η οποία θα συνορεύει με τη σχεδιαζόμενη πρότυπη εγκατάσταση διαχείρισης ΑΣΑ .

Μάλιστα, σύμφωνα με το σχεδιασμό που έχει γίνει, προβλέπεται σε δευτερεύοντα βαθμό στο μέτρο που αυτό είναι εφικτό, από την εναπομένουσα ποσότητα θερμότητας, η

ικανοποίηση θερμικών αναγκών σχολικών συγκροτημάτων, νοσοκομείων και αθλητικών κέντρων που εντοπίζονται στην γύρω περιοχή όπου θα κατασκευαστεί η μονάδα ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ του δήμου BBB.

Για τον υπολογισμό των παραγόμενων από την εγκατάσταση ποσοτήτων ηλεκτρισμού και θερμότητας απαιτείται ο προσδιορισμός των παρακάτω μεγεθών:

- Της παραγόμενης ποσότητας βιοαερίου από την χώνευση της οργανικής πρώτης ύλης,
- Της θερμογόνου ικανότητάς του και
- Του ηλεκτρικού και θερμικού βαθμού απόδοσης της Μ.Ε.Κ.

6.6.1 Παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου (m^3/tn)

Σε πρώτη φάση, επιδιώκεται η εξαγωγή μιας τυπικής τιμής για την **παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου** (m^3/tn) από τις αναερόβιες βιολογικές διεργασίες επεξεργασίας του οργανικού υποστρώματος που έχει ως βασικά συστατικά του τεμαχισμένα πράσινα απόβλητα (55%) και υπολείμματα τροφών (37%) ενώ σε μικρότερες ποσότητες (8%) εντοπίζονται συστατικά όπως χαρτί, πλαστικό κ.α. διαμέτρου μικρότερης του 80mm. **(Παράρτημα Ι)**

Τα επίπεδα παραγωγής βιοαερίου εξαρτώνται άμεσα από το ποσοστό των πτητικών στερεών (Volatile Solids, VS) που εντοπίζεται στα επιμέρους συστατικά υλικά της πρώτης ύλης και το οποίο εκφράζει το βιοαποδομήσιμο τμήμα της στερεής ύλης που εμπεριέχεται σε καθένα από αυτά. Διαφοροποιείται από υλικό σε υλικό [53]. Ο Brown (2011) στην έρευνά του υποστηρίζει πως η διατήρηση της περιεκτικότητας των πτητικών στερεών στην οργανική πρώτη ύλη τροφοδοσίας σε ποσοστά μεγαλύτερα του 60% είναι ιδιαιτέρως σημαντική προκειμένου να εξασφαλίζονται υψηλές αποδόσεις παραγωγής βιοαερίου [33].

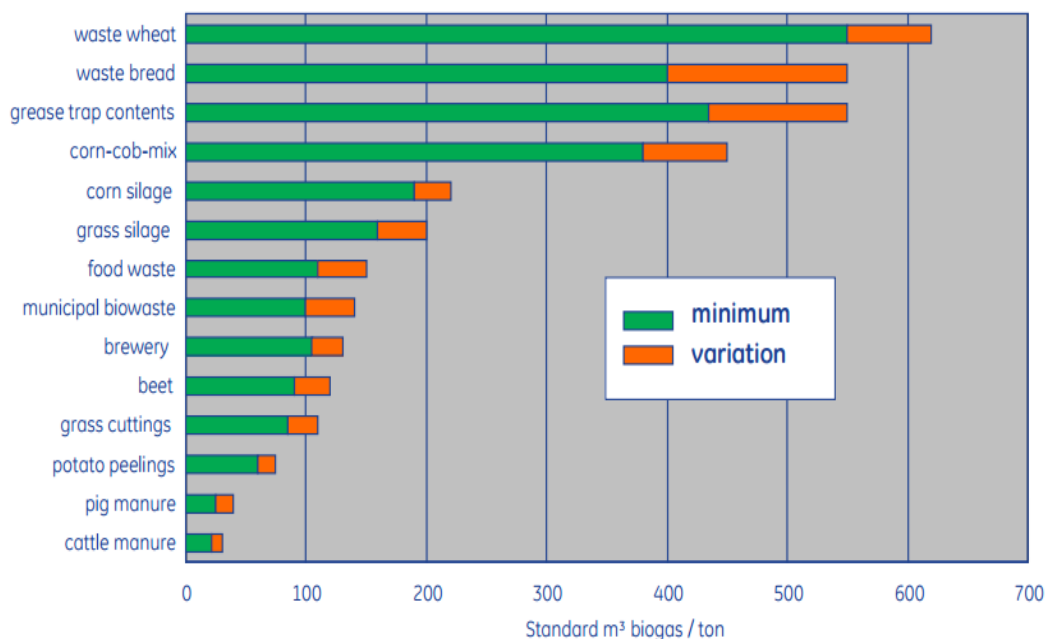
Όσον αφορά την περίπτωση που μελετάται, τα πράσινα απόβλητα από μόνα τους δεν φαίνονται ικανά να αποδώσουν υψηλές ποσότητες βιοαερίου κατά την χώνευση τους. Επομένως, πρωτίστως τα υπολείμματα τροφών και δευτερευόντως οι μικρές ποσότητες χαρτιού είναι τα συστατικά υλικά εκείνα του οργανικού κλάσματος που θα συνεισφέρουν αυξητικά στα επίπεδα παραγωγής βιοαερίου στη μονάδα αναερόβιας χώνευσης [33],[53].

Επιπρόσθετα, η RIS International LTD (2005) [53] παραθέτει διάφορα εύρη παραγωγής βιοαερίου σε συνάρτηση με το είδος της πρώτης ύλης που εισάγεται στους χωνευτήρες. Τα αποτελέσματα αφορούν τεχνολογίες ξηρής συνεχούς ζύμωσης. Αξίζει να επισημανθεί πως εταιρείες που εμπορεύονται dry-batch μεθόδους χώνευσης αποβλήτων (Bekon, Herhof GmbH) υπόσχονται στα φυλλάδια τους [38],[54] αύξηση της ποσότητας του παραγόμενου βιοαερίου ακόμα και σε επίπεδα που αγγίζουν το 20 %, ιδίως σε περιπτώσεις εφαρμογής θερμοφίλων διαδικασιών αναερόβιας επεξεργασίας.

Πίνακας 6.22: Επίπεδα παραγωγής βιοαερίου κατά την αναερόβια χώνευση συναρτήσει του είδους της πρώτης ύλης [53]

Πρώτη Ύλη	Περιεκτικότητα Βιοαερίου σε μεθάνιο ($\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{raw ton}$)	Παραγωγή βιοαερίου (m^3/tn)
Οργανικά απόβλητα και απόβλητα κήπου	50-60	80-90
Οργανικά απόβλητα και μικρή περιεκτικότητα σε χαρτί/χαρτόνια	65-75	104-112
Οργανικά απόβλητα, χαρτί/χαρτόνια και απόβλητα κήπου	65-75	104-112
Οργανικά απόβλητα και χαρτί/χαρτόνια	75-85	112-136
ΑΣΑ	75-90	112-144

Συγκεντρωτικά, το ύψος της παραγόμενης ποσότητας παραγωγής βιοαερίου συνδέεται άμεσα με το είδος του προς επεξεργασία οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ (OFMSW), τον τρόπο συλλογής του και τη μέθοδο αναερόβιας χώνευσης που εφαρμόζεται για την βιολογική επεξεργασία του. Για dry-batch τεχνολογίες ζύμωσης, το εύρος της παραγόμενης ποσότητας παραγωγής βιοαερίου κυμαίνεται μεταξύ 80 και 125 m^3/tn οργανικής πρώτης ύλης με μια μέση περιεκτικότητα σε μεθάνιο (CH_4) της τάξης του 60 vol % [33].



Εικόνα 6.1: Επίπεδα παραγωγής βιοαερίου από διάφορα είδη οργανικής πρώτης ύλης (Φυλλάδιο Jenbacher) [71]

Στην περίπτωση που μελετάται, η υψηλή περιεκτικότητα του οργανικού υποστρώματος σε πράσινα απόβλητα και κυρίως τεμαχισμένα κλαδέματα αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα για την επίτευξη πολύ υψηλών ποσοτήτων παραγωγής βιοαερίου. Μια ρεαλιστική εκτίμηση η οποία υιοθετείται από τη μελέτη για τη συνέχεια των εργασιών θεωρούνται τα $95 \text{ m}^3/\text{tn}$.

Η διαλογή στην πηγή μέσω καφέ κάδων των παραγόμενων στη ευρύτερη περιοχή του δήμου BBB βιοαποδομήσιμων αποβλήτων (SS-OFMSW) με χαρακτηριστικότερα όλων τα υπολείμματα τροφών/κουζίνας/εστιατορίων, θα συνεισφέρει αποφασιστικά τόσο στην παραγωγή βιοαερίου υψηλότερης ποιότητας με αυξημένη περιεκτικότητα σε μεθάνιο όσο και στην καλύτερη ποιότητα της παραγόμενης χωνεμένης ιλύς που απομένει εντός των χωνευτήρων στο τέλος των αναερόβιων διαδικασιών [33],[41].

Η παρατήρηση που προηγήθηκε αν συνδυαστεί με την σημαντική μείωση του κόστους προεπεξεργασίας των ΑΣΑ που συνεπάγεται από την εφαρμογή μεθόδων διαλογής στη πηγή, συνιστούν ένα επιπλέον σημαντικό κίνητρο για το δήμο BBB προκειμένου να προχωρήσει όσο πιο άμεσα γίνεται στην τοποθέτηση καφέ κάδων. Άλλωστε, όπως έχει γίνει γνωστό από τους υπεύθυνους του τομέα καθαριότητας και ανακύκλωσης έχουν ήδη εκκινήσει οι διαδικασίες για την υλοποίηση και ενθάρρυνση του συγκεκριμένου εγχειρήματος .

6.6.2 Θερμογόνος δύναμη παραγόμενου βιοαερίου (MJ/m³)

Το ενεργειακό περιεχόμενο του βιοαερίου που παράγεται κατά την αναερόβια επεξεργασία του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ, συνδέεται άμεσα με την κατ'όγκο περιεκτικότητά του σε μεθάνιο [42]. Το μεθάνιο (CH₄) είναι αυτό που μαζί με το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) αποτελούν τα βασικά χημικά συστατικά του εξαχθέντος αερίου μίγματος. Σε ελάχιστες ποσότητες εμπεριέχονται επίσης διάφορα άλλα αέρια όπως είναι το υδρόθειο (H₂S), η αμμωνία (NH₃), το άζωτο (N₂), το υδρογόνο (H₂), το οξυγόνο (O₂), οι υδρατμοί (H₂O) καθώς και διάφορες σιλοξάνες [24],[55].

Πίνακας 6.23: Τυπική σύσταση βιοαερίου [55]

Συστατικό	Συγκέντρωση κατ' όγκο (vol%)
Μεθάνιο (CH ₄)	55-75%
Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	25-45%
Υδρόθειο (H ₂ S)	0-1,5%
Αμμωνία (NH ₃)	0-0,05%

Με δεδομένη την παραπάνω σύσταση του βιοαερίου, η ανώτερη θερμογόνος ικανότητά του (Higher Heating Value-HHV) κυμαίνεται μεταξύ 22-30 MJ/m³ ενώ το αντίστοιχο εύρος τιμών για την κατώτερη θερμογόνος ικανότητά του (Lower Heating Value-LHV) υπολογίζεται μεταξύ 19-26 MJ/m³ [24],[55]. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως η κατώτατη θερμογόνος δύναμη για παραγόμενο βιοαέριο με κατ' όγκο συγκέντρωση σε μεθάνιο της τάξης του 50%v/v ισούται με 21 MJ/m³ [42].

Στην παρούσα μελέτη έχει θεωρηθεί πως το παραγόμενο βιοαέριο στη μονάδα αναερόβιας χώνευσης θα αποτελείται κατά 59 %v/v από μεθάνιο (CH₄) και κατά 40 %v/v από διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) ενώ σε ποσοστό της τάξης του 1%v/v θα εμφανίζονται πολύ μικρές ποσότητες υδρόθειου (H₂S) και αμμωνίας (NH₄). Ταυτόχρονα, η κατώτατη θερμογόνος ικανότητα του αέριου καυσίμου υπολογίζεται κοντά στα 22 MJ/m³.

Πίνακας 6.24: Χαρακτηριστικά μεγέθη παραγόμενου βιοαερίου στη σχεδιαζόμενη μονάδα ξηρής αναερόβιας χώνευσης

Παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου	95 m ³ /tn
Ετήσια παραγωγή βιοαερίου	1.757.500 m ³ /year
Περιεκτικότητα σε CH₄	59% v/v
Περιεκτικότητα σε CO₂	40% v/v
Θερμογόνος ικανότητα (LHV)	22 MJ/m ³

6.6.3 Ηλεκτρικός & Θερμικός βαθμός απόδοσης εγκατάστασης

Καταλήγοντας, ο **ηλεκτρικός και θερμικός βαθμός απόδοσης** κατά την καύση του βιοαερίου στην αεριομηχανή διπλού καυσίμου (M.E.K.) αποτελούν τις τελευταίες κρίσιμες μεταβλητές που πρέπει να προσεγγιστούν έτσι ώστε να επιτευχθεί ο υπολογισμός της παραγόμενης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας στη μονάδα συμπαραγωγής.

Στη βιβλιογραφία εντοπίζονται αρκετές αναφορές σχετικά με τους επιμέρους βαθμούς απόδοσης μονάδων συμπαραγωγής με μηχανές εσωτερικής καύσης, οι οποίες ακολουθούν το στάδιο της παραγωγής βιοαερίου στους αναερόβιους βιοαντιδραστήρες. Ενδεικτικά, παρατίθεται ο παρακάτω πίνακας :

Πίνακας 6.25: Ηλεκτρικοί και Θερμικοί βαθμοί απόδοσης από διάφορες μελέτες για τεχνολογίες αναερόβιας χώνευσης ΑΣΑ

Ποσοστιαίος Ηλεκτρικός Βαθμός Απόδοσης (n_{el})	Ποσοστιαίος Θερμικός Βαθμός Απόδοσης (n_{th})	Πηγή
35-38 %	50 %	Methane production by anaerobic digestion of wastewater and solid wastes
35 %	45 %	Feasibility of Generating Green Power through Anaerobic Digestion of Garden Refuse from the Sacramento Area
33 %	47 %	Σύγκριση βιολογικών μεθόδων αξιοποίησης του προ-διαλεγμένου οργανικού κλάσματος των Αστικών Σύμμεικτων Απορριμμάτων βάσει των αρχών της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής.
40 %	40 %	Life-cycle assessment of a waste refinery process for enzymatic treatment of municipal solid waste
40 %	60 %	Material resources, energy, and nutrient recovery from waste: are waste refineries the solution for the future?
30-40 %	35-45 %	Assessing the cost of biofuel production with increasing penetration of the transport fuel market: A case study of gaseous biomethane in Ireland

Συνεκτιμώντας τα στοιχεία του Πίνακα 6.24, η μελέτη κρίνει πως μια ρεαλιστική προσέγγιση για τους βαθμούς απόδοσης θα ήταν το 38% για τον ηλεκτρικό β.α. (n_{el}) και το 42% για το θερμικό β.α. (n_{th}). Μάλιστα, με βάση τις συγκεκριμένες θεωρήσεις ανακύπτει ένας ολικός βαθμός συμπαραγωγής (n_{CHP}) για την εγκατάσταση που αγγίζει το 80%.

Πίνακας 6.26: Βαθμοί απόδοσης σχεδιαζόμενης εγκατάστασης αναερόβιας χώνευσης

Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης (n_{el})	38 %
Θερμικός βαθμός απόδοσης (n_{th})	42 %
Ολικός Βαθμός Συμπαραγωγής ($n_{CHP} = n_{el} + n_{th}$)	80 %

Με βάση τις παραδοχές που προηγήθηκαν, δίνεται πλέον η δυνατότητα υπολογισμού της παραγόμενης ποσότητας ηλεκτρισμού και θερμότητας από την πρότυπη εγκατάσταση ενεργειακής εκμετάλλευσης ΑΣΑ, μέσω της χρήσης των δύο βασικών τύπων που ακολουθούν:

- Για την παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς :

$$P_{el} = n_{el} * \dot{m}_B * H_u$$

όπου :

n_{el} = Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης (%)

P_{el} = Ηλεκτρική ισχύς (Watt)

\dot{m}_B = Παροχή βιοαερίου στην Μ.Ε.Κ (m^3/sec)

H_u = Κατώτερη θερμογόνος ικανότητα βιοαερίου (MJ/m^3)

- Αντίστοιχα, για την παραγόμενη θερμική ισχύς :

$$\dot{Q}_{th} = n_{th} * \dot{m}_B * H_u$$

όπου :

n_{th} = Θερμικός βαθμός απόδοσης (%)

\dot{Q}_{th} = Θερμική ισχύς (Watt)

\dot{m}_B = Παροχή βιοαερίου στην Μ.Ε.Κ (m^3/sec)

H_u = Κατώτερη θερμογόνος ικανότητα βιοαερίου (MJ/m^3)

Επομένως, για ετήσια λειτουργία της εγκατάστασης κοντά στις 8.200 ώρες, υπολογίζεται ότι η **παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς** θα είναι περίπου ίση με 500 kW_{el} (0,50 MW_{el}) ενώ η **παραγόμενη θερμική ισχύς** θα αγγίζει με τη σειρά της τα 550 kW_{th} (0,55 MW_{th}). Οι εξαγόμενες αυτές τιμές για τις ισχύεις αντιστοιχούν σε ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας περίπου 4.100.000 kWh_{el} και θερμικής ενέργειας περίπου 4.510.000 kWh_{th}.

Πίνακας 6.27: Υπολογισμός παραγόμενης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας μονάδας αναερόβιας χώνευσης για 8200 ώρες λειτουργίας το χρόνο

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ Α.Χ	0,50 MW _{el}
ΘΕΡΜΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ Α.Χ	0,55 MW _{th}
ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	4.100 MWh _{el} / year
ΕΤΗΣΙΑ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	4.510 MWh _{th} / year

6.7 Έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο

Η **τιμολόγηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας** από τη σχεδιαζόμενη μονάδα επεξεργασίας σύμμεικτων απορριμμάτων γίνεται με βάση το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο στην Ελλάδα που αφορά την παραγωγή ενέργειας από **Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε)**.

Πιο αναλυτικά, σύμφωνα με το Νόμο 4414/2016 (ΦΕΚ Α' 149/9-8-2016), η τιμή πώλησης για ηλεκτρική ενέργεια παραγόμενη από μονάδες αναερόβιας χώνευσης του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ είναι εγγυημένη και ανέρχεται είτε σε 129 €/MWh_{el} για συνολική εγκατεστημένη ισχύ μικρότερη ή ίση των 2MW είτε σε 106 €/MWh_{el} για εγκατεστημένη ισχύ μεγαλύτερη των 2MW [72].

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται όλες οι ισχύουσες τιμές πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς ενεργειακής αξιοποίησης του βιογενούς κλάσματος των στερεών αποβλήτων. Για τη θερμική ενέργεια δεν προβλέπονται δυνατότητες πώλησής της στην ισχύουσα νομοθεσία.

Πίνακας 6.28: Τιμολόγηση παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ (€/MWh_{el})

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΙΣΧΥΟΥΣΑ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (€/MWh)
Αποτέφρωση/ Αεριοποίηση βιοαποδομήσιμου κλάσματος ΑΣΑ	«Λοιπές ΑΠΕ εκτός Φωτοβολταϊκών (συμπεριλαμβανομένων και των σταθμών ενεργειακής αξιοποίησης του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων μη εντασσόμενων σε άλλη κατηγορία του πίνακα, που πληρούν τις προδιαγραφές της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας όπως εκάστοτε αυτές ισχύουν»	90
Αναερόβια Χώνευση οργανικού κλάσματος ΑΣΑ	«Αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής και εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και βιοαέριο που προέρχεται από την αναερόβια χώνευση του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αποβλήτων και την οργανική ύλη/λάσπη βιολογικών καθαρισμών και αξιοποιούνται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ ≤ 2MW»	129
	«Αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής και εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και βιοαέριο που προέρχεται από την αναερόβια χώνευση του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αποβλήτων και την οργανική ύλη/λάσπη βιολογικών καθαρισμών και αξιοποιούνται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ > 2MW»	106

Στην περίπτωση που εξετάζεται, έχει θεωρηθεί ότι το 10% της παραγόμενης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας θα χρησιμοποιείται για την ικανοποίηση των ιδιοκαταναλώσεων της ΜΒΤ εγκατάστασης και το υπόλοιπο 90 % θα πωλείται στο εθνικό δίκτυο της Δ.Ε.Η με τιμή 129 €/MWh. Επομένως τα έσοδα του δήμου θα είναι ίσα:

$$0,9 \times 4100 \text{MWh}_{el} \times 129 \text{€/MWh}_{el} = 476.010 \text{€} = 15 \text{€/tη ΑΣΑ}$$

6.8 Έσοδα από την πώληση των ανακυκλώσιμων υλικών

Ο πίνακας που ακολουθεί αποτυπώνει τα επίπεδα ανάκτησης των ανακυκλώσιμων υλικών του σύμμεικτου μίγματος αποβλήτων που εισέρχεται στη μονάδα με βάση τα ισοζύγια μάζας που πραγματοποιήθηκαν για το στάδιο μηχανικής προ-επεξεργασίας.

Πίνακας 6.29: Επίπεδα ανάκτησης ανακυκλώσιμων υλικών σε τόνους

Ανακτηθέντα υλικά	Ποσότητα ανάκτησης (tn)
Χαρτί	1928,50
Πλαστικό	1463,00
Σιδηρούχα μέταλλα	342,00
Μη σιδηρούχα μέταλλα	161,50
Γυαλί	228,00
ΣΥΝΟΛΟ	4123,00 tn

Έπειτα, οι τιμές πώλησης των ανακτηθέντων υλικών στις βιομηχανίες ανακύκλωσης λαμβάνονται σύμφωνα με τον Πίνακα 6.29 : [73]

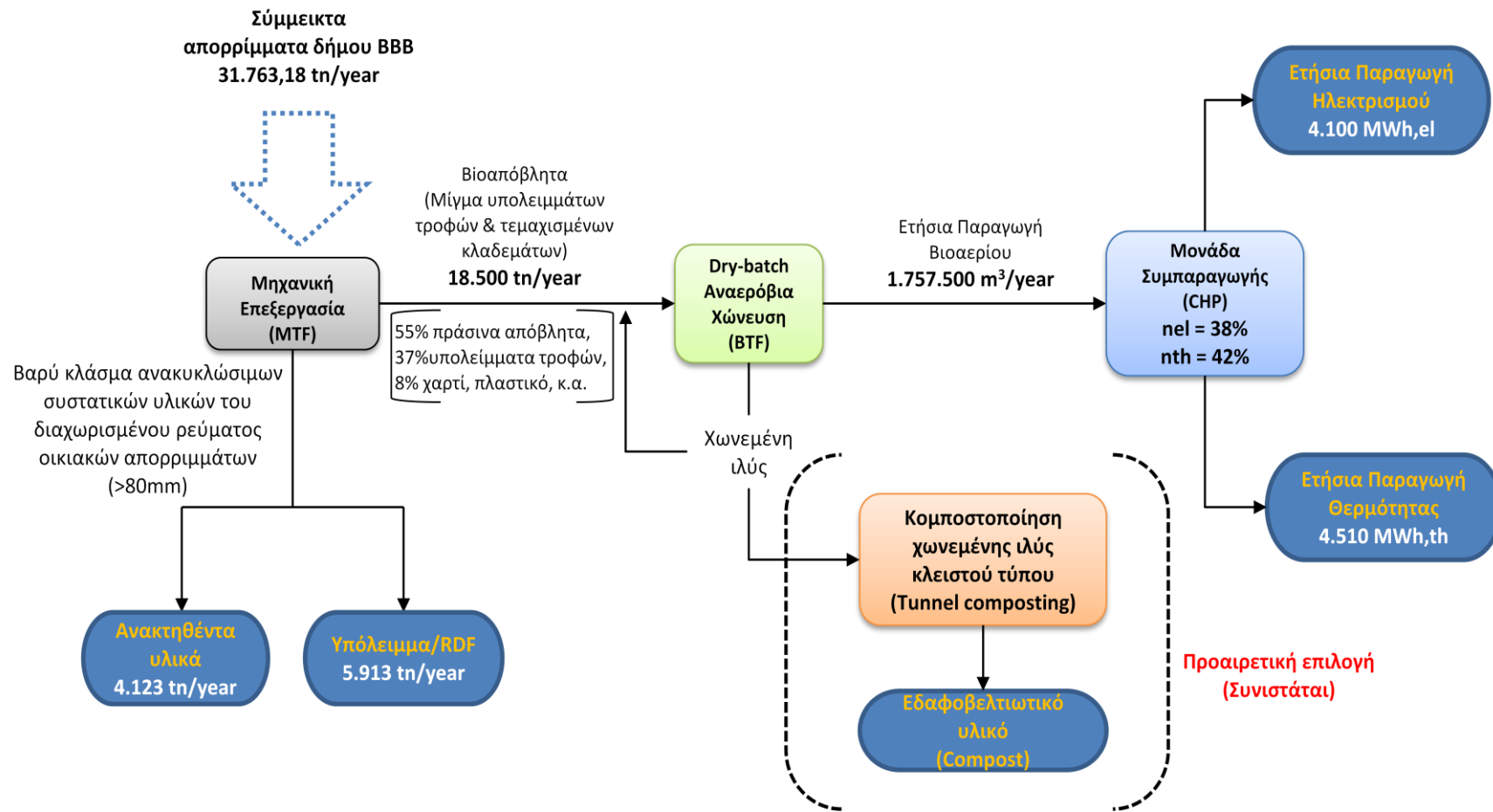
Πίνακας 6.30: Τιμές πώλησης των ανακτηθέντων υλικών στις βιομηχανίες ανακύκλωσης [73]

Ανακτηθέντα υλικά	Τιμή Πώλησης Ανακτηθέντος υλικού (€/tn)
Χαρτί	100
Πλαστικό	280
Σιδηρούχα μέταλλα	125
Μη σιδηρούχα μέταλλα	1000
Γυαλί	40
Ξύλο	20

Με βάση τους δύο παραπάνω πίνακες προκύπτει ο τελικός Πίνακας 6.30 που συγκεντρώνει τα έσοδα που θα έχει ο δήμος από την πώληση των ανακυκλώσιμων υλικών. Τα συνολικά ετήσια έσοδα εκτιμώνται στα 815.860€ ή 25,7€/tn ΑΣΑ.

Πίνακας 6.31: Έσοδα στο δήμο BBB από την πώληση των ανακτηθέντων υλικών

Ανακτηθέντα υλικά	Έσοδα (€)
Χαρτί	192.850
Πλαστικό	409.640
Σιδηρούχα μέταλλα	42.750
Μη σιδηρούχα μέταλλα	161.500
Γυαλί	9.120
ΣΥΝΟΛΟ ΕΣΟΔΩΝ	815.860 €



Εικόνα 6.2: Απλοποιημένο Ισοζύγιο μάζας για την ολοκληρωμένη MBT εγκατάσταση

6.9 Υπολογισμός νέου κόστους αποκομιδής των απορριμμάτων (διαδικασίες συλλογής, μεταφοράς και εναπόθεσης)

6.9.1 Άμεσοι δείκτες συλλογής και μεταφοράς των σύμμεικτων απορριμμάτων στη σχεδιαζόμενη μονάδα

Το ετήσιο συνολικό κόστος από την εφαρμογή του εναλλακτικού σχεδίου διαχείρισης των ΑΣΑ στο δήμο BBB θα παίρνει την τελική του τιμή με βάση το πώς θα διαμορφώνονται τα κόστη συλλογής και μεταφοράς των αστικών αποβλήτων έπειτα από την κατασκευή της μονάδας επεξεργασίας ΑΣΑ εντός των ορίων του δήμου και την εκτροπή σε μεγάλο βαθμό από την τρέχουσα πρακτική της διάθεσης των σύμμεικτων απορριμμάτων στο ΧΥΤΑ της Φυλής.

Ειδικότερα, στο Τοπικό Σχέδιο Δράσης Διαχείρισης Απορριμμάτων του Δήμου Βάρης-Βούλας- Βουλιγαμένης [14] έχουν αναπτυχθούν κατάλληλοι μοναδιαίοι δείκτες (€/tn ΑΣΑ) για κάθε μια από τις επιμέρους κατηγορίες **άμεσου κόστους**, τόσο για την κατηγορία των *σύμμεικτων* όσο και για την *κατηγορία των ανακυκλώσιμων αποβλήτων*, αντίστοιχα.

- Μοναδιαίο Κόστος Καυσίμου ανά Τόνο **(ΜΚΚΤ)**
- Μοναδιαίο Συνολικό Κόστος Καυσίμου ανά τόνο **(ΜΣΚΚΤ)**
- Κόστος Διοδίων ανά Τόνο **(ΚΔΤ)**
- Κόστος Ασφάλιστρων ανά τόνο **(ΚΑΤ)**
- Κόστος εισφοράς ΕΣΔΝΑ ανά τόνο **(ΕΤ)**
- Κόστος Τελών Κυκλοφορίας οχημάτων αποκομιδής ανά τόνο **(ΚΤΤ)**
- Κόστος Συντήρησης οχημάτων αποκομιδής **(ΚΣΤ)**

Πίνακας 6.32: Ειδικά άμεσα κόσθη (€/tn) κατά τις διαδικασίες αποκομιδής σύμμεικτων απορριμμάτων [14]

Άμεσοι δείκτες κόστους για αποκομιδή ΣΥΜΜΕΙΚΤΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ	Μοναδιαία Τιμή (€/tn)
ΜΚΚΤ	5,53
ΜΣΚΚΤ	8,10
ΚΔΤ	0,85
ΚΑΤ	0,77
ΕΤ	45,00
ΚΤΤ	0,06
ΚΣΤ	1,23

Είναι σημαντικό να επισημανθεί πως το μοναδιαίο κόστος καυσίμου (ΜΚΚΤ) αφορά αποκλειστικά τις διαδρομές που ακολουθούνται για την μεταφορά των συλλεχθέντων σύμμεικτων απορριμμάτων από το δήμο στο ΧΥΤΑ ενώ το Μοναδιαίο Συνολικό Κόστος Καυσίμου ανά τόνο σύμμεικτου απορρίμματος (ΜΣΚΚΤ) αφορά και τις διαδρομές για την συλλογή τους εντός του δήμου [14].

Επιπλέον, υπενθυμίζεται ότι σε σχέση με τα τωρινά δεδομένα αναμένεται μια σημαντική προσαύξηση στο ειδικό κόστος εισφοράς υπέρ ΕΣΔΝΑ, μιας και αρχής γενομένης από το 2018 θα ενσωματωθεί σε αυτό και το ειδικό τέλος ταφής το οποίο. Σύμφωνα με όσα έχουν αναφερθεί μέχρι στιγμής, το πρόσθετο αυτό τέλος θα ξεκινά από 35 €/tn και θα αυξάνεται σταδιακά μέχρι και το 2023. Έτσι, ο συντελεστής (ΕΤ) το 2018 θα αγγίζει τα 90 €/tn και το 2021 αναμένεται να φτάσει τα 105 €/tn.

Όπως είναι αναμενόμενο, η επικείμενη υλοποίηση της πρότυπης εγκατάστασης πλησίον του οικοπέδου που είναι εγκατεστημένη η Στρατιωτική Σχολή Ευελπίδων, εντός δηλαδή της Δημοτικής Κοινότητας Βάρης, θα προκαλέσει **μεταβολές στις άμεσες δαπάνες** που σχετίζονται με τη συλλογή και μεταφορά των σύμμεικτων απορριμμάτων. Αναλυτικότερα:

1. Τα απαιτούμενα άμεσα κόστη για τα καύσιμα θα μειώνονται μιας και πλέον τα απορριμματοφόρα θα εκτελούν διαδρομές μόνο εντός του δήμου για τη συλλογή και τη μεταφορά των αποβλήτων στη μονάδα επεξεργασίας τους. Η μελέτη κρίνει πως μια καλή προσέγγιση των νέων άμεσων δαπανών για καύσιμα δίνεται από τον δείκτη (**ΜΚΚΤ_{new}**) που προκύπτει ως αποτέλεσμα της παρακάτω πράξης :

$$\text{ΜΚΚΤ}_{\text{new}} = (\text{ΜΣΚΚΤ}) - (\text{ΜΚΚΤ}) = 8,10 \text{ €/tn} - 5,53 \text{ €/tn} = \underline{\underline{2,57\text{€/tn}}}$$

2. Οι απαιτήσεις για πληρωμή διοδίων θα εξαλείφονται, πράγμα που σημαίνει ότι ο μοναδιαίος συντελεστής για τα άμεσο κόστος των διοδίων (**ΚΔΤ**) θα μηδενίζεται στο σενάριο λειτουργίας μιας ολοκληρωμένης μονάδας εναλλακτικής διαχείρισης ΑΣΑ. Επομένως: **ΚΔΤ_{new}=0**

3. Η βασικότερη **χρηματική απαλλαγή** που θα επιφέρει η λειτουργία της πρότυπης μονάδας είναι **από τα τέλη εισόδου** για την εναπόθεση των σύμμεικτων αποβλήτων, τα οποία για την περίοδο 2018-2023 θα αυξάνονται συνέχεια χρόνο με το χρόνο σύμφωνα πάντα με όσα προβλέπει το υπάρχον νομοθετικό πλαίσιο (Ν.4257/2014). Συνεπώς: **ΕΤ_{new}=0**

4. Οι μοναδιαίοι συντελεστές που αφορούν τα ασφάλιστρα, τα τέλη κυκλοφορίας και τις ανάγκες συντήρησης των οχημάτων αποκομιδής έχουν θεωρηθεί ότι παραμένουν σταθεροί και ίσοι με αυτούς του τρέχοντος σεναρίου που αφορά την εναπόθεση των απορριμμάτων του δήμου ΒΒΒ στο ΧΥΤΑ. Άρα: **ΚΑΤ_{new}=ΚΑΤ=0,77 €/tn** , **ΚΤΤ_{new}=ΚΤΤ=0,06 €/tn** και **ΚΣΤ_{new}=ΚΣΤ=1,23 €/tn**.

Πίνακας 6.33: Αναδιαμόρφωση μοναδιαίων συντελεστών άμεσων κόστους για την αποκομιδή των σύμμεικτων απορριμμάτων ως συνέπεια της υλοποίησης ΜΒΤ μονάδας εντός της Στρατιωτικής Σχολής Ευελπίδων

Νέοι Άμεσοι δείκτες κόστους για αποκομιδή ΣΥΜΜΕΙΚΤΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ	Μοναδιαία Τιμή (€/tn)
ΜΚΚΤ _{new}	2,57
ΚΔΤ _{new}	0
ΚΑΤ _{new}	0,77
ΕΤ _{new}	0
ΚΤΤ _{new}	0,06
ΚΣΤ _{new}	1,23

Συμπερασματικά, το νέο ανοιγμένο συνολικό άμεσο κόστος αποκομιδής σύμμεικτων αποβλήτων θα προκύπτει πλέον από την βασική σχέση που ακολουθεί:

$$\text{ΑΚΑΣΑΤ}_{\text{new}} = \text{ΜΚΚΤ}_{\text{new}} + \text{ΚΑΤ}_{\text{new}} + \text{ΚΤΤ}_{\text{new}} + \text{ΚΣΤ}_{\text{new}} = 2,57\text{€/tn} + 0,77\text{€/tn} + 0,06\text{€/tn} + 1,23\text{€/tn} = \boxed{4,63 \text{ €/tn}}$$

Πολλαπλασιάζοντας τον παραπάνω μοναδιαίο συντελεστή με την ετήσια ποσότητα παραγωγής των σύμμεικτων απορριμμάτων, προκύπτει το χρηματικό εκείνο ποσό που εκφράζει τα **άμεσα κόστη (ευρώ)** για τη συλλογή και μεταφορά τους στην εγκατάσταση.

ΑΜΕΣΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΚΟΜΙΔΗ ΣΥΜΜΕΙΚΤΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ

$$= 4,63 \text{ €/tn} * 31.763,18 \text{ tn/year} = 147.063,52 \text{ ευρώ}$$

6.9.2 Νέο άμεσο κόστος ταφής στο ΧΥΤΑ (υπολείμματα και ογκώδη)

Συμπληρώνοντας όσα αναφέρθηκαν στην υποενότητα 6.9.1, δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να παραβλέπεται πως ένα κομμάτι των σύμμεικτων απορριμμάτων (ογκώδη) μαζί με το υπόλειμμα από το αρχικό στάδιο των μηχανικών διεργασιών διαχωρισμού στην ολοκληρωμένη μονάδα επεξεργασίας ΑΣΑ και το υπόλειμμα που επιστρέφεται από το ΚΔΑΥ αναπόφευκτα θα πρέπει να οδηγηθεί προς **διάθεση στο ΧΥΤΑ** των Άνω Λιοσίων.

Πίνακας 6.34: Σύνολο αποβλήτων που θα οδηγούνται προς διάθεση στο ΧΥΤΑ

Απόβλητα προς ταφή στο ΧΥΤΑ	Ετήσια παραγόμενη Ποσότητα (tn)
1. Ογκώδη αντικείμενα	2.794 tn
2. Υπόλειμμα (RDF) ΜΒΤ μονάδας	5.913 tn
3. Υπόλειμμα από ΚΔΑΥ	1.324 tn
ΣΥΝΟΛΟ	10.031 tn

Για τον υπολογισμό του άμεσου κόστους που θα απορρέει από το σύνολο των διαδικασιών εναπόθεσης των παραπάνω αποβλήτων, γίνεται χρήση των υφιστάμενων μοναδιαίων δεικτών για το κόστος καυσίμου, για τα διόδια και για την εισφορά υπέρ ΕΣΔΝΑ των σύμμεικτων αποβλήτων.

Πίνακας 6.35: Υπολογισμός δείκτη άμεσου κόστους για την εναπόθεση στο ΧΥΤΑ

Χρησιμοποιούμενοι άμεσοι δείκτες κόστους	Μοναδιαία τιμή (€/tn)
ΜΚΚΤ	5,53
ΚΔΤ	0,85
ΕΤ	45,00
ΣΥΝΟΛΟ	51,38 €/tn

Συνεπώς, σύμφωνα με τους πίνακες 6.33 και 6.34, προκύπτει το **τελικό κόστος εναπόθεσης** το οποίο ανέρχεται σε 515. 392,78 ευρώ και θα επιβαρύνει το δήμο BBB έπειτα και από την κατασκευή της πρότυπης MBT εγκατάστασης. Βέβαια, το κόστος αυτό θα μεταβάλλεται εξαιτίας της επιβολής του όλο και αυξανόμενου ειδικού τέλους ταφής κατά την περίοδο 2018-2023. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η επιβάρυνση με ειδικό τέλος διάθεσης αφορά τα ογκώδη απορρίμματα αλλά όχι και τα υπολείμματα από τις διεργασίες επεξεργασίας, τα οποία, σύμφωνα με το νόμο 4042/2012, απαλλάσσονται από την επιβολή του επιπρόσθετου ειδικού τέλους [8].

Πίνακας 6.36: Εκτίμηση για το άμεσο κόστος διάθεσης την περίοδο 2018-2023 με δεδομένη τη λειτουργία της MBT μονάδας

Έτος	Ειδικό τέλος ταφής (€/tn)	Επιπρόσθετη επιβάρυνση λόγω τέλους ταφής (€) (Τέλος ταφής*2.794 tn)	Εκτιμώμενο άμεσο κόστος διάθεσης στο ΧΥΤΑ (€)
2018	35	97.790,00	613.182,78
2019	40	111.760,00	627.152,78
2020	45	125.730,00	641.122,78
2021	50	139.700,00	655.092,78
2022	55	153.670,00	669.062,78
2023	60	167.640,00	683.032,78

6.9.3 Άμεσοι δείκτες μεταφοράς αποβλήτων συσκευασίας προς ανακύκλωση

- Μοναδιαίο Κόστος Καυσίμου ανά τόνο (ΜΚΚΑΤ)
- Μοναδιαίο Συνολικό Κόστος Καυσίμου ανά τόνο (ΜΣΚΚΑΤ)
- Κόστος Ασφάλιστρου ανά τόνο (ΚΑΑΤ)
- Εισφορά ανά συλλεγόμενο τόνο ανακύκλωσης (ΑΕΤ)
- Κόστος Τελών Κυκλοφορίας απορριμματοφόρων ανά τόνο ανακύκλωσης (ΚΤΑΤ)
- Κόστος Συντήρησης ανά τόνο (ΚΣΑΤ)

Πίνακας 6.37: Ειδικά άμεσα κόστη (€/tn) κατά τις διαδικασίες συλλογής και μεταφοράς ανακυκλώσιμων απορριμμάτων [14]

Άμεσοι δείκτες κόστους για αποκομιδή ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΙΜΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ	Μοναδιαία Τιμή (€/tn)
ΜΚΚΑΤ	6,86
ΜΣΚΚΑΤ	8,17
ΚΑΑΤ	1,67
ΑΕΤ	21,81
ΚΤΑΤ	0,00
ΚΣΑΤ	2,69

Σημειώνεται ότι το μοναδιαίο κόστος καυσίμου (ΜΚΚΑΤ) αφορά αποκλειστικά τις διαδρομές μεταφοράς των Ανακυκλώσιμων Αποβλήτων Συσκευασίας από τον Δήμο στο ΚΔΑΥ. Αντίθετα, το Μοναδιαίο Συνολικό Κόστος Καυσίμου ανά τόνο Αποβλήτων Συσκευασίας Προς Ανακύκλωση (ΜΣΚΚΑΤ) αναφέρεται και στις διαδρομές που πραγματοποιούνται εντός του δήμου για την συλλογή τους από τους μπλε κάδους [14].

Η πολιτική διαχείρισης των ανακυκλώσιμων αποβλήτων δεν προβλέπεται να τροποποιηθεί προς το παρόν, δηλαδή αυτά θα οδηγούνται προς ανάκτηση στο ΚΔΑΥ που βρίσκεται στο Κορωπί. Επομένως, και ο ειδικός δείκτης που εκφράζει το συνολικό άμεσο κόστος για τη μεταφορά των αποβλήτων συσκευασίας προς ανακύκλωση (ΑΚΜΑΤ) δεν θα μεταβάλλεται.

Η μοναδική αλλαγή που γίνεται από τη μελέτη είναι ότι τη θέση του μοναδιαίου συντελεστή ΜΚΚΑΤ παίρνει ο συντελεστής ΜΣΚΚΑΤ, προκείμενου να υπάρξει μια πιο πλήρης αντίληψη για τα άμεσα έξοδα που απορρέουν από τις διαδικασίες συλλογής και μεταφοράς των ανακυκλώσιμων.

$$\text{ΑΚΜΑΤ}_{\text{new}} = \text{ΜΣΚΚΑΤ} + \text{ΚΑΑΤ} + \text{ΑΕΤ} + \text{ΚΣΑΤ} = 8,17\text{€/tn} + 1,67\text{€/tn} + 21,81\text{€/tn} + 2,69\text{€/tn} = \boxed{34,34\text{ €/tn}}$$

Πολλαπλασιάζοντας τον παραπάνω μοναδιαίο συντελεστή με την ετήσια ποσότητα παραγωγής των ανακυκλώσιμων απορριμμάτων, προκύπτει το χρηματικό εκείνο ποσό που εκφράζει τα **άμεσα κόστη (ευρώ)** για τη συλλογή και μεταφορά τους στο ΚΔΑΥ.

$$\text{ΑΜΕΣΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ ΠΡΟΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ} = 34,34\text{ €/tn} * 2.732\text{ tn/year} = \mathbf{93.816,88\text{ ευρώ}}$$

Πίνακας 6.38: Συνολικό άμεσο κόστος καθαριότητας και ανακύκλωσης σε περίπτωση υλοποίησης της ΜΒΤ εγκατάστασης (περίοδος 2018-2023)

Έτος	Άμεσο Κόστος συλλογής & μεταφοράς σύμμεικτων ΑΣΑ στην ΜΒΤ μονάδα	Άμεσο Κόστος διάθεσης στο ΧΥΤΑ για τα ογκώδη και τα υπολείμματα (μεταφορά & ταφή)	Άμεσο Κόστος μεταφοράς ανακυκλώσιμων απορριμμάτων	Συνολικά άμεσα κόστη αποκομιδής απορριμμάτων στο δήμο ΒΒΒ
2018	147.063,52 €	613.182,78 €	93.816,88 €	854.693,18 €
2019	147.063,52 €	627.152,78 €	93.816,88 €	868.033,18 €
2020	147.063,52 €	641.122,78 €	93.816,88 €	882.003,18 €
2021	147.063,52 €	655.092,78 €	93.816,88 €	895.973,18 €
2022	147.063,52 €	669.062,78 €	93.816,88 €	909.943,18 €
2023	147.063,52 €	683.032,78 €	93.816,88 €	923.913,18 €

6.9.4 Έμμεσοι δείκτες αποκομιδής ΑΣΑ

Μετάπειτα, σε ό,τι έχει να κάνει με τις **έμμεσες δαπάνες** στην διεύθυνση καθαριότητας και ανακύκλωσης του δήμου BBB, αυτές φαίνεται ότι παραμένουν **αμετάβλητες** εξαιτίας κυρίως της μη δυνατότητας μείωσης του προσωπικού που εργάζεται στην υπηρεσία καθαριότητας του δήμου. Επομένως, με βάση τον **Πίνακα 2.7** (Πίνακας 39 του Τοπικού Σχεδίου), τα άμεσα κόστη από την υπάρχουσα διαχείριση του συνόλου των απορριμμάτων ισούνται με 3.823.236,75 € [14].

Συμπερασματικά, αν υλοποιηθεί το σχέδιο για την κατασκευή της πρότυπης εγκατάστασης, τα **συνολικά ετήσια κόστη για την αποκομιδή των ΑΣΑ** στο δήμο BBB (συλλογή, μεταφορά και εναπόθεση αποβλήτων), θα διαμορφώνονται σύμφωνα με τον πίνακα που ακολουθεί:

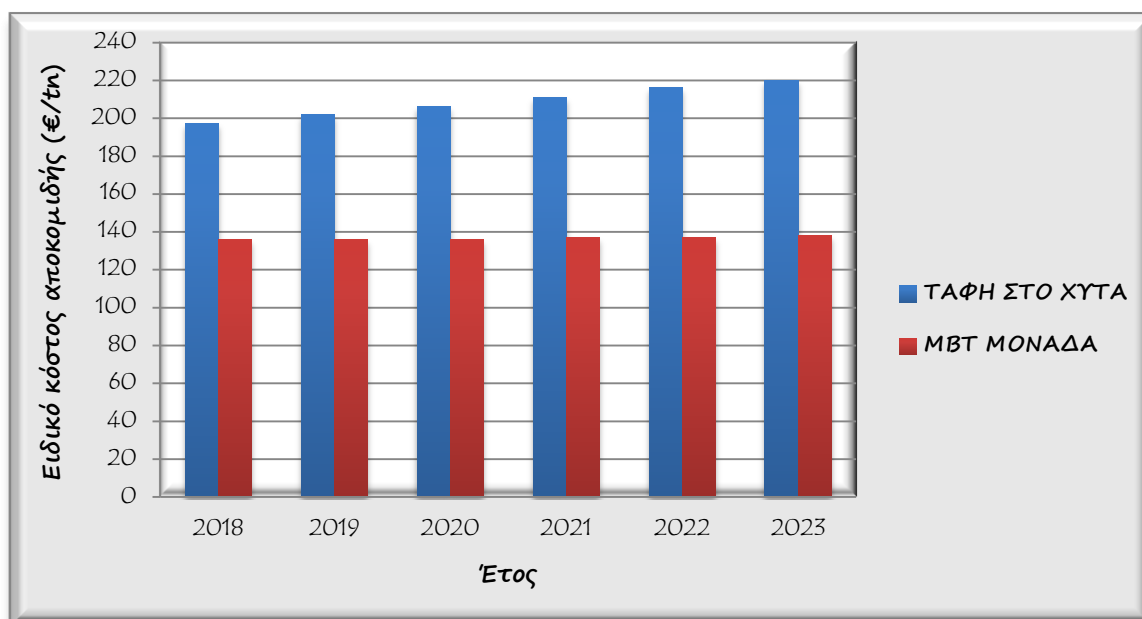
Πίνακας 6.39: Νέα λειτουργικά κόστη αποκομιδής ΑΣΑ σε περίπτωση υλοποίησης της MBT εγκατάστασης (περίοδος 2018-2023) (ΒΑΣΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ)

Έτος	Συνολικά άμεσα κόστη αποκομιδής απορριμμάτων στο δήμο BBB (€)	Συνολικά έμμεσα κόστη αποκομιδής απορριμμάτων στο δήμο BBB (€)	Νέα λειτουργικά κόστη αποκομιδής ΑΣΑ {Άμεσα + Έμμεσα} (€)	Νέα ειδικά λειτουργικά κόστη αποκομιδής ΑΣΑ (€/tn)
2018	854.693,18 €	3.823.236,75 €	4.677.300 €	136 €/tn
2019	868.033,18 €	3.823.236,75 €	4.691.270 €	136 €/tn
2020	882.003,18 €	3.823.236,75 €	4.705.240 €	136 €/tn
2021	895.973,18 €	3.823.236,75 €	4.719.210 €	137 €/tn
2022	909.943,18 €	3.823.236,75 €	4.733.180 €	137 €/tn
2023	923.913,18 €	3.823.236,75 €	4.747.150 €	138 €/tn

Παρατηρείται πως η κατασκευή της μονάδας επεξεργασίας ΑΣΑ θα έχει ως αποτέλεσμα όχι μόνο τη μείωση αλλά και την σε μεγάλο βαθμό σταθεροποίηση των ειδικών δαπανών αποκομιδής για την εξεταζόμενη περίοδο 2018-2023 σε σχέση με τις αντίστοιχες που έχουν προβλεφθεί αν συνεχιστεί η υφιστάμενη πρακτική ταφής των σύμμεικτων αποβλήτων. Ενδεικτικά, για το επόμενο έτος (2018) επιτυγχάνεται μια ελάττωση της τάξης του 31%, με το ποσοστό αυτό να μεγαλώνει όλο και περισσότερο για κάθε χρόνο που περνάει μέχρι το 2023.

Πίνακας 6.40: Ποσοστιαία ελάττωση στα λειτουργικά κόστη αποκομιδής ΑΣΑ από την υλοποίηση της προτεινόμενης MBT μονάδας

Έτος	Ειδικά Λειτουργικά κόστη αποκομιδής ΑΣΑ για τρέχον σενάριο (€/tn)	Ειδικά Λειτουργικά κόστη αποκομιδής ΑΣΑ για σενάριο κατασκευής MBT μονάδας (€/tn)	Ποσοστιαία Ελάττωση ετήσιων λειτουργικών δαπανών αποκομιδής (%)
2018	197	136	-31,25 %
2019	202	136	-32,61 %
2020	206	136	-33,92 %
2021	211	137	-35,17 %
2022	216	137	-36,37 %
2023	220	138	-37,51 %



Διάγραμμα 6.3: Σύγκριση ετήσιου κόστους αποκομιδής ΑΣΑ μεταξύ της υφιστάμενης και της προτεινόμενης διαχείρισης απορριμμάτων

6.10 Οικονομική αποτίμηση εναλλακτικής διαχείρισης ΑΣΑ στο δήμο ΒΒΒ

6.10.1 Συνολικά ετήσια κόστη για την περίοδο 2018-2023

Πλέον, η μελέτη έχει στη διάθεσή της όλα εκείνα τα χρηματικά δεδομένα που είναι απαραίτητα για την **συνολική οικονομική αποτίμηση** της εναλλακτικής διαχείρισης των ΑΣΑ στο δήμο ΒΒΒ, βασικό χαρακτηριστικό της οποίας θα είναι η λειτουργία μιας πρότυπης μονάδας παραγωγής βιοαερίου μικρής κλίμακας.

Παρακάτω εξετάζεται η διαμόρφωση του συνολικού ετήσιου κόστους για τα δύο βασικά σενάρια της μελέτης που διαφοροποιούνται μεταξύ τους όσον αφορά τη λειτουργία ή όχι τμήματος κομποστοποίησης του χωνεμένου υλικού εντός της πρότυπης εγκατάστασης.

Πίνακας 6.41: Συνολικά ετήσια κόστη προτεινόμενου πλάνου εναλλακτικής διαχείρισης ΑΣΑ (Σενάριο για μονάδα ΜΒΤ χωρίς σύστημα μετακομποστοποίησης)

Έτος	Ετήσιο επενδυτικό κόστος (€)	Ετήσιο κόστος λειτουργικό κόστος (€)	Ετήσιο κόστος αποκομιδής ΑΣΑ (€)	Έσοδα από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας (€)	Έσοδα από την πώληση ανακτηθέντων υλικών (€)	Συνολικά ετήσια κόστη (€)	Ειδικά συνολικά ετήσια κόστη (€/tn)
2018	1.827.846	2.162.000	4.677.300	476.010	815.860	7.375.276	211
2019	1.827.846	2.162.000	4.691.270	476.010	815.860	7.389.246	211
2020	1.827.846	2.162.000	4.705.240	476.010	815.860	7.403.216	212
2021	1.827.846	2.162.000	4.719.210	476.010	815.860	7.417.186	212
2022	1.827.846	2.162.000	4.733.180	476.010	815.860	7.431.156	212
2023	1.827.846	2.162.000	4.747.150	476.010	815.860	7.445.126	213

**Πίνακας 6.42: Συνολικά ετήσια κόστη προτεινόμενου πλάνου εναλλακτικής διαχείρισης ΑΣΑ
(Σενάριο για μονάδα MBT με σύστημα μετακομποστοποίησης)**

Έτος	Ετήσιο επενδυτικό κόστος (€)	Ετήσιο κόστος λειτουργικό κόστος (€)	Ετήσιο κόστος αποκομιδής ΑΣΑ (€)	Έσοδα από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας (€)	Έσοδα από την πώληση ανακτηθέντων υλικών (€)	Συνολικά ετήσια κόστη (€)	Ειδικά συνολικά ετήσια κόστη (€/tn)
2018	2.085.253	2.162.000	4.677.300	476.010	815.860	7.632.683	218
2019	2.085.253	2.162.000	4.691.270	476.010	815.860	7.646.653	218
2020	2.085.253	2.162.000	4.705.240	476.010	815.860	7.660.623	219
2021	2.085.253	2.162.000	4.719.210	476.010	815.860	7.674.593	219
2022	2.085.253	2.162.000	4.733.180	476.010	815.860	7.688.563	220
2023	2.085.253	2.162.000	4.747.150	476.010	815.860	7.702.533	220

6.10.2 Υπολογισμός Οικονομικών δεικτών

Ενδιαφέρον παρουσιάζει και η εξέταση κάποιων βασικών οικονομικών δεικτών όπως είναι η καθαρά παρούσα αξία, ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης και η περίοδος αποπληρωμής. Αναλυτικότερα:

Η **καθαρή παρούσα αξία** (Net Present Value – NPV) μιας σειράς χρηματικών συναλλαγών (δαπανών και εισπράξεων) που απαρτίζουν μια επενδυτική πρόταση ουσιαστικά αποτελεί την συνολική ισοδύναμη αξία των συναλλαγών στη χρονική στιγμή έναρξης της εμπορικής της λειτουργίας, η οποία αντιστοιχεί στο χρόνο μηδέν του διαγράμματος ροής.[42],[69],[74]

Μια πρόταση θεωρείται οικονομικά συμφέρουσα εάν και μόνο εάν η παρούσα αξία που προκύπτει είναι θετική (NPV>0). Σε περιβάλλον σύγκρισης δύο ή παραπάνω εναλλακτικών προτάσεων επιλέγεται ως πιο ωφέλιμη αυτή με την μεγαλύτερη αλγεβρικά παρούσα αξία ακόμα και αν αυτή εμφανίζει αρνητική τιμή.

$$NPV = -K_0 + \sum_{t=0}^N R_t / (1 + i)^t$$

Όπου

K_0 = Αρχικό κόστος επένδυσης

R_t = Καθαρές ταμειακές ροές του έτους t

i = Επιτόκιο αναγωγής της μελέτης και

N = Διάρκεια ζωής της επένδυσης

Ο **εσωτερικός ρυθμός απόδοσης της επένδυσης** (Internal Rate of Return – IRR) ορίζεται ως η τιμή του επιτοκίου αναγωγής που μηδενίζει την καθαρά παρούσα αξία της επένδυσης για τη διάρκεια της οικονομικής αξιολόγησης. Ειδικότερα, ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης εκφράζει την απόδοση κεφαλαίου της αρχικής επένδυσης κατά τη διάρκεια του

οικονομικού κύκλου ζωής της. Αν το IRR έχει τιμή μεγαλύτερη από το επιτόκιο αναγωγής που χρησιμοποιείται για τη μελέτη (i=6%), η επένδυση θεωρείται αποδεκτή. Αντίθετα, αν το IRR είναι χαμηλότερο του επιτοκίου αναγωγής της μελέτης η επένδυση θα πρέπει να απορριφθεί [42],[69],[74]. Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης υπολογίζεται μέσα από την ικανοποίηση της ακόλουθης σχέσης:

$$NPV_{(i=IRR)} = -K_0 + \sum_{t=0}^N \frac{R_t}{(1+i)^t} = 0$$

Η **περίοδος αποπληρωμής** (Payback Period) μπορεί να διακριθεί στην απλή και στην έντοκη, η διαφορά των οποίων παρουσιάζεται εν συντομία παρακάτω:

Η απλή περίοδος αποπληρωμής (Simple Payback period-SPBP) αντιπροσωπεύει τη χρονική διάρκεια (συνήθως χρόνια) εντός της οποίας ανακτάται το αρχικό κεφάλαιο της επένδυσης, χωρίς ωστόσο να λαμβάνεται υπόψη το επιτόκιο αναγωγής. Ο τύπος για την απλή περίοδο αποπληρωμής είναι:

$$SPB = \frac{\text{Επενδυτικό κόστος}}{\text{Εκτιμώμενη Ετήσια Χρηματοροή}}$$

Το κριτήριο της περιόδου αποπληρωμής κρίνεται συνήθως ανεπαρκές αφενός διότι δε λαμβάνει υπόψη τη διαχρονική αξία του χρήματος, η οποία εκφράζεται μέσω του επιτοκίου αναγωγής και αφετέρου δεν παρέχει ενδείξεις για την πορεία της επένδυσης μετά την περίοδο αποπληρωμής [42],[69],[74].

Η **έντοκη περίοδος αποπληρωμής** (Discounted Payback period-DPBP) ορίζεται ως η απαιτούμενη χρονική διάρκεια για την ανάκτηση του αρχικού κεφαλαίου της επένδυσης, λαμβάνοντας υπόψη τη μεταβολή της αξίας του χρήματος, δηλαδή το επιτόκιο αναγωγής. Αν θεωρηθεί σταθερή χρηματοροή κατά το πέρασμα των ετών, η έντοκη περίοδος αποπληρωμής υπολογίζεται ως εξής:

$$DPBP = \frac{\ln \left[\frac{1}{1 - \frac{K_0 \cdot i}{R_t}} \right]}{\ln(1+i)}$$

Ο υπολογισμός της έντοκης περιόδου αποπληρωμής παρέχει πιο βάσιμες πληροφορίες λόγω των πλεονεκτημάτων της έναντι της απλής περιόδου αποπληρωμής. Και πάλι όμως, η αποδοχή ή μη της επένδυσης κρίνεται από τους επιχειρηματικούς στόχους του επενδυτή [74].

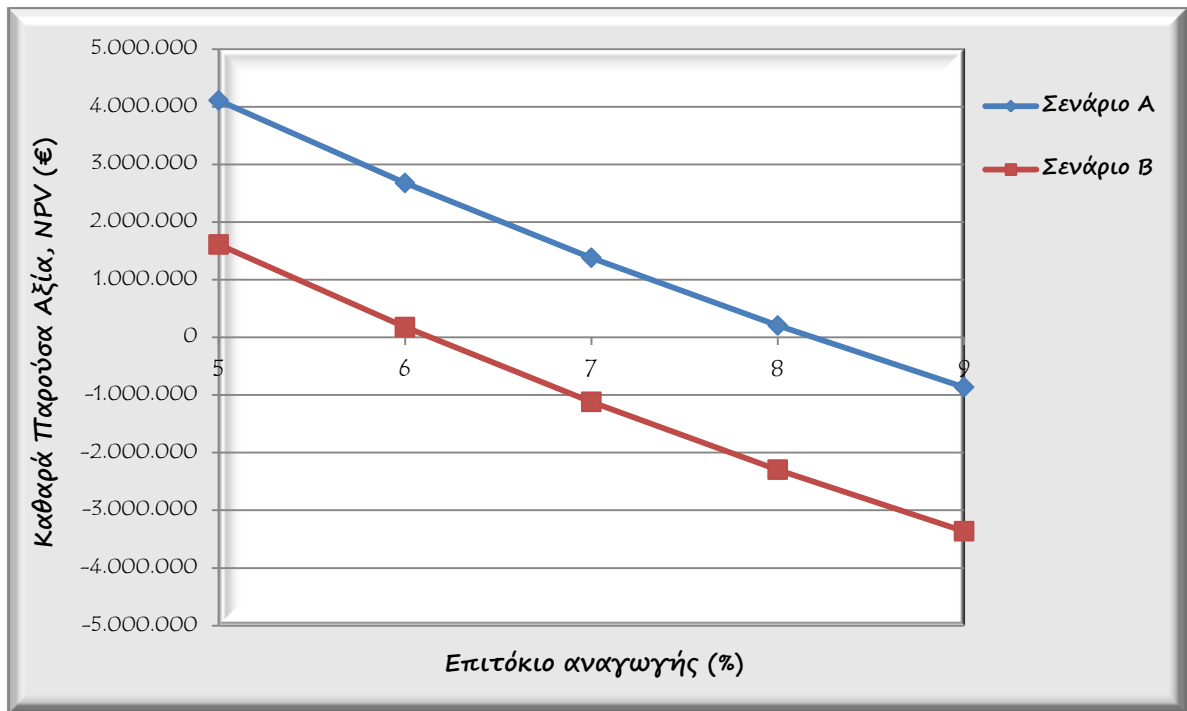
Στην παρούσα μελέτη, οι προαναφερόμενοι οικονομικοί δείκτες έχουν υπολογιστεί με βάση ένα **συγκριτικό πλαίσιο** ανάμεσα στην προτεινόμενη ΜΒΤ μονάδα και την υφιστάμενη διαχείριση των ΑΣΑ του δήμου που περιλαμβάνει κατά κύριο λόγο την εναπόθεση των συλλεγόμενων σύμμεικτων αποβλήτων στο ΧΥΤΑ.

Έτσι, θεωρώντας ως είσοδο τη **διαφορά των χρηματοροών** των δύο σεναρίων που αφορούν αντίστοιχα την διατήρηση της υπάρχουσας πρακτικής ως προς τη διαχείριση των ΑΣΑ και τη δημιουργία μιας ολοκληρωμένης ΜΒΤ μονάδας επεξεργασίας αποβλήτων, παρατηρείται ότι εμφανίζεται μείωση στα ετήσια λειτουργικά κόστη σε περίπτωση που επιλεγεί η πρόταση για υλοποίηση της καινοτόμου εγκατάστασης.

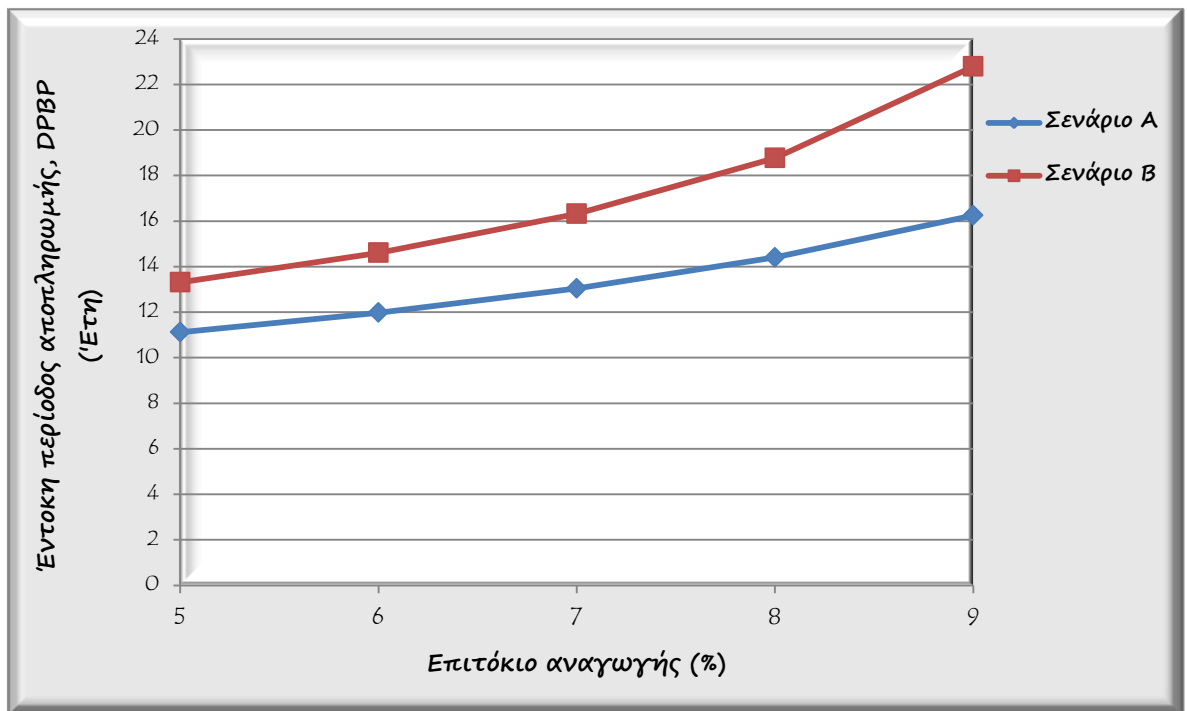
Η εξαγόμενη παρούσα αξία (NPV) εκφράζει το χρηματικό ποσό που θα γλιτώσει ο δήμος ανοιγμένο στο σήμερα (2018) και ισούται με 2.676.360 € για το σενάριο μη λειτουργίας συστήματος μετακομποστοποίησης της χωνεμένης υλός και 176.360 € για το σενάριο λειτουργίας συστήματος μετακομποστοποίησης ως τελευταίο στάδιο επεξεργασίας εντός της προτεινόμενης μονάδας. Με το ίδιο σκεπτικό, ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR) και η έντοκη περίοδος αποπληρωμής (DPBP) υπολογίστηκαν για το **Σενάριο Α** ίσα με 8,2% και 11,98 χρόνια ενώ για το **Σενάριο Β**, 6,1% και 14,61 χρόνια, αντίστοιχα.

Πίνακας 6.43: Οικονομικοί δείκτες με βάση τη σύγκριση του υφιστάμενου σεναρίου και του προτεινόμενου σεναρίου με/χωρίς σύστημα μετα-κομποστοποίησης

Οικονομικοί δείκτες	Υπολογισμένη Τιμή (Σενάριο Α: Χωρίς σύστημα μετα-κομποστοποίησης)	Υπολογισμένη Τιμή (Σενάριο Β: Με σύστημα μετα-κομποστοποίησης)
NPV	2.676.360 €	176.360 €
IRR	8,2 %	6,1%
SPBP	8,37 έτη	9,55 έτη
DPBP	11,98 έτη	14,61 έτη



Διάγραμμα 6.4: Σύγκριση καθαρής παρούσας αξίας (NPV) για τα σενάρια A και B συναρτήσει διαφορετικών επιτοκίων αναγωγής (i)



Διάγραμμα 6.5: Σύγκριση έντοκης περιόδου αποπληρωμής (DPBP) για τα σενάρια A και B συναρτήσει διαφορετικών επιτοκίων αναγωγής (i)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Ενδεικτική χωροθέτηση MBT εγκατάστασης

7.1 Βασικά πλαίσια της συμφωνίας μεταξύ δήμου BBB και υπουργείου Αμύνης

Με βάση τα συμφωνηθέντα μεταξύ του Υπουργείου Άμυνας και του δήμου Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης προβλέπεται η παραχώρηση έκτασης εντός της Στρατιωτικής Σχολής Ευελπίδων, η οποία βρίσκεται πάνω στη Λεωφόρο Βάρης-Κορωπίου, για την κατασκευή της πρότυπης εγκατάστασης για την διαχείριση των ΑΣΑ της ευρύτερης περιοχής με απώτερο στόχο την συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας (ΣΗΘ).

Παράλληλα, ανάμεσα στις βασικές υποχρεώσεις που απορρέουν από τη συναπτόμενη συμφωνία μεταξύ δήμου και υπουργείου είναι η **ικανοποίηση των θερμικών/ψυκτικών αναγκών της Σχολής** από την παραγόμενη θερμότητα στις διατάξεις συμπαραγωγής της εγκατάστασης Μηχανικής και Βιολογικής Επεξεργασίας (ΜΒΕ) απορριμμάτων.

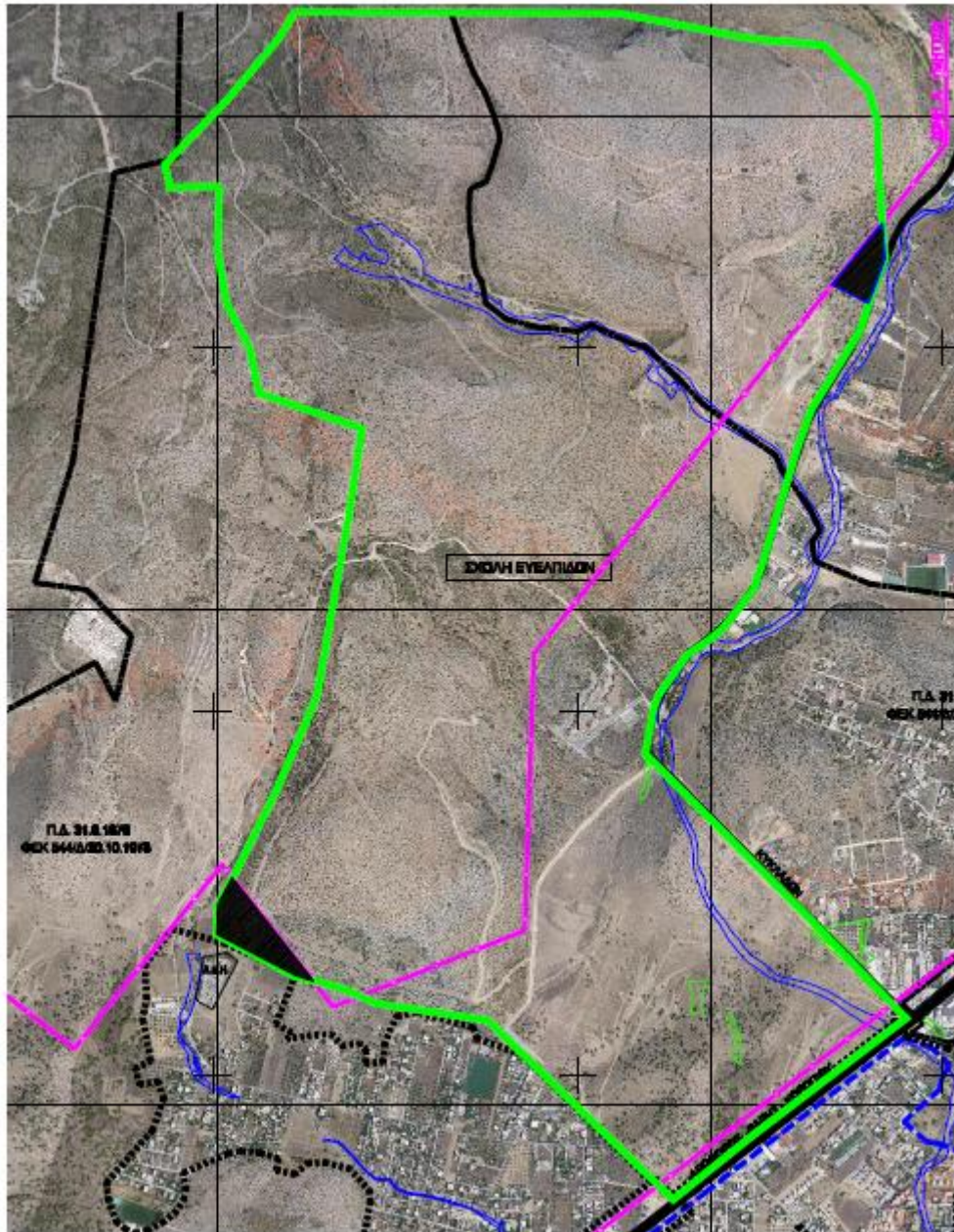
Μάλιστα, στην περίπτωση που υπάρχει πλεονάζουσα ποσότητα ανακτώμενης θερμικής ενέργειας, αυτή σχεδιάζεται να αξιοποιείται για την κάλυψη των αντίστοιχων αναγκών γειτονικών σχολικών συγκροτημάτων, γηροκομείων, νοσοκομειακών ιδρυμάτων, αθλητικών εγκαταστάσεων και βέβαια της ίδιας της MBT μονάδας.

Επιπλέον, η παραγόμενη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας, πέρα από ένα μικρό ποσοστό που προορίζεται για την κάλυψη των ιδιοκαταναλώσεων της εγκατάστασης (~10%), στην πλειοψηφία της, **θα πωλείται στο εθνικό δίκτυο**, πράγμα που θα επιφέρει αξιοσημείωτα έσοδα στο δήμο, καθιστώντας με αυτόν τον τρόπο την κατασκευή και λειτουργία της μονάδας πιο βιώσιμη οικονομικά για αυτόν.

Αξίζει να επισημανθεί πως η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται μέσω γεννήτριας που είναι συνδεδεμένη με τον εμβολοφόρο κινητήρα (Μ.Ε.Κ) της εγκατάστασης ενώ η θερμική ενέργεια μέσω της αξιοποίησης της απορριπτόμενης θερμότητας, κυρίως από τα καυσαέρια της μηχανής. Τα διάφορα ψυγεία (ψυγείο λαδιού, νερού και αέρα υπερπλήρωσης) που ενσωματώνονται στις μηχανές εσωτερικής καύσης, εξασφαλίζοντας την εύρυθμη λειτουργία τους, απορρίπτουν και αυτά θερμότητα, η οποία μπορεί επίσης να είναι ενεργειακά εκμεταλλεύσιμη [75].

Σύμφωνα λοιπόν με τα δοθέντα στοιχεία από την δημοτική αρχή, σε πρώτη φάση υπήρξαν **δύο προτεινόμενες εκτάσεις** από την στρατιωτική διοίκηση για την ανέγερση της μονάδας, οι οποίες αποτυπώνονται σκιαγραφημένες με μαύρες σκιές στο χάρτη που ακολουθεί. Η **πράσινη γραμμή** στο χάρτη αποτυπώνει περιμετρικά την έκταση του οικοπέδου που βρίσκεται σήμερα η Στρατιωτική Σχολή Ευελπίδων ενώ η **ροζ γραμμή**, που τέμνεται σε τρεις περιπτώσεις με την πράσινη, αποτυπώνει περιμετρικά την έκταση στην οποία εκτείνεται η Α' προστατευόμενη ζώνη Υμηττού

Οι δύο υποψήφιες τοποθεσίες, εκτάσεως περίπου 25 στρεμμάτων η καθεμία, βρίσκονται ταυτόχρονα εκτός της Α΄ Ζώνης Υμηττού και εντός της Στρατιωτικής Σχολής Ευελπίδων, είναι δηλαδή εκτάσεις που περικλείονται ταυτόχρονα μεταξύ της πράσινης και της ροζ γραμμής. Επιπρόσθετα, η συμφωνία προβλέπει την δυνατότητα επέκτασης των προς παραχώρηση εκτάσεων πάντα μέσα στα επιτρεπτά όρια που ισοδυναμούν με επιπλέον 5-10 στρέμματα.



Εικόνα 7.1: Υποψήφιες θέσεις για τη χωροθέτηση της ΜΒΤ μονάδας εντός της Στρατιωτικής Σχολής Ευελπίδων

7.2 Παρουσίαση πλάνου χωροθέτησης της εγκατάστασης

Τελικά, η έκταση που επιλέγεται για την τοποθέτηση της ολοκληρωμένης μονάδας επεξεργασίας απορριμμάτων είναι αυτή που βρίσκεται στην βορειοδυτική πλευρά του οικοπέδου (βλ. **Εικόνα 7.1**) ενώ το συνολικό εμβαδόν της θα ανέρχεται σε 32.089,70 τμ. Στον χώρο αυτό, ο δήμος BBB, εκτός της MBT εγκατάστασης, φιλοδοξεί επίσης να στεγάσει και τους παρακάτω χώρους λειτουργίας:

- Πράσινο σημείο
- Αμαξοστάσιο των οχημάτων του Δήμου (Απορριμματοφόρα, Συρμοί, Φορτηγά κλπ)
- Τεχνικό Συνεργείο
- Πρατήριο ανεφοδιασμού των οχημάτων του Δήμου με καύσιμα
- Πλυντήριο οχημάτων
- Χώροι εξυπηρέτησης προσωπικού (αποδυτήρια, WC κλπ)
- Χώροι εκπαίδευσης και διοικητικής λειτουργίας (γραφεία, αίθουσες εκπαίδευσης)

Η ανάλυση της χωροθέτησης της σχεδιαζόμενης μονάδας ενεργειακής ανάκτησης χωρίζεται σε δύο σκέλη. Στο πρώτο σκέλος, η μελέτη προχωρά σε μια γενική ανασκόπηση σχετικά με τις χωρικές απαιτήσεις τόσο του τμήματος μηχανικού διαχωρισμού όσο και του τμήματος βιολογικής επεξεργασίας του οργανικού υποστρώματος που ακολουθεί. Το δεύτερο σκέλος είναι πιο εξειδικευμένο μιας και επιχειρείται μια ενδεικτική τοποθέτηση της εγκατάστασης επάνω στο διαθέσιμο οικόπεδο.

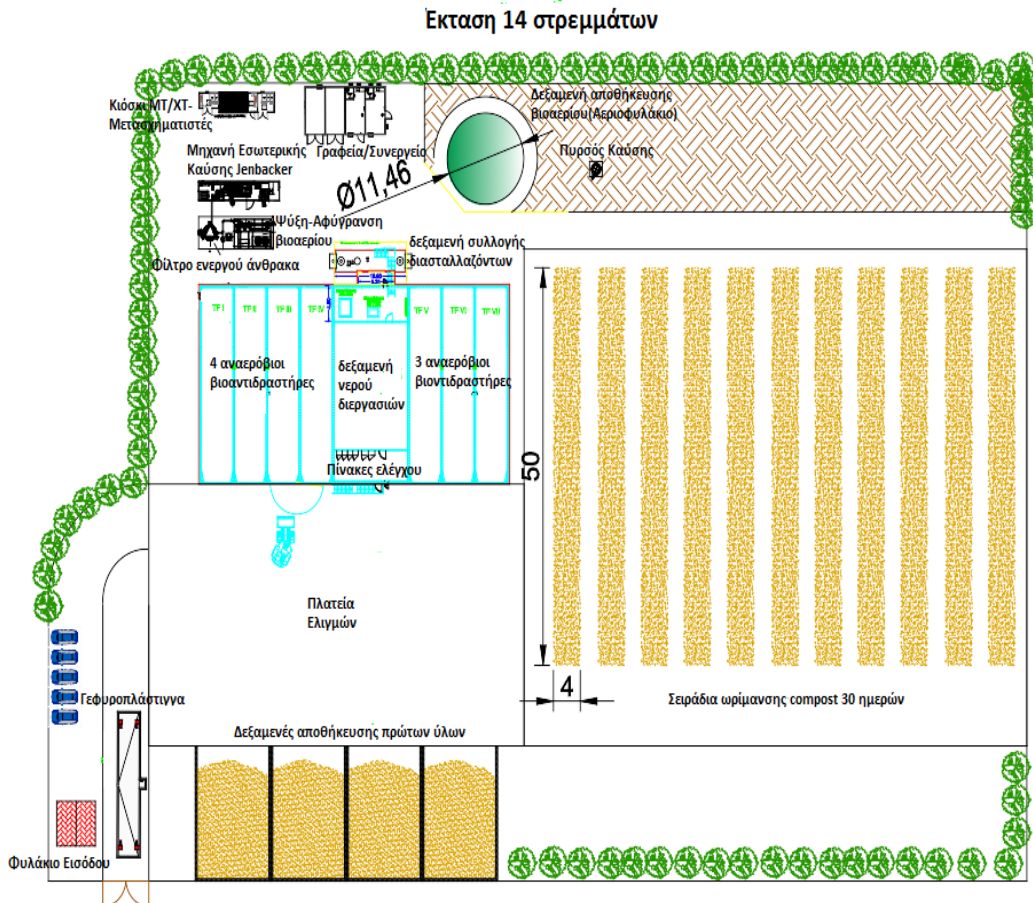
Αναλυτικότερα, η μελέτη σε συνεργασία με ελληνικές κατασκευαστικές εταιρείες που δραστηριοποιούνται πάνω στην εναλλακτική διαχείριση αστικών αποβλήτων, κατόρθωσε να αποκτήσει μια χονδρική εικόνα σχετικά με την έκταση που θα καταλαμβάνει η μονάδα μηχανικής επεξεργασίας και η μονάδα αναερόβιας χώνευσης αντίστοιχων δυναμικοτήτων με αυτές που έχουν υιοθετηθεί για την περίπτωση του δήμου BBB.

Όσον αφορά το κομμάτι της μηχανικής διαλογής, υπολογίζεται ότι απαιτείται μια έκταση της τάξης των **6 στρεμμάτων** για την πλήρη στελέχωσή του (Mesogeos S.A.). Αντίστοιχα, το κομμάτι της βιολογικής επεξεργασίας, το οποίο, σύμφωνα με τη θεώρηση που έχει γίνει, συμπεριλαμβάνει εκτός του σταδίου της αναερόβιας χώνευσης (dry-batch fermentation) και διεργασίες **ενεργειακής αξιοποίησης** του παραγόμενου βιοαερίου καθώς και **κομποστοποίησης** του στερεού χωνεμένου υπολείμματος, εκτιμάται ότι απαιτεί περίπου **14 στρέμματα** για την υλοποίηση του (Mesogeos S.A & Helector GmbH).

Μάλιστα, η εταιρεία Helector GmbH [66] προχώρησε ένα βήμα παραπέρα, παραθέτοντας τον επιμέρους εξοπλισμό που θα απαρτίζει θεωρητικά μια αντίστοιχη μονάδα αναερόβιας χώνευσης ετήσιας δυναμικότητας 18.000 t_n/year. Με βάση λοιπόν τον σχεδιασμό της εταιρείας, στην μονάδα θα εμπεριέχονται:

- (4) δεξαμενές αποθήκευσης πρώτων υλών,
- (7) χωνευτήρες τύπου γκαράζ,
- (1) σύστημα καθαρισμού και ψύξης του παραγόμενου βιοαερίου,
- (1) Μηχανή Εσωτερικής Καύσης τύπου Jenbacher και
- (11) ανοικτά σειράδια για την περαιτέρω ωρίμανση της χωνεμένης ιλύς.

Η εκτίμηση του όγκου των βιοαντιδραστήρων έχει πραγματοποιηθεί για προβλεπόμενο χρόνο παραμονής του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ εντός αυτών τις **20 ημέρες** ενώ οι διαστάσεις των σειραδίων στο χώρο ωρίμανσης του κομπόστ υπολογίστηκαν για χρόνο παραμονής που ανέρχεται στις **30 ημέρες**. Η κάτοψη που ακολουθεί είναι ενδεικτική των συνολικών διατάξεων που εντοπίζονται στο τμήμα της βιολογικής επεξεργασίας του οργανικού υποστρώματος, σύμφωνα πάντα με το σχεδιασμό της εταιρείας.



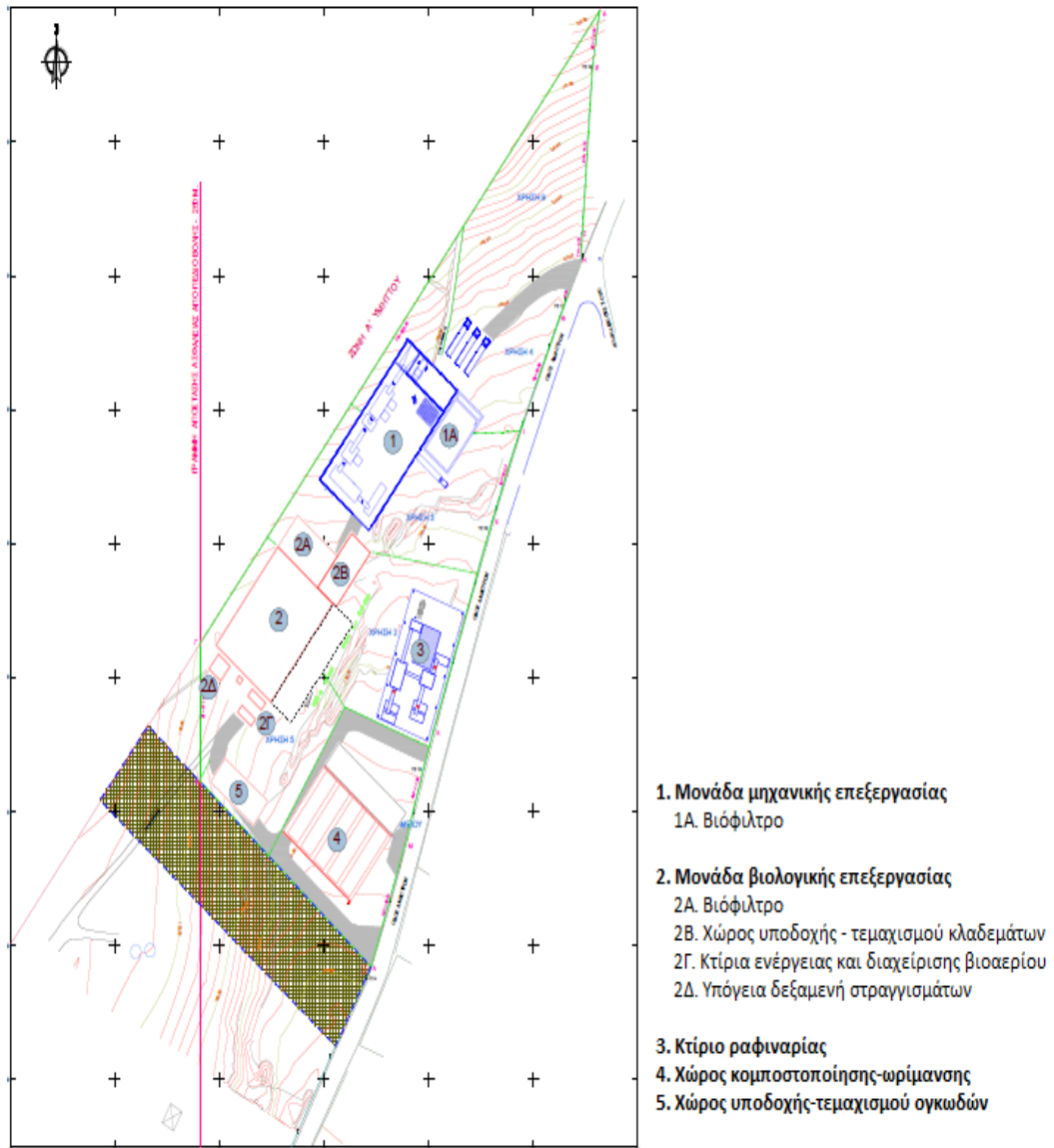
Εικόνα 7.2: Ενδεικτική τοποθέτηση μονάδας αναερόβιας χώνευσης δυναμικότητας 18.000 tn/year στο χώρο (Helector GmbH) [66]

Οι σχεδιαστικοί παράμετροι που αναφέρονται παραπάνω αποτελούν μια απλή εκτίμηση και σε καμία περίπτωση δεν είναι δεσμευτικοί. Με άλλα λόγια, οι χωρικοί συσχετισμοί θα αναπροσαρμόζονται σύμφωνα με την έκταση του διαθέσιμου οικόπεδου που προορίζεται για την κατασκευή του συνόλου των εγκαταστάσεων εναλλακτικής διαχείρισης των ΑΣΑ του δήμου ΒΒΒ.

Για παράδειγμα, μια ουσιώδη διαφορά που εντοπίζεται μεταξύ της σχεδίασης της εταιρείας και αυτής της μελέτης, είναι ο τύπος της κομποστοποίησης που προτείνεται να εφαρμοστεί για την αερόβια σταθεροποίηση της χωνεμένης λύσης. Πιο συγκεκριμένα, η μελέτη προτείνει **κλειστό σύστημα κομποστοποίησης** προκειμένου να αποφεύγονται φαινόμενα έκλυσης έντονων δυσοσμίων, τα οποία θα επηράζουν αρνητικά το γενικότερο περιβάλλον εργασίας στη Στρατιωτική Σχολή Ευελπίδων [45].

Άλλωστε, τα συστήματα κλειστού τύπου μπορεί να είναι συνήθως πιο ακριβά από τα αντίστοιχα ανοικτά αλλά εμφανίζουν μια σειρά πλεονεκτημάτων συμπεριλαμβανομένου του μικρότερου αριθμού του απασχολούμενου προσωπικού, των μικρότερων χωρικών απαιτήσεων, του καλύτερου ελέγχου και της μεγαλύτερης αποδοτικότητας ως προς τη παραγωγή κομπόστ [45],[51] ειδικά όταν το προς επεξεργασία χωνεμένο υλικό προέρχεται από το βιογενές κλάσμα αποβλήτων που έχει διαχωριστεί μηχανικά από την υπόλοιπη ποσότητα των σύμμεικτων απορριμμάτων [25].

Ολοκληρώνοντας την ενότητα αυτή, παρατίθεται η τοποθέτηση των επιμέρους μονάδων της εγκατάστασης επάνω στο διαθέσιμο οικόπεδο, η οποία επιτεύχθηκε χάρη και στην πολύτιμη βοήθεια της εταιρείας Μεσόγειος Α.Ε. [70]. Σημειώνεται ότι στο άμεσο μέλλον δύναται να υπάρξουν ορισμένες σχετικές τροποποιήσεις πριν την κατάληξη στο τελικό πλάνο σχεδίασης.



Εικόνα 7.3: Τοποθέτηση σχεδιαζόμενης MBT εγκατάστασης πάνω στο διαθέσιμο οικόπεδο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

Επίλογος

8.1 Συμπεράσματα

Η υλοποίηση μιας σύγχρονης και ολοκληρωμένης μονάδας αναερόβιας χώνευσης με στόχο την εναλλακτική διαχείριση των σύμμεικτων ΑΣΑ του δήμου BBB συνιστά ένα ριζοσπαστικό εγχείρημα για τα ελληνικά δεδομένα που θα αποφέρει ωστόσο σημαντικά οφέλη.

Το βασικότερο από όλα είναι η εμφανής **μείωση στην ποσότητα των απορριμμάτων και ιδιαίτερα των οργανικών** που διατίθενται μέχρι σήμερα στο ΧΥΤΑ των Άνω Λιοσίων. Σύμφωνα με τα ισοζύγια μάζας, μόλις 5.913 τόνοι υπολείμματος (RDF) θα οδηγούνται πλέον για ταφή σε ετήσια βάση συν τη μάζα των ογκωδών αποβλήτων (2.794 tn/year) και το υπόλειμμα από την ανάκτηση ανακυκλώσιμων υλικών που πραγματοποιείται στο ΚΔΑΥ (1.324 tn/year). Θα παρατηρείται δηλαδή μια μείωση στην ταφή των αποβλήτων της τάξης του 70%.

Ταυτόχρονα, η κατασκευή της πρότυπης μονάδας βιοαερίου μικρής κλίμακας θα συμβάλλει στην **εξοικονόμηση χρηματικών πόρων** στον τομέα καθαριότητας και ανακύκλωσης του δήμου σε σχέση με το σενάριο συνέχισης της υφιστάμενης διαχείρισης των σύμμεικτων αποβλήτων μέσω της εναπόθεσής τους στο ΧΥΤΑ, μια πρακτική που, συν τοις άλλοις, αναμένεται μέσα στα επόμενα χρόνια να «τιμωρείται» με την επιβολή ειδικού τέλους ταφής.

Στο σημείο αυτό, κρίνεται σκόπιμο να επισημανθεί πως η άμεση τοποθέτηση καφέ κάδων στο δήμο BBB θα βελτίωνε σε σημαντικό βαθμό τα επίπεδα οικονομικής βιωσιμότητας της σχεδιαζόμενης εγκατάστασης.

Με άλλα λόγια, η χώνευση προ-διαλεγμένου οργανικού κλάσματος αποβλήτων (SS-OFMSW), αναμένεται να μειώσει κατά πολύ τις απαιτήσεις μηχανικής προ-επεξεργασίας τόσο από άποψη πολυπλοκότητας των διεργασιών διαχωρισμού που λαμβάνουν χώρα όσο και από άποψη κόστους. Επιπρόσθετα, προβλέπεται η παραγωγή μεγαλύτερης ποσότητας και καλύτερης ποιότητας βιοαερίου-μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε μεθάνιο (CH₄)- αλλά και η εξαγωγή υψηλής ποιότητας εδαφοβελτιωτικού υλικού που θα εμφανίζει ρεαλιστικές πιθανότητες πώλησής του στην αγορά, αποφέροντας επιπλέον κέρδη στο δήμο.

Εν συνεχεία, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την καύση του παραγόμενου βιοαερίου όχι μόνο θα αποτελέσει μια πραγματική καινοτομία, υπόδειγμα και για άλλους δήμους αλλά θα επιφέρει και επιπλέον **έσοδα στο δήμο BBB μέσω της πώλησής της στο εθνικό δίκτυο**. Άλλωστε, η μέθοδος της αναερόβιας χώνευσης του βιοαποδομήσιμου κλάσματος των ΑΣΑ εντάσσεται στην κατηγορία των **Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε)** και πριμοδοτείται από το κράτος με βάση το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο.

Σημαντική θα είναι επίσης η συμβολή της μονάδας ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ και στον περιβαλλοντικό τομέα μιας και θα ανοιχτεί ένας επιπλέον δρόμος στην προσπάθεια σταδιακής **απεξάρτησης από την χρήση συμβατικών καυσίμων** για την παραγωγή ενέργειας. Παράλληλα, η τεχνολογία της αναερόβιας χώνευσης θεωρείται η πλέον φιλική προς το περιβάλλον μιας και παρουσιάζει εξαιρετικά **μειωμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου** και πιο συγκεκριμένα διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο αποφασιστικά στους σκοπούς της πράσινης αειφόρου ανάπτυξης.

Σημειώνεται ότι η μείωση των δρομολογίων προς το ΧΥΤΑ και των διανυόμενων αποστάσεων των οχημάτων αποκομιδής γενικότερα θα συνεισφέρει στην ακόμα μεγαλύτερη μείωση των εκπεμπόμενων από αυτά αέριων ρύπων, γεγονός που θα βοηθήσει το δήμο να ισχυροποιήσει το προφίλ του όσον αφορά την προσπάθεια προστασίας του περιβάλλοντος και της δημόσιας υγείας.

Εν κατακλείδι, ένα τελευταίο αλλά κομβικό στοιχείο στο όλο σενάριο εναλλακτικής διαχείρισης ΑΣΑ είναι η **συνεργασία του δήμου BBB με το Υπουργείο Εθνικής Άμυνας** και ειδικότερα με τη Στρατιωτική Σχολή Ευελπίδων που βρίσκεται στην περιοχή της Βάρης.

Η αποτελεσματική συνεννόηση ανάμεσα στο δήμο και το Υπουργείο θα αποτελέσει **εθνικό παράδειγμα προς μίμηση**. Πιο αναλυτικά, η παραχώρηση χρήσης μερικών στρεμμάτων από το Υπουργείο στο Δήμο για την υλοποίηση της ΜΒΤ μονάδας, την ίδια στιγμή που η εύρεση του τρόπου χρηματοδότησης του έργου θα αφορά αποκλειστικά και μόνο τη δημοτική αρχή, θα θέσει τις απαραίτητες βάσεις για τη δημιουργία των πρώτων εν Ελλάδι εγκαταστάσεων ενεργειακής αξιοποίησης και βιοανάκτησης απορριμμάτων, η λειτουργία των οποίων θα αποφέρει οφέλη και στις δύο συνεργαζόμενες πλευρές.

Μάλιστα, οι εγκαταστάσεις αυτές μπορούν να αποτελέσουν τον κορμό για την ανάπτυξη στοχευμένης ερευνητικής δραστηριότητας μεταξύ της Σχολής Ευελπίδων και του Δήμου Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης, μέσω της δημιουργίας ενός κοινού Κέντρου Έρευνας και Τεχνολογίας, στο οποίο έχει την ικανότητα να συνεισφέρει μέσω της τεχνογνωσίας που διαθέτει και το Εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

8.2 Προτάσεις για μελλοντική εργασία

Αρχικά, το στοιχείο εκείνο της μελέτης που μπορεί να διερευνηθεί περαιτέρω είναι η **ακριβής ποιοτική σύσταση των οικιακών αποβλήτων στο δήμο BBB** μιας και τώρα έχει θεωρηθεί πως αυτή προσομοιάζει στην γενικότερη εν Ελλάδι σύσταση των σύμμεικτων απορριμμάτων. Η βαθύτερη γνώση της συγκεκριμένης παραμέτρου θα βελτιώσει και την ακρίβεια των υπολογισμών που αφορούν τα επίπεδα παραγωγής βιοαερίου (m^3/tn).

Μετέπειτα, σημαντική κρίνεται η **λειτουργία ενός χωνευτήρα τύπου γκαράζ σε πιλοτικό-πειραματικό επίπεδο** έτσι ώστε να διασφαλιστεί ότι ο τύπος αυτός των βιοαντιδραστήρων ανταποκρίνεται επαρκώς στους διαμορφωθέντες τοπικούς συσχετισμούς όσον αφορά τη φύση του προς επεξεργασία οργανικού υποστρώματος. Επιπλέον, μπορούν να εξεταστούν οι προοπτικές αναβάθμισης του παραγόμενου βιοαερίου σε βιομεθάνιο και η χρήση του ως καύσιμο οχημάτων.

Άλλο ένα επίσης στοιχείο που εμφανίζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για μελλοντική έρευνα είναι η εξέταση των **δυνατοτήτων επέκτασης** ως προς τη χωρητικότητα της σχεδιαζόμενης στην παρούσα εργασία μονάδας συνοδευόμενη ταυτόχρονα από μια **ανάλυση οικονομικής ευαισθησίας** ως προς το βαθμό επηρεασμού των διαφόρων χρηματοοικονομικών μεγεθών σε μια τέτοια περίπτωση.

Τέλος, οφείλεται να εντοπιστούν περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τα **λειτουργικά κόστη των μονάδων βιοαερίου μικρής κλίμακας** που χρησιμοποιούν χωνευτήρες τύπου γκαράζ τόσο για το στάδιο των αναερόβιων διεργασιών επεξεργασίας όσο και για το στάδιο κομποστοποίησης του χωνεμένου υλικού. Τα στοιχεία που υπάρχουν προς το παρόν είναι ελάχιστα και έχουν να κάνουν κυρίως με μεγαλύτερης χωρητικότητας μονάδες που χρησιμοποιούν τεχνολογίες ξηρής και συνεχούς χώνευσης.

Η βελτίωση της ακριβείας για τα λειτουργικά κόστη της εγκατάστασης σε συνδυασμό με την απόκτηση περαιτέρω γνώσεων γύρω από την ποσότητα και τους τρόπους εκμετάλλευσης του κομπόστ, σε περίπτωση που επιλεγεί η παραγωγή του ως μία από τις δυνατότητες της εγκατάστασης, θα συμβάλλει στην απόκτηση μιας ακόμα πιο λεπτομερούς εικόνας σχετικά με την οικονομική βιωσιμότητα του έργου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Ισοζύγιο μάζας στην προτεινόμενη μονάδα αναερόβιας χώνευσης

Πίνακας Ι.1: Ισολογισμός μάζας για το οικιακό ρεύμα των ΑΣΑ του δήμου BBB

Συστατικά υλικά σύμμεικτων οικιακών αποβλήτων	Σύσταση Οικιακών Αποβλήτων (% υ.β.)	Μάζες επιμέρους συστατικών υλικών οικιακών αποβλήτων	Ποσοστό Ανάκτησης (% υ.β.)	Ποσοστό Διαφυγής (% υ.β.)	Εναπομένουσες Μάζες στην έξοδο της μονάδας μηχανικής επεξεργασίας	Ποσοστό μάζων με διάμετρο <80mm (% υ.β.)	Μάζες επιμέρους συστατικών υλικών οργανικού υποστρώματος	Επιμέρους ποσοστό υλικών στο οργανικό υπόστρωμα (% υ.β.)
Οργανικά	40,00	7.600	90%	10%	6.840,00	100%	6.840,00	82,60%
Χαρτί	29,00	5.510	35%	5%	3.306,00	25%	826,50	9,98%
Πλαστικό	14,00	2.660	55%	5%	1.064,00	15%	159,60	1,93%
Υφάσματα	2,00	380	0%	5%	361,00	9%	32,49	0,39%
Σιδηρούχα μέταλλα	2,00	380	90%	5%	19,00	0%	0,00	0,00%
Μη σιδηρούχα μέταλλα	1,00	190	85%	5%	19,00	0%	0,00	0,00%
Γυαλί	3,00	570	40%	5%	313,50	6%	18,81	0,23%
Ξύλο-Δέρμα	1,50	285	0%	5%	270,75	9%	24,37	0,29%
Αδρανή	3,00	570	0%	5%	541,50	55%	297,83	3,60%
Άλλα	4,50	855	0%	5%	812,25	10%	81,23	0,98%
ΣΥΝΟΛΟ	100,00 %	19.000 tn			13.547 tn		8.280,82 tn	100,00 %

Πίνακας Ι.2: Μάζες ανακτηθέντων υλικών και υπολείμματος/RDF στην προτεινόμενη μονάδα εναλλακτικής διαχείρισης ΑΣΑ στο δήμο BBB

Συστατικά υλικά σύμμεικτων οικιακών αποβλήτων	Μάζες επιμέρους συστατικών υλικών (tn)	Ποσοστό ανάκτησης (% κ.β.)	Μάζες Ανακτηθέντων υλικών (tn)	Επιμέρους μάζες συστατικών υπολείμματος/RDF (tn)	Ποιοτική Σύσταση υπολείμματος/RDF ως έχει (% κ.β.)
Οργανικά	7.600	90,00 %	0	190	3,21%
Χαρτί	5.510	35,00 %	1928,5	2686	45,43 %
Πλαστικό	2.660	55,00 %	1463	1017	17,21 %
Υφάσματα	380	0,00 %	0	346	5,85 %
Σιδηρούχα μέταλλα	380	90,00 %	342	38	0,64 %
Μη σιδηρούχα μέταλλα	190	85,00 %	161,5	29	0,48 %
Γυαλί	570	40,00 %	228	321	5,44 %
Ξύλο-Δέρμα	285	0,00 %	0	259	4,39 %
Αδρανή	570	0,00 %	0	257	4,34 %
Άλλα	855	0,00 %	0	770	13,01 %
ΣΥΝΟΛΟ	19.000 tn		4.123 tn	5.913 tn	100,00 %

Υποστηρικτικές βιβλιογραφίες για ποσοστά ανάκτησης: [5],[32],[47],[48],[61],[76]

Ο βαθμός ανάκτησης του οργανικού κλάσματος σύμμεικτων αστικών απορριμμάτων εξαρτάται άμεσα από τη διάμετρο (mm) των οπών του περιστρεφόμενου τυμπάνου. Όσο μικρότερες είναι οι οπές στο κόσκινο τόσο μεγαλύτερη ανάκτηση οργανικού παρατηρείται και το ελαφρύ κλάσμα που προκύπτει είναι γενικά καλύτερης ποιότητας.

Ωστόσο, πρέπει να υπάρχει ένα κατώτατο επιτρεπτό όριο στην διάμετρο των οπών έτσι ώστε να μην καθίσταται δύσκολη η διέλευση των οργανικών από αυτές με συνέπεια ένα σημαντικό μέρος τους να εξέρχεται από την άκρη του τυμπάνου μαζί με το υπόλοιπο βαρύ κλάσμα αποβλήτων και να μην δύναται να αξιοποιηθεί ενεργειακά. Μια τυπική μέση τιμή για τη διάμετρο των οπών είναι γύρω στα 80-90mm [45].

Συστατικά όπως το χαρτί, το πλαστικό και το γυαλί θα πρέπει να εντοπίζονται στο οργανικό υπόστρωμα σε μικρά ποσοστά προκειμένου να μην εμφανίζονται λειτουργικά προβλήματα στη μονάδα αναερόβιας χώνευσης. Ιδιαίτερα, το χαρτί εφημερίδων εξαιτίας της μεγάλης περιεκτικότητάς του σε λιγνίνη είναι αρκετά δύσκολο να χωνευτεί και μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την απόδοση του χωνευτήρα [45]. Τα ίδια ακριβώς ισχύουν και για το στάδιο μετα-κομποστοποίησης του χωνεμένου υλικού.

Τέλος, ιδιαίτερη έμφαση κατά το στάδιο του μηχανικού διαχωρισμού θα πρέπει να δίνεται στην απομάκρυνση του συνόλου των μπαταριών μιας και θεωρούνται ένα ιδιαίτερα τοξικό και επομένως επικίνδυνο απόβλητο για την διαδικασία της αναερόβιας ζύμωσης, εξαιτίας των χημικών ουσιών που εμπεριέχουν (ψευδάργυρος, κάδμιο, υδράργυρος κ.α.) που μπορεί να οδηγήσουν ακόμα και σε μεταίωση των αναερόβιων διεργασιών [45].

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Η τεχνολογία BNL και η αποτέφρωση με χρήση ORC

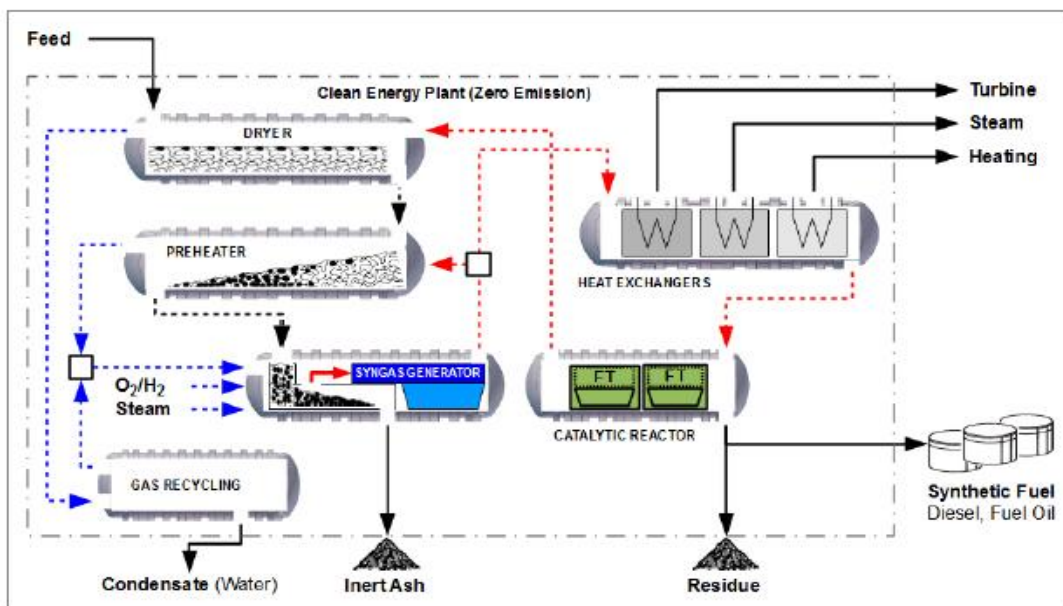
Β.1 Τεχνολογία BNL

Σήμερα, οι εγκαταστάσεις θερμικής επεξεργασίας των αστικών στερών απορριμμάτων με σκοπό την παραγωγή ενέργειας αντιμετωπίζονται σε γενικές γραμμές ως πηγές ρύπανσης για το περιβάλλον. Παρόλο που με το πέρασμα των χρόνων, οι μονάδες αυτού του τύπου, έχουν γίνει αποδοτικότερες και ενσωματώνουν τεχνολογικά εξελιγμένο εξοπλισμό και αντιρρυπαντικά συστήματα, συνεχίζουν να παρουσιάζουν εκπομπές καυσαερίων που περιέχουν σημαντικά ρυπογόνα συστατικά συνεισφέροντας έτσι αρνητικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Η εταιρεία με το όνομα BNL Clean Energy έχει κάνει την εμφάνισή της τα τελευταία χρόνια και ειδικεύεται στην υλοποίηση μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης απορριμμάτων, υποσχόμενη **μηδενικές εκπομπές καυσαερίων (Zero Emissions)** [77].

Σύμφωνα με την εταιρεία, η μηδενική επιβάρυνση του περιβάλλοντος ως χαρακτηριστικό των εγκαταστάσεων της προκύπτει χάρη στην κατοχυρωμένη-πατενταρισμένη λειτουργία ενός καταλυτικού αντιδραστήρα (GTL process) ο οποίος μετασχηματίζει όλες τις ανθρακούχες ενώσεις (οξείδια του άνθρακα) σε συνθετικούς υδρογονάνθρακες.

Επιπλέον, οι συγκεκριμένες μονάδες θεωρούνται ανεπηρέαστες από τις εξωτερικές συνθήκες και έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν εικοσιτέσσερις (24) ώρες το εικοσιτετράωρο ,επτά (7) ημέρες την βδομάδα [77].



Εικόνα ΙΙ.1: Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας της τεχνολογίας BNL [77]

Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνεται στα **φυλλάδια της BNL Clean Energy [78]** και συγκρίνει μια μονάδα της εταιρείας με τις αντίστοιχες μονάδες καύσης και αεριοποίησης που θεωρούνται συμβατικές τεχνολογίες ενεργειακής επεξεργασίας των αστικών στερεών απορριμμάτων.

Πίνακας II.1: Σύγκριση ανάμεσα στην τεχνολογία BNL και τις συμβατικές τεχνολογίες θερμικής επεξεργασίας απορριμμάτων με βάση τις εκπομπές, τα κόστη και την απόδοση, (Πηγή:BNL) [78]

	Μονάδα BNL (Emission free)	Συμβατικές Τεχνολογίες Θερμικής Επεξεργασίας ΑΣΑ (Conventional Plants)
Περιβαλλοντικό επίπεδο		
Τύπος διαδικασίας	Κλειστό θερμοχημικό σύστημα με μηδενικές εκπομπές καυσαερίων	Ανοικτό θερμικό σύστημα με εκπομπές καυσαερίων
Εκπομπές ρυπογόνων αερίων	Όχι	Ναι (CO ₂ , NO _x , SO _x)
Μόλυνση ατμόσφαιρας επίδραση στην κλιματική αλλαγή	Όχι	Ναι (εκπομπές καυσαερίων και άλλων ρυπαντών)
Αντιρροπαντικό σύστημα	Όχι	Ναι
Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO ₂)	Όχι	Ναι
Εκπομπές διοξινών	Όχι	Ναι
Εκπομπές οξειδίων του θείου (SO _x)	Όχι	Ναι
Τεχνοοικονομικό επίπεδο		
Επενδυτικά κόστη	60%	100%
Χωροθέτηση μονάδας	50%	100%
Λειτουργικά Κόστη	60%	100%
Χρήση Ενέργειας (P _{in} /P _{out})	>70%	<40%
Απόδοση (P _{el} /P _{th})	>65%	<40%
Επίπεδο προϊόντων		
Απορριπτόμενη ενέργεια (θερμότητα) στο περιβάλλον	Όχι	Περίπου 40%
Παραγωγή συνθετικών καυσίμων με υψηλή θερμογόνο ικανότητα	Ναι	Όχι
Συστήματα Αποθήκευσης Ενέργειας	Ναι	Όχι
Παραγωγή υπέρθερμου ατμού	Ναι	Ναι
Παραγωγή θερμικής ενέργειας για ανάγκες θέρμανσης ή ψύξης	Ναι	Ναι
Άλλα προϊόντα διεργασιών	Τέφρα, ανακτηθέντα υλικά	Τέφρα, βαρέα μέταλλα

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται κάποια χαρακτηριστικά-πλεονεκτήματα των BNL μονάδων, όπως αυτά δίνονται από τα φυλλάδια της εταιρείας [77], μιας και μέχρι στιγμής **δεν έχει ολοκληρωθεί** κάποια εγκατάσταση από την συγκεκριμένη εταιρεία και η μόνη πληροφορία που είναι γνωστή είναι ότι βρίσκονται υπό κατασκευή κάποιες μονάδες στην Γερμανία οι οποίες πρόκειται να λειτουργήσουν από του χρόνου.

❖ Ευελιξία στις ποσοτικές-ποιοτικές αλλαγές της σύστασης των απορριμμάτων

Οι μονάδες BNL έχουν την ικανότητα να δέχονται απροβλημάτιστα ένα μεγάλο εύρος από διάφορα είδη απορριμμάτων αρκεί αυτά να εμφανίζουν μια σχετικά καλή θερμογόνο δύναμη. Μάλιστα, φαίνεται να είναι σχεδιασμένες με τέτοιο τρόπο ώστε να προσαρμόζουν αυτόματα όλη τη λειτουργία τους στις ποσοτικές και ποιοτικές μεταβολές στη σύσταση των απορριμμάτων

Άλλωστε, η εταιρεία BNL Clean Energy εστιάζει στην δημιουργία μονάδων θερμικής επεξεργασίας απορριμμάτων που συνδυάζουν την **ευελιξία** στις διάφορες αλλαγές στη σύνθεση της πρώτης ύλης τροφοδοσίας με την **φιλική προς το περιβάλλον λειτουργία**, συνδυασμός που καθιστά την συγκεκριμένη τεχνολογία καινοτόμο και μοναδική.

Ως κατάλληλες πρώτες ύλες για την τροφοδοσία των μονάδων αυτού του τύπου προτείνονται μεταξύ των άλλων:

- Αστικά Στερεά Απόβλητα (Municipal Solid Waste, MSW),
- Απορρίμματα προερχόμενα από τη δραστηριότητα εμπορικών κέντρων ή βιομηχανιών, βιοτεχνιών και γενικότερα μονάδων παραγωγής ή κατεργασίας του πρωτογενούς, δευτερογενούς ή τριτογενούς τομέα (Commercial and Industrial Waste, CIW)
- Βιομάζα και διάφορα πράσινα απόβλητα κήπων και πάρκων (κλαδέματα) (Biomass and Green Waste, BGW),
- τα ιατρικά απόβλητα (Medical Waste, MW),
- ο άνθρακας (π.χ. λιγνίτης, λιθάνθρακας) και διάφορα άλλα ορυκτά καύσιμα, κλάσματα πετρελαίου κ.α.

❖ Παραγωγή ενέργειας άμεσα αξιοποιήσιμης σε ένα εύρος εφαρμογών

Όπως συμβαίνει και με τις συμβατικές τεχνολογίες ενεργειακής εκμετάλλευσης απορριμμάτων (καύση, αεριοποίηση, αναερόβια χώνευση), έτσι και οι BNL μονάδες προορίζονται για την παραγωγή σημαντικών ποσών θερμότητας.

Η παραγόμενη θερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση ή την ψύξη των κατοικιών μιας περιοχής ή για να εξυπηρετήσει τις θερμικές ανάγκες μιας βιομηχανίας, μέσω των αποβαλλόμενων θερμών αερίων της μονάδας. Εναλλακτικά, οι εγκαταστάσεις καθαρής ενέργειας BNL μπορούν να παρέχουν την ψύξη σε αποθήκες που απαιτούν πολύ χαμηλές θερμοκρασίες.

Τέλος, σύμφωνα με όσα υποστηρίζει η εταιρεία, η τεχνολογία BNL μπορεί να ικανοποιήσει, εντός λογικών οικονομικών πλαισίων, ακόμα και τις μεγάλες ενεργειακές απαιτήσεις για την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού με σκοπό την μετατροπή του σε πόσιμο.

Οι εγκαταστάσεις της BNL Clean Energy εξοπλίζονται με έναν στρόβιλο (turbine) ο οποίος επιτρέπει την **παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας** που είτε χρησιμοποιείται για την εξυπηρέτηση των ιδιοκαταναλώσεων σε ηλεκτρισμό των μονάδων είτε πωλείται στην αγορά και συγκεκριμένα στο εθνικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

Επιπλέον, μια ακόμα προβλεπόμενη διεργασία εντός μιας BNL εγκατάστασης αποτελεί η μετατροπή των παραγόμενων καυσαερίων σε ένα συνθετικό αέριο πλούσιο σε υδρογόνο (H_2), το οποίο στη συνέχεια υφίσταται διαδικασίες ειδικής επεξεργασίας προκειμένου να αναβαθμιστεί σε ένα υγρό καύσιμο υψηλής θερμογόνου ικανότητας που μπορεί να πωληθεί στην αγορά, αντικαθιστώντας ως ένα βαθμό τα συμβατικά ρυπογόνα καύσιμα όπως είναι το πετρέλαιο (diesel) και η βενζίνη.

Συνοπτικά, η τεχνολογία BNL εμφανίζεται κατάλληλη για τις εξής δραστηριότητες:

- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι και 20MW.
- Παραγωγή θερμών καυσαερίων που μπορούν χρησιμοποιηθούν για την ξήρανση των απορριμμάτων ($400 - 900^\circ C$).
- Παραγωγή υπέρθερμου ατμού ($\max 40 \text{ bar}/280^\circ C$).
- Θέρμανση και ψύξη μιας περιοχής.
- Θερμότητα για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού.

❖ Μηδενικά υπολείμματα που ισοδυναμούν με επιπλέον έσοδα

Οι εγκαταστάσεις BNL παρουσιάζονται ως απόλυτα φιλικές προς το περιβάλλον. Παρόλα αυτά, δεν είναι δυνατόν να αποφευχθούν κάποια υγρά απόβλητα καθώς και κάποια στερεά υπολείμματα (τέφρα) ως αποτέλεσμα της θερμικής επεξεργασίας των αποβλήτων.

Αυτό που διαφοροποιεί την συγκεκριμένη τεχνολογία από τις υπόλοιπες είναι ότι προβλέπεται η άμεση συλλογή των παραπάνω υπολειμμάτων και η μεταφορά τους σε ένα **στεγανό σταθμό ανακύκλωσης** (BNL Clean Recycling Plant). Εκεί διέρχονται διαδικασιών διαχωρισμού προκειμένου να μετατραπούν σε πολύτιμες χημικές ενώσεις που περιέχουν θείο (S), φώσφορο (P), σίδηρο (Fe), χαλκό (Cu), βαρέα μέταλλα και σπάνια πετρώματα. Σύμφωνα με τα φυλλάδια της εταιρείας, η επεξεργασία των παραγόμενων υπολειμμάτων είναι γνωστή με τον όρο "Urban Mining" [77].

Μάλιστα, η BNL Clean Energy ισχυρίζεται ότι η παραπάνω πατέντα έχει ελεγχθεί και χρησιμοποιείται ήδη από εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην ενεργειακή αξιοποίηση των απορριμμάτων και δεν έχουν καμία σχέση με αυτήν. Χαρακτηριστικά, αναφέρεται πως βρίσκει εφαρμογή σε διάφορες εγκαταστάσεις που βρίσκονται στη χώρα της Γερμανίας. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις τα ίδια της εταιρείας για κάθε δέκα (10) μονάδες τεχνολογίας BNL (BNL Clean Energy plants) αντιστοιχεί μία μονάδα ανακύκλωσης υπολειμμάτων (BNL Clean Recycling plant) [77].

Ταυτόχρονα, με την ανάκτηση και ανακύκλωση των αποβλήτων, η εταιρεία BNL φροντίζει έτσι ώστε η τεχνολογία που προτείνει να είναι οικονομικά βιώσιμη για τον πελάτη και να προσφέρει επιπλέον έσοδα. Έτσι, οι εγκαταστάσεις BNL όχι μόνο δύνανται να συμβάλουν ενεργά στην προστασία του περιβάλλοντος αλλά φαίνονται επίσης ικανές να δημιουργήσουν μια **επιπρόσθετη πηγή εισοδήματος**, μιας και πολλά από τα ανακτηθέντα υλικά και τις χημικές ενώσεις είναι κατάλληλα για πώληση στην αγορά.

Άλλωστε, βασική προτεραιότητα των μονάδων BNL συνιστά η παραγωγή σημαντικής ποσότητας **συνθετικών υδρογονανθράκων** οι οποίοι αποτελούν ένα πολύτιμο και συνάμα εμπορεύσιμο προϊόν.

❖ **Compact & Modular μονάδες**

Η καινοτόμος θερμική επεξεργασία υψηλής πίεσης που προτείνει η εταιρεία BNL Clean Energy επιτρέπει την λειτουργία μιας **συμπαγούς εγκατάστασης με μικρές χωροθετικές απαιτήσεις**. Στα φυλλάδια της εταιρείας αναφέρεται πως το μέγεθος μιας μονάδας BNL αντιστοιχεί στο 20-50% του μεγέθους των συμβατικών θερμικών μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ παρόμοιας χωρητικότητας [77].

Ο απαραίτητος εξοπλισμός και επιμέρους υποσυστήματα για την λειτουργία μιας μονάδας BNL είναι ενοποιημένα σε modules, γεγονός το οποίο συμβάλλει στην εύκολη μεταφορά, εγκατάσταση, μετεγκατάσταση (αν οι συνθήκες το απαιτούν) καθώς και στη γενικότερη τεχνική επίβλεψη αυτών.

Με άλλα λόγια, οι εγκαταστάσεις BNL είναι **τυποποιημένες** στο σύνολό τους και απαρτίζονται από προκατασκευασμένες και αποσπώμενες μονάδες-μηχανήματα τα οποία μπορούν εύκολα να μετακινηθούν ή να αντικατασταθούν σε περίπτωση βλάβης.

❖ **Αυτοματοποιημένη Διαδικασία**

Οι εγκαταστάσεις της BNL Clean Energy λειτουργούν πλήρως **αυτοματοποιημένα** και προσαρμόζονται ανάλογα στις διάφορες λειτουργικές αλλαγές που μπορεί να αφορούν είτε την σύνθεση-σύσταση των συλλεχθέντων απορριμμάτων που τροφοδοτούν την μονάδα είτε τις ενεργειακές ανάγκες σε ηλεκτρισμό και θερμότητα (Automatic Operation).

Έτσι, υπό την συνεχή αλλά και επαρκή τροφοδοσία της πρώτης ύλης στην μονάδα BNL, το αυτοματοποιημένο σύστημα ελέγχου θα ρυθμίζει τη λειτουργία της μονάδας κατά τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει η αποδοτικότερη αξιοποίηση των εισερχόμενων απορριμμάτων.

Τέλος, στις μονάδες BNL προβλέπεται ο **τεμαχισμός, η συμπίεση και η ξήρανση** της πρώτης ύλης μέσω κατάλληλων μηχανολογικών διατάξεων. Αυτό σημαίνει πως τα συλλεγόμενα αστικά απορρίμματα θα μεταφέρονται απευθείας στην μονάδα όπου και θα υφίστανται την απαραίτητη προ-επεξεργασία. Με τον τρόπο αυτό, αυξάνεται η τιμή των τελών εσόδου (gate fees) για την εγκατάσταση μιας και διαχειρίζεται σύμμεικτα απορρίμματα και όχι στερεό ανακτηθέν καύσιμο (RDF/SRF).

❖ **Δυνατότητα μακροχρόνιας μίσθωσης των μονάδων BNL**

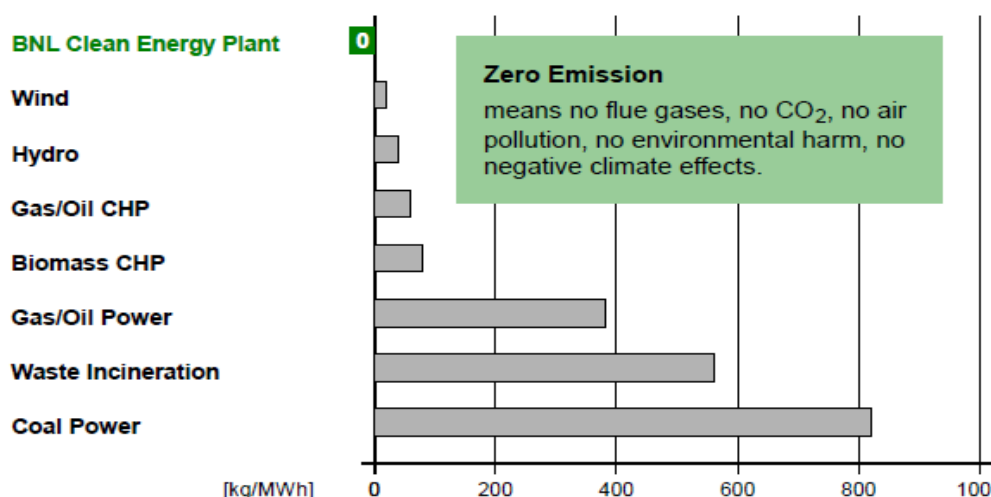
Η εταιρεία BNL παρέχει επίσης στον πελάτη την δυνατότητα **μακροχρόνιας μίσθωσης** (leasing) των εγκαταστάσεών της καθώς και του επιμέρους εξοπλισμού-μηχανημάτων που τις απαρτίζουν. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται τόσο ο επιμερισμός του συνολικού κόστους επένδυσης όσο και η ελαχιστοποίηση του ρίσκου των απρόβλεπτων δαπανών μιας

και οι τελευταίες θα βρίσκονται καθ' όλη τη διάρκεια μίσθωσης της μονάδας κάτω από εποπτικό έλεγχο.

Επιπρόσθετα, οι προσπάθειες αδειοδότησης και εγκατάστασης των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ συνοδεύονται συνήθως από διάφορα και πολλές φορές απρόβλεπτα προβλήματα γραφειοκρατικού τύπου. Ωστόσο, με βάση τα όσα ισχυρίζεται η εταιρεία BNL, οι τυποποιημένες και πιστοποιημένες διαδικασίες σε συνδυασμό με τις προχωρημένες δυνατότητες των μονάδων της επιτρέπουν την απόκτηση των απαραίτητων αδειών σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα και χωρίς ιδιαίτερα εμπόδια.

Γενικότερα, σύμφωνα και με όσα υποστηρίζει η εταιρεία BNL Clean Energy, οι μονάδες θερμικής επεξεργασίας αστικών στερεών απορριμμάτων που προτείνει, φαίνεται όχι μόνο να έχουν **μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂)** στην ατμόσφαιρα αλλά και να επιτυγχάνουν την **αποδοτικότερη μετατροπή της χημικής ενέργειας των απορριμμάτων σε θερμική και ηλεκτρική ενέργεια** σε σύγκριση με τις αντίστοιχες συμβατικές μονάδες θερμικής επεξεργασίας [77].

Συν τοις άλλοις, η λειτουργία μιας εγκατάστασης τεχνολογίας BNL θα αποφέρει **πρόσθετα έσοδα** για τον διαχειριστή-ιδιοκτήτη της μονάδας, μειώνοντας της ετήσιες ταμειακές ροές, γεγονός που επιτρέπει τη βελτίωση του χρόνου απόδοσης των επενδύμενων χρημάτων (payback period). Γενικότερα, οι μονάδες τέτοιου τύπου φαίνεται να παρουσιάζουν μια χρηματοοικονομική εικόνα πολύ πιο ικανοποιητική σε σχέση με τον μέσο όρο.



Εικόνα Π.2: Σύγκριση Τεχνολογιών Ενεργειακής αξιοποίησης ΑΣΑ με βάση τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), (Πηγή: BNL) [77]

Ωστόσο, κρίνεται αναγκαίο να τονιστεί για ακόμα μια φορά ότι όλα τα παραπάνω υποστηρίζονται από τους υπεύθυνους της εταιρείας. Στην πραγματικότητα, η τεχνολογία βρίσκεται σε **μη επιδεικτικό ακόμα επίπεδο** και **δεν υπάρχουν πρακτικές αποδείξεις** για την πλεονεκτική διαχείριση των απορριμμάτων που φαίνεται να παρουσιάζει.

Επομένως, η επένδυση σε μια BNL μονάδα για την ενεργειακή εκμετάλλευση των αστικών στερεών αποβλήτων εκ μέρους του δήμου Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης φαίνεται να εμπεριέχει αρκετά ρίσκα αφού υπάρχουν ελάχιστες πληροφορίες για τον τρόπο που δουλεύει η συγκεκριμένη τεχνολογία στην πράξη.

Παρόλα αυτά, το εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου θα βρίσκεται σε συνεχή επαφή με τους κατασκευαστές των μονάδων BNL για την εύρεση επιπλέον οικονομικών κυρίως στοιχείων, αναμένοντας παράλληλα μια πρώτη επίδειξη των εγκαταστάσεων ενεργειακής διαχείρισης των απορριμμάτων, που όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, θα είναι έτοιμες να λειτουργήσουν στην Γερμανία από το επόμενο έτος (2018).

Our Leasing: Your Funding.

Our group provides funding, leasing and insurance coverage for your **zero emission** clean energy plant and installation.

The additional revenue stream from synthetic fuels, the complete recycling of all plant residues and the cost savings from zero emission operation will ensure that your **zero emission** clean energy project becomes a commercial success.

The example monthly profit and loss sheet below, with plant leasing, fixed term maintenance contract and provision for planned revisions, proves that our **zero emission** clean energy plant is a profitable investment for your operation.

Zero Emission Clean Energy Plant – CEP M4010				estimated
(Leasing Estimate, MSW Installation, Typical Configuration)				EUR/months
Feedstock				
Feed (moist; as received)	MSW (30% H ₂ O)	38'300 t/a	4.5 tph	
Tipping fee	60 EUR/t		3150 tpm	189'000
Feed (dry)	12 MJ/kg	25'000 t/a	3 tph	
Plant				
Plant cost (CEP only)	22 M EUR	Slot (10%)	2.2 M EUR	
Site infrastructure (estimate)	6 M EUR			
Operating hours		8400 h/y	700 hpm	
Energy & Fuels				
Electric power	60 EUR/MWh	2.5 MW	700 h/m	105'000
Process steam	30 EUR/MWh	0 MW		0
District heating/cooling	30 EUR/MWh	6 MW		126'000
Seawater desalination	30 EUR/MWh	0 MW		0
Synthetic Fuel	600 EUR/m ³	350 l/h		147'000
Total Revenues				567'000
Leasing (72 months/6 years)	IR: 4.0%	FV: 80%		95'000
Maintenance plan (Fixed cost)	(Estimate)			125'000
Planned revisions (Budget)	(Estimate)			120'000
Total Costs				340'000
Gross Earnings (Monthly)				227'000

Εικόνα II.3: Ενδεικτικά κόστη μονάδας BNL χωρητικότητας 38.300 tn/year

B.2 Μονάδα καύσης με οργανικό κύκλο Rankine (Πανεπιστήμιο Αιγαίου)

Μια παρόμοιου τύπου έρευνα για λογαριασμό του δήμου ΒΒΒ διεκπεραιώθηκε πρόσφατα από το **Πανεπιστήμιο Αιγαίου** [16],[17]. Την έρευνα αυτή απαρτίζουν δύο σχετικές μεταξύ τους μελέτες οι οποίες ασχολούνται με την ενεργειακή αξιοποίηση των συλλεγόμενων κατά την αποκομιδή **κλαδεμάτων**, όχι όμως και με το σύνολο των ΑΣΑ.

Αρχικά, στην πρώτη μελέτη υπό τον τίτλο “**Παροχή Υπηρεσίας για την Διερεύνηση του Ορθού Τρόπου Διαχείρισης της Απόβλητης Υπολειμματικής Βιομάζας (Κλαδιών) με Σκοπό την Ενεργειακή Αξιοποίηση**” [16], η πολυκριτηριακή σύγκριση μιας σειράς εναλλακτικών τεχνολογιών επεξεργασίας βιομάζας ανέδειξε την **Καύση σε συνδυασμό με τη χρήση Οργανικού κύκλου Rankine (ORC)** ως την καταλληλότερη επιλογή για την ενεργειακή εκμετάλλευση των κλαδεμάτων.

Αναλυτικότερα, ο οργανικός κύκλος Rankine (ORC) είναι μια παραλλαγή του κύκλου Clausius-Rankine (νερού-ατμού) όπου αντί νερού χρησιμοποιείται κάποιο οργανικό μέσο. Εξαιτίας της χαμηλής θερμοκρασίας ατμοποίησης του οργανικού μέσου, ο κύκλος αυτός ενδείκνυται για εφαρμογές εκμετάλλευσης απορριπτόμενης θερμότητας, προσφέροντας αρκετά πλεονεκτήματα στη σύζευξη του με καύση βιομάζας.

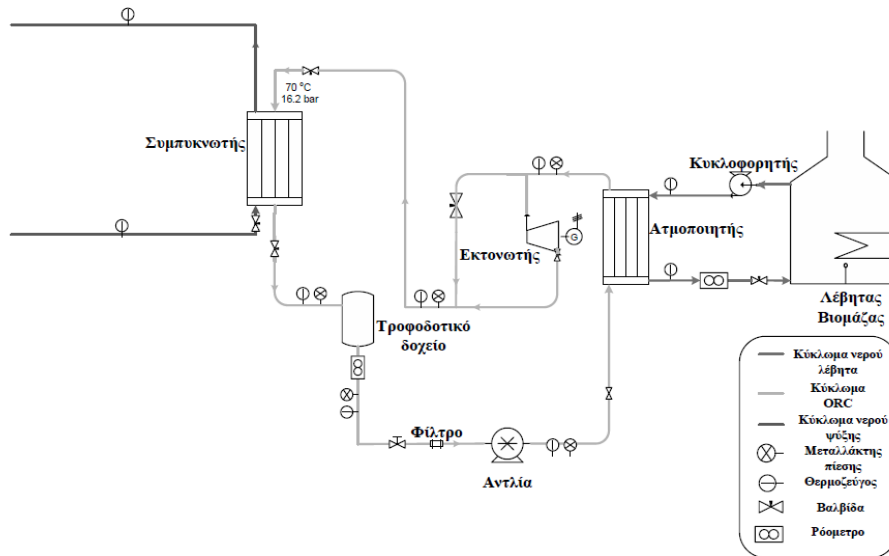
Βασικά πλεονεκτήματα του οργανικού κύκλου Rankine σε εφαρμογές καύσης είναι πως η συγκεκριμένη τεχνολογία είναι κατάλληλη για αποκεντρωμένα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας καθώς επίσης και ότι αποτελεί τη μοναδική αξιόπιστη μέθοδο για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι 1 MW_{el} [75].

Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης του οργανικού κύκλου Rankine κυμαίνεται μεταξύ 6-17%. Το ανώτερο όριο της απόδοσης σχετίζεται άμεσα με τη μέγιστη θερμότητα που μπορεί να ανακτηθεί και τη θερμική απόδοση του λέβητα καθώς επίσης και το οργανικό μέσο που θα χρησιμοποιηθεί.

Το εύρος των εγκαταστάσεων συμπαραγωγής με καύση βιομάζας και κύκλο ORC κυμαίνεται μεταξύ 300 kW_{el} και $1,5 \text{ MW}_{el}$. Περιπτώσεις μονάδων που χρησιμοποιούν οργανικό κύκλο Rankine, μπορούν να εντοπιστούν σε διάφορα μέρη της Κεντρικής Ευρώπης, μεταξύ αυτών στο Lienz της Αυστρίας (1 MW_{el}), στο Sauerlach της Γερμανίας (700 kW_{el}) και στο Toblach (1.1 MW_{el}), ενώ η συνολική εγκατεστημένη ισχύς υπερβαίνει τα 50 MW_{el} [75].

Το κόστος επένδυσης είναι στα ίδια επίπεδα ή σε ορισμένες περιπτώσεις και ελαφρώς μεγαλύτερο από τους συμβατικούς σταθμούς ατμοστρόβιλων. Παρόλα αυτά, ευρύτερη εφαρμογή της τεχνολογίας αναμένεται να οδηγήσει σε μείωση του αρχικού κόστους.

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται ένα τυπικό κύκλωμα οργανικού κύκλου Rankine, συζευγμένο με κύκλωμα λέβητα βιομάζας. Σημειώνεται πως για τον υπολογισμό του βαθμού απόδοσης του οργανικού κύκλου Rankine, πρέπει να ληφθεί υπόψη και ο βαθμός απόδοσης του λέβητα, κάτι που οδηγεί γενικά σε **χαμηλούς βαθμούς απόδοσης** [75].



Εικόνα Π.4: Μονογραμμικό διάγραμμα λειτουργίας οργανικού κύκλου Rankine συνδεδεμένο με κύκλωμα βιομάζας [75]

Ταυτόχρονα, στη μελέτη αναφέρεται πως σήμερα στο δήμο BBB τα παραγόμενα πράσινα απορρίμματα, τα οποία είναι είτε ιδιωτικής είτε Δημοτικής προελεύσεως, περισυλλέγονται και εναποτίθενται στους προσωρινούς ειδικούς χώρους χωρίς διαλογή ενώ το περιεχόμενό τους αποτελείται κατά προσέγγιση από **80% κλαδέματα και 20% φύλλα – γκαζόν [16]**.

Πιο συγκεκριμένα, με βάση τα δοθέντα στοιχεία από υπεύθυνους του Δήμου παρουσιάστηκαν οι παρακάτω σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την διαχείριση των πράσινων αποβλήτων στο δήμο BBB [16]:

- Περίπου το 80% των κλαδεμάτων προέρχεται από τις αυλές των δημοτών.
- Συλλέγονται κυρίως κλαδέματα από λιγούστρο, γκαζόν, πικροδάφνες, ευκάλυπτο, πεύκα, και κλαδέματα από ελιές. Παρόλα αυτά, στο Δήμο υπάρχουν και αρκετές φιστικέςς.
- Παρατηρούνται τροποποιήσεις στη διαθεσιμότητα ανάλογα με την περίοδο.
- Καθημερινά, με ειδικά διαμορφωμένα οχήματα συλλέγονται τα δημοτικά απορρίμματα από τα οποία το 60% – 80% είναι κλαδέματα.
- Καθημερινά, συλλέγονται από 30 έως 40 τόνοι κλαδεμάτων ενώ σε ετήσια βάση περίπου 6.000 tn.

Στη δεύτερη μελέτη υπό τον τίτλο “Επιχειρηματικός Σχεδιασμός (Business Plan) για τη Δημιουργία και Εκμετάλλευση Μονάδας Παραγωγής Ηλεκτρικής και Θερμικής Ενέργειας από Βιομάζα” [17] συμπεριλαμβάνονται όλα τα βασικά τεχνοοικονομικά χαρακτηριστικά του προκρινόμενου έργου τα οποία και παρουσιάζονται παρακάτω:

- **Απαιτούμενη εδαφική έκταση:** Περίπου 4.000 τ.μ..
- **Κατανάλωση Πρώτης Ύλης:** Περίπου 1.400 – 1.500 Kg/ώρα σε περίπτωση χρήσης κλαδεμάτων ως καυσίμου ύλης. Η ποσότητα μπορεί να ποικίλει ανάλογα με τον κατασκευαστή, το συγκεκριμένο μοντέλο και το ακριβές είδος της καυσίμου ύλης που θα χρησιμοποιηθεί.
- **Αριθμός Ωρών Λειτουργίας Μονάδας /Ετος:** Κυμαίνεται κατά μέσο όρο σε περίπου 8.300-8.000 «καθαρές» ώρες το χρόνο για τον υπολογισμό των οποίων έχει αφαιρεθεί ο χρόνος που κατά μέσο όρο απαιτείται για τη συντήρηση του εξοπλισμού
- **Μέγιστη Δυναμικότητα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας:** 1.000 KWp.
- **Δυναμικότητα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας προς Πώληση:** 500 KWp.
- **Παραγωγή Θερμικής Ενέργειας:** Περίπου 20.000 – 28.000 KWth, ανάλογα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή και το συγκεκριμένο μοντέλο που θα επιλεγεί.
- **Διάρκεια ζωής Μονάδας:** 20 έτη
- **Κόστος Έργου:** Περίπου 4.500.000 ευρώ (συμπεριλαμβανομένου ΦΠΑ). Σημειώνεται ότι δεν έχει ληφθεί υπόψη το κόστος αγοράς οικοπέδου.
- **Χρηματοδοτικό Σχήμα - Μόχλευση:** Ίδια συμμετοχή 40% - Μακροπρόθεσμος τραπεζικός δανεισμός 60%, στις επιλέξιμες προς χρηματοδότηση δαπάνες.
- **Διάρκεια Μακροχρόνιου Δανεισμού:** 10 έτη

Σημειώνεται ότι σύμφωνα με το υπάρχοντα νόμο (Ν. 4414/2016) η λειτουργία της μονάδας θα εντάσσεται στην κατηγορία “βιομάζα που αξιοποιείται μέσω θερμικών διεργασιών (καύση, πυρόλυση) εκτός αεριοποίησης από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ ≤ 1 MW (εξαιρουμένου του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)”, για την οποία ορίζεται τιμή πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας τα 184 €/MWh [72].

Επίσης, έχει προβλεφθεί και η εφαρμογή κατάλληλου συστήματος **τηλεθέρμανσης**. Με άλλα λόγια, ο σχεδιασμός της μονάδας και η επιλογή του εξοπλισμού θα γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να διασφαλίζεται η δυνατότητα εκμετάλλευσης από την εγκατάσταση της παραγόμενης θερμότητας που εμφανίζεται υπό τη μορφή υποπροϊόντος κατά την διάρκεια των διεργασιών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Έτσι, η ανακτώμενη θερμική ενέργεια προορίζεται να πωλείται σε χρήστες που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από τον τόπο εγκατάστασης της μονάδας (σχολικά συγκροτήματα, αθλητικές εγκαταστάσεις, νοσοκομεία κ.α.) προς κάλυψη των αναγκών τους σε θέρμανση ή ψύξη. Απουσία νομικού πλαισίου ενίσχυσης, η τιμή πώλησης της θερμικής ενέργειας θα προκύπτει έπειτα από σχετική διαπραγμάτευση με τους ενδιαφερόμενους αγοραστές.

Η πώληση της θερμικής ενέργειας θα πρέπει κανονικά να διέπεται από **συμφωνητικό** μεταξύ του παραγωγού (δήμος BBB) και του καταναλωτή, το οποίο κρίνεται ωφέλιμο να παίρνει τη μορφή μακράς διάρκειας έτσι ώστε να καθίσταται εφικτή η απόσβεση των εξόδων μελέτης, κατασκευής και εξοπλισμού του δικτύου τηλεθέρμανσης καθώς και του εξοπλισμού υποδοχής της θερμικής ενέργειας. Η κατανομή του κόστους μεταξύ των

συναλλασσόμενων αποτελεί αντικείμενο συμφωνίας μεταξύ τους. Συνήθως όμως το κόστος αυτό επιβαρύνει τους χρήστες.

Σχόλιο 1: Στο σημείο αυτό, σημειώνεται ότι η παραπάνω υπόθεση ανατρέπεται πλήρως με βάση την επισυναπτόμενη συμφωνία μεταξύ του δήμου ΒΒΒ και της Στρατιωτικής Σχολής Ευελπίδων μιας και προβλέπεται η δωρεάν προσφορά της παραγόμενης θερμότητας για την κάλυψη των αναγκών της σε θέρμανση και ψύξη ως αντάλλαγμα στην δωρεάν παραχώρηση της απαιτούμενης για την κατασκευή της μονάδας έκτασης εντός της σχολής. Η εναπομένουσα θερμική ενέργεια μπορεί να πωλείται σε κοντινά σχολικά συγκροτήματα ή αθλητικές εγκαταστάσεις αλλά και αυτό είναι υπό διερεύνηση.

Παράλληλα, γίνεται αναφορά στο **ανθρώπινο δυναμικό** που θα απαρτίζει την εγκατάσταση αποτέφρωσης με ORC τεχνολογία σε περίπτωση υλοποίησης της. Γενικότερα, οι ανάγκες στελέχωσης της μονάδας κρίνονται εξαιρετικά περιορισμένες εξαιτίας των εκτενών αυτοματοποιήσεων και επιμερίζονται ως εξής [17]:

- 4 άτομα ως εργατοτεχνικό προσωπικό που πρακτικά είναι επιφορτισμένο με τον έλεγχο της λειτουργίας της Μονάδας (κυρίως ηλεκτρονικά) και της τροφοδοσίας της καυσίμου ύλης στο λέβητα.
- 1 τεχνικού διευθυντή της Μονάδας, ο οποίος απασχολείται κατ' αποκλειστικότητα σε αυτήν, συντονίζει τους εργατοτεχνίτες και τον συντηρητή του εξοπλισμού και είναι ο συνδεδετικός κρίκος με το Δήμο.
- Για την κάλυψη των υπηρεσιών διοικητικής φύσεως προτείνεται η χρησιμοποίηση υπαλλήλων που ήδη εργάζονται στο Δήμο και στα καθήκοντα των οποίων θα προστεθούν και αυτά που αφορούν τη διοίκηση της σχεδιαζόμενης Μονάδας.
- Οι υπηρεσίες συντήρησης και η διενέργεια επισκευών στη μονάδα έχει θεωρηθεί ότι παρέχονται από πεπειραμένα και οργανωμένα συνεργεία των παρόχων εξοπλισμού ή των αντιπροσώπων τους και συνδυάζονται με την παροχή εγγυήσεως εσόδων για το σύνολο της ζωής της Μονάδας.
- Η Διοίκηση της Μονάδας θα μπορούσε να αναληφθεί από υφιστάμενο υψηλόβαθμο στέλεχος του Δήμου στα καθήκοντα του οποίου προστίθεντο και εκείνα που αφορούν το Έργο. Αν αυτό δεν είναι εφικτό, θα πρέπει να αναζητηθεί στέλεχος από την αγορά με κόστος, όπως είναι φυσικό.

Το **επενδυτικό κόστος** για τη μονάδα χωρητικότητας περίπου 10.000 tn/year, όση δηλαδή και ετήσια παραγωγή πράσινων αποβλήτων στο δήμο BBB, επιμερίζεται σύμφωνα με τον πίνακα που ακολουθεί. Στο κόστος δεν έχει συμπεριληφθεί η αξία αγοράς του οικοπέδου.

Πίνακας Π.2: Επιμερισμός κόστους επένδυσης της προτεινόμενης μονάδας καύσης κλαδεμάτων με τεχνολογία ORC δυναμικότητας 10.000 tn/year [17]

Είδος Δαπάνης	Ευρώ (€)
Στρόβιλος και συστήματα αυτού	1.550.000
Λέβητας και εξοπλισμός αυτού	1.750.000
Σύστημα Ψύξης	200.000
Βοηθητικός ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός	400.000
Κάδος Αποθήκευσης Βιομάζας	90.000
Μεταφορά (αυτόματη) και ξήρανση βιομάζας	78.000
Θρυμματιστής/Σπαστήρας βιομάζας	35.000
Μεταφορά και εγκατάσταση εξοπλισμού	160.000
Εργασίες πολιτικού μηχανικού	100.000
Σύνδεση Μονάδας με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας	25.000
Έξοδα ανάπτυξης Έργου, άδειες, κλπ.	20.000
Απρόβλεπτα έξοδα	10.000
Σύνολο	4.418.000
ΦΠΑ (όπου εφαρμόζεται)	124.000
Συνολικό Κόστος Έργου	4.542.000 €

Τέλος, σημαντικός παράγοντας για την οικονομική βιωσιμότητα του έργου είναι η σωστή και εντός προδιαγραφών **συντήρηση της Μονάδας**, διαδικασία η οποία μεταφράζεται στη δυνατότητά της να λειτουργεί απρόσκοπτα για όσες ώρες το χρόνο προβλέπονται στις προδιαγραφές της καθώς και να παράγει τις προβλεπόμενες ποσότητες ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Σύμφωνα με τον επιχειρηματικό σχεδιασμό της μελέτης του Πανεπιστημίου Αιγαίου, το **ετήσιο κόστος συντήρησης** εκτιμάται σε περίπου 70.000€ για τον **στρόβιλο** και σε 50.000€ για τον **λέβητα** και τον εξοπλισμό του [17].

Σχόλιο 2: Σε πρώτη φάση, θα πρέπει να καταγραφεί πως στα παραπάνω κόστη δεν φαίνεται να έχουν ληφθεί υπόψη τα κόστη επένδυσης και λειτουργίας που αφορούν το **σύστημα αντιρρόπησης** για την αντιμετώπιση των εκπομπών αέριων ρύπων (SO_x, NO_x) κατά την καύση των κλαδεμάτων, ακόμα και αν αυτό είναι σχετικά απλό.

Επιπλέον, η λύση που προτείνεται από το Πανεπιστήμιο Αιγαίου μπορεί να είναι καλή για την εναλλακτική διαχείριση των πράσινων αποβλήτων του δήμου BBB αφήνει όμως ένα **μεγάλο κενό σχετικά με την επεξεργασία της υπόλοιπης ποσότητας των ΑΣΑ** και κυρίως των οικιακών.

Με βάση τα υπάρχοντα δεδομένα, τα οικιακά απορρίμματα εμφανίζουν τα μεγαλύτερα επίπεδα παραγωγής κατά τη διάρκεια του έτους, σε σύγκριση με τις άλλες κατηγορίες αστικών αποβλήτων. Ειδικότερα, κατά την αποκομιδή συλλέγεται μια ποσότητα οικιακών που ισούται με 18.997,52 tn/year.

Σχόλιο 3: Σε περίπτωση λοιπόν υλοποίησης μιας εγκατάστασης ενεργειακής αξιοποίησης αποκλειστικά και μόνο των κλαδεμάτων του δήμου, τα **οικιακά σύμμεικτα** απόβλητα που εμπριέχουν μεγάλες ποσότητες τόσο οργανικών υπολειμμάτων τροφών/κουζίνας όσο και ανακυκλώσιμων υλικών θα συνεχίσουν να οδηγούνται προς ταφή στο ΧΥΤΑ μαζί με τα ογκώδη (2.794,03 tn/year).

Αυτό όμως σημαίνει πως ο δήμος BBB δεν θα συμμορφώνεται πλήρως με τις επιταγές του νέου ΕΣΔΑ (2014) στους ειδικούς στόχους του οποίου περιλαμβάνεται η δραστική μείωση του ποσοστού των βιοαποβλήτων που οδηγούνται προς υγειονομική ταφή μέχρι το 2020 έτσι ώστε να επιτευχθεί μια σχετική αποσυμφόρηση των ΧΥΤΑ αλλά και να μειωθούν τα επίπεδα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από την βιοαποδόμηση των συστατικών τους.

Παράλληλα, δεν θα υπάρχει δυνατότητα ανάκτησης διάφορων ανακυκλώσιμων υλικών που βρίσκονται εντός του ετερογενούς μίγματος των οικιακών απορριμμάτων, παρόλο που και αυτό αποτελεί μια απολύτως επιθυμητή διεργασία από τον ΕΣΔΑ στα πλαίσια λειτουργίας ολοκληρωμένου δικτύου ανάκτησης ΑΣΑ μέχρι το 2020.

Σχόλιο 4: Το πιο σημαντικό όμως όλων είναι ότι η ταφή των οικιακών θα συνεχίσει να **επιβαρύνει οικονομικά το δήμο BBB** ειδικά αν υποτεθεί πως από του χρόνου θα ισχύσει και το ειδικό τέλος ταφής.

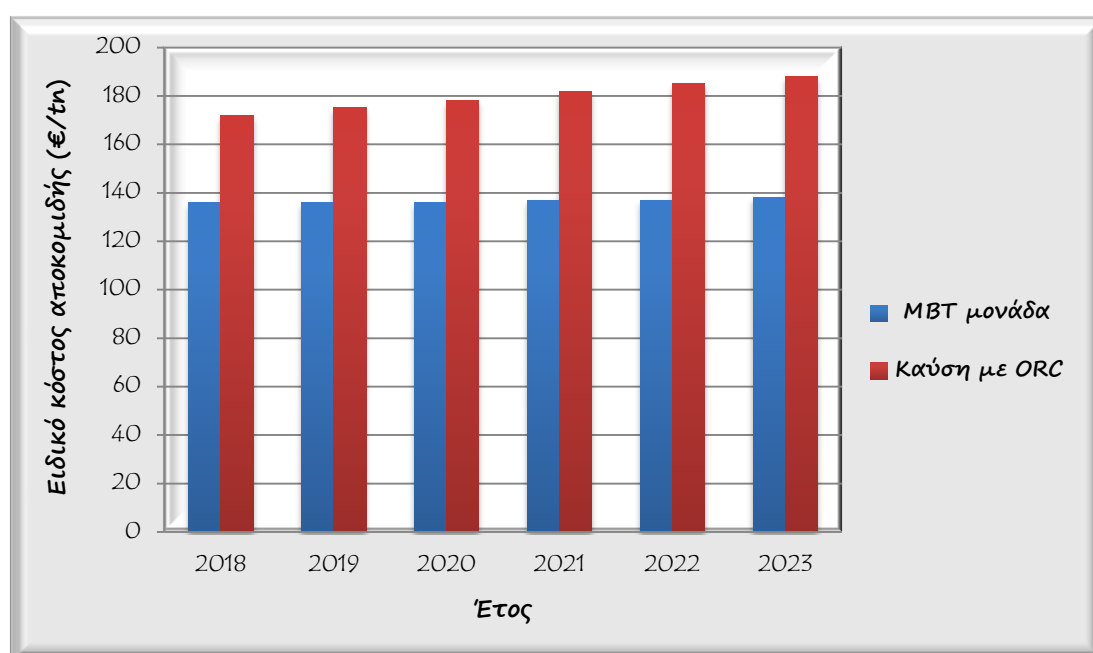
Αναλυτικότερα, στο σενάριο που θέλει αφενός τα πράσινα απόβλητα να οδηγούνται προς επεξεργασία στη μονάδα καύσης με χρήση κύκλου ORC και αφετέρου τα οικιακά μαζί με τα ογκώδη να μεταφέρονται μέσω των δημοτικών απορριμματοφόρων στο ΧΥΤΑ, το ετήσιο λειτουργικό κόστος αποκομιδής ΑΣΑ που περιλαμβάνει διαδικασίες συλλογής, μεταφοράς και εναπόθεσης θα διαμορφώνεται σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα. Σημειώνεται ότι η ταφή του υπολείμματος που επιστρέφεται από το ΚΔΑΥ (1.324 tn/year) επιβαρύνει οικονομικά το δήμο.

Πίνακας Π.3: Προσέγγιση του συνολικού ετήσιου κόστους αποκομιδής ΑΣΑ για τον δήμο BBB κατά την περίοδο 2018-2023 σε περίπτωση υλοποίησης μονάδας καύσης κλαδεμάτων με χρήση οργανικού κύκλου Rankine (ORC)

Έτος	Ειδικό τέλος ταφής (€/tn)	Επιπρόσθετη επιβάρυνση λόγω τέλους ταφής (€) (Τέλος ταφής*21.791,55 tn)	Εκτιμώμενο Ετήσιο Λειτουργικό κόστος αποκομιδής ΑΣΑ για τον δήμο BBB (€)	Εκτιμώμενο Ειδικό Ετήσιο Λειτουργικό κόστος αποκομιδής ΑΣΑ για τον δήμο BBB (€/tn)
2018	35	762.704,25	5.934.396,53	172 €/tn
2019	40	871.662,00	6.043.354,28	175 €/tn
2020	45	980.619,75	6.152.312,03	178 €/tn
2021	50	1.089.577,50	6.261.269,78	182 €/tn
2022	55	1.198.535,25	6.370.227,53	185 €/tn
2023	60	1.307.493,00	6.479.185,28	188 €/tn

Γίνεται αντιληπτό πως παρόλο που ο δήμος δεν θα πληρώνει τέλη εισόδου (45 €/tn) για την εναπόθεση των συλλεγόμενων πράσινων αποβλήτων στο ΧΥΤΑ ενώ ενδεχομένως να γλιτώνει και κάποια έξοδα που σχετίζονται με την πληρωμή των διοδίων και τα καύσιμα για τη μεταφορά τους μέχρι εκεί, το ετήσιο κόστος αποκομιδής θα συνεχίσει να είναι άμεσα συνδεδεμένο με την εναπόθεση του μεγαλύτερου μέρους των σύμμεικτων αποβλήτων στο ΧΥΤΑ.

Αυτό σημαίνει πως από το έτος εκείνο που θα αποφασιστεί από το κράτος η επιβολή του ειδικού τέλους ταφής (έχει θεωρηθεί ότι θα τεθεί σε εφαρμογή από το έτος 2018), το **συνολικό κόστος αποκομιδής δεν θα παραμένει σταθερό**, όπως συνέβαινε στο σενάριο υλοποίησης μιας ολοκληρωμένης μονάδας βιοαερίου, αλλά αντίθετα θα αρχίσει να αυξάνεται και πάλι σταδιακά αγγίζοντας στο τέλος της περιόδου (2023) μια πολύ υψηλή τιμή που ισοδυναμεί με 188 €/tn ΑΣΑ.



Διάγραμμα II.1: Σύγκριση ετήσιου κόστους αποκομιδής ΑΣΑ

Πίνακας II.4: Σύγκριση ετήσιου κόστους αποκομιδής ΑΣΑ υπό τη μορφή ποσοστών για τα δύο συγκρινόμενα σενάρια

Έτος	Σενάριο 1 MBT μονάδα (€/tn)	Σενάριο 2 Καύση με ORC (€/tn)	Ποσοστιαία Διαφορά (%)
2018	136	172	21 %
2019	136	175	22 %
2020	136	178	24 %
2021	137	182	25%
2022	137	185	26 %
2023	138	188	27 %

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

Οικονομικά στοιχεία για παρόμοιες μονάδες αναερόβιας χώνευσης στην Ελλάδα (Πηγή: Μεσόγειος Α.Ε.)

Στον ακόλουθο πίνακα παρατίθενται οικονομικής φύσεως δεδομένα για παρόμοιου τύπου έργα επεξεργασίας αποβλήτων με αυτό που προτείνεται για το δήμο Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης.

Πίνακας ΙΙΙ.1: Οικονομικά στοιχεία για ολοκληρωμένες μονάδες οργανικού κλάσματος ΑΣΑ στην Ελλάδα (πηγή: Μεσόγειος Α.Ε.) [70]

Τοποθεσία έργου	Νομός Ηλείας	Νομός Σερρών
Δυναμικότητα	80.000 tn/year	60.000 tn/year
Κόστος κατασκευής	29.169.940 €	18.900.000 €
Ειδικό κόστος κατασκευής	365 €/tn	315 €/tn
Κόστος λειτουργίας	2.122.295 €	1.750.000 €
Ειδικό κόστος λειτουργίας	26,53 €/tn	29,17 €/tn

Η μονάδα επεξεργασίας αστικών απορριμμάτων στο **νομό Ηλείας** έχει ονομαστική χωρητικότητα ίση με 80.000 tn/year ενώ το βιολογικό κομμάτι της αναερόβιας χώνευσης είναι σχεδιασμένο ώστε να δέχεται ένα προ-επεξεργασμένο οργανικό υπόστρωμα ΑΣΑ ίσο με 36.000 tn/year [46].

Τα **τέλη εισόδου** των αστικών στερεών αποβλήτων στη μονάδα είναι 64,60 €/tn για τους πρώτους 60.000 τόνους εισερχόμενων αποβλήτων ετησίως και 38,78 €/tn για τους 60.000-80.000 τόνους αποβλήτων ετησίως. Ως ελάχιστη εγγυημένη ποσότητα για το έργο, έχουν οριστεί οι 60.000 τόνοι εισερχόμενων αποβλήτων ετησίως.

Τέλος, η παρούσα μελέτη έχει στη διάθεσή της μια εκτίμηση της εταιρείας Μεσόγειος Α.Ε. [70] σχετικά με τις επενδυτικές δαπάνες για μια ολοκληρωμένη μονάδα αναερόβιας χώνευσης χωρητικότητας 40.000 tn/year .

Πίνακας ΙΙΙ.2: Επενδυτικά κόστη ολοκληρωμένης μονάδας αναερόβιας χώνευσης χωρητικότητας 40.000 tn/year (πηγή: Μεσόγειος Α.Ε.) [70]

Περιγραφή	Σύνολο	Τμήμα υποδοχής και μηχανικής διαλογής	Τμήμα Αναερόβιας χώνευσης	Τμήμα παραγωγής ενέργειας	Τμήμα ωρίμανσης	Τμήμα ραφιναρίας
Εξοπλισμός επεξεργασίας	€ 6.750.000,00	€ 2.700.000,00	€ 2.700.000,00		€ 337.500,00	€ 1.012.500,00
Έργα βιοαερίου	€ 562.500,00			€ 562.500,00		
Έργα περιβαλλοντικής προστασίας	€ 500.000,00	€ 200.000,00	€ 225.000,00			€ 75.000,00
Έργα ΗΜ εγκαταστάσεων	€ 550.000,00	€ 165.000,00	€ 165.000,00	€ 110.000,00	€ 27.500,00	€ 82.500,00
Έργα υποδομής	€ 575.000,00	€ 235.750,00	€ 230.000,00	€ 17.250,00	€ 34.500,00	€ 57.500,00
Έργα ΠΜ	€ 5.250.000,00	€ 2.152.500,00	€ 2.100.000,00	€ 157.500,00	€ 315.000,00	€ 525.000,00
Δοκιμαστική λειτουργία	€ 250.000,00	€ 75.000,00	€ 75.000,00	€ 50.000,00	€ 12.500,00	€ 37.500,00
ΣΥΝΟΛΟ 1	€ 14.437.500,00	€ 5.528.250,00	€ 5.495.000,00	€ 897.250,00	€ 727.000,00	€ 1.790.000,00
ΓΕ&ΟΕ	€ 2.598.750,00					
ΣΥΝΟΛΟ 2	€ 17.036.250,00					
ΑΠΡΟΒΛΕΠΤΑ	€ 1.533.262,50					
ΣΥΝΟΛΟ 3	€ 18.569.512,50					
ΦΠΑ	€ 4.456.683,00					
ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ	€ 23.026.195,50					

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1]. Κρητικός Νικόλαος-Αλέξανδρος, (Απρίλιος 2014), “Σχεδιασμός διεργασιών προς παραγωγή ενέργειας από Αστικά Στερεά Απορρίμματα. Μελέτη περίπτωσης: Αττική”, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ.
- [2]. Δημουλάς Γεώργιος, (Σεπτέμβριος 2013), “Τεχνολογίες Ενεργειακής Αξιοποίησης ΑΣΑ και Δευτερογενών Καυσίμων με έμφαση στις τεχνολογίες Καύσης υψηλής απόδοσης”, Α.Τ.Ε.Ι. Πειραιά, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών Τμήμα Ηλεκτρολογίας.
- [3]. Κακαράς Ε. – Καρέλλας Σ., (Φεβρουάριος 2014), “Αντιρρυπαντική Τεχνολογία Θερμικών Σταθμών”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών.
- [4]. CEC, “Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives”. Official Journal of the European Union, 2008.
- [5]. Παπαγεωργίου Γεώργιος, (Οκτώβριος 2016), “Διυλιστήριο αποβλήτων: Σχεδιασμός και ανάλυση βάσει περιβαλλοντικών και τεχνο-οικονομικών όρων”, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ.
- [6]. Μαρία Λοιζίδου, Καθηγήτρια ΕΜΠ, (Δεκέμβριος 2012), “Βιώσιμη διαχείριση των απορριμμάτων: Μία ολοκληρωμένη αποκεντρωμένη προσέγγιση”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Τομέας Χημικών Επιστημών, Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης & Τεχνολογίας.
- [7]. Thalys Environmental Services S.A. Available from: <http://www.thalis-es.gr/thalis-es.gr/index.php/el/activities/solid-waste>
- [8]. ΦΕΚ, ΝΟΜΟΣ ΥΠ’ ΑΡΙΘ. 4042, “Ποινική προστασία του περιβάλλοντος – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/99/ΕΚ – Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ – Ρύθμιση θεμάτων Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής”. Vol. 24/Α/13.2.2012. 2012.
- [9]. CEC, Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste. Official Journal of the European Union, (1999).
- [10]. Τράπεζα Πληροφοριών Νομοθεσίας, Ν.4447/2016: Αναστολή εφαρμογής ειδικού τέλους ταφής στερεών αποβλήτων. Available from: <https://www.e-nomothesia.gr/law-news/n44472016-anastole-epharmoges-eidikou-teloy-s-tafis-apobliton.html>
- [11]. EC. (2015) Circular Economy Strategy. (September 2015). Available from: <http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/>
- [12]. EC. (2015) Europe 2020 targets. (September 2015) Available from: http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/targets/index_en.htm
- [13]. Eurostat, (2015) Municipal waste generation and treatment, by type of treatment method from 1995 to 2013. (July 14, 2015). Database: tsdpc240. Available from: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/tsdpc240>

[14]. Διεύθυνση Καθαριότητας & Ανακύκλωσης δήμου BBB, (Ιούλιος 2015), “Τοπικό σχέδιο δράσης διαχείρισης απορριμμάτων του δήμου Βάρης-Βούλας-Βουλιαγμένης”.

[15]. Psomopoulos Constantinos & Themelis Nickolas, (June 2009), “Potential for energy generation in Greece by mass burning and by pre-processing (RDF/SRF) of solid wastes”.

[16]. Πανεπιστήμιο Αιγαίου – ΕΛΕ, (Μάιος 2017), “Παροχή Υπηρεσίας για την Διερεύνηση του Ορθού Τρόπου Διαχείρισης της Απόβλητης Υπολειμματικής Βιομάζας (Κλαδιών) του Δήμου Βάρης – Βούλας – Βουλιαγμένης με Σκοπό την Ενεργειακή Αξιοποίηση. Ανάδειξη Αποτελεσματικότερης Μεθόδου Ενεργειακής Αξιοποίησης Υπολειμματικής Βιομάζας με την Αξιολόγηση Ενεργειακών Έργων Αξιοποίησης Κλαδεμάτων”.

[17]. Πανεπιστήμιο Αιγαίου – ΕΛΕ, (Μάρτιος 2017), “Παροχή Υπηρεσίας για την Διερεύνηση του Ορθού Τρόπου Διαχείρισης της Απόβλητης Υπολειμματικής Βιομάζας (Κλαδιών) του Δήμου Βάρης – Βούλας – Βουλιαγμένης με Σκοπό την Ενεργειακή Αξιοποίηση. Επιχειρηματικός Σχεδιασμός (Business Plan) για τη Δημιουργία και Εκμετάλλευση Μονάδας Παραγωγής Ηλεκτρικής και Θερμικής Ενέργειας από Βιομάζα”.

[18]. Φελεσκούρα Χριστίνα, Παπαϊωάννου Ελένη, Μάιος 2004, “Σύγχρονες τεχνολογίες ανακύκλωσης απορριμμάτων- Διαχείριση και ενεργειακή αξιοποίηση απορριμμάτων”, Τ.Ε.Ι Χαλκίδας, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, τμήμα ηλεκτρολογίας.

[19]. <http://faculty.college-prep.org/~bernie/sciproject/project/wastemgt/intro.html>

[20]. Arena Umberto, (9 September 2011), “Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review”, Waste Management 32 (2012) 625–639.

[21]. Ettes Power Machinery CO., LTD. Available from:
<http://www.ettespower.com/Syngas-Biomass-Generator.html>

[22]. Δέλιος Κυριάκος, Κουτρούλης Αλέξανδρος, Χηνήρη Ελένη, (Μάιος 2014), “Επεξεργασία οργανικών αποβλήτων για παραγωγή ενέργειας”, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αν. Μακεδονίας και Θράκης, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε.

[23]. Waste 360. Available from: <http://www.waste360.com/food-waste/lot-digest-state-anaerobic-digestion>

[24]. Φραντζής Ι. & Συνεργάτες Ε.Π.Ε, (Απρίλιος 2008), “Μελέτη Αξιολόγησης Μεθόδων Επεξεργασίας Σύμμεικτων Απορριμμάτων στο Νομό Αττικής”, Ενιαίος Σύνδεσμος Δήμων & Κοινοτήτων Ν. Αττικής, ΕΠΕΜ Α.Ε, ENVIROPLAN Α.Ε.

[25]. Μαυρόπουλος Αντώνης, (Σεπτέμβριος 2008), “Τεχνολογίες Επεξεργασίας Απορριμμάτων”, Ενιαίος Σύνδεσμος Απορριμμάτων Κρήτης.

[26]. Νικολάου Κώστας, Δρ. Χημικός Περιβαλλοντολόγος, (2011), “Διαχείριση των απορριμμάτων και επιπτώσεις”, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.

[27]. Ellyin Claudine, Advisor: Prof. Themelis Nickolas, (September 2012), “Small Scale Waste-to-Energy Technologies”, Department of Earth and Environmental Engineering, Columbia University.

[28]. Eunomia Research & Consulting Ltd., (2009), “Economic Analysis of Options for Managing Biodegradable Municipal Waste”, Final Report to the European Commission.

[29]. European Commission, (August 2006), “Integrated Pollution Prevention and Control, Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration”.

[30]. Murphy J.D. & McKeogh E., (December 2003), “Technical, economic and environmental analysis of energy production from municipal solid waste”, Renewable Energy 29 (2004) 1043–1057.

[31]. Klein Alexander, Advisor: Prof. Themelis Nickolas, (May 2002), “Gasification: An Alternative Process for Energy Recovery and Disposal of Municipal Solid Wastes”, Department of Earth and Environmental Engineering Fu Foundation School of Engineering and Applied Science, Columbia University.

[32]. Ξένη Βασιλική, (Ιούλιος 2013), “Μελέτη βιωσιμότητας της μεθόδου αεριοποίησης υπολειμματικών καυσίμων από αστικά απορρίμματα μέσω διερεύνησης περιβαλλοντικών και τεχνοοικονομικών παραγόντων”, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Θερμότητας, ΕΜΠ.

[33]. Browne James, Nizami Abdul-Sattar, Thamsiroj T, Murphy Jerry D., (5 July 2011), “Assessing the cost of biofuel production with increasing penetration of the transport fuel market: A case study of gaseous biomethane in Ireland”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 4537– 4547.

[34]. Θεοπούλου Γιανούλλα, (Φεβρουάριος 2013), “Σύγκριση βιολογικών μεθόδων αξιοποίησης του προδιαλεγμένου οργανικού κλάσματος των Αστικών Σύμμεικτων Απορριμμάτων βάσει των αρχών της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής”, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Θερμότητας, ΕΜΠ.

[35]. Matheri Anthony Njuguna, Sethunya Vuiswa Lucia, Belaid Mohamed, Muzenda Edison, (16 June 2017), “Analysis of the biogas productivity from dry anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste”.

[36]. De Baere Luc & Mattheeuws Bruno, (2015), “Anaerobic Digestion of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste in Europe – Status, Experience and Prospects–”

[37]. Λυμπεράτος Γεράσιμος, Καθηγητής, “Παραγωγή Ενέργειας μέσω Αναερόβιας Χώνευσης Στερεών Αποβλήτων και Υπολειμμάτων”, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών.

[38]. Bekon brochure: “Energy for the future dry fermentation, Innovative Solutions for Municipalities and Waste Management Companies”.

[39]. Καρέλλας Σωτήριος, Αναπληρωτής Καθηγητής, (Ιούνιος 2016), “Καινοτόμες μέθοδοι ενεργειακής αξιοποίησης απορριμμάτων, Καύση-Αεριοποίηση-BNL-Αναερόβια Χώνευση”, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων, Ε.Μ.Π.

[40]. Favoino Enzo, Confalonieri Alberto, Boyer Francesco in cooperation with: Amlinger Florian, (14 June 2013), "Development of Legal Framework on Bio-Waste Management and Establishment of Quality Assurance System for Compost and National Organisation of Quality Assurance for the Compost", STAGE III, Part II: Technical Requirements for Anaerobic Digestion.

[41]. Li Yebo, Park Stephen Y., Zhu Jiying (16 July 2010), "Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2011) 821–826.

[42]. Garcia Adriana Perez, (2014), "Techno-economic feasibility study of a small-scale biogas plant for treating market waste in the city of El Alto".

[43]. Ohioline, Ohio State University Extension, "Solid-state anaerobic digestion for energy production from organic waste". Available from:
<https://ohioline.osu.edu/factsheet/aex-653-11>

[44]. California Integrated Waste Management Board (March 2008), "Current Anaerobic Digestion Technologies Used for Treatment of Municipal Organic Solid Waste".

[45]. Montejó C., Ramos P., Costa C., Márquez M.C., (June 2010), "Analysis of the presence of improper materials in the composting process performed in ten MBT plants", *Bioresource Technology* 101 (2010) 8267–8272.

[46]. Gkamarazi N., (2015), "Implementing anaerobic digestion for municipal solid waste treatment: challenges and prospects". Mesogeos SA, Environmental Solution Department.

[47]. Montejó Cristina, Costa Carlos, Ramos Pedro, Márquez Maria Del Carmen (March 2011), "Analysis and comparison of municipal solid waste and reject fraction as fuels for incineration plants", Chemical Engineering Department, University of Salamanca.

[48]. Tonini Davide, Martínez Sánchez Verónica, Astrup Thomas Fruergaard, (2013), "Material Resources, Energy, and Nutrient Recovery from Waste: Are Waste Refineries the Solution for the Future?", Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark.

[49]. Colón J., Ponsá S., Álvarez C., Vinot M., Lafuente F.J., Gabriel D., Sánchez A., (30 March 2017), "Analysis of MSW full-scale facilities based on anaerobic digestion and/or composting using respiration indices as performance indicators", *Bioresource Technology* 236 (2017) 87–96.

[50]. Herbst Virginie, (2014), "New ways to make MBT sustainable Bio-drying for RDF production".

[51]. National Technical University of Athens and Municipality of Papagos- Cholargos, (March 2011), "Development and demonstration of an innovative household dryer for the treatment of organic waste. Deliverable 10: Report on existing methods and techniques (best examples and good practices) on household organic waste management and treatment, including large scale drying systems".

- [52]. BEKON dry fermentation technology. Available from: http://www.spin-project.eu/index.php?node_id=58.54&lang_id=1
- [53]. RIS International LTD., (April 2005), "Feasibility of Generating Green Power through Anaerobic Digestion of Garden Refuse from the Sacramento Area".
- [54]. Herhof GmbH brochure: "Waste Treatment Technologies".
- [55]. De Mes T.Z.D., Stams A.J.M., Reith J.H. and Zeeman G. (2003), "Methane production by anaerobic digestion of wastewater and solid wastes".
- [56]. Καρέλλας Σωτήριος, Αναπληρωτής Καθηγητής, (Ιούνιος 2016), "Καινοτόμες μέθοδοι ενεργειακής αξιοποίησης απορριμμάτων, Καύση-Αεριοποίηση-BNL-Αναερόβια Χώνευση", Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Εργαστήριο Ατμοκινητήρων και Λεβήτων, Ε.Μ.Π.
- [57]. Antonopoulos I.-S., Karagiannidis A., Kalogirou E., (2010), "Estimation of municipal solid waste heating value in Greece in the frame of formulating appropriate scenarios of waste treatment" Aristotle University, Department of Mechanical Engineer, Laboratory of Heat Transfer and Environmental Engineer.
- [58]. Vanderreydt I., Van der Linden A., Van Hoof V., Vrancken K., Wenzel H., Ahmed N. S., "Analytical review of comparative environmental assessments of incineration and co-incineration of waste", Final Report, (EURITS 2009). Αντλήθηκε από www.eurits.info
- [59]. Barth J., Amlinger F., Favoino E., Siebert S., Kehres B., Gottschall R., Bieker M., Löbig A. and Bidlingmaier W., (2008), "Compost Production and Use in the European Union", Report for the European Commission DG/JRC.
- [60]. Harris Thomas R., Dick Robert M., Man-Keun Kim, Oliver Anthony and Coronella Charles (March 2011), "Economic Analysis of Waste Recycling Options for Washoe County", University of Nevada, Reno, Center for economic development.
- [61]. Pressley Phillip N., Levis James W., Damgaard Anders, Barlaz Morton A., DeCarolis Joseph F. (14 September 2014), "Analysis of material recovery facilities for use in life-cycle assessment". Waste Management, 2015, Volume 35: p. 307-317.
- [62]. Tsilemou Konstantinia, Panagiotakopoulos Demetrios, (March 2007), "Economic Assessment of Mechanical-Biological Treatment Facilities", Laboratory of Project Management, Department of Civil Engineering, Democritus University of Thrace.
- [63]. Āriņa Dace, Kļavenieks Kaspars, Burlakovs Juris, (2014), "The Cost-estimation of Mechanical Pre-treatment Lines of Municipal Solid Waste in Latvia", Latvia University of Agriculture (LLU).
- [64]. Εταιρεία Περιβαλλοντικών Μελετών Α.Ε. Available from: <http://www.epem.gr/waste-c-control/database/html/costdata-00.htm>
- [65]. Combs A., (2012), "Life Cycle Analysis of Recycling Facilities in a Carbon Constrained World", Environmental Engineering, North Carolina State University: Raleigh, North Carolina.
- [66]. ΗΛΕΚΤΩΡ Α.Ε.: <http://www.helector.gr/>

[67]. Stegmann R., Heyer K.-U., Hupe K., (3 August 2015), "Mechanical biological pretreatment and energetic recovery of RDF fractions in Germany: Processing and costs".

[68]. Eunomia Research & Consulting Ltd., (2009). Final Report to DG Environment, European Commission, "Assessment of the options to improve the management of bio-waste in the European Union, Annex E: Approach to estimating costs". ARCADIS Project number - 11/004759, Version A.

[69]. Karellas Sotirios, Boukis Ioannis, Kontopoulos Georgios (2009), "Development of an investment decision tool for biogas production from agricultural waste". Renewable and Sustainable Energy Reviews (2010), 1273-1282.

[70]. Mesogeos SA, Environmental Solution Department. Available from: <http://mesogeos.gr/>

[71]. Jenbacher gas engines brochure (May 22, 2009). Available from: http://www.piesa.com/Portals/36/Documents/PIESAConference/Jenbacher_gas_engines_renewables_1-1.pdf

[72]. ΦΕΚ, ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 4414, "Νέο καθεστώς στήριξης των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης - Διατάξεις για το νομικό και λειτουργικό διαχωρισμό των κλάδων προμήθειας και διανομής στην αγορά του φυσικού αερίου και άλλες διατάξεις".

[73]. Κουρκούμπας Δημήτριος-Σωτήριος, (Οκτώβριος 2010), "Συγκριτική ανάλυση κύκλου ζωής ενεργειακής αξιοποίησης αστικών απορριμμάτων", Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

[74]. Δημητριάδης Σάββας, (Ιούνιος 2011), "Σχεδιασμός και μελέτη βιωσιμότητας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών, σε ηλεκτρισμό, του κτιρίου Ι (ΜΠΔ) της Πολυτεχνικής Σχολής Ξάνθης του Δ.Π.Θ." Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυτεχνική Σχολή.

[75]. Κακαράς Ε. - Καρέλλας Σ., (Μάρτιος 2016), "Διεσπαρμένη Παραγωγή, Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας".

[76]. Tonini Davide and Astrup Thomas, (September 2011), "Life-cycle assessment of a waste refinery process for enzymatic treatment of municipal solid waste". Waste Management, 2012. Volume 32, Issue 1: p. 165-176.

[77]. BNL Clean Energy. Available from: <http://bnlce.com/en/info/downloads>

[78]. BNL Clean Energy. Available from: <http://www.bnl.in.com>