



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Α.Π.Ε.)»

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΠΟΥ ΠΑΡΑΓΕΤΑΙ ΣΤΑ ΟΡΙΑ ΑΣΤΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ



ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΔΙΑΜΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ [ΑΜ: 8]  
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Τ.Ε.

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΡ. ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑΡΑΣ

ΠΑΤΡΑ 2016

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του 1<sup>ου</sup> Μεταπτυχιακού Προγράμματος, διετούς φοίτησης (2013-2015), του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδος, με τίτλο: «*Συστήματα Ανανέωσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)*».

Η εργασία πραγματεύεται την ενεργειακή διαχείριση της παραγόμενης βιομάζας στα όρια επαρχιακής πόλης. Συγκεκριμένα, προτείνεται η ενεργειακή αξιοποίηση των εκλυόμενων ποσοτήτων αερίου από χώρους απόρριψης και υγειονομικής ταφής - ΧΑΔΑ, ΧΥΤΑ & ΧΥΤΥ - των αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ) με σκοπό την παραγωγή Ηλεκτροθερμικής Ενέργειας. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο ανάπτυξης της μελέτης περίπτωσης (κεφ. 5) αποτελούν προϊόν παραμετροποίησης και χρήσης ειδικού λογισμικού. Τα εξαγόμενα στοιχεία δίνουν σημαντικές πληροφορίες για την αξιολόγηση της τεχνολογίας ενεργειακής εκμετάλλευσης των εκλυόμενων αερίων από χώρους απόθεσης ΑΣΑ, τα οποία σχετίζονται με: στοιχεία τεχνο-οικονομικής φύσης, δηλαδή στοιχεία ισχύος/ενέργειας, κόστη εγκατάστασης, και περιβαλλοντικά αποτελέσματα, δηλαδή εκπεμπόμενες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου είτε που δεν εκλύονται (CO<sub>2</sub>) λόγω της μη χρήσης ορυκτών καυσίμων, είτε που χρησιμοποιούνται ως καύσιμο (CH<sub>4</sub>) για την παραγωγή ενέργειας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή και επιβλέποντα της διπλωματικής μου Δρ. Διονύση Παναγιωτάρα για τη βοήθειά του, καθώς και για την εμπιστοσύνη και συμβολή του στη δημοσίευση της εργασίας μου στην ενότητα ΒΙΟΜΑΖΑ.

Επίσης, σπουδαίο ρόλο διαδραμάτισαν η σύζυγός μου Σοφία, η μητέρα μου και τέλος, οι θείοι μου Γιάννης και Βάσω. Τους ευχαριστώ για όλα!

Τέλος, για την κατανόηση του αντικειμένου και τη συγγραφή της εργασίας πλήθος πληροφοριών αντλήθηκαν μέσω κατ' ιδίαν συναντήσεων και τηλεφωνικών επικοινωνιών με τις εξής εταιρίες και τις οποίες ευχαριστώ: *ΚΑΠΕ*: κ. Ελευθεριάδης Γ., *ΔΕΔΔΗΕ*: κ. Αναγνωστόπουλος Π., *EASY2FIND*: κ. Λιάσκος Σ., *BEAL AE*: κ. Μπούκης Α. & κ. Βαγενάς Δ., *ΦΙΛΙΠΠΟΠΟΥΛΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΤΕ*: κ. Φιλιππόπουλος Ν., *EXPRESS ΑΠΟΛΥΜΑΝΤΙΚΗ*: κ. Γαζής Ν., *ΕΚΚΟΚΚΙΣΤΗΡΙΑ ΒΑΜΒΑΚΟΣ ΜΙΧΑΣ*: κ. Κομπότης Τ. & κ. Καραϊσκος Κ., *CALDA ENERGY*: κα. Φραγκοπούλου Ε.

**Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητή:** Ως ο κάτωθι υπογεγραμμένος φοιτητής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Διπλωματικής Εργασίας, έχοντας δε αναφέρει στη Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδος.

*Απρίλιος 2016*

*Νικόλαος Διαμαντόπουλος*



## ΑΦΙΕΡΩΣΗ

*Η εργασία είναι ιδιαίτερος αφιερωμένη*

*στον θείο μου Γιάννη,*

*του οποίου οι διδαχές θα με εμπνέουν για πάντα ....*

---

**«Ο ΕΧΘΡΟΣ ΤΟΥ ΚΑΛΟΥ ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΚΑΛΙΤΕΡΟ.  
ΣΥΜΜΑΧΗΣΕ ΜΑΖΙ ΤΟΥ!»**

*Γιάννης Διαμαντόπουλος (1947 – 2015)*



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το θέμα της παρούσας εργασίας είναι η ενεργειακή διαχείριση της παραγόμενης βιομάζας στα όρια αστικής περιοχής. Η επιλεγμένη τεχνολογία σχετίζεται με την ανάκτηση και την ενεργειακή αξιοποίηση των εκλυόμενων αερίων (υψηλής περιεκτικότητας σε CH<sub>4</sub>) προερχόμενα από τους εξωτερικούς χώρους απόρριψης και ταφής των αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ). Η μελέτη πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια προγράμματος προσομοίωσης, εφαρμόζοντας διάφορα σενάρια. Η βάση δεδομένων του προγράμματος αυτού περιέχει αριθμητικά δεδομένα από πραγματικές εφαρμογές εγκατεστημένες στις ΗΠΑ.

Η ανάλυση του θέματος αναπτύσσεται σε τρία μέρη: στην εισαγωγή, στο κυρίως θέμα που αποτελείται από έξι κεφάλαια και στον επίλογο. Το εισαγωγικό μέρος αναφέρεται συνοπτικά στις τεχνολογίες αξιοποίησης της βιομάζας και σε διάφορες εφαρμογές ενεργειακών μονάδων κάνοντας χρήση των παραγόμενων αστικών στερεών αποβλήτων. Επίσης, περιγράφονται τα βασικά στοιχεία που απαιτεί μια ολοκληρωμένη οικονομική αξιολόγηση ενεργειακής μονάδας. Τα έξι κεφάλαια του κυρίως θέματος αναλύονται στις ακόλουθες παραγράφους. Τέλος, στον επίλογο γίνονται κάποια γενικά σχόλια σχετικά με την ενεργειακή διαχείριση της βιομάζας και των ΑΣΑ με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους, και συνοψίζονται τα συμπεράσματα της μελέτης περίπτωσης.

Στο *κεφάλαιο 1* περιγράφονται οι κατηγορίες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), στη συνέχεια αναφέρονται οι στρατηγικές προώθησης των ΑΠΕ που εφαρμόζονται λόγω των κλιματικών αλλαγών και της έντονης ενεργειακής ζήτησης, ενώ τέλος γίνεται λόγος για τον βαθμό εφαρμογής τους τόσο σε Ευρωπαϊκό όσο και σε Ελληνικό επίπεδο.

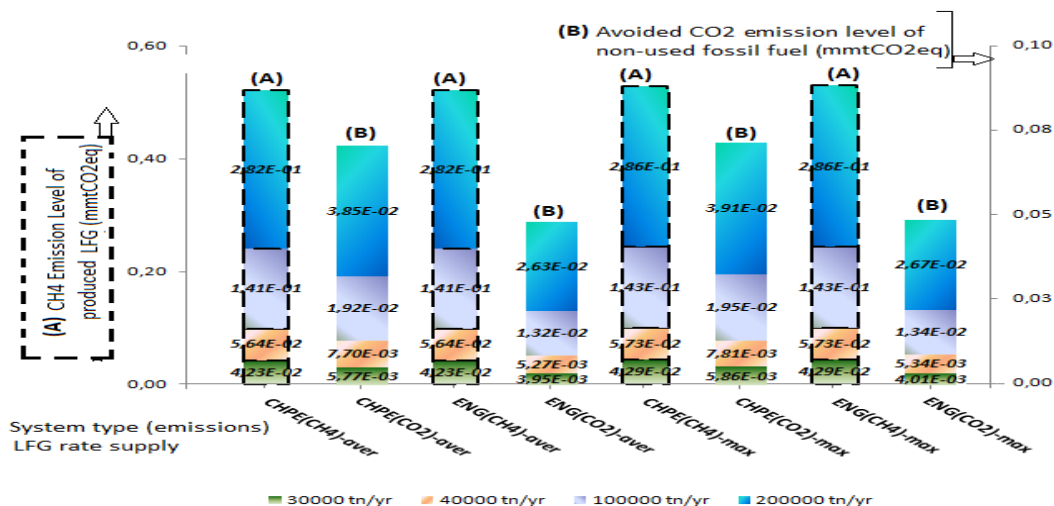
Στο *κεφάλαιο 2* εισάγεται η έννοια της Βιομάζας. Η προέλευση, τα είδη και οι μέθοδοι μετατροπής της βιομάζας είναι τα κύρια πεδία που αναλύονται στις πρώτες ενότητες. Κατόπιν, το κεφάλαιο συνεχίζει με την περιγραφή των διαφόρων εφαρμογών με καύσιμο τη βιομάζα, όπως παραγωγή θερμότητας με τη χρήση συστημάτων θέρμανσης και ζεστού ατμού, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, καθώς και χρήση της βιομάζας στον τομέα μεταφορών και συγκοινωνιών. Στην τελευταία ενότητα συνοψίζονται τα θετικά και τα αρνητικά σημεία της χρήσης της βιομάζας.

Το *κεφάλαιο 3* αποτελεί το εισαγωγικό κεφάλαιο των αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ), στο πρώτο μέρος του οποίου δίνεται βαρύτητα στις έννοιες σκουπίδια, απόβλητα και απορρίμματα και στη σημασία αυτών. Το δεύτερο μέρος του κεφαλαίου περιλαμβάνει τους τρόπους διαχείρισης των ΑΣΑ, δηλαδή τους εξωτερικούς χώρους απόρριψης και ταφής, ΧΑΔΑ, ΧΥΤΑ και ΧΥΤΥ, αλλά και τις διαδικασίες ανακύκλωσης και κομποστοποίησης. Στον επίλογο του κεφαλαίου προτείνεται μια ολοκληρωμένη αλυσίδα διαχείρισης, η οποία αφορά τη συλλογή, μεταφορά, επεξεργασία και ενεργειακή διαχείριση των ΑΣΑ.

Στο *κεφάλαιο 4* παρουσιάζεται η ενεργειακή τεχνολογία που εφαρμόζεται. Η πρώτη ενότητα ορίζει το εκλυόμενο αέριο καύσιμο (LFG) από τους χώρους ΧΑΔΑ/ΧΥΤΑ, όπως επίσης περιγράφονται και οι φάσεις δημιουργίας του κατά την αποσύνθεση των ΑΣΑ. Ακολουθεί η τεχνική περιγραφή μονάδας ανάκτησης LFG με όλα τα απαραίτητα συστήματα συλλογής, επεξεργασίας και διανομής του αερίου καυσίμου μέχρι τις διατάξεις όπου γίνεται η χρήση του για την παραγωγή ενέργειας. Το κεφάλαιο κλείνει με το τυπικό σκαρίφημα μονάδας συμπαραγωγής (CHP).

Στο κεφάλαιο 5 αναλύεται η μελέτη περίπτωσης (case study). Επιλέγεται η πόλη της Λιβαδειάς, 21.379 κατοίκων, με ετήσιες ενεργειακές ανάγκες – 200.460 MWh<sub>e</sub>/yr – οι οποίες επιχειρείται να καλυφθούν, κατά ένα ποσοστό, από την τεχνολογία ανάκτησης εκλυόμενων αερίων από χώρους ΑΣΑ. Η κύρια εφαρμοζόμενη μεθοδολογία βασίζεται στη χρήση του λογισμικού *LFGcost-WEB V.3.0 2014* που έχει αναπτυχθεί στην Αμερική, με τη βάση δεδομένων να περιλαμβάνει τεχνο-οικονομικά και περιβαλλοντικά στοιχεία από πραγματικές εφαρμογές. Το επόμενο σκέλος της μεθοδολογίας στηρίζεται στην εφαρμογή σεναρίων, όπου ξεχωρίζονται τέσσερις περιπτώσεις ετήσιας δυναμικότητας απόρριψης ΑΣΑ (30, 40, 100 και 200x10<sup>3</sup> tn/yr). Επίσης, για τα συστήματα ενεργειακής αξιοποίησης των αερίων καυσίμων που αποτελούνται από μηχανές εσωτερικής καύσης, επιλέγονται δύο τύποι υποθετικών σεναρίων: ένα σύστημα που παράγει μόνο ηλεκτρική ενέργεια (ENG) και ένα σύστημα συμπαραγωγής, όπου παράγεται ηλεκτρική αλλά και θερμική ενέργεια (CHPE).

Η εκτέλεση του λογισμικού εξάγει τεχνο-οικονομικά και περιβαλλοντικά αποτελέσματα των δύο τύπων συστημάτων, ENG και CHPE. Από τα αποτελέσματα και τις γραφικές συγκρίσεις φαίνεται πως οι μεγαλύτερες μονάδες πετυχαίνουν καλύτερο βαθμό αποπληρωμής (μικρότερο αριθμό ετών) λόγω των θεωριών *οικονομιών κλίμακας*. Αν και τα συστήματα συμπαραγωγής παρουσιάζουν υψηλότερο κόστος εγκατάστασης συγκρινόμενα με τα συστήματα ENG, ωστόσο έχουν χαμηλότερο ετήσιο κόστος εργασιών και συντήρησης, όπως επίσης υψηλότερο βαθμό απόδοσης λόγω της τεχνολογίας ανάκτησης ποσοτήτων θερμότητας, οπότε και βελτιωμένο περιβαλλοντικό αντίκτυπο ως προς τις εκπεμπόμενες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου, CH<sub>4</sub> και CO<sub>2</sub> (βλ. επόμενο γράφημα). Στη συνέχεια του κεφαλαίου παρουσιάζεται ένα ιδανικό σενάριο για την επιλεγμένη περιοχή και τέλος συνοψίζονται τα γενικότερα σχόλια της μεθοδολογίας και των αποτελεσμάτων.



Γράφημα αερίων εκπομπών CH<sub>4</sub> vs CO<sub>2</sub> σε μονάδες mmtCO<sub>2</sub>eq, συστημάτων CHPE & ENG

Στο τελευταίο κεφάλαιο 6 διατυπώνονται όλοι εκείνοι οι κανονισμοί (ISO) και οι αντίστοιχοι νόμοι που οφείλει κάθε επιχείρηση και ιδιαίτερα οι ενεργειακές μονάδες να εφαρμόζουν, ώστε να εξασφαλίζεται το τρίπτυχο Υγεία & Ασφάλεια – Περιβάλλον – Ποιότητα. Στην τελευταία ενότητα αναφέρονται οι διαδικασίες και το περιεχόμενο ενός φακέλου έργου που σχετίζονται με την αδειοδότηση ενεργειακών μονάδων βιομάζας.

# ABSTRACT

The present thesis focuses on the energy management of the biomass produced in an urban area. The selected technology has to deal with the recovery and energy handling of gaseous (high concentration of CH<sub>4</sub>) originating from the external dumps and landfills. The study was carried out by applying a simulation program, using different scenarios, whose database is based on real applications installed in the USA.

The subject analysis is developed in three parts: introduction, six main subject chapters and an epilogue. The introductory part refers primarily, and briefly, on biomass utilization technologies and secondarily in various power plants applications using the available amounts of MSW. The main theme six chapters are discussed in the following paragraphs, and finally the concluding section presents some general comments on the pros and cons of biomass and MSW energy management, and summarizes the case study conclusions.

In *chapter 1*, the different renewable energy sources types firstly described (RES), and then the promotion strategies of RES, implemented due to climate change and of the strong energy demand, are listed, while at the end the rate of penetration, in both Europe and Greece, is discussed.

*Chapter 2* introduces the concept of biomass. The origin of biomass, the different kinds and biomass conversion processes are the main discussion frames in the first sections. Then, follows the description of various applications using fuels based in biomass like, heat generation by applying heating systems, the use of hot steam, electricity generation, cogeneration systems (heat and power) and the use of biomass in the field of transport. The final section summarizes the biomass positive and negative aspects.

*Chapter 3* is the introductory chapter of MSW issue. The first part focuses on the concepts of garbage and wastes. The second part of the chapter includes ways of MSW management, as the external disposal places and landfills and the processes of recycling and composting. In the epilogue an integrated chain on collection, processing, transport and energy management of MSW is proposed.

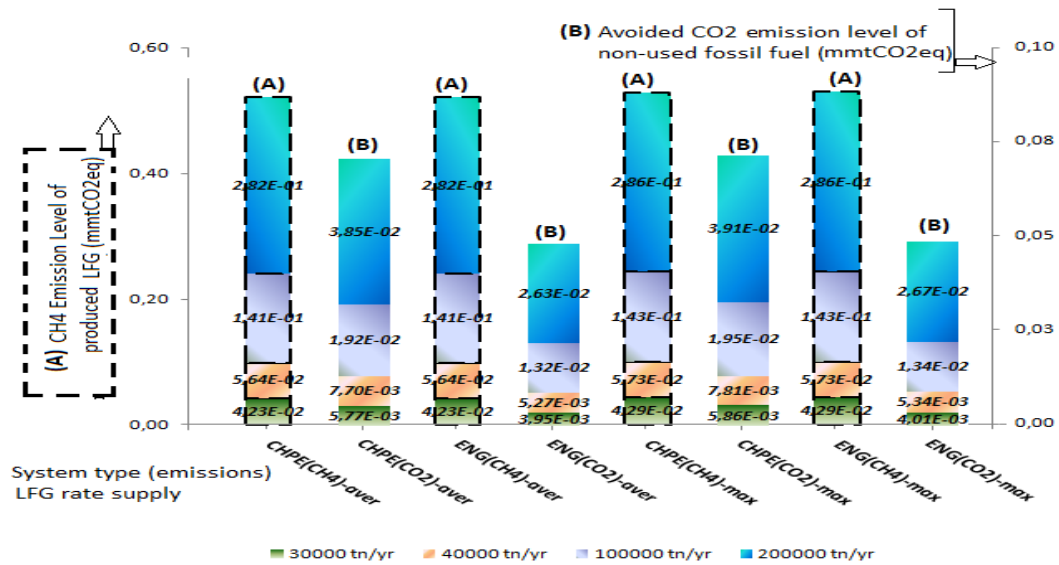
In *chapter 4* the applied energy technology is presented. The first section defines the type of gas fuel derived from uncontrolled landfills and landfill sites (LFG), as well as its genesis phases, due to the MSW decomposition, is described. The technical description, of LFG recovery unit with the necessary gaseous fuel collection, treatment and distribution systems, follows. The chapter ends with a typical cogeneration unit (CHP) configuration.

*Chapter 5* is based on the case study's analysis. Site of Livadia is selected, with a population of 21.379 residents, whose annual energy needs - 200.460 MWhe/yr - attempted to be covered at a rate by applying gaseous recovery technology, derived from dumps and landfills. The main methodology used is based on chosen software, *LFGcost-WEB V.3.0 2014*, developed in America and its database includes techno-economic and environmentally data from existing applications. In next stage various scenarios used, related to the annual capacity of MSW produced (30, 40, 100 and 200x10<sup>3</sup> tn/yr). Also, for gaseous fuel energy recovery systems, consisting of internal combustion engines (ICE), two types of hypothetical scenarios are chosen: a system that only generates electricity (ENG) and a cogeneration system, generating both electricity and heat (CHPE).

When the software runs for each selected scenario, results as techno-economic and environmental exported, which are contained both in tables and



comparison charts between two scenarios types, ENG and CHPE. From the results and graphical comparisons seem that larger energy plants (high installed power) achieve better grade payback period (lesser number of years) due to scale of economies theory. Although CHP systems have a higher installation cost, compared to the ENG systems, however, have lower annual operation and maintenance costs, as well have higher performance, due to the heat recovery technology, therefore their environmental impact in terms of greenhouse gaseous emissions, CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> (see next graph). Afterwards, an ideal scenario for the selected area is presented, and in the chapters ends the general comments of the methodology and results are summarized.



Bar chart of CH<sub>4</sub> vs CO<sub>2</sub> gas emissions level in mmtCO<sub>2</sub>eq, for CHPE & ENG systems

Finally, in *chapter 6* all those regulations (ISO) and the corresponding rules are expressed, that have by each company to apply, and mainly by an energy plant, ensuring the triptych Health & Safety - Environment - Quality. The last section lists the procedures and the content of a project file related to licensing of an energy biomass plants.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	i
<b>ΑΦΙΕΡΩΣΗ</b> .....	iii
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	v
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> .....	ix
<b>ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ &amp; ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ</b> .....	xv
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	
1. Γενικά Στοιχεία για την Παραγωγή Ενέργειας από Βιομάζα.....	3
2. Εκτιμήσεις & Εφαρμογές Ενεργειακής Διαχείρισης των ΑΣΑ.....	4
2.1. Απόβλητα και Ενέργεια στην Αφρική.....	4
2.2. Ενεργειακή Μονάδα με Χρήση ΑΣΑ στη Βουλγαρία.....	5
2.3. Έλλειψη Σκουπιδιών στη Σουηδία Λόγω Συστηματικής Χρήσης τους από Κέντρα Παραγωγής Ενέργειας.....	6
2.4. Παραγωγή Ενέργειας απο ΑΣΑ στο Καππολεί της Νήσου Χονολούλου (Χαβάη).....	6
2.5. ΒΕΑΛ ΑΕ: Μονάδα Βιοαερίου στον ΧΑΔΑ & ΧΥΤΑ Α. Λιοσίων (Νομός Αττικής) για την Παραγωγή Ηλεκτρικής & Θερμικής Ενέργειας.....	8
3. Οικονομική Αξιολόγηση Ενεργειακών Μονάδων.....	8
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΑΠΕ)</b>	
1. Εισαγωγή Κεφαλαίου.....	13
1.1 Κατηγορίες των ΑΠΕ.....	13
1.2 Στρατηγικές Προώθησης των ΑΠΕ.....	14
1.3 Διείσδυση των ΑΠΕ στις Ευρωπαϊκές Χώρες.....	16
1.4 Εξέλιξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα.....	16
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΙΟΜΑΖΑ</b>	
2. Εισαγωγή Κεφαλαίου.....	21
2.1 Η Βιομάζα Διεθνώς και στην Ελλάδα.....	21
2.2 Τι είναι η Βιομάζα και ποιες είναι οι Μορφές της.....	23
2.2.1 Προέλευση της Βιομάζας.....	23
2.2.2 Μορφές της Βιομάζας.....	23
2.2.2.1 Ενεργειακές Καλλιέργειες.....	23
2.2.2.2 Υπολειμματικά Είδη Βιομάζας.....	24
2.3 Σύσταση και Επεξεργασία της Παραγόμενης Βιομάζας.....	25
2.3.1 Σύσταση της Βιομάζας.....	25
2.3.2 Επεξεργασία της Παραγόμενης Βιομάζας.....	26
2.4 Μέθοδοι Μετατροπής της Βιομάζας.....	26
2.4.1 Καύση.....	26

2.4.2	Πυρόλυση.....	27
2.4.3	Αεριοποίηση.....	27
2.4.4	Αναερόβια Χώνευση.....	27
2.4.5	Παράγοντες Επίδρασης στις Θερμικές και Βιοχημικές Μεθόδους.....	27
2.5	Εφαρμογές της Βιομάζας.....	28
2.5.1	Παραγωγή Θερμότητας.....	28
2.5.1.1	Συστήματα Θέρμανσης.....	28
2.5.1.2	Χρήση Παραγόμενου Ατμού.....	30
2.5.2	Παραγωγή Ηλεκτρισμού.....	30
2.5.3	Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού & Θερμότητας (ΣΗΘ).....	30
2.5.4	Χρήση Βιομάζας στις Μεταφορές.....	31
2.5.5	Παραδείγματα Ενεργειακών Εφαρμογών.....	31
2.6	Οφέλη και Μειονεκτήματα από τη Χρήση της Βιομάζας.....	32

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΑΣΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ (ΑΣΑ) & ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ**

3.	Εισαγωγή Κεφαλαίου.....	35
3.1	Αστικά Στερεά Απόβλητα (ΑΣΑ).....	35
3.1.1	Απόβλητα/ Απορρίμματα/ Υπολείμματα.....	35
3.1.2	Βιοαποικοδομήσιμα Απόβλητα.....	36
3.2	Διαχείριση των ΑΣΑ.....	36
3.2.1	Χώροι Διάθεσης & Ταφής ΑΣΑ.....	36
3.2.1.1	ΧΑΔΑ: Χώροι Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων.....	36
3.2.1.2	ΧΥΤΑ: Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων.....	37
3.2.1.3	ΧΥΤΥ: Χώροι Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων.....	38
3.2.2	Ανακύκλωση.....	39
3.2.3	Κομποστοποίηση.....	39
3.2.4	Ολοκληρωμένη Διαχείριση ΑΣΑ.....	40

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΕΚΛΥΟΜΕΝΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΑΠΟ ΧΩΡΟΥΣ ΑΠΟΡΡΙΨΗΣ & ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ ΑΣΑ (LFG-RES)**

4.	Εισαγωγή Κεφαλαίου.....	45
4.1	Εκλυόμενο Αέριο (LFG).....	45
4.2	Τεχνική Περιγραφή Τεχνολογίας Ανάκτησης LFG.....	47
4.2.1	Σύστημα Διαχείρισης LFG.....	49
4.2.1.1	Συλλογή Αερίου.....	49
4.2.1.2	Κεντρικός Σταθμός Συλλογής και Διανομής προς τη Μονάδα Αερίου.....	52
4.2.1.3	Φυσητήρας (blower).....	53
4.2.1.4	Επεξεργασία Αερίου.....	53
4.2.1.5	Συσκευή Καύσης Αερίου (flare).....	55
4.2.2	Διάταξη Συστήματος Παραγωγής Ενέργειας.....	55

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ:ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ LFG-RES**

5.	Εισαγωγή Κεφαλαίου.....	63
5.1	Χαρακτηριστικά Επιλεγμένης Περιοχής.....	63
5.1.1	Πληθυσμιακό Προφίλ Ενεργειακής Κατανάλωσης.....	64
5.1.2	Διαθέσιμο Ποσοτικό & Ποιοτικό Δυναμικό Εκλυόμενου Αερίου.....	64
5.2	Μεθοδολογία Προσομοίωσης & Ανάλυση Αποτελεσμάτων.....	65
5.2.1	Λογισμικό LFGcost-WEB: Γενικές Πληροφορίες.....	65
5.2.2	Δομή Λογισμικού.....	66
5.2.2.1	Κατάλογος Έργων.....	66
5.2.2.2	Βάση Οικονομικών Δεδομένων.....	66
5.2.2.3	Οικονομικοί Δείκτες.....	66
5.2.2.4	Λογικό Διάγραμμα Ροής Οικονομικής Αξιολόγησης.....	66
5.2.2.5	Δεδομένα Εισόδου (Inputs) & Εξόδου (Outputs).....	66
5.3	Σενάρια, Παραμετροποιήσεις & Ανάλυση Αποτελεσμάτων.....	66
5.3.1	Επιλεγμένα Σενάρια & Παραμετροποιήσεις.....	67
5.3.2	Παρουσίαση & Ανάλυση Αποτελεσμάτων.....	69
5.3.3	Ιδανικό Σενάριο.....	80
5.4	Σύνοψη Μεθοδολογίας & Αποτελεσμάτων.....	83

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΥΓΕΙΪΝΗ & ΑΣΦΑΛΕΙΑ - ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ - ΠΟΙΟΤΗΤΑ και ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗΣ**

6.	Εισαγωγή Κεφαλαίου.....	89
6.1	Τρίπτυχο: Υγεία & Ασφάλεια - Περιβάλλον – Ποιότητα.....	89
6.1.1	Υγεία & Ασφάλεια.....	89
6.1.1.1	Πρότυπα Υγείας & Ασφάλειας.....	90
6.1.1.2	Νόμοι Σχετιζόμενοι με τις Συνθήκες Υγείας & Ασφάλειας.....	90
6.1.2	Περιβάλλον.....	91
6.1.2.1	Πρότυπα Περιβάλλοντος.....	91
6.1.2.2	Νόμοι Σχετιζόμενοι με την Προστασία του Περιβάλλοντος.....	92
6.1.3	Ποιότητα.....	93
6.1.3.1	Πρότυπα Ποιότητας.....	94
6.1.3.2	Νόμοι Σχετιζόμενοι με την Ποιότητα.....	94
6.2	Νομοθετικό Πλαίσιο Αδειοδότησης Ενεργειακών Μονάδων Βιομάζας.....	94

**ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ..... 101**

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... B-1**

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΟΡΙΣΜΟΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ..... ΠΑ-1**

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ LFGcost-WEB V.3.0 2014.... ΠΒ-1**

# CONTENTS

<b>PREFACE</b> .....	i
<b>DEDICATION</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>CONTENTS</b> .....	ix
<b>SYMBOLS &amp; ABBREVIATIONS</b> .....	xv
<b>INTRODUCTION</b>	
1. General Report in Biomass Energy Utility.....	3
2. Applications of MSW Energy Utility.....	4
2.1. Wastes and Energy in Africa.....	4
2.2. MSW Energy Power Plant in Bulgaria.....	5
2.3. Lack of Rubbish in Sweden Due of their Systematic Utility in Energy Power Plants.....	6
2.4. Power Production from MSW in Honolulu Kapolei Island (Hawaii).....	6
2.5. BEAL SA: Biogas Energy Power Plant in Landfills of Ano Liosia (Attika_Greece).....	8
3. Financial Evaluation of Energy Power Plants.....	8
<b>CHAPTER 1. RENEWABLE ENERGY SOURCES (RES)</b>	
1. Chapter's Opening.....	13
1.1 Categorization of RES.....	13
1.2 Promotion Strategies of RES.....	14
1.3 Penetration of RES in Europe.....	16
1.4 Progress of RES in Greece.....	16
<b>CHAPTER 2. BIOMASS</b>	
2. Chapter's Opening.....	21
2.1 Biomass: Globally & in Greece.....	21
2.2 Meaning of Biomass and its Forms.....	23
2.2.1 Origin of Biomass.....	23
2.2.2 Forms of Biomass.....	23
2.2.2.1 Energy Crops.....	23
2.2.2.2 Residual Biomass Forms.....	24
2.3 Constitution and Processing of Biomass.....	25
2.3.1 Constitution of Biomass.....	25
2.3.2 Processing of Biomass.....	26
2.4 Conventions Methods of Biomass.....	26
2.4.1 Combustion.....	26
2.4.2 Pyrolysis.....	27

2.4.3	Gasification.....	27
2.4.4	Anaerobic Digestion .....	27
2.4.5	Factors Effect on Thermal and Biochemical Processing Methods.....	27
2.5	Energy Applications of Biomass.....	28
2.5.1	Heat Production.....	28
2.5.1.1	Heating Systems.....	28
2.5.1.2	Hot Steam Utility.....	30
2.5.2	Electricity Production.....	30
2.5.3	Combined Heat & Power (CHP).....	30
2.5.4	Transportation & Biomass.....	31
2.5.5	Implementations of Biomass.....	31
2.6	Pros & Cons of Biomass Utility.....	32
<b>CHAPTER 3. MUNICIPAL SOLID WASTES (MSW) &amp; MANAGEMENT</b>		
3.	Chapter's Opening.....	35
3.1	Municipal Solid Wastes (MSW).....	35
3.1.1	Waste/Residues.....	35
3.1.2	Biodegradable Wastes.....	36
3.2	Management of MSW.....	36
3.2.1	Disposal & Landfill MSW Areas.....	36
3.2.1.1	Uncontrolled Waste Disposal Areas.....	36
3.2.1.2	Landfills of Wastes.....	37
3.2.1.3	Landfills of Residues.....	38
3.2.2	Recycling.....	39
3.2.3	Composting.....	39
3.2.4	Integrated MSW Management.....	40
<b>CHAPTER 4. LANDFILL GAS RECOVERY ENERGY SYSTEM (LFG-RES)</b>		
4.	Chapter's Opening.....	45
4.1	Landfill Gas (LFG).....	45
4.2	LFG-RES Technical Description.....	47
4.2.1	Management System of LFG.....	49
4.2.1.1	Collection System of LFG.....	49
4.2.1.2	Main Collection & Distribution Station of LFG.....	52
4.2.1.3	Blower.....	53
4.2.1.4	Processing of LFG.....	53
4.2.1.5	Flare Device of LFG.....	55
4.2.2	Typical Configuration of a LFG-RES.....	55
<b>CHAPTER 5. CASE STUDY: TECHNO-ECONOMIC &amp; ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF LFG-RES</b>		
5.	Chapter's Opening.....	63
5.1	Selected Area Features.....	63

5.1.1	Power Consumption Profile.....	64
5.1.2	Quantitative and Qualitative Potential of LFG.....	64
5.2	Simulation Methodology & Results Analysis.....	65
5.2.1	LFGcost-WEB Software: General Information.....	65
5.2.2	Software Structure.....	66
5.2.2.1	Projects List.....	66
5.2.2.2	Economic Data Basis.....	66
5.2.2.3	Economic Indexes.....	66
5.2.2.4	Logical Flow Diagram of Economic Evaluation.....	66
5.2.2.5	Input & Output Data.....	66
5.3	Scenarios, Customization & Results Analysis.....	66
5.3.1	Chosen Scenarios & Customization.....	67
5.3.2	Results Presentation & Analysis.....	69
5.3.3	Ideal Scenario.....	80
5.4	Summary of Methodology & Results.....	83
<b>CHAPTER 6. HEALTH &amp; SAFETY - ENVIRONMENT - QUALITY AND LICENSING LEGISLATIVE FRAMEWORK</b>		
6.	Chapter's Opening.....	89
6.1	Triptych: Health & Safety - Environment - Quality.....	89
6.1.1	Health & Safety.....	89
6.1.1.1	Health & Safety Standards.....	90
6.1.1.2	Health & Safety Laws.....	90
6.1.2	Environment.....	91
6.1.2.1	Environment Standards.....	91
6.1.2.2	Environment Laws.....	92
6.1.3	Quality.....	93
6.1.3.1	Quality Standards.....	94
6.1.3.2	Quality Laws.....	94
6.2	Licensing Legislation of Biomass Energy Plants.....	94
<b>CONCLUSIONS.....</b>		<b>101</b>
<b>BIBLIOGRAPHY.....</b>		<b>B-1</b>
<b>APPENDIX A: ECONOMIC PARAMETERS DEFINITION.....</b>		<b>ПА-1</b>
<b>APPENDIX B: LFGcost-WEB V.3.0 2014 SOFTWARE INFORMATION.....</b>		<b>ΠΒ-1</b>

## ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

Btu:	British Thermal Units
CH <sub>4</sub> :	Μεθάνιο
CO <sub>2</sub> :	Διοξείδιο του Άνθρακα
ft <sup>3</sup> :	Κυβικά πόδια
GW:	Giga Watt
GW <sub>e</sub> :	Giga Watt electrical
km:	Kilo Meters
KW:	Kilo Watt
kwh:	kilowatt –hours
mmtCO <sub>2</sub> eq:	million metric tons CO <sub>2</sub> equivalent
MW:	Mega Watt
tn/yr:	tons/year
TW:	Tera Watt

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΑΔΜΗΕ:	Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΑΠΕ:	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
Αρ.	Άρθρο
ΑΣΑ:	Αστικά Στερεά Απόβλητα
ΒΔ:	Βορειοδυτικά
ΒΙΠΑ:	Βιομηχανικό Πάρκο
ΔΕΔΔΗΕ:	Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΕΕ:	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΕΚΕΤΑ:	Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης
ΕΛΟΤ:	Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης
ΕΠΟ:	Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων
Η/Ζ:	Ηλεκτροπαραγωγά Ζεύγη
Η/Μ:	Ηλεκτρομηχανολογικά
Κ/Ξ:	Κοινοπραξία
ΚΑΠ:	Κοινή Αγροτική Πολιτική
κβ	κατά βάρος
ΚΥΑ:	Κοινή Υπουργική Απόφαση
ΛΑΓΗΕ:	Λειτουργός Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΜΤ:	Μέση Τάση
ΜΤ:	Μέση Τάση
ΜΥΗΣ:	Μικροί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί
Ν.	Νόμος
Παρ.	Παράγραφος
ΠΔ:	Προεδρικό Διάταγμα
ΡΑΕ:	Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας
ΣΗΘ:	Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού Θερμότητας
ΣΗΘΥΑ:	Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης
Υπ.Αν:	Υπουργείο Ανάπτυξης
ΥΠΕΚΑ:	Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής



ΦΕΚ:	Φύλλο Εφημερίδας Κυβερνήσεως
ΧΑΔΑ:	Χώροι Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων
ΧΤ:	Χαμηλή Τάση
ΧΤ:	Χαμηλή Τάση
ΧΥΤΑ:	Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων
ΧΥΤΥ:	Χώροι Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων
av:	average
BTL:	Biomass to Liquid
CEM:	Continuous Emissions Monitoring
CHP:	Combined Heat & Power
CLO:	Compost Like Output
EfW:	Energy from Waste
EPA:	Environmental Protection Agency of United States
FT:	Fischer-Tropsch
GEN:	Generator
GEN-SET:	Engine-Generator Set
GHE:	Greenhouse Effect
GHG:	Greenhouse Gases
GT:	Gas Turbine
GWP:	Global Warming Potential
HRSG:	Heat Recovery Steam Generator
ICE:	Internal Combustion Engine
IEA:	International Energy Agency
IRR:	Internal Rate of Return
ISO:	International Standards Organization
LCOE:	Levelized Cost of Energy
LFG:	Landfill Gas
LFG-RES:	Landfill Gas Recovery Energy System
LMOP:	Landfill Methane Outreach Program
LRQA:	Lloyd's Register Quality Assurance
max:	maximum
min:	minimum
MT:	Microturbine
NPV:	Net Present Value
O&M:	Operations & Maintenance
OHSAS:	Occupational Health and Safety Management System
ORC:	Organic Rankine Cycle
RDF:	Refuse Derived Fuel
ST:	Steam Turbine
STE:	Stirling Engine
UNFCCC:	United Nations Framework Convention on Climate Change

# *Εισαγωγή*

---

*Γενικά Στοιχεία για την  
Παραγωγή Ενέργειας  
από Βιομάζα & ΑΣΑ*

---



---

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

Στο εισαγωγικό μέρος περιγράφονται γενικά διάφορες μέθοδοι ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας. Στη συνέχεια αναφέρονται κάποιες εφαρμογές ενεργειακής αξιοποίησης με χρήση των στερεών αστικών αποβλήτων και τέλος δίνονται περιγραφικά τα βασικά στοιχεία που απαιτεί μια ολοκληρωμένη οικονομική αξιολόγηση ενεργειακής μονάδας.

### 1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΒΙΟΜΑΖΑ

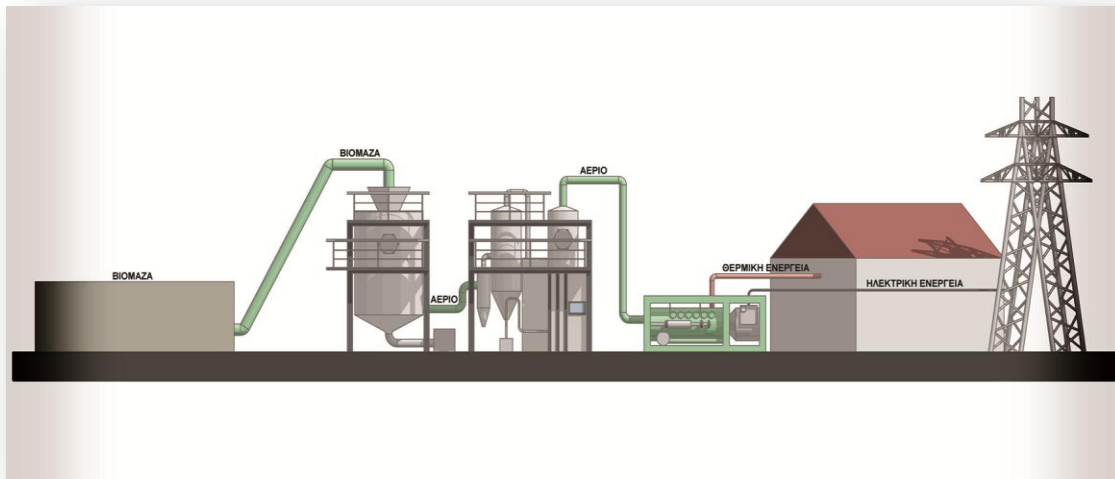
Τις τελευταίες δεκαετίες, η αξιοποίηση της βιομάζας μέσω Ενεργειακών Μονάδων για την παραγωγή θερμότητας, ισχύος ή και συνέργεια αυτών των δύο μορφών ενέργειας, κερδίζει όλο και περισσότερο έδαφος. Άλλωστε, πολλές είναι και οι επιστημονικές αναφορές-μελέτες που υποστηρίζουν την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας χωρίς, ωστόσο, να παραλείπεται η αξιολόγηση του περιβαλλοντικού της αντίκτυπου [1, 2]. Βάσει αυτών, η εργασία εστιάζει στις μεθόδους ενεργειακής διαχείρισης της διαθέσιμης βιομάζας και συγκεκριμένα στην ειδική κατηγορία των αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ), που παράγονται στα όρια αστικών περιοχών, των οποίων η ακριβής ερμηνεία δίνεται στο κεφάλαιο 3.

Γεγονός είναι ότι παρά τις Ευρωπαϊκές οδηγίες για τη μείωση του όγκου των σκουπιδιών που καταλήγουν σε χωματερές, περισσότεροι από 100 εκατομμύρια τόνοι έχουν αυτήν την κατάληξη κάθε χρόνο, με συνέπεια πολλά σκουπίδια να σπαταλώνονται στην Ευρώπη χωρίς την παραμικρή ενεργειακή τους αξιοποίηση. Ακόμη, μελέτες της Υπηρεσίας Προστασίας του Περιβάλλοντος των Η.Π.Α. (EPA), επιδεικνύουν την σπουδαιότητα αυτού του θέματος. Με κάθε τόνο επεξεργασμένων ΑΣΑ σε μια εγκατάσταση ενεργειακής αξιοποίησης αποβλήτων (EfW: Energy from Waste), εμποδίζεται η εκπομπή στην ατμόσφαιρα περίπου ενός τόνου ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα λόγω της αποφυγής της παραγωγής μεθανίου στους χώρους υγειονομικής ταφής, καθώς και λόγω της ανάκτησης των μετάλλων προς ανακύκλωση [3].

Οι μέθοδοι αξιοποίησης της βιομάζας και δη των ΑΣΑ ποικίλουν. Με την καύση σε ατμοηλεκτρικούς σταθμούς, ποσότητες βιομάζας καίγονται σε θαλάμους (κινούμενης σχάρας, ρευστοποιημένης κλίνης κ.α.) με αποτέλεσμα την παραγωγή ενέργειας. Με τη μέθοδο της αεριοποίησης (παρουσία ελεγχόμενου αέρα) ή της πυρόλυσης (απουσία οξυγόνου) η βιομάζα μετατρέπεται σε αέριο καύσιμο (βιοαέριο ή syngas), το οποίο διέρχεται εντός διατάξεων μηχανών εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) παράγοντας παράλληλα ηλεκτρισμό και θερμότητα μέσω ανάκτησης [4]. Το παραγόμενο βιοαέριο έχει θερμογόνο δύναμη περίπου 4,6 MJ/m<sup>3</sup> και ακολούθως μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα. Η θερμογόνο αυτή δύναμη μπορεί να αγγίξει και τριπλάσια τιμή από την προαναφερόμενη στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί καθαρό οξυγόνο [5]. Επίσης, εν δυνάμει χώροι παραγωγής αερίου καυσίμου από βιομάζα, είναι οι χώροι απόρριψης και ταφής απορριμμάτων (ΧΑΔΑ, ΧΥΤΑ, ΧΥΤΥ, βλ. κεφ.3), καθώς και εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού αστικών λυμάτων, από όπου το εκλυόμενο αέριο μπορεί να τροφοδοτηθεί σε ΜΕΚ, με τη χημική ενέργεια να μετατρέπεται σε ισχύ [6].

Παράδειγμα επεξεργασίας και ενεργειακής διαχείρισης της βιομάζας αποτελούν οι μεγάλης κλίμακας ενεργειακές μονάδες (εικόνα Α). Σε μονάδες

αεριοποίησης, η καύσιμη ύλη – βιομάζα – συλλέγεται σε κατάλληλους αποθηκευτικούς χώρους και στη συνέχεια διοχετεύεται μέσω ατέρμωνων κοχλιών (ή ταινιοδρόμων) στον αεριοποιητή για επεξεργασία. Στο στάδιο της θερμικής αεριοποίησης (700-1100°C), το στερεό καύσιμο μετατρέπεται σε εύφλεκτο αέριο μίγμα (syngas). Κατόπιν, για τη βελτίωση της ποιότητας του παραγόμενου αερίου, διέρχεται εντός διατάξεως καθαρισμού και φιλτραρίσματος και στην τελική του μορφή το αέριο είναι έτοιμο προς καύση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, εφόσον πρώτα διέλθει μέσω διάταξης ΜΕΚ, η οποία περιστρέφει μια γεννήτρια [7].



**Εικόνα Α:** Μεγάλης κλίμακας ενεργειακή μονάδα με χρήση βιομάζας [7]

## **2. ΕΚΤΙΜΗΣΕΙΣ & ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ Α.Σ.Α.**

Το 2010, περισσότερες από 600 εγκαταστάσεις παγκοσμίως παρήγαγαν ενέργεια από τη διαχείριση των αποβλήτων, με την Ευρώπη να καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος (472 μονάδες), 100 ενεργειακά κέντρα στην Ιαπωνία και τέλος 86 στις Ηνωμένες Πολιτείες. Χώρες με χαμηλή πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια και μειωμένη κατανάλωση ανά κάτοικο, όπως η Κεντροαφρικανική Δημοκρατία, το Μπουρούντι, η Γουινέα-Μπισάου, το Μάλι, η Σιέρα Λεόνε, η Ρουάντα και η Σομαλία, θα επωφελούνταν ιδιαίτερα από τέτοιες εγκαταστάσεις [8].

**2.1 Απόβλητα και Ενέργεια στην Αφρική.** Βάσει νέας Ευρωπαϊκής μελέτης, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από απόβλητα θα μπορούσε να καλύψει το 20% των ενεργειακών αναγκών της Αφρικής. Συγκεκριμένα, αναλύοντας τις δυνατότητες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από αστικά στερεά απόβλητα στην Αφρική, η μελέτη αναφέρει ότι θα μπορούσαν να παραχθούν 122,2 TW το 2025, αρκετή ενέργεια ώστε να καλύψει τις ανάγκες 40 εκατομμυρίων νοικοκυριών. Δεδομένου ότι πολλοί Αφρικανοί έχουν ελάχιστη ή καθόλου πρόσβαση σε ηλεκτρικό ρεύμα και ότι μόνο ένα πολύ περιορισμένο ποσοστό των αποβλήτων ανακτάται και επαναχρησιμοποιείται μόνο σε μεγάλες πρωτεύουσες που διαθέτουν συστήματα διαχείρισης, δυσχεραίνεται ακόμη περισσότερο η κατάσταση διαβίωσης σε αυτήν την ήπειρο [8].

**2.2 Ενεργειακή Μονάδα με Χρήση ΑΣΑ στη Βουλγαρία.** Ένα καινοτόμο έργο παραγωγής ενέργειας από ΑΣΑ εγκαινιάστηκε πρόσφατα στη Σόφια της Βουλγαρίας με τη σύμπραξη των Ελληνικών Κ/Ξ ΑΚΤΩΡ-ΗΛΕΚΤΡΩΡ. Η νέα αυτή παραγωγική μονάδα ενέργειας από ΑΣΑ (εικόνα Β) είναι συμβατή με τις αυστηρότερες προδιαγραφές της ευρωπαϊκής περιβαλλοντικής νομοθεσίας και αποτελεί την πιο προηγμένη μονάδα διαχείρισης αποβλήτων στην περιοχή των Βαλκανίων και ένα από τα πιο προηγμένα στην Ευρώπη. Το έργο ολοκληρώθηκε, με εντατικές διεργασίες εντός 21 μηνών, με την ενεργειακή μονάδα να καταλαμβάνει χώρο 29.700m<sup>2</sup> σε μια συνολική έκταση γης 106.204m<sup>2</sup>, με το εργατικό δυναμικό να υπολογίζεται στα 180 άτομα και με κόστος κατασκευής περίπου στα 100 εκατομμύρια ευρώ. Το 70% της χρηματοδότησης προήλθε από κοινοτικά κονδύλια του ευρωπαϊκού επιχειρησιακού προγράμματος για το περιβάλλον 2007-2013, ενώ το υπόλοιπο 30% προήλθε από δάνειο που έλαβε ο δήμος Σόφιας από την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων. Επίσης, για τις ανάγκες κεφαλαίου κίνησης της κοινοπραξίας και της έκδοσης εγγυητικών επιστολών 20 εκατ. ευρώ, δανειοδοτήθηκαν από την Alpha Bank [9].



**Εικόνα Β:** Ενεργειακή μονάδα Α.Σ.Α. στη Βουλγαρία [9]

Το τεχνικό κομμάτι του έργου, όσον αφορά στην αξιοποίηση των ΑΣΑ, χωρίζεται σε τρία σκέλη:

- Ο κύριος όγκος των απορριμμάτων των κατοίκων της Σόφιας πρόκειται να δημιουργεί καύσιμο και να διατίθεται για την κάλυψη μέρους των ενεργειακών αναγκών της τσιμεντοβιομηχανίας.
- Στα μελλοντικά πλάνα είναι η δημιουργία δικτύου τηλεθέρμανσης των κτιρίων της πόλης.
- Επιπλέον, ποσοστό μεταξύ 4-10% των απορριμμάτων της πρόκειται να ανακυκλώνονται.

Η δυναμική της Μονάδας Μηχανικής και Βιολογικής Επεξεργασίας ΑΣΑ ανέρχεται σε 410.000 τόνους ετησίως. Η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί σε τέσσερα υπερσύγχρονα κτίρια περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

1. Υποδοχή και τροφοδοσία των ΑΣΑ.
2. Διαχωρισμός επικίνδυνων, ογκωδών και ανακυκλώσιμων υλικών που είναι κατάλληλα είτε για διάθεση είτε για ανακύκλωση.
3. Βιολογική επεξεργασία σε βιοαντιδραστήρες ταχείας βιολογικής σταθεροποίησης για την παραγωγή ξηρού κλάσματος, το οποίο θα καταλήξει ως

υψηλής ποιότητας δευτερογενές καύσιμο, SRF (Solid Recovered Fuel), εφαρμόζοντας πατέντες βιολογικής ζήρασης και σταθεροποίησης του CLO.

4. Η μηχανική μετεπεξεργασία στη μονάδα μηχανικής επεξεργασίας για την ανάκτηση των ανακυκλώσιμων υλικών και την παραγωγή υψηλής ποιότητας δευτερογενούς καυσίμου SRF.

Τα παραγόμενα προϊόντα είναι ανακυκλώσιμα υλικά (χαρτιά, πλαστικά, μέταλλα, γυαλιά) σε ποσοστό 4-10%, υψηλής ποιότητας δευτερογενές καύσιμο (RDF) σε ποσοστό μέχρι 70% και υλικό τύπου compost (Compost Like Output – CLO). Τα υπολείμματα της επεξεργασίας (αδρανή κατά κύριο λόγο) οδηγούνται προς τελική διάθεση στον παρακείμενο Χώρο Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων (ΧΥΤΥ).

**2.3 Έλλειψη Σκουπιδιών στη Σουηδία λόγω Συστηματικής Χρήσης τους από Κέντρα Παραγωγής Ενέργειας.** Τα εγκατεστημένα Σουηδικά ενεργειακά κέντρα με καύσιμο ΑΣΑ επαρκούν για την ηλεκτροδότηση και θέρμανση 250.000 και 950.000 νοικοκυριών αντίστοιχα. Το εντυπωσιακό είναι ότι η Σκανδιναβική αυτή χώρα βρίσκεται στη σπάνια και συγχρόνως ευχάριστη θέση να εισάγει απορρίμματα (λόγω έλλειψης) για τα κέντρα αποτέφρωσης, τα οποία αξιοποιούν τα μη ανακυκλώσιμα σκουπίδια ως πηγή ενέργειας. Προμηθευτές πρώτης καύσιμης ύλης (απορριμμάτων) για τη Σουηδία είναι η γειτονική χώρα της Νορβηγίας, καθώς και η Μ. Βρετανία, Ολλανδία, Φινλανδία, Δανία και η Ιρλανδία [10].

Το ιδιαίτερο σε αυτό το “εμπόριο σκουπιδιών” είναι ότι οι εξαγωγείς (δήμοι, κοινότητες και επιχειρήσεις) πληρώνουν τους εισαγωγείς (τις σουηδικές εταιρείες αποτέφρωσης) για να παραλάβουν και να κάψουν τα προϊόντα τους (σκουπίδια). Αποτέλεσμα αυτής της ιδιότυπης αγοράς είναι οι ολοένα και περισσότερες μονάδες αποτέφρωσης που εγκαθίστανται στη Σουηδία, καθώς και οι μειωμένες τιμές των σκουπιδιών. Αυτό έχει άμεσο αντίκτυπο στους δήμους και τις κοινότητες της Νορβηγίας που αποφασίζουν να στραφούν στα σουηδικά αποτεφρωτήρια λόγω χαμηλότερου κόστους. Παράδειγμα αυτής της κατάστασης αποτελεί ο δήμος του Voss στη δυτική Νορβηγία, ο οποίος στέλνει τα απορρίμματά του στο Jonkoring της Σουηδίας, 800 χιλιόμετρα μακριά, και όχι στη μονάδα του Bergen που απέχει μόνο 100 χιλιόμετρα.

Συμπερασματικά, η εισαγωγή και αποτέφρωση σκουπιδιών στη Σουηδία για ενεργειακούς σκοπούς (που σε άλλες περιπτώσεις θα κατέληγαν ακατέργαστα στις χωματερές) αποφέρει μόνο οφέλη καθώς περιορίζεται κατά πολύ η χρήση του πετρελαίου και άλλων συμβατικών καυσίμων.

**2.4 Παραγωγή Ενέργειας από ΑΣΑ στο Καπολέϊ της Νήσου Χονολούλου (Χαβάη).** Η αμερικάνικη εταιρία Covanta (H.Power), από το 1993 διαχειρίζεται έως και 3.000 ton/day, που αντιστοιχούν σε περισσότερους από 850.000 κατοίκους και επιπλέον 6 εκατομμυρίων επισκεπτών κάθε χρόνο, παράγοντας έως και 90MW. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια επαρκεί για να καλύψει το ενεργειακό προφίλ του νησιού κατά ποσοστό 8%. Επιπλέον, η εταιρία έχει συστήματα ανάκτησης μεταλλικών και μη-μεταλλικών υλικών με σκοπό την επαναχρησιμοποίησή τους. Πρόσφατα, το 2012, η δυναμική της Covanta επεκτάθηκε κατά 900 ton/day εγκαθιστώντας έναν τρίτο καυστήρα, γεννήτρια και τουρμπίνα με ενσωματωμένο σύστημα ελέγχου ποιότητας ατμοσφαιρικού αέρα. Ως επιστέγασμα του άρτιου εξοπλισμού και λειτουργίας της Covanta-H.Power, το 2008 οι εγκαταστάσεις

επεξεργασίας Α.Σ.Α. βραβεύθηκαν για τις ασφαλείς και υγιεινές συνθήκες εργασίας από την αμερικάνικη κοινότητα μηχανικών ασφαλείας [11].



**Εικόνα Γ:** Ενεργειακή μονάδα Covanta (H.Power), Χονολουλού, Χαβάη [11]

Η ενεργειακή μονάδα καταλαμβάνει έκταση περίπου 115 στρεμμάτων στο βιομηχανικό πάρκο του Καπολέϊ (εικόνα Γ) και το παραγωγικό σύστημα E.f.W. έχει τα εξής τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Δύο λέβητες με θερμαινόμενο ρευστό (νερό) εντός των τοιχωμάτων, κλιβάνων κινούμενης εσχάρας (συνθήκες παραγόμενου υπέρθερμου ατμού:  $P=900\text{psig}$ ,  $T=830\text{ }^{\circ}\text{F}=440\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
- Δύο γραμμές επεξεργασίας Α.Σ.Α.
- Δύο γραμμές παραγωγής και επεξεργασίας RDF, δυναμικής 100 ton/hour
- Κλίβανο αντίστροφης παλινδρομικής εσχάρας τύπου Martin GmbH (Martingmbh.de, 2015) δυναμικής 900 ton/day
- Σύστημα συλλογής στάχτης
- Ημί-ξηρές πλυντηρίδες καυσαερίων έγχυσης ασβεστίου
- Υφασμάτινα φίλτρα αντιρροής αέρα (κονιοσυλλέκτες)
- Σύστημα αδιάλειπτης παρακολούθησης και καταγραφής αέριων εκπομπών (C.E.M.)
- Ονομαστική ικανότητα διαχείρισης Α.Σ.Α. 3.000 ton/day
- Ονομαστική παραγόμενη ισχύς 90MW
- Η παραγόμενη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας πωλείται στο τοπικό δίκτυο ηλεκτρισμού καλύπτοντας το 8% των ενεργειακών αναγκών του νησιού.

Η εταιρία Covanta H.Power διαχειρίζεται και άλλες αντίστοιχες ενεργειακές εγκαταστάσεις ΑΣΑ στις ΗΠΑ, όπως στην περιοχή του Νιαγάρα (Niagara Falls Resource Recovery Facility) με δυναμική επεξεργασίας ΑΣΑ 2.500 ton/day και εγκατεστημένη ισχύ 50MW, στην Οκλαχόμα (110 ton/day, 16.8MWe), στην Ινδιανάπολις και σε άλλες πολιτείες. Παρόλα αυτά, οι εγκατεστημένες ενεργειακές μονάδες ΑΣΑ στις ΗΠΑ (περίπου 87) καλύπτουν μόλις το 1% των ενεργειακών αναγκών αυτής της ηπείρου.



**2.5 ΒΕΑΛ ΑΕ: Μονάδα Βιοαερίου στον ΧΑΔΑ & ΧΥΤΑ Α. Λιοσίων (Νομός Αττικής) για την Παραγωγή Ηλεκτρικής & Θερμικής Ενέργειας.** Από τον Μάρτιο του 2001, η εταιρεία ΒΕΑΛ ΑΕ (Κ/Ξ της ΗΛΕΚΤΩΡ ΑΕ και της Αυστραλέζικης Energy Developments Ltd) αξιοποιεί το βιοαέριο (landfill gas) από τον ΧΑΔΑ και ΧΥΤΑ Νο1 Α. Λιοσίων και παράγει ηλεκτρική και θερμική ενέργεια διαχειριζόμενη περίπου 12.000 κυβικά μέτρα βιοαερίου την ώρα (εικόνα Δ). Μετά το 2006, η μονάδα επεκτάθηκε και διαθέτει 23,5MW εγκατεστημένη ισχύ, γεγονός που καθιστά το έργο ένα από τα μεγαλύτερα του είδους παγκοσμίως [6, 12].

Το παραγόμενο αέριο, ως αποτέλεσμα της αναερόβιας χώνευσης της βιομάζας που συγκεντρώνεται στη χωματερή, τροφοδοτείται διαμέσου 350 φρεατίων προς τα προς τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη (H/Z), αποδίδοντας ηλεκτρική ενέργεια ισχύος 13MW η οποία πωλείται στον ΛΑΓΗΕ ΑΕ. Η θερμική ενέργεια προέρχεται από την απορριπτόμενη θερμότητα των H/Z με τη μορφή ζεστού νερού. Τα οφέλη στο περιβαλλοντικό σκέλος είναι η αποφυγή έκλυσης 148.000tn CO<sub>2</sub> ετησίως από τη μη χρήση ορυκτών καυσίμων, καθώς και η εξοικονόμηση περίπου 400 lt πετρελαίου ετησίως λόγω της ανακτώμενης θερμικής ενέργειας.

Το συνολικό κόστος της επένδυσης, μαζί με την αρχική εγκατάσταση, ανήλθε στα 35,5 εκατ. ευρώ και χρηματοδοτήθηκε από προγράμματα του Υπ. Αν. σε ποσοστό 45%.



**Εικόνα Δ:** ΒΕΑΛ, μονάδα βιοαερίου Α. Λιοσίων [6]

Αντίστοιχες εγκαταστάσεις αξιοποίησης εκλυόμενων αερίων υπάρχουν στον ΧΥΤΑ Ταγαράδων στη Θεσσαλονίκη (σύνδεσμος ΟΤΑ), αποτελούμενη από 4 συστήματα H/Z συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 5MW, στο κέντρο επεξεργασίας λυμάτων στην Ψυτάλλεια (ΕΥΔΑΠ), όπου η μονάδα βιοαερίου ΣΗΘ παράγει 11,39 MW ηλεκτρικής ενέργειας και 17,15 MW ωφέλιμης θερμότητας, στο Ηράκλειο Κρήτης (180KW) και στον Βόλο (ΔΕΥΑΜΒ) με εγκατεστημένη ισχύ στα 350KW.

### 3. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ

Μια πλήρης και ολοκληρωμένη τεchnο-οικονομική ανάλυση αποτελεί σημαντική προϋπόθεση για την υλοποίηση ενεργειακών μονάδων αξιοποίησης βιομάζας. Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις πιθανές παραμέτρους όπως κόστη επενδυτικών δαπανών και λειτουργίας-συντήρησης, καθώς και το ενδεχόμενο

κόστος χρηματοδότησης (τραπεζικό δάνειο ή κρατική επιχορήγηση), εκπονήθηκε μελέτη στα πλαίσια του έργου “BiogasIN”, που βασικό του αντικείμενο είναι η βελτίωση του πλαισίου εγκατάστασης νέων μονάδων βιοαερίου σε επτά χώρες της Ανατολικής Ευρώπης: Βουλγαρία, Κροατία, Τσεχία, Ελλάδα, Λετονία, Ρουμανία και Σλοβενία [13].

Σύμφωνα με το BiogasIN εκτιμώνται τα κοστολογικά πεδία διερεύνησης μιας μονάδας βιοαερίου, τα οποία είναι:

- Κόστος σχεδιασμού (10% της συνολικής επένδυσης)
- Δαπάνες για τη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή συμπαραγωγής (10-20% του συνόλου)
- Κόστος των χωνευτών (40-50%)
- Τεχνολογία ανάδευσης
- Ηλεκτρονικά συστήματα και αυτοματισμοί
- Χώροι αποθήκευσης της πρώτης ύλης και του χωνεμένου υπολείμματος
- Κόστος αποθεματικού ή αβεβαιότητας (περίπου 5% επί της συνολικής αξίας της επένδυσης) με το οποίο καλύπτονται έξοδα τα οποία δεν έχουν προβλεφθεί
- Έξοδα χρηματοδότησης των οποίων το κόστος εξαρτάται από τον τύπο κεφαλαίου – μετοχικό κεφάλαιο ή δανεισμός – και το επιτόκιο
- Έξοδα λειτουργίας, στα οποία περιλαμβάνονται το κόστος προμήθειας της πρώτης ύλης καθώς και οποιαδήποτε άλλα κόστη που σχετίζονται με κατασκευή και συντήρηση.

Συμπερασματικά, όλες οι δαπάνες του έργου και των προβλεπόμενων εσόδων πρέπει να περιλαμβάνονται σε ένα σχέδιο χρηματοδότησης, το οποίο βασίζεται σε ρεαλιστικές και συντηρητικές παραδοχές. Οι περισσότερες εγκαταστάσεις χρηματοδοτούνται με ένα μεγάλο ποσό δανείου. Η αναλογία μεταξύ ιδίων κεφαλαίων και δανειακών κεφαλαίων θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ¼. Η επιτυχία στο να ληφθεί ένα δάνειο έγκειται στην πλήρη διαφάνεια και στο ύψος των ιδίων κεφαλαίων. Επιπλέον, πρέπει να περιλαμβάνεται κάθε ιδιωτική ή δημόσια στήριξη των επενδύσεων [13].

Βασικά οικονομικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη του αρχικού κόστους κεφαλαίου και των εσόδων-εξόδων με σκοπό την εξέταση της βιωσιμότητας της επένδυσης, αποτελούν οι όροι: καθαρή παρούσα αξία (NPV: net present value), εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR: internal rate of return) και προεξοφλητικό επιτόκιο (discount rate). Χρήση αυτών των όρων γίνεται στην εργασία των Sudhakar Yedla & Jyoti K. Parikh [14], όπου προσεγγίζεται οικονομικά η επένδυση ενός ενεργειακού συστήματος ανάκτησης εκλυόμενων αερίων από χώρους απόρριψης και ταφής αστικών απορριμμάτων (LFG-RES: landfill gas recovery energy system). Ο ορισμός των οικονομικών εργαλείων δίνεται στο Παράρτημα Α και στα κεφάλαια 4, 5 γίνεται ανάλυση της τεχνολογίας LFG-RES.



# Κεφάλαιο 1

---

## Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

---



# 1. Εισαγωγή Κεφαλαίου

Σε μια εποχή ραγδαίων κλιματολογικών αλλαγών, παράλληλα με την ρύπανση της ατμόσφαιρας και του ενεργειακού προβλήματος, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) έχουν τη δυναμική να αποτελέσουν τη λύση. Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται συνοπτική επισκόπηση των ΑΠΕ και της σπουδαιότητας της χρήσης τους. Σημαντικές παράμετροι που αναλύονται είναι οι στρατηγικές προώθησης και διεύρυνσης των τεχνολογιών ΑΠΕ. Τέλος, γίνεται αναφορά στο κατά πόσο έχουν ενσωματωθεί σε Ευρωπαϊκή κλίμακα, καθώς και στην επίδραση που έχουν στην Ελλάδα.

## 1.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΩΝ ΑΠΕ

Σε αντίθεση με το πετρέλαιο, τον άνθρακα, το φυσικό αέριο και άλλες συμβατικές ορυκτές πηγές ενέργειας, οι ΑΠΕ κατατάσσονται στην κατηγορία των ήπιων και εναλλακτικών μορφών ενέργειας. Προερχόμενες άμεσα από την φύση, ανανεώνονται και είναι διαθέσιμες (εφόσον υπάρχει ηλιοφάνεια, ανεμόπτωση κτλ.) για την παραγωγή ενέργειας (θέρμανση, ηλεκτρισμός, κ.ά.). Οι βασικές μορφές των ΑΠΕ είναι [15]:

- Η *αιολική* ενέργεια, που προκύπτει από τη χρήση ανεμογεννητριών και αιολικών πάρκων (εικόνα 1.1).
- Η *ηλιακή* ενέργεια, που προκύπτει από τη χρήση φωτοβολταϊκών στοιχείων (εικόνα 1.2).
- Η *βιομάζα*, με κύριες πηγές της τα δασικά και φυτικά υπολείμματα, τα βιομηχανικά, αστικά και ζωικά απόβλητα (εικόνα 1.3).
- Η *γεωθερμική*<sup>(1)</sup> ενέργεια, όπου με τη χρήση υπόγειων εναλλακτών θερμότητας (κατακόρυφων ή οριζόντιων) αξιοποιείται η σταθερή θερμοκρασία του εδάφους από κάποιο βάθος και έπειτα (εικόνα 1.4).
- Η *υδροδυναμική* ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας (εικόνα 1.5).



Εικόνα 1.1: Αιολικό πάρκο ανεμογεννητριών [16]

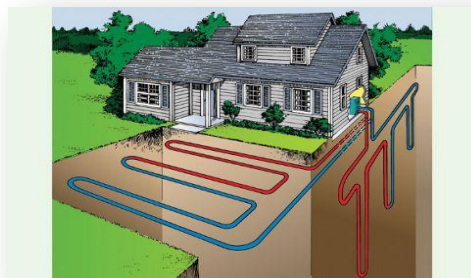


Εικόνα 1.2: Φωτοβολταϊκό πάρκο [17]

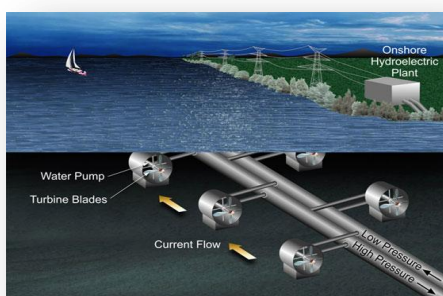
<sup>(1)</sup> Ο όρος “ανανεώσιμη πηγή ενέργειας” δεν ανταποκρίνεται πλήρως στην περίπτωση της γεωθερμίας, αφού ο χρόνος αναγέννησης είναι αρκετά μεγάλος (χιλιετίες).



Εικόνα 1.3: Βιομάζα [18]



Εικόνα 1.4: Γεωθερμικοί εναλλάκτες [19]



Εικόνα 1.5: Υδροδυναμικές γεννήτριες [20]

Η φύση και οι δυνατότητες των ανανεώσιμων-ήπιων πηγών ενέργειας μπορούν να αποτελέσουν βασικά στοιχεία για την βιώσιμη ανάπτυξη τους στην αγορά της ενέργειας. Παρακάτω παρατίθενται οι βασικοί λόγοι βιωσιμότητας των ήπιων τεχνολογιών ενέργειας [4, 21]:

- Περιβαλλοντικά συμμετέχουν ελάχιστα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου καθώς οι όποιες εκπομπές τους, λόγω επεξεργασίας τους (π.χ. καύση), λαμβάνουν μέρος στον “κύκλο του άνθρακα” [22].
- Είναι αειφόρες σε αντίθεση με τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα τα οποία εξαντλούνται.
- Δίνεται η δυνατότητα για κοινωνικό-οικονομική ανάπτυξη σε επαρχιακές και νησιωτικές περιοχές, ακόμη και αποκομμένες από το εθνικό δίκτυο ηλεκτρισμού, καθώς οι αποκεντρωμένες παραγωγικές μονάδες ισχύος που εγκαθίστανται επιτρέπουν την εφαρμογή τοπικών λύσεων.

## 1.2 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΠΡΟΩΘΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΕ

Λαμβάνοντας υπόψη τη δυναμική των ΑΠΕ και τις ραγδαίες κλιματικές αλλαγές, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή συντάσσει οδηγίες με σκοπό τη διείσδυσή τους στον χώρο της παραγωγής ενέργειας [4]. Στοχεύοντας στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, τον Μάιο του 1992 συμφωνήθηκαν σε διεθνή πλαίσια η Σύμβαση Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC) και το Πρωτόκολλο του Κιότο με ισχύ εφαρμογής από τον Μάρτιο του 1994. Αν και η UNFCCC προσυπογράφηκε από όλα τα κράτη μέλη, με δέσμευση τη μείωση των εκπομπών των αέριων ρύπων έως το 2000 τουλάχιστον κατά 5% (8% για την Ε.Ε., 7% για τις Η.Π.Α. και 6% για την Ιαπωνία), το Πρωτόκολλο του Κιότο θεωρήθηκε ως

μια συντηρητική προσέγγιση για τη σταθεροποίηση του παγκόσμιου κλίματος με πολλά ερωτήματα και προβλήματα χωρίς απάντηση. Κατά συνέπεια, καμία από τις βασικές βιομηχανικές χώρες δεν το είχε επικυρώσει μέχρι τα τέλη του 2001 [23].

Κατόπιν, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υιοθέτησε τον όρο *Πράσινη Βίβλος* σε τρεις εκδόσεις της: Νοέμβριος 1996, Νοέμβριος 2000 και Ιούνιος 2005. Η πρώτη αφορούσε τον διπλασιασμό των ΑΠΕ στη συνολική παραγωγή ενέργειας σε ποσοστό 12% μέχρι το 2010. Η επόμενη εξασφάλιζε παροχή ενέργειας στην Ευρώπη και η τελευταία αποσκοπούσε στην Ενεργειακή Αποδοτικότητα μέσω της μείωσης κατά 20% της ενεργειακής κατανάλωσης έως το 2020 [24]. Άλλα πλαίσια ενεργειακής πολιτικής που έχουν ακολουθηθεί είναι:

- Η *Λευκή Βίβλος* (1997), με στόχο τον δεκαπλασιασμό της παραγωγής βιοαερίου και την αύξηση του μεριδίου της βιομάζας στην ενέργεια μέχρι το 2010 κατά 1/3 [25].
- Η Οδηγία 2001/77/EC (2001), η οποία προσβλέπει σε βάθος χρόνου (έως το 2010) αύξηση της “πράσινης” ηλεκτρικής ενέργειας κατά 6% και παράλληλα επίτευξη συνθηκών εντατικοποιημένου εμπορικού ανταγωνισμού, απαιτώντας από τα κράτη μέλη την ασφαλή πρόσβαση των παραγωγών πράσινης ενέργειας στο δίκτυο [26].
- Η Οδηγία *Εμπορίου Εκπομπών Αερίων Θερμοκηπίου* (2003) θέτοντας όρια εκπομπών CO<sub>2</sub> και εκδίδοντας δικαιώματα αγοράς αυτών προσδιορίζει τις ποσότητες αερίων εκπομπών για τις ενεργοβόρες βιομηχανίες των κρατών-μελών της ΕΕ [27].
- Οδηγία 2004/8/EC σχετικά με την *Προώθηση Συνδυασμένης Παραγωγής Θερμότητας και Ισχύος* με αντικειμενικό στόχο, μέχρι το 2010, την αύξηση των μονάδων συμπαραγωγής θερμότητας και ισχύος υψηλής απόδοσης στα 20GWe εγκατεστημένης ισχύος [28].
- Η Ευρωπαϊκή Οδηγία *Προώθησης των Βιοκαυσίμων στις Μεταφορές* 2003/30/EC, η οποία θέτει στόχο την αντικατάσταση του ντίζελ ή της βενζίνης από βιοκαύσιμα σε ποσοστό 5,75% μέχρι τον Δεκέμβριο του 2010, με ενδιάμεσο στόχο το 2% μέχρι τον Δεκέμβριο του 2005, και παράλληλα ένα μακροπρόθεσμο πλάνο (2020) αντικατάστασης συμβατικών καυσίμων στα επίπεδα του 20% [29].
- Σχετικά με τη *Βιομάζα*, το 2004 συντάχθηκε Σχέδιο Δράσης για την ευρύτερη χρήση της στην Ευρωπαϊκή Ένωση αλλά και σε Διεθνές επίπεδο. Τα μέτρα τέθηκαν το 2005 βάσει των οποίων ξύλο, αγροτικές καλλιέργειες και απόβλητα θα είναι οι κύριες πηγές ενέργειας προερχόμενες από τη βιομάζα. Οι τομείς που επηρεάζονται από αυτήν τη δράση είναι της θέρμανσης, του ηλεκτρισμού και των μεταφορών. Παρά τις στρατηγικές για την προώθηση της βιομάζας η βιο-ενέργεια υπολείπεται των προσδοκιών της ΕΕ, με εξαίρεση τις Σκανδιναβικές χώρες όπου η χρήση της βιο-ενέργειας έχει αυξητικές τάσεις. Τέλος, μέσω της τροποποίησης του ΚΑΠ (Κοινή Αγροτική Πολιτική), δίνονται κίνητρα (για παράδειγμα επιδοτήσεις) με σκοπό την αναδάσωση παρατημένων εκτάσεων και την εντατικοποίηση των ενεργειακών καλλιεργειών, γεγονός που αποτελεί σημαντική ενίσχυση προς την ενδυνάμωση της χρήσης της βιομάζας [28].



### 1.3 ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΕ ΣΤΙΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΧΩΡΕΣ

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) η ενεργειακή κατανάλωση μέσω ΑΠΕ σημείωσε αύξηση από 8,3% το 2004, σε 14,3% το 2012, και 15% το 2013, ενώ ο μακροπρόθεσμος στόχος για το 2020 είναι να φτάσει το 20% [30].

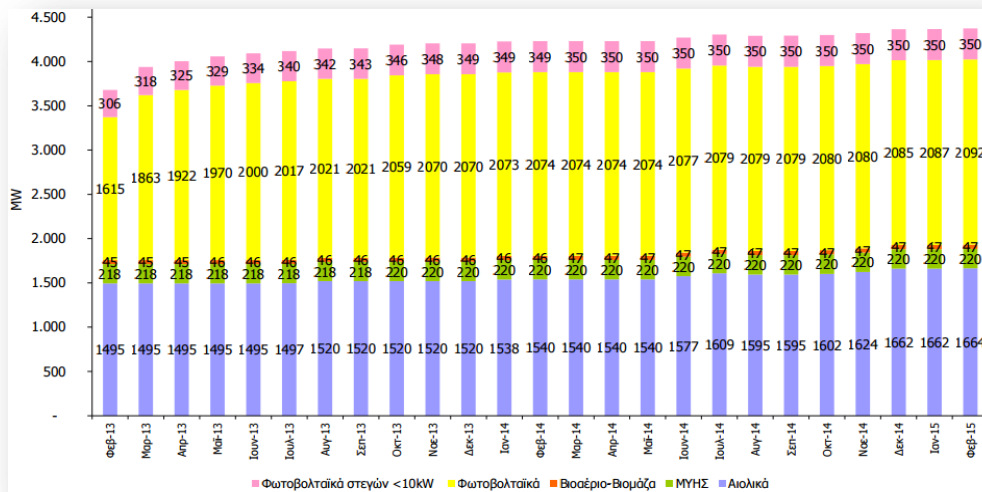
Στο πεδίο του σχεδίου δράσης διείσδυσης των ΑΠΕ χαρακτηριστικό παράδειγμα ταχείας ανάπτυξης αποτελεί η χώρα της Γερμανίας. Για το έτος 2014 το ποσοστό κάλυψης αναγκών σε ρεύμα προερχόμενο από ΑΠΕ άγγιξε το 27,8% παρουσιάζοντας αύξηση κατά 2,4 ποσοστιαίες μονάδες σε σχέση με το 2013. Το αντίστοιχο μέγεθος στην Ελλάδα έφτασε το 15% [31]. Συγκεκριμένα, η ισχύς από ανανεώσιμες πηγές έφτασε τις 160,6 δισεκατομμύρια *KW*, δηλαδή 8 δισεκατομμύρια περισσότερες από το προηγούμενο έτος, ενώ η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας μειώθηκε κατά 3,5%. Ήταν η πρώτη φορά για τη Γερμανία που ο παραγόμενος ηλεκτρισμός προήλθε από τη χρήση τεχνολογιών ΑΠΕ (δηλαδή από αιολική, ηλιακή, υδροηλεκτρική ενέργεια, πηγές βιομάζας) και όχι από συμβατικές πηγές (π.χ. λιγνίτης). Τη μερίδα του λέοντος σε αυτήν την αύξηση κατείχε η αιολική ενέργεια (8%), ενώ η ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών παρουσίασε μείωση στον αριθμό των εγκατεστημένων *GW* (από 3,3*GW* το 2013 σε 1,9*GW* το 2014). Στον τομέα της θέρμανσης και της μεταφοράς, αν και οι συνολικές επενδύσεις αυξήθηκαν κατά 3,1 δισεκατομμύρια ευρώ, η ανάπτυξη των τεχνολογιών ΑΠΕ διατηρήθηκε σε σταθερά νούμερα.

Ωστόσο, παρά το γεγονός της δυναμικής ένταξης των ΑΠΕ στον ενεργειακό χάρτη της Γερμανίας, το φυσικό αέριο κατέχει σημαντικό μέρος με ποσοστό 20,4%.

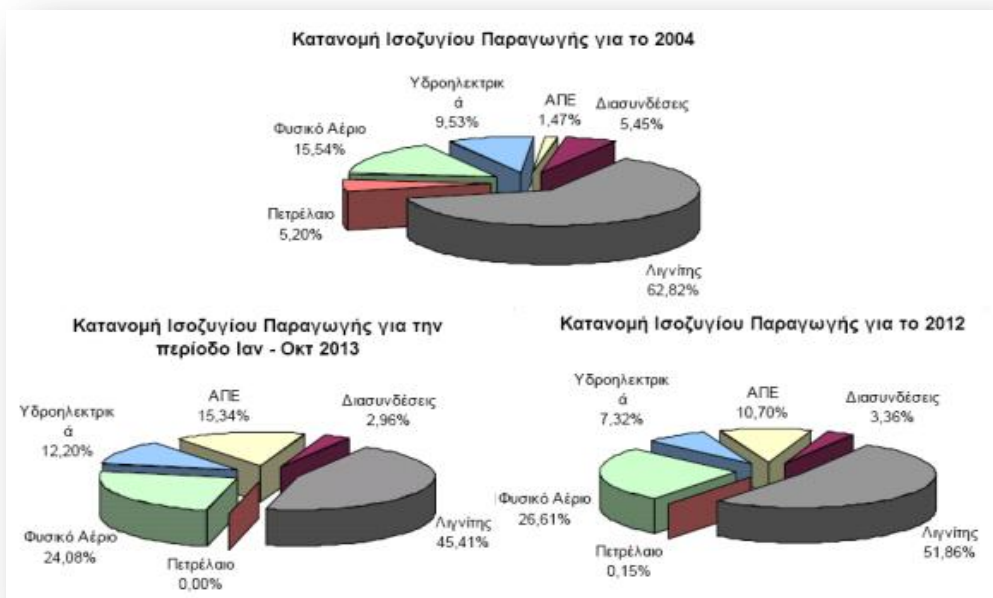
### 1.4 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΑΠΕ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η ηλεκτροπαραγωγική συνεισφορά των ΑΠΕ στην Ελλάδα, δεδομένου και του στόχου “2020”, δίνεται γραφικά (εικόνα 1.6) για την περίοδο από τον Φεβρουάριο του 2013 έως τον Φεβρουάριο του 2015 [32]. Το γράφημα παρουσιάζει την εγκατεστημένη ισχύ (*Mw*) μονάδων ΑΠΕ σε λειτουργία στο διασυνδεδεμένο σύστημα & φ/β στεγών (με ισχύ  $\leq 10 \text{ Kw}$ ).

Για την επίτευξη του στόχου “2020” σημαντικό βάρος πρέπει να δοθεί και στη σχέση μεταξύ των ήπιων μορφών ενέργειας και των συμβατικών καυσίμων (λιγνίτης, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) όσον αφορά την παραγωγή ενέργειας. Στην εικόνα 1.7 [33] παρουσιάζεται ποσοστιαία (%), για τα έτη 2004, 2012 και 2013 (πρώτου δεκάμηνου), το μερίδιο συμμετοχής των διαφόρων πηγών ενέργειας στη συνολική παραγωγή ενέργειας. Είναι εμφανής η αυξητική τάση που παρουσιάζει η χρήση των ΑΠΕ, ωστόσο υπολείπεται μακράν των ορυκτών καυσίμων, γεγονός που δηλώνει ότι απαιτείται μεγάλη προσπάθεια προς την δυναμική καθιέρωση της καθαρής και πράσινης ενέργειας.



Εικόνα 1.6: Εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ (MW) διασυνδεδεμένα στο δίκτυο [32]



Εικόνα 1.7: Ποσοστιαία κατανομή παραγωγής ενέργειας για τα έτη 2004, 2012 και 2013 του 1ου δεκάμηνου [33]

Βάσει της Οδηγίας 2009/28/ΕΚ και στα πλαίσια του Εθνικού Σχεδίου Δράσης (ΥΠΕΚΑ) γίνονται εκτιμήσεις για την συμμετοχή των ΑΠΕ έως το 2020, πρωτίστως στον οικιακό τομέα και δευτερευόντως στον βιομηχανικό, με σκοπό την αξιοποίηση τους για παραγωγή ηλεκτρισμού, θέρμανσης, ψύξης, αλλά και τη χρήση βιοκαυσίμων στις μεταφορές. Τέλος προς την κατεύθυνση αυτή συγκλίνουν και μέτρα που αποσκοπούν σε μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας και των εκπομπών διοξειδίων του άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Άλλωστε, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή και θερμότητας (συμπαργωγή) με χρήση μία εκ των παραπάνω ΑΠΕ ή και συνδυασμό αυτών (υβριδικά συστήματα) έχει οριστεί ήδη από τον Νόμο 2773/1999.



# *Κεφάλαιο 2*

---

## *Βιομάζα*

---



## 2. Εισαγωγή Κεφαλαίου

Η βιομάζα αποτελεί από τα πλέον παλαιότερα “καύσιμα” προερχόμενο από ΑΠΕ. Με τα χρόνια οι συνθήκες ζωής άλλαξαν και η βιομηχανοποίηση της αγοράς οδήγησε στην ολοένα και πιο έντονη χρήση των ορυκτών καυσίμων για πάσης φύσεως ανάγκες παραγωγής ενέργειας (θέρμανση, ηλεκτρισμό, μετακίνηση). Ωστόσο η πετρελαϊκή κρίση (1970), η συνεχιζόμενη μόλυνση του περιβάλλοντος και γενικότερα η ευαισθητοποίηση του κοινωνικού-πολιτικού συνόλου έφεραν στο προσκήνιο εκ νέου τη χρήση της βιομάζας με σκοπό την ενεργειακή της αξιοποίηση.

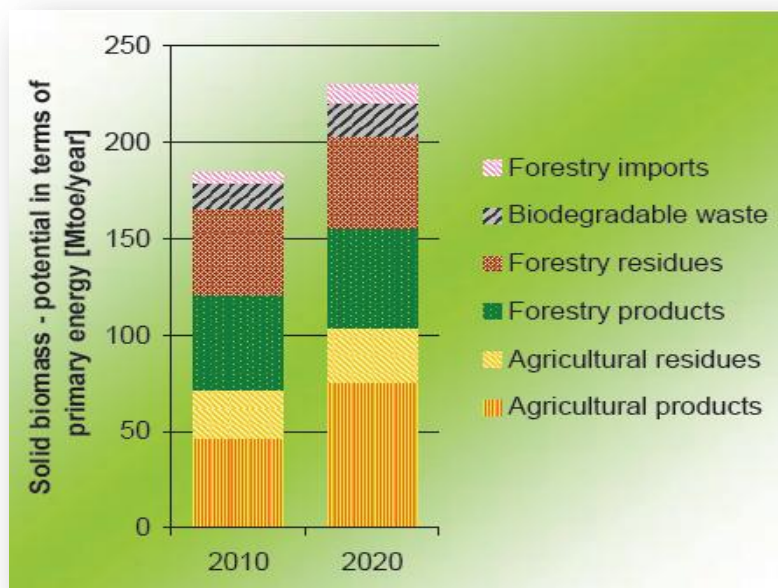
Στο τρέχον κεφάλαιο αναλύεται η βιομάζα ως υποκατηγορία των ΑΠΕ. Αρχικά περιγράφεται το δυναμικό της βιομάζας διεθνώς και στην Ελλάδα. Κατόπιν, δίνονται επιπλέον πληροφορίες, όπως ο ορισμός της βιομάζας, οι πηγές προέλευσής της και οι μορφές της. Επιπλέον, γίνεται λόγος για τις μεθόδους ενεργειακής αξιοποίησης και τους τρόπους χρήσης της, ενώ τέλος αναφέρονται τα θετικά και αρνητικά αποτελέσματα από τη χρήση της βιομάζας.

### 2.1 Η ΒΙΟΜΑΖΑ ΔΙΕΘΝΩΣ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η ετήσια παραγόμενη ποσότητα βιομάζας παγκοσμίως υπολογίζεται ότι αγγίζει τους 172 δις τόνους ξηρού υλικού. Ένα πολύ σημαντικό στοιχείο είναι ότι το ενεργειακό δυναμικό αυτής της ποσότητας σε σχέση με την καταναλισκόμενη ενέργεια, για το ίδιο χρονικό διάστημα, είναι δεκαπλάσια. Παρόλα αυτά, το μεγαλύτερο ποσοστό παραμένει ανεκμετάλλευτο καθώς σύμφωνα με εκτιμήσεις της επιστημονικής κοινότητας, μόνο το 1/7 της παγκόσμιας καταναλισκόμενης ενέργειας καλύπτεται από τη βιομάζα. Στην εικόνα 2.1 δίνεται γραφικά η διείσδυση της βιομάζας (%) στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας και στην εικόνα 2.2 παρουσιάζεται το μεσοπρόθεσμο σενάριο για τη μελλοντική θέση της βιομάζας έως το 2020.



Εικόνα 2.1: Συνεισφορά της βιομάζας σε παγκόσμιο επίπεδο [34]



Εικόνα 2.2: Συνεισφορά της βιομάζας σε παγκόσμιο επίπεδο [35]

Στην Ελλάδα, τα ετήσια παραγόμενα γεωργικά και δασικά υπολείμματα αντιστοιχούν ενεργειακά σε 3 με 4 εκατ. τόνους πετρελαίου<sup>(2)</sup>, ενώ αρκετά σημαντικό είναι και το δυναμικό των ενεργειακών καλλιεργειών, το οποίο ισοδυναμεί με 30-40% της ποσότητας του πετρελαίου που καταναλώνεται ετησίως στη χώρα μας. Παρά την τεράστια δυναμική της βιομάζας, η αξιοποίησή της ως πηγή ενέργειας φτάνει σε ένα ποσοστό της τάξης του 5%. Προς το παρόν, οι βασικές της χρήσεις περιορίζονται στην οικιακή θέρμανση (σόμπες ξύλου, τζάκια), στη μαγειρική, στη θέρμανση θερμοκηπίων, καθώς και στο βιομηχανικό τομέα, σε μικρότερο βαθμό, (εκκοκκιστήρια βάμβακος, βιομηχανίες ξυλείας) με πρώτη ύλη το προϊόν που διαθέτει ή επεξεργάζεται η κάθε μονάδα.

Έρευνες σχετικά με τα διαθέσιμες ποσότητες βιομάζας εκτιμούν περί τους 7.500.000 τόνους υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών (σιτηρών, αραβόσιτου, κ.ά.) και 2.700.000 τόνους δασικών υπολειμμάτων υλοτομίας (κλάδοι, φλοιοί κ.ά.). Επιπλέον των διαφόρων γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων, σημαντικές ποσότητες βιομάζας είναι δυνατό να ληφθούν από τις ενεργειακές καλλιέργειες. Συγκριτικά με τα γεωργικά και δασικά υπολείμματα, οι καλλιέργειες αυτές έχουν το πλεονέκτημα της υψηλότερης παραγωγής ανά μονάδα επιφάνειας, καθώς και της ευκολότερης συλλογής [34].

Τέλος, πειραματικές μετρήσεις και πιλοτικές εφαρμογές παρουσιάζουν τη δυναμική της βιομάζας συγκριτικά με το πετρέλαιο σε μονάδες *Τόνων Ισοδύναμου Πετρελαίου (ΤΙΠ)*. Η ποσότητα βιομάζας που μπορεί να παραχθεί ανά ποτιστικό στρέμμα ανέρχεται σε 3,5 τόνους ξηρής ουσίας (1,4 ΤΙΠ), και η ξηρή παραγόμενη βιομάζα ανά ξηρικό στρέμμα μπορεί να φτάσει τους 2,5 τόνους ξηρής ουσίας (1,1 Τ.Ι.Π.).

<sup>(2)</sup> Ένας (1) τόνος βιομάζας ισοδυναμεί με περίπου 0,4 τόνους πετρελαίου.

## 2.2 ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΒΙΟΜΑΖΑ ΚΑΙ ΠΟΙΕΣ ΕΙΝΑΙ ΟΙ ΜΟΡΦΕΣ ΤΗΣ

Ως βιομάζα ορίζεται το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των προϊόντων, αποβλήτων και υπολειμμάτων που προέρχονται από τη γεωργία, τη δασοκομία, τις βιομηχανίες και από το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων [36].

**2.2.1 Προέλευση της Βιομάζας.** Όπως οι περισσότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, έτσι και η βιομάζα προέρχεται από τον ήλιο μέσω της φωτοχημικής διεργασίας της φωτοσύνθεσης. Η ηλιακή ενέργεια που εκπέμπεται, απορροφάται από το σύνολο των οργανικών ενώσεων στη φύση, αποθηκεύεται και καθίσταται διαθέσιμη ως χημική ενέργεια. Κατά τη φωτοσύνθεση, η χλωροφύλλη των φυτών μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μια σειρά διεργασιών, χρησιμοποιώντας ως βασικές πρώτες ύλες διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα καθώς και νερό μαζί με ανόργανα συστατικά από το έδαφος. Η θερμοχημική αυτή διεργασία μπορεί να παρασταθεί σχηματικά ως εξής:

*Διοξείδιο του άνθρακα + Νερό + Ηλιακή ενέργεια → Βιομάζα + Οξυγόνο + Θερμότητα (+ 674 kcal)*

Παρά το γεγονός ότι η αποδοτικότητα της διεργασίας της φωτοσύνθεσης (μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε χημική) κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα, η ενεργειακή χρήση της βιομάζας σε ετήσιο παγκόσμιο επίπεδο είναι δεκαπλάσια των άλλων μορφών ενέργειας λόγω της μεγάλης αποθηκευτικής της δυναμικής [4].

**2.2.2 Μορφές της Βιομάζας.** Οι κύριες μορφές της βιομάζας είναι οι *ενεργειακές καλλιέργειες* και τα *υπολειμματικά* της είδη (όπως φυτικά-δασικά υπολείμματα και ζωικά ή αστικά απόβλητα) [4, 37, 38].

**2.2.2.1 Ενεργειακές Καλλιέργειες.** Οι ενεργειακές καλλιέργειες είναι καλλιεργούμενα ή αυτοφυή είδη, παραδοσιακά ή νέα, τα οποία παράγουν βιομάζα. Η βιομάζα που παράγεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για καύση ή συμπαραγωγή ηλεκτρισμού με γαιάνθρακες, για ηλεκτροπαραγωγή και θέρμανση, σαν πρώτη ύλη για θερμοχημικές διεργασίες, όπως πυρόλυση και αεριοποίηση, για παραγωγή μεθανόλης, βιοαερίου και πυρολυτικών ελαίων, για βιοχημικές διεργασίες (π.χ. ζύμωση) και για παραγωγή αιθανόλης ή μεθανίου.

Οι παραδοσιακές καλλιέργειες των οποίων το τελικό προϊόν χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας και βιοκαυσίμων ανήκουν και αυτές στην κατηγορία των ενεργειακών καλλιεργειών. Ηλίανθος, κριθάρι, σιτάρι, αραβόσιτος και ζαχαρότευτλα είναι τα είδη φυτών που καλλιεργούνται για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων (βιοαιθανόλη και βιοντίζελ).

Οι σύγχρονες ενεργειακές καλλιέργειες που είναι είδη με υψηλή δυναμική παραγωγής σε βιομάζα ανά μονάδα γης, κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες: τις γεωργικές και τις δασικές. Οι γεωργικές ενεργειακές καλλιέργειες διακρίνονται περαιτέρω σε ετήσιες και πολυετείς. Παρακάτω αναφέρονται τα είδη φυτών για την κάθε υποκατηγορία των σύγχρονων ενεργειακών καλλιεργειών:



<u>Καλλιέργεια</u>	<u>Παραγωγή</u>
- ελαιοκράμβη (γεωργική, ετήσια).....	βιο-ελαίου
- γλυκό-κυτταρινούχο σόργο(ετήσιο).....	βιοαιθανόλης
- σιτάρι-κριθάρι (γεωργική, ετήσια).....	βιοαιθανόλης
- αραβόσιτος (γεωργική, ετήσια).....	βιοαιθανόλης
- κενάφι (γεωργική, ετήσια).....	ενέργειας - βιομ. υλικών
- καλάμι (γεωργική, πολυετής).....	ενέργειας - βιομ. υλικών
- μίσχανθος (γεωργική, πολυετής).....	στερών καυσίμων-χαρτοπολτού
- αγριαγκινάρα (γεωργική, πολυετής).....	ενέργειας-βιοελαίου
- αγρωστώδες φυτό (γεωργική, πολυετής).....	υγρών-στερεών βιοκαυσίμων
- ζαχαρότευτλα (γεωργική, διετής).....	βιοαιθανόλης
- ηλίανθος (γεωργική, ετήσια).....	βιοντίζελ
- ευκάλυπτος (δασική).....	παραγωγή ενέργειας
- ψευδακακία (δασική).....	παραγωγή ενέργειας

**2.2.2.2 Υπολειμματικά Είδη Βιομάζας.** Αποτελεί μια ακόμη μεγάλη κατηγορία για την εξαγωγή διαχειρίσιμης βιομάζας και την παραγωγή ενέργειας. Τα γεωργικά και δασικά υπολείμματα, καθώς και τα ζωικά και αστικά απόβλητα ανήκουν σε αυτή την ομάδα [4, 39] τα οποία αναλύονται παρακάτω:

- Τα γεωργικά υπολείμματα περιλαμβάνουν φύλλα και στελέχη καρπών τα οποία απομένουν και συλλέγονται μετά την ετήσια συγκομιδή της σοδειάς καλλιεργειών όπως βαμβάκι, αραβόσιτος, ρύζι, καπνός κ.τ.λ., καθώς επίσης και υπολείμματα από πολυετή φυτά μετά το κλάδεμα των δέντρων και αμπελιών, όπως κλαδέματα ελιάς, πορτοκαλιάς και άλλων δέντρων. Τα γεωργικά υπολείμματα είναι διαθέσιμα για περιορισμένο χρονικό διάστημα, απαιτείται μεγάλος χώρος αποθήκευσης και επιπλέον δεν είναι δυνατόν να συλλεχθεί ολόκληρη η απορριπτόμενη ποσότητα από τα δέντρα διότι ένα μέρος τους παραμένει στον αγρό λειτουργώντας ως λίπασμα, το οποίο εξασφαλίζει αποδοτική καλλιέργεια για την επόμενη χρονιά. Το παγκόσμιο δυναμικό αυτού του είδους υπολειμμάτων υπολογίζεται σε 3 με 4 δις τόνους ετησίως.
- Υπολείμματα προερχόμενα από δασικές ζώνες είναι τα καυσόξυλα μεγάλων κορμών δέντρων, φλοιοί και κλαδιά από τις υλοτομικές διεργασίες και τις αποψιλώσεις μικρότερων δέντρων λόγω δημιουργίας αραιών ζωνών πυροπροστασίας.
- Στην κατηγορία των ζωικών αποβλήτων αξιοποιήσιμες είναι κυρίως οι ποσότητες που προέρχονται από μεγάλα εκτροφεία όπως βοοειδών, χοίρων και πουλερικών, όπου βρίσκονται συγκεντρωμένες μεγάλες ποσότητες κοπριάς.
- Βιομηχανικά απόβλητα και αστικά απόβλητα συμπληρώνουν την τελευταία κατηγορία της υπολειμματικής βιομάζας. Αλευροβιομηχανίες, βιομηχανίες ρυζιού και αραβόσιτου, σποροελαιουργεία και εκκοκκιστήρια βάμβακος παρέχουν σημαντικές ποσότητες βιομάζας υπό μορφή κελυφών, φλοιών και πυρήνων προς αξιοποίηση για παραγωγή ενέργειας (ηλεκτρισμό, θερμότητα). Επιπλέον, βιοτεχνίες κατασκευής επίπλων παρέχουν απόβλητα ξύλου
- Τα στερεά αστικά απόβλητα (ΑΣΑ) που προέρχονται από τους τοπικούς δήμους της κάθε γεωγραφικής περιφέρειας, ανόργανα και οργανικά (χαρτί, αλουμίνιο, πλαστικό, τροφές) και βιο-στερεά (λάσπη), αναλύονται εκτενώς στο κεφάλαιο 3.

## 2.3 ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Οι περισσότερες μορφές βιομάζας συνίστανται από τρεις σύνθετες χημικές ενώσεις, τις κυτταρίνες, τις ημικυτταρίνες και τις λιγνίνες. Η τυπική σύσταση της βιομάζας, αποτελούμενη από άνθρακα (50%), υδρογόνο (6%) και οξυγόνο (43%) και βασικοί παράγοντες, όπως η υγρασία, η περιεκτικότητα σε τέφρα, η πυκνότητα και η θερμογόνος δύναμη συμβάλλουν στην επιλογή της κατάλληλης διεργασίας για την προετοιμασία του κάθε είδους βιομάζας.

**2.3.1 Σύσταση της Βιομάζας.** Σημαντικός παράγοντας για την αποτελεσματική διαχείριση και απόδοση της παραγόμενης βιομάζας είναι η σύστασή της. Οι βασικές ιδιότητές της είναι:

- Η στοιχειακή ανάλυση (%). Το οργανικό περιεχόμενο των διαφόρων πηγών βιομάζας έχει σε γενικές γραμμές παρόμοια στοιχειακή ανάλυση. Η κατά βάρος σύσταση (απουσία τέφρας, υπό ξηρή βάση) για κάθε στοιχείο είναι:  
 Άνθρακας (C): 44 – 51 %, Υδρογόνο (H): 5,5 – 6,7 %, Οξυγόνο (O): 41 – 50 %  
 Άζωτο (N): 0,12 – 0,60 %, Θείο (S): 0 – 0,2 %
- Η *θερμογόνος ικανότητα* (KJ/kg). Η θερμική ενέργεια που εκλύεται κατά την καύση 1 kg καυσίμου (αέρια : 1m<sup>3</sup>) σε συγκεκριμένες συνθήκες δίνει τον ορισμό της θερμογόνου δύναμης. Διακρίνεται σε ανώτερη (HHV – Higher Heating Value) και κατώτερη (LHV – Lower Heating Value), λόγω δέσμευσης ενέργειας με τη μορφή λανθάνουσας θερμότητας ατμοποίησης των υδρατμών στα καυσαέρια. Το ποσοστό υγρασίας στο καύσιμο (%) καθορίζει και το ποσό της θερμογόνου. Συνήθεις τιμές θερμογόνου δύναμης βιοκαυσίμου χωρίς τέφρα και σε ξηρή βάση είναι της τάξης των 20 MJ/kg ± 15%.
- Η *υγρασία* (%). Η ποσότητα του νερού εντός της βιομάζας καθορίζει κατά μεγάλο ποσοστό την ποιότητά της και κατά συνέπεια την παραγόμενη ενέργεια. Άμεσα επηρεάζεται το μέγεθος LHV, και επίσης καθορίζεται η κατάλληλη τεχνολογία ενεργειακής αξιοποίησης. Στη θερμική διεργασία της καύσης η υγρασία στη βιομάζα πρέπει να κυμαίνεται κάτω από 50%. Το εύρος τιμών της υγρασίας κυμαίνεται μεταξύ 10% (υπολείμματα καλλιέργειας δημητριακών) έως και 80% (δασικά υπολείμματα-ζωικά απόβλητα).
- Η *περιεκτικότητα σε τέφρα* (%). Η τέφρα αποτελεί το ανόργανο κλάσμα της βιομάζας. Σε αντιστοιχία με την υγρασία, έτσι και το υψηλό ποσοστό τέφρας έχει αρνητική επίδραση στο ενεργειακό περιεχόμενο της βιομάζας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το παρακάτω: υπολειμματική φυτική βιομάζα με μηδενική τέφρα και υγρασία έχει 4,7 kWh/kg ενεργειακού περιεχομένου. Εάν αυξηθεί η υγρασία στο 15%, το ενεργειακό περιεχόμενο διαμορφώνεται σε 4,2 kWh/kg. Επιπλέον, εάν αυξηθεί η τέφρα στο 2% η διαθέσιμη ενέργεια της βιομάζας μειώνεται σε 3,9 kWh/kg. Και τέλος, στην περίπτωση με υγρασία 15% και τέφρα 10% το ενεργειακό περιεχόμενο φτάνει στα επίπεδα των 3,6 kWh/kg.
- Η *χύδην και ενεργειακή πυκνότητα* της βιομάζας (kg/m<sup>3</sup>, MJ/m<sup>3</sup>). Βάσει της διεργασίας προετοιμασίας, η παραγόμενη βιομάζα διατίθεται είτε χύδην (πριονίδι) είτε σε δεμάτια. Η χύδην πυκνότητα του άχυρου και του σιταριού κυμαίνεται από 100-200 kg/m<sup>3</sup> (άχυρο) και για το ξηρό ξύλο 700-900 kg/m<sup>3</sup>. Η χύδην πυκνότητα σε συνδυασμό με τη θερμογόνο ικανότητα της βιομάζας αποτελούν την ενεργειακή πυκνότητα και υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\text{Χύδην Ενεργειακή Πυκνότητα [MJ/m}^3\text{]} = \text{Θερμογόνος Ικανότητα [MJ/kg]} \times \text{Χύδην Πυκνότητα [kg/m}^3\text{]}$$

**2.3.2 Επεξεργασία της Παραγόμενης Βιομάζας.** Η προεργασία της βιομάζας, πριν την παράδοσή της για παραγωγή ενέργειας, αποτελείται από τα εξής στάδια [4]:

- *Μείωση μεγέθους.* Με τις τεχνικές μείωσης του μεγέθους (με χρήση τεμαχιστών σπείρας, δίσκου τυμπάνου κ.ά.) γίνεται η προετοιμασία της βιομάζας για τη χρήση της ως καύσιμο (κατάλληλο μέγεθος ξύλου για τζάκι ή σόμπα), καθώς γίνεται και ευκολότερη η αποθήκευση και η μεταφορά της βιομάζας.
- *Συμπύκνωση.* Αποτελεί μέθοδο αναβάθμισης των αγροτικών και δασικών υπολειμμάτων καθώς η υψηλής πυκνότητας βιομάζα είναι ευκολότερα διαχειρίσιμη (διακίνηση, αποθήκευση, τροφοδοσία). Η δεματοποίηση αγρωστωδών καυσίμων και δασικών υπολειμμάτων και η παραγωγή συσσωμάτων και μπριγκέτων αποτελούν μεθόδους συμπύκνωσης. Παρόλα αυτά, βασικό μειονέκτημα είναι το παραγωγικό κόστος της διαδικασίας συμπύκνωσης.
- *Διαχωρισμός.* Σε αυτήν τη φάση περιλαμβάνεται ο φυσικός διαχωρισμός της βιομάζας σε διάφορα τμήματα, αναλόγως την εφαρμογή. Παράδειγμα αποτελεί ο διαχωρισμός της αγροτικής βιομάζας σε είδη διατροφής και υπολείμματα, τα οποία χρησιμοποιούνται ως καύσιμα. Μηχανισμοί διαχωρισμού αποτελούν η κοσκίνιση, η ταξινόμηση με αέρα, ο μαγνητικός διαχωρισμός, απόσταξη, διήθηση κ.ά.
- *Ξήρανση.* Η κατάλληλη εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνικής αυξάνει σημαντικά την κατώτερη θερμογόνο δύναμη (χαμηλή υγρασία-αυξημένο ενεργειακό περιεχόμενο), βελτιστοποιεί τις διεργασίες μετατροπής της βιομάζας σε ενέργεια, δημιουργεί καλύτερες συνθήκες μακροχρόνιας αποθήκευσης των υγρών βιοκαυσίμων και τέλος, η χαμηλή περιεκτικότητα της βιομάζας σε υγρασία παρέχει καλύτερη ποιότητα συσσωματωμάτων και μπριγκέτων (επιθυμητό ποσοστό υγρασίας στο 15% κβ). Συνηθισμένοι τρόποι ξήρανσης είναι οι ξηραντήρες τύπου ιμάντα, ο άμεσος περιστροφικός ξηραντήρας και η ρευστοποιημένη κλίνη.

## 2.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Η μετατροπή της βιομάζας είναι η τελευταία φάση διεργασίας της, αναλόγως και της μεθοδολογίας που θα ακολουθηθεί, κατά την οποία παραδίδεται με σκοπό την παραγωγή ενέργειας. Οι τεχνολογίες *Θερμικής Επεξεργασίας* (καύση, πυρόλυση, αεριοποίηση) [4] και *Βιολογικής Επεξεργασίας* (αναερόβια χώνευση) [40] είναι οι κύριες μέθοδοι αξιοποίησης της βιομάζας που παρουσιάζονται στις υποενότητες 2.4.1, 2.4.2, 2.4.3 και 2.4.4 αντίστοιχα.

Επιπλέον μέθοδοι ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας αποτελούν η ξηρή χημική μέθοδος της εστεροποίησης και επίσης οι υγρές βιολογικές μέθοδοι των ζυμώσεων της οξειδικής και ενζυμικής υδρόλυσης.

**2.4.1 Καύση.** Η καύση αποτελεί την χημική αντίδραση της βιομάζας παρουσία οξυγόνου, η οποία συντελείται με μεγάλη ταχύτητα και μεγάλη απόδοση θερμότητας, έτσι ώστε αυτό το ποσό θερμότητας να είναι τεχνικά αξιοποιήσιμο. Η διαδικασία της καύσης για μετατροπή της βιομάζας σε ενέργεια ή καύσιμα, κατέχει το 95% σε σχέση με τις υπόλοιπες θερμοχημικές διεργασίες. Καταλυτικές εστίες καύσης ξύλου μικρής κλίμακας (υψηλής αποδοτικότητας και χαμηλών αέριων εκπομπών), αποτεφρωτές μεσαίας και μεγάλης κλίμακας με δυνατότητα ανάκτησης θερμότητας για αποτελεσματική καύση και αποκομιδή στερεών οικιακών απορριμμάτων με ελαχιστοποιημένες εκπομπές, σύγχρονα συστήματα

ξυλολεβήτων και ξυλόσομπων αλλά και λεβητών καύσης οικιακών στερεών απορριμμάτων είναι τα συστήματα που απαρτίζουν τη μεθοδολογία της καύσης.

**2.4.2 Πυρόλυση.** Κατά τη διάρκεια της πυρόλυσης, η βιομάζα αποσυντίθεται απουσία αέρα και τα παραγόμενα προϊόντα από τη θερμοχημική αυτή μετατροπή είναι αέρια, πυρολιγνικά υγρά και βιοάνθρακας (κάρβουνο). Η πυρόλυση γίνεται σε κλειστά δοχεία απουσία αέρα σε θερμοκρασίες 500-600°C. Επίσης, κατά την πυρόλυση δεν απαιτείται παρά η παροχή μικρών ποσοτήτων θερμότητας. Η μέθοδος της πυρόλυσης έχει χρησιμοποιηθεί για την εμπορική παραγωγή καυσίμων, διαλυτών, χημικών και άλλων προϊόντων από βιομάζα. Μεγάλες δυνατότητες αξιοποίησης για παραγωγή ενέργειας προσφέρουν τα υγρά παράγωγα της πυρόλυσης, καθώς διαθέτουν υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα συγκριτικά με τα στερεά και τα αέρια οπότε καθίσταται ευκολότερη η μεταφορά και αποθήκευσή τους και συνεπώς αμεσότερη η αξιοποίησή τους από τα συστήματα διαχείρισης.

**2.4.3 Αεριοποίηση.** Οι πρώτοι αεριοποιητές μικρής κλίμακας που κατασκευάστηκαν κατά τη διάρκεια του 2<sup>ου</sup> Παγκοσμίου Πολέμου είχαν τροφοδοσία αέρα με καύσιμη ύλη το ξύλο και τον ξυλάνθρακα με σκοπό την παραγωγή αερίου χαμηλής θερμογόνου δύναμης για την κίνηση οχημάτων και την παραγωγή ατμού και ηλεκτρικής ενέργειας. Λόγω της μεγαλύτερης περιεκτικότητας της βιομάζας σε πτητικά υλικά συγκριτικά με τους γαιάνθρακες, τα πυρολιγνικά εξανθρακώματά της αντιδρούν ευκολότερα, οπότε και η αεριοποίησή της πραγματοποιείται υπό ηπιότερες συνθήκες με αποτέλεσμα τα παραγόμενα αέρια μίγματα να έχουν παρόμοια σύνθεση με αυτήν των γαιανθράκων. Αυτό το γεγονός δείχνει την συμβατότητα ορισμένων αεριοποιητών για την αεριοποίηση της βιομάζας ή μίγματος βιομάζας με γαιάνθρακα. Πολλές από τις έρευνες σχετικά με τη βελτιστοποίηση της αεριοποίησης έχουν επικεντρωθεί στην ανάπτυξη μεθόδων για τον καθαρισμό των θερμών αερίων, όπως και την επίλυση άλλων προβλημάτων που θα επιτρέψουν τη λειτουργία μεγάλης κλίμακας θερμικών αεριοποιητών βιομάζας κατά τρόπο αξιόπιστο για την παραγωγή ισχύος.

**2.4.4 Αναερόβια Χώνευση.** Βασικό στοιχείο της βιοχημικής αυτής μεθόδου είναι η απουσία οξυγόνου. Η οργανική ύλη, με τη συνδυασμένη δράση μεικτού πληθυσμού μικροοργανισμών, μετατρέπεται σε μεθάνιο (CH<sub>4</sub>, 30-35%) και διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>, 65-70%), δηλαδή βιοαέριο. Τα υπόλοιπα παράγωγα αέρια είναι το υδρογόνο (H<sub>2</sub>), το άζωτο (N<sub>2</sub>) και το υδρόθειο (H<sub>2</sub>S). Ενώ το καθαρό μεθάνιο έχει 35.800 kJ/m<sup>3</sup> ικανότητα θερμότητας, το παραγόμενο βιοαέριο από την αναερόβια χώνευση διαθέτει 18.700-26.000 kJ/m<sup>3</sup> αντίστοιχα. Η παραγόμενη ποσότητα βιοαερίου μπορεί να επιταχυνθεί σε κατάλληλους βιοαντιδραστήρες υπό ελεγχόμενες συνθήκες με την υπολειμματική ποσότητα της αποσύνθεσης να αποδίδεται για επιπλέον επεξεργασία και κατόπιν για χρήση ως εδαφοβελτιωτικό με αερόβια λιπασματοποίηση. Τέλος, συγκριτικά με την αερόβια μέθοδο (παρουσία ποσότητας οξυγόνου), αν και είναι σημαντικά ταχύτερη αντίδραση, η αναερόβια πλεονεκτεί ως προς τον όγκο των αποβλήτων μιας και παράγει αρκετά μικρότερες ποσότητες.

**2.4.5 Παράγοντες Επίδρασης στις Θερμικές και Βιοχημικές Μεθόδους.** Σημαντικές παράμετροι για αποδοτικότερες διεργασίες μετατροπής της βιομάζας αποτελούν η στοιχειακή σύνθεση, η περιεκτικότητα σε υγρασία και τέφρα καθώς και το μέγεθος σωματιδίων της υπό τροφοδότησης βιομάζας. Οι ιδανικές συνθήκες θερμικής μετατροπής είναι:

- Τα χαμηλά ή μηδενικά ποσοστά περιεκτικότητας σε άζωτο, χλώριο και θείο της στοιχειακής σύνθεσης της βιομάζας που αποτρέπουν τον σχηματισμό ανεπιθύμητων ρυπαντών και διαβρωτικών οξέων.
- Επιθυμητά επίπεδα υγρασίας μεταξύ 10 και 20%, αφού ποσοστά άνω του 20% επιφέρουν μείωση στη θερμογόνο δύναμη του παραγόμενου αερίου, στη θερμική αποδοτικότητα, στην απόδοση σε αέριο και στην αναλογία των καύσιμων συστατικών του αερίου σε ξηρή βάση.
- Αν και η βιομάζα παρουσιάζει παρόμοια χαρακτηριστικά με αυτά των γαιανθράκων, όπως η συνολική περιεκτικότητα σε τέφρα, λόγω των διαφορετικών πηγών προέλευσής της, πολλά είδη και τύποι έχουν σχετικά μικρά ποσοστά σε τέφρα. Συνεπώς, από αυτήν την οπτική προτιμάται η ξυλώδης βιομάζα στις θερμικές διεργασίες. Αντίθετα, η αγρωστώδης βιομάζα (χόρτα, άχυρα) πλούσια σε περιεκτικότητα τέφρας προκαλεί προβλήματα επικαθίσεων στα συστήματα θερμικής μετατροπής.
- Το σωματιδιακό μέγεθος της βιομάζας κυμαίνεται μεταξύ 20 και 80mm και εξαρτάται από τη διάσταση των θαλάμων καύσης των αντιδραστήρων. Συνήθως, το μέγεθος βιομάζας αντιστοιχεί στο 10 με 20% της διαμέτρου του θαλάμου καύσης. Μεγαλύτερου μεγέθους σωματίδια σχηματίζουν συσσωματώματα, ενώ μικρότερα φράζουν τα διαθέσιμα κενά μεταξύ τους και επομένως το όλο σύστημα οδηγείται σε υψηλή πτώση πίεσης.

Όσον αφορά τις βιοχημικές μεθόδους της βιομάζας (αναερόβια χώνευση), οι παράμετροι επίδρασης στη βιοαποδόμηση των οργανικών υλικών είναι σχετικές με την περιοχή θερμοκρασίας (ψυχρόφιλη 0-20°C, μεσόφιλη 30-40 °C, θερμόφιλη 50-60 °C), την αλκαλικότητα (επιθυμητή τιμή pH 7-7,2), την υγρασία (min. 85%), την περιεκτικότητα σε στερεά (max. 15%), τη σωστή αναλογία άνθρακα και αζώτου (C/N = 16 έως 25:1) και τον ρυθμό οργανικής φόρτισης των χωνευτήρων (1 έως 5 kg βιοαποδομήσιμων στερεών ανά κυβικό (m<sup>3</sup>) χωνευτήρα και ανά ημέρα).

## 2.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε άμεσα με την καύση ξύλων ή pellet είτε έμμεσα με τη μετατροπή της σε κάποιο υγρό ή αέριο καύσιμο. Οι κύριες χρήσεις της παρουσιάζονται στις επόμενες υποπαραγράφους.

**2.5.1 Παραγωγή Θερμότητας.** Η θερμότητα που παράγεται από το ξύλο ή τα άλλα είδη βιομάζας χρησιμοποιείται στη θέρμανση των χώρων, στη μαγειρική, στη βιομηχανία για ξήρανση αγροτικών προϊόντων και επιπλέον στην παραγωγή ατμού στη βιομηχανία.

**2.5.1.1 Συστήματα Θέρμανσης.** Στο εμπόριο, τα συστήματα θέρμανσης περιλαμβάνουν μια ευρεία γκάμα από καυστήρες, σόμπες και λέβητες με κύριο καύσιμο τη βιομάζα και απευθύνονται τόσο στον οικιακό τομέα όσο και για βιομηχανική χρήση [41].

- *Καυστήρες λαδιού* (εικόνα 2.3). Είναι κατάλληλοι για καύση βιοντίζελ και άλλων παχύρευστων καυσίμων όπως ζωικά και ορυκτά έλαια, καθώς και μεταχειρισμένα λάδια συνεργείων ή λάδια μαγειρικής. Για τη λειτουργία του καυστήρα είναι απαραίτητη η σύνδεσή του με αεροσυμπιεστή αντίστοιχης παροχής αέρα. Συνίσταται η χρήση λεβήτων με θάλαμο καύσης μεγάλου όγκου. Ο λέβητας πρέπει να συντηρείται και να καθαρίζεται τακτικά ανάλογα με τη χρήση. Όταν πρόκειται για

μεταχειρισμένα λάδια αυτοκινήτων ή μηχανών πρέπει να χρησιμοποιούνται πολλαπλά φίλτρα, ώστε να συγκρατούνται τα ρινίσματα.



**Εικόνα 2.3:**

Γερμανικοί καυστήρες λαδιού Giersch GU (28 – 195Kw) [41]

- *Αερόθερμες σόμπες βιομάζας* (εικόνα 2.4). Εδώ καύσιμο υλικό αποτελεί το pellet (συμπιεσμένο πριονίδι). Τα μεγέθη ισχύος που κατασκευάζονται καλύπτουν τις ανάγκες μιας μέσης, καλά μονωμένης ελληνικής κατοικίας έως 100m<sup>2</sup>.



**Εικόνα 2.4:**

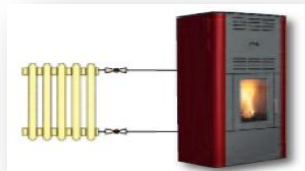
Ιταλικές αερόθερμες σόμπες pellet Royal by Palazzetti (6.3 & 8.5Kw) [41]

Royal Klima 6 (6,3 KW) – Για θέρμανση χώρου επιφάνειας έως 50 m<sup>2</sup>.

Royal Klima 9 (8,5 KW) – Για θέρμανση χώρου επιφάνειας έως 100 m<sup>2</sup>.

- *Σόμπες-Καλοριφέρ βιομάζας* (εικόνα 2.5). Καύσιμο υλικό αποτελεί το pellet (συμπιεσμένο πριονίδι).

Royal Klima 18 IDRO (19.31 KW) – Θέρμανση κατοικιών με θερμαντικά σώματα. Περιλαμβάνει: κυκλοφορητή, δοχείο διαστολής, βαλβίδα ασφαλείας, αυτόματο εξαεριστικό και βαλβίδα αντεπιστροφής. Οι σόμπες καλοριφέρ μπορούν να εγκατασταθούν και να θερμάνουν υπάρχοντα διαμερίσματα ή μονοκατοικίες συνδεδεμένα με το υπάρχον δίκτυο σωληνώσεων και σωμάτων.

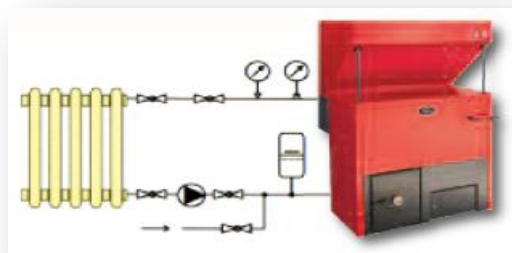


**Εικόνα 2.5:**

Ιταλική σόμπα-καλοριφέρ pellet Royal by Palazzetti (19.31Kw) [41]

- *Λέβητες-Καυστήρες βιομάζας* (εικόνα 2.6), με καύσιμο υλικό το pellet (συμπιεσμένο πριονίδι). Το μέγεθος ισχύος καλύπτει τις ανάγκες μιας κατοικίας από 100 – 400m<sup>2</sup>.

Λέβητας IDROPLUS ισχύος 33.2 KW (εγκατάσταση σε λεβητοστάσιο και σύνδεση με θερμαντικά σώματα). Ο λέβητας απαιτεί προστασία έναντι των διαστολών με δοχείο διαστολής, βαλβίδα ασφαλείας και αυτόματο πληρώσης.



**Εικόνα 2.6:**

Ιταλικός λέβητας-καυστήρας pellet Royal by Palazzetti (33.2Kw) [41]

Μια ακόμη σημαντική παράμετρος των συστημάτων θέρμανσης βιομάζας (σόμπες, λέβητες) είναι η απομάκρυνση των παραγόμενων καπναερίων με τοποθέτηση καπνοδόχου (Φ 80 mm) σε ένα ελάχιστο επιτρεπτό ύψος (1.5 m). Τέλος, οι νέες τεχνολογίες των συσκευών θέρμανσης παρουσιάζουν υψηλό βαθμό απόδοσης μεταξύ 85 και 95%, με αποτέλεσμα οι αέριες εκπομπές προς την ατμόσφαιρα να είναι χαμηλές.

**2.5.1.2 Χρήση Παραγόμενου Ατμού.** Σε μεγαλύτερες κλίμακες εφαρμογών (βιομηχανίες), ποσότητες βιομάζας καίγονται σε κλιβάνους και λέβητες, με τον παραγόμενο ατμό να προσάγεται σε γεννήτριες αμοστροβίλων. Η δυναμικότητα αυτών των μονάδων περιορίζεται από την τοπική διαθεσιμότητα της πρώτης ύλης και γενικά είναι μικρότερη των 25 MW. Η ανάπτυξη μεγαλύτερης ισχύος μονάδων (50-70 MW), μπορεί να επιτευχθεί με την αποκλειστική χρήση πρώτων υλών, όπως αγρωστωδών ενεργειακών καλλιεργειών.

**2.5.2 Παραγωγή Ηλεκτρισμού [42].** Η κύρια μέθοδος μετατροπής της βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι η καύση. Ποσότητες βιομάζας καίγονται σε σωρούς εντός εσχάρας ή ρευστοποιημένης κλίνης κ.α., οπότε ο παραγόμενος ατμός οδηγείται μέσω δικτύου αγωγών σε αμοστρόβιλο συζευγμένο με κοινό άξονα περιστροφής με γεννήτρια, τον οποίο περιστρέφει και κατόπιν η γεννήτρια παράγει ρεύμα. Συνήθως η μέθοδος της καύσης για παραγωγή ενέργειας συναντάται σε βιομηχανίες χάρτου και χαρτοπολλτού.

Στην ηλεκτροπαραγωγή σημαντικό ρόλο μπορεί να παίξει και το βιοαέριο. Το βιοαέριο προερχόμενο από συνδυασμό γεωργικών προϊόντων και ζωικών καταλοίπων, εφόσον περάσει από όλες τις διεργασίες παραγωγής του (τεμαχισμός, ομογενοποίηση, αντιμικροβιακή διάταξη υψηλών θερμοκρασιών, θέρμανση σε εναλλάκτες θερμότητας) οδηγείται σε διάταξη μηχανής εσωτερικής καύσης και γεννήτριας, όπου παράγεται ηλεκτρική ενέργεια.

**2.5.3 Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ).** Τα συστήματα συνδυασμένης παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας παράγουν ταυτόχρονα ηλεκτρική και θερμική ενέργεια σε ένα ενιαίο ολοκληρωμένο σύστημα. Η θερμική ενέργεια που ανακτάται σε ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση ή ψύξη στη βιομηχανία ή τα κτίρια. Η εκμετάλλευση της θερμότητας που σε άλλη περίπτωση θα χανόταν, οδηγεί σε συνολική απόδοση αυτών των

ολοκληρωμένων συστημάτων πολύ μεγαλύτερη από αυτήν των μεμονωμένων συστημάτων. Η συνολική απόδοση του συστήματος προκύπτει από μια αλληλεπίδραση μεταξύ των μεμονωμένων βαθμών απόδοσης των συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής και ανάκτησης θερμότητας [42].

Τα ενεργειακά συστήματα συμπαραγωγής από βιομάζα μπορούν να αποτελέσουν μια ευέλικτη λύση για περιοχές απομακρυσμένες από το κεντρικό δίκτυο ηλεκτροδότησης, με βασική προϋπόθεση να υπάρχει πρόσβαση σε διαθέσιμη βιομάζα σε κοντινή απόσταση, ελαχιστοποιώντας το επιπλέον κόστος μεταφοράς. Ευέλικτα ενεργειακά συστήματα βιομάζας μπορούν επίσης να ενσωματωθούν σε ήδη διασυνδεδεμένες περιοχές κοντά σε αγροτικές κατοικίες, αγροκτήματα και σε βιομηχανίες όπου παράγεται βιομάζα και χρησιμοποιείται ενεργειακά. Τέτοιους είδους συστήματα μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την ποιότητα ισχύος στις αδύναμες γραμμές μεταφοράς που βρίσκονται μακριά από τον κεντρικό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ιδανικές περιπτώσεις κατηγοριών καταναλωτών ενέργειας, που θα μπορούσαν να εγκαταστήσουν βιοενεργειακά συστήματα, είναι αυτοί που βρίσκονται σε χώρους με διαθέσιμη ποσότητα βιομάζας προς ενεργειακή χρήση, όπως στον αγροτικό τομέα, σε χώρους εκτροφής βοοειδών και χοιροστάσια, σε βιοτεχνίες/βιομηχανίες επεξεργασίας χαρτιού και σε εργοστάσια επεξεργασίας τροφίμων, αποθεμάτων καλαμποκιού ή φλοιών ρυζιού. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το υψηλό ενεργειακό κόστος διάθεσης και απόρριψης αυτών αντισταθμίζεται από την παραγωγή ενέργειας και χρήση αυτής προς ιδιοκατανάλωση [43].

**2.5.4 Χρήση Βιομάζας στις Μεταφορές.** Η χρήση καυσίμων προερχόμενα από την αξιοποίηση της βιομάζας (βιοκαύσιμα) στον τομέα των μεταφορών, ο οποίος συγκαταλέγεται στους πλέον ρυπογόνους τομείς μαζί με τον βιομηχανικό, ουσιαστικά αποτελεί τη νέα τεχνολογία προς αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων (ντίζελ και βενζίνης). Βιοκαύσιμα όπως τα 1<sup>ης</sup> γενιάς (βιοντίζελ από φυτικά έλαια, και αιθανόλη από σιτάρι και τεύτλο), αλλά και 2<sup>ης</sup> γενιάς που είναι τα *συνθετικά καύσιμα (BTL, FT)* [44] και η *αιθανόλη (λιγνοκυτταρίνες)*, παρασκευάζονται με τις μεθόδους, αεριοποίησης (πιο γνωστή μέθοδος) και από τις λιγότερο ανεπτυγμένες μεθόδους της πυρόλυσης και υγροποίησης.

Τέλος, ένα πολλά υποσχόμενο καύσιμο για το εγγύς μέλλον είναι το υδρογόνο, το οποίο παράγεται από αναμόρφωση του ατμού του ελαίου ή του κλάσματός του, προερχόμενο από υδατάνθρακες [4].

**2.5.5 Παραδείγματα Ενεργειακών Εφαρμογών.** Διάφορες μελέτες, προτάσεις και ενεργειακές εφαρμογές της βιομάζας δείχνουν τη σημασία της. Χαρακτηριστικά, η εταιρία *easy2find* [45] εξειδικεύεται στην καλλιέργεια του ευκαλύπτου, καθώς και στην ενεργειακή διαχείριση των ΑΣΑ με τη μέθοδο της αεριοποίησης και την παραγωγή εύφλεκτου αέριου καυσίμου (syngas). Η εταιρία *agroenergy* [46] επίσης εστιάζει στη διαχείριση των ΑΣΑ με τον διαχωρισμό των σύμμικτων αποβλήτων και την εφαρμογή της κομποστοποίησης στο καθαρό οργανικό κλάσμα παράλληλα με την εφαρμογή αναερόβιας χώνευσης. Επιπλέον παράδειγμα εφαρμογής ενεργειακών συστημάτων με καύσιμο τη βιομάζα αποτελεί η *Φιλιππόπουλος Ενεργειακή ΑΤΕ* [47], η οποία επιδεικνύει πολλές περιπτώσεις εγκαταστάσεων στη Βόρεια Ελλάδα με καύσιμο διάφορα γεωργικά υπολείμματα εκκοκκιστηρίων βάμβακος, πυρήνες ροδάκινων κ.ά. για τη λειτουργία μονάδας συμπαραγωγής με συστήματα Organic Rankine Cycle (ORC) και δίκτυο αγωγών λέβητα διαθερμικού ελαίου.



## 2.6 ΟΦΕΛΗ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

Τα σημαντικότερα οφέλη που προσφέρει η χρήση της βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας συνοψίζονται στα παρακάτω [34]:

- Σε αντίθεση με τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα και τις υψηλές εκπομπές CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα, η βιομάζα δεν συμβάλει στην επιπλέον επιβάρυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου, διότι το παραγόμενο CO<sub>2</sub>, κατά την καύση της επαναδεσμεύεται μέσω της φωτοσύνθεσης (κύκλος του άνθρακα).
- Η αμελητέα περιεκτικότητα της βιομάζας σε θείο, παράλληλα με τις χαμηλές αέριες εκπομπές, είναι σημαντικό πλεονέκτημα για τη χρήση της.
- Η παραγωγή και η διαθεσιμότητα της βιομάζας στις επαρχίες μπορεί να οδηγήσει στην οικονομική ανάπτυξη αυτών των περιοχών, καθώς επίσης ενδυναμώνεται και ο τοπικός αγροτικός πληθυσμός επιστρέφοντας από τα μεγάλα αστικά κέντρα.

Τα μειονεκτήματα από τη χρήση της βιομάζας σχετίζονται κυρίως με τις δυσκολίες στην εκμετάλλευσή της, και είναι:

- Ο μεγάλος όγκος της και η μεγάλη περιεκτικότητά της σε υγρασία, ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας.
- Η δυσκολία στη συλλογή, μεταποίηση, μεταφορά και αποθήκευσή της, έναντι των ορυκτών καυσίμων.
- Οι δαπανηρότερες εγκαταστάσεις και οι εξοπλισμοί που απαιτούνται για την αξιοποίηση της βιομάζας σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας.
- Η μεγάλη διασπορά και η εποχιακή παραγωγή της.

Λόγω των παραπάνω μειονεκτημάτων στην πλειοψηφία των εφαρμογών, το κόστος της βιομάζας παραμένει σχετικά υψηλό συγκριτικά με τη χρήση πετρελαίου. Ωστόσο, αυτό βαθμιαία εξαλείφεται λόγω της ανόδου των τιμών του πετρελαίου αλλά και της βελτίωσης και ανάπτυξης των τεχνολογιών αξιοποίησης της βιομάζας. Τέλος, πρέπει κάθε φορά να συνυπολογίζεται το περιβαλλοντικό όφελος, το οποίο, αν και συχνά δεν μπορεί να αποτιμηθεί με οικονομικά μεγέθη, είναι ουσιαστικής σημασίας για την ποιότητα της ζωής και το μέλλον της ανθρωπότητας.

# *Κεφάλαιο 3*

---

## *Αστικά Στερεά Απόβλητα και Διαχείριση*

---



### 3. Εισαγωγή Κεφαλαίου

Η λανθασμένη ή ελλιπής διαχείριση δημοτικών αποβλήτων και απορριμμάτων σε πολλές Ελληνικές αστικές και επαρχιακές περιοχές, σε συνδυασμό με το έντονο κυκλοφοριακό πρόβλημα, έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία καθημερινών ασφυκτικών συνθηκών διαβίωσης. Βέβαια, ευθύνη για αυτήν την κατάσταση φέρουν σίγουρα τα εκάστοτε πολιτειακά και κυβερνητικά όργανα που λαμβάνουν κατάλληλες αποφάσεις και θεσπίζουν νόμους. Ωστόσο, ευθύνη φέρουν και οι ίδιοι πολίτες, αφού δεν έχουν αφομοιώσει απλές πρακτικές και συνήθειες για την αντιμετώπιση του προβλήματος των ρυπογόνων σκουπιδιών, όπως είναι η σωστή χρήση των κάδων ανακύκλωσης (διαχωρισμός των απορριπτόμενων υλικών βάσει του χρώματος του κάθε κάδου), καθώς η χρήση κάδων κομποστοποίησης. Στα πλαίσια διερεύνησης των αστικών στερεών αποβλήτων (σύσταση, τρόποι διαχείρισης) έχει συνταχθεί ο οδηγός *Bisyplan* (2012) [48] που αποτελεί υποέργο του βασικού project *Bioenarea* [49], του οποίου συντονιστής είναι το πανεπιστήμιο Σουηδίας Linnaeus με βασικούς εταίρους το πανεπιστήμιο Tallinn της Εσθονίας (University of Technology), την Ελλάδα (EKETA), την Ιταλία (Invalsa) και την Ιρλανδία (Tipperary Energy Agency).

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η σημασία του όρου των αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ) και αναφέρονται οι τρόποι διαχείρισης των απορριμμάτων. Το κεφάλαιο κλείνει με το συνοπτικό πλαίσιο μιας ολοκληρωμένης διαχείρισης των παραγόμενων ΑΣΑ.

#### 3.1 ΑΣΤΙΚΑ ΣΤΕΡΕΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ (ΑΣΑ)

Η λέξη “σκουπίδια” αποτελεί έναν όρο παρερμηνευμένο στο μυαλό των περισσότερων ανθρώπων. Σκουπίδια/απορρίμματα ή απόβλητα αποτελούν αρνητικές έννοιες, και ουσιαστικά εκφράζουν κάτι το οποίο πλέον δεν είναι χρήσιμο, οπότε και πρέπει να απαλλαγούμε από αυτό με οποιονδήποτε τρόπο. Τα προηγούμενα χρόνια, το επάγγελμα το παλιατζήδων ήταν συνυφασμένο με την περισυλλογή παλαιών επίπλων και ρούχων. Ωστόσο, στις μέρες μας, ο χώρος των σκουπιδιών αποτελεί μια επιπλέον πηγή χρημάτων για τους παλιατζήδες, αφού διαλέγουν και περισυλλέγουν διάφορα χρήσιμα υλικά από τα σκουπίδια (κυρίως μέταλλα, αλλά και χύδην ξύλα, γυαλί, χαρτόνια κ.ά.). Επίσης, τα παρατημένα υπολείμματα τροφών που βρίσκονται στα σκουπίδια αποτελούν τροφή για πολλά αδέσποτα ζώα, αλλά και για πολλούς φτωχούς ανθρώπους. Αυτό συμβαίνει για διάφορους λόγους, ένας εκ των οποίων είναι η οικονομική-ανθρωπιστική κρίση που διανύει η Ελληνική κοινωνία. Συνοπτικά, αυτό σημαίνει ότι στους χώρους απόθεσης σκουπιδιών υπάρχει διαθέσιμη ποσότητα οργανικών και μη υλικών που με κάποιο τρόπο πρέπει να αξιοποιηθεί καταλλήλως χωρίς να επιβαρυνθεί η δημόσια υγεία και το περιβάλλον. Πρόκειται για ένα μεγάλο κεφάλαιο που μπορεί να επηρεάσει την κοινωνία τόσο σε οικονομικό όσο και σε περιβαλλοντικό επίπεδο.

**3.1.1 Απόβλητα/Απορρίμματα/Υπολείμματα.** Απόβλητα είναι το σύνολο των στερεών αποβλήτων (αστικών απορριμμάτων και βιομηχανικών υπολειμμάτων) και βιο-στερεών αποβλήτων (λύματα, λάσπη). Απορρίμματα όπως χαρτί, χαρτόνι, πλαστικά, σκουπίδια από αυλές, ξύλο, υπολείμματα τροφών και αγροτοβιομηχανικά υπολείμματα υπό μορφή φλοιών, κελυφών και ελαιοπυρήνων

αποτελούν την κατηγορία των στερεών αποβλήτων. Τέλος, τα απόβλητα ύδατα από οικιακές πηγές, τη βιομηχανία, τη διήθηση των επίγειων υδάτων και την απορροή των βρόχινων νερών συγκαταλέγονται στα βιοστερεά απόβλητα [50].

**3.1.2 Βιοαποικοδομήσιμα Απόβλητα.** Ουσιαστικά, η έννοια αυτή αποτελεί τον ορισμό της βιομάζας. Είναι το οργανικό κλάσμα των στερεών αποβλήτων, που αποσυντίθεται από μικροοργανισμούς, κατάλληλης αναλογίας, ώστε να προκαλεί δυσάρεστες οσμές με αποτέλεσμα να προσελκύει και να παρέχει τροφή σε ζωντανούς οργανισμούς. Βασικά, τα βιοαποικοδομήσιμα κλάσματα είναι το μέρος του σκουπιδιών που αποσυντίθεται και υπολείμματα τροφών, χρησιμοποιημένα οργανικά είδη οικιακής χρήσης, απόβλητα κατοικίδιων κ.ά. [48].

## 3.2 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΣΑ

Η έλλειψη σοβαρής και ουσιαστικής διαχείρισης των ΑΣΑ, έχει ως επακόλουθο τη μόλυνση του περιβάλλοντος και την υποβάθμιση της ποιότητας ζωής των κατοίκων. Σχετικά με αυτό το θέμα, είναι πολλές οι φορές κατά τις οποίες η Ελλάδα εγκαλείται για λόγους μη συμμόρφωσης με τους Ευρωπαϊκούς κανονισμούς και για τους ελλιπείς κρατικούς αυτοματισμούς διαχείρισης και αξιοποίησης των αστικών αποβλήτων. Για παράδειγμα, ενώ από το 2009 είχε εκδοθεί καταδικαστική απόφαση για την Ελλάδα διότι δεν είχε προβεί σε εγκατάσταση κατάλληλου δικτύου διάθεσης επικίνδυνων αποβλήτων, πρόσφατα το ευρωδικαστήριο επανήλθε για το ίδιο θέμα με την επιβολή προστίμων, μιας και δεν έγινε καμία διορθωτική κίνηση [51]. Ενθαρρυντική εξέλιξη προς αυτήν την κατεύθυνση αποτελεί το έργο *Κινητής Μονάδας Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης* στην πόλη της Αμαλιάδας του Νομού Ηλείας, που αν και ακόμη βρίσκεται σε στάδιο αξιολόγησης των οικονομικών προσφορών, οι αισιόδοξες εκτιμήσεις κάνουν λόγο ότι μέχρι το καλοκαίρι του 2016 θα έχει ξεκινήσει η διαδικασία εγκατάστασης της μονάδας [52]. Στο ίδιο μήκος κύματος κινείται και η ολοκληρωμένη πρόταση διαχείρισης απορριμμάτων που κατέθεσε ο Δήμος Τρίπολης [53]. Η συγκεκριμένη πρόταση, καθώς περιλαμβάνει και άλλες κατηγορίες αποβλήτων όπως απόβλητα βιομηχανίας, αδρανή υλικά και λυματολάσπη βιολογικών καθαρισμών, αποτελεί ουσιαστικά τη συνολική πρόταση του Αυστριακού Τεχνολογικού Ινστιτούτου IUT GROUP [54]. Τέλος αναφέρεται ότι το σχέδιο περιλαμβάνει και την αποκατάσταση χωματερών.

Η διαχείριση των δημοτικών αστικών αποβλήτων/απορριμμάτων έγκειται σε διάφορες μεθόδους επεξεργασίας. Η πιο παραδοσιακή μορφή επεξεργασίας είναι η απόρριψη των ΑΣΑ σε *εξωτερικούς χώρους διάθεσης (ΧΑΔΑ)*, οι *χώροι υγειονομικής ταφής (ΧΥΤΑ, ΧΥΤΥ)* είναι οι νέες εξελιγμένες μορφές των ΧΑΔΑ αλλά ωστόσο αμφιλεγόμενες. Η *ανακύκλωση*, ως η πιο γνωστή, και η *κομποστοποίηση*, λιγότερο γνωστή, αποτελούν τους πιο ορθούς τρόπους διαχείρισης ΑΣΑ.

### 3.2.1 Χώροι Διάθεσης & Ταφής ΑΣΑ.

**3.2.1.1 ΧΑΔΑ: Χώροι Ανεξέλεγκτης Διάθεσης Απορριμμάτων.** Ουσιαστικά, οι ΧΑΔΑ αποτελούν τις γνωστές “χωματερές” (εικόνα 3.1). Με απουσία οποιασδήποτε ουσιαστικής μεθόδου διαχείρισης των υλικών, αποτελούν καθαρά και μόνο χώρους αποθήκευσης σκουπιδιών, μπαζών κ.ά. Η μέθοδος της καύσης εφαρμόζεται ανεξέλεγκτα και μόνο στις περιπτώσεις που απαιτείται επιπλέον

χώρος για απόθεση νέων ποσοτήτων σκουπιδιών, αποτελώντας εστία μόλυνσης για το οικοσύστημα και τους κατοίκους των κοντινών περιοχών. Πλέον, οι ΧΑΔΑ έχουν χαρακτηριστεί παράνομοι [55] και τείνουν προς αποκατάσταση και αναδιαμόρφωση (ΧΥΤΑ και ΧΥΤΥ, βλ. υποπαραγράφους 3.2.1.2 και 3.2.1.3).

Σε δήμους όπου υπάρχουν ακόμη ενεργοί ΧΑΔΑ ή ανενεργοί που δεν έχουν αποκατασταθεί θα επιβληθούν πρόστιμα 11.440.000 ευρώ, επιπλέον των 14,5 εκ. ευρώ που έχει ήδη καταβάλει η χώρα. Σήμερα λειτουργούν 57 ΧΑΔΑ, ενώ 172 είναι ανενεργοί και δεν έχουν αποκατασταθεί. Σύμφωνα με την απόφαση του Ευρωπαϊκού Δικαστηρίου, θα καταβάλλονται 80.000 ευρώ ανά εξάμηνο για κάθε ΧΑΔΑ που εξακολουθεί να λειτουργεί και 40.000 ευρώ για κάθε ανενεργό που δεν έχει αποκατασταθεί περιβαλλοντικά. Να σημειωθεί ότι μέχρι το τέλος του 2014 λειτουργούσαν 70 ΧΑΔΑ και 223 ήταν ανενεργοί [56].



**Εικόνα 3.1:** ΧΑΔΑ και καύση σκουπιδιών [57]

**3.2.1.2 ΧΥΤΑ: Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων.** Εξέλιξη των ΧΑΔΑ και επόμενο βήμα απόθεσης και ταφής απορριμμάτων είναι οι ΧΥΤΑ (εικόνα 3.2). Πρόκειται για ειδικά διαμορφωμένους χώρους με αυστηρές προδιαγραφές λειτουργίας και σύγχρονο εξοπλισμό, όπου θα είναι εφικτή η ταφή αλλά και η ταυτόχρονη ενεργειακή αξιοποίηση του συνόλου των συλλεγόμενων απορριμμάτων.

Ο χώρος διαθέτει ειδική μεμβράνη στεγανοποίησης ώστε τα στραγγίσματα των απορριμμάτων να μην οδηγούνται προς το έδαφος, αλλά προς έναν μικρής κλίμακας βιολογικό καθαρισμό για επεξεργασία, όπως επίσης και συστήματα συλλογής των παραγόμενων αερίων από τη ζύμωση των απορριμμάτων. Κατά τακτά διαστήματα γίνονται έλεγχοι των υπόγειων υδάτων από εξειδικευμένο προσωπικό για τυχόν διαρροές από τη μεμβράνη στεγανοποίησης. Κατά την υγειονομική ταφή, τα απορρίμματα διαστρώνονται, συμπιέζονται και στο τέλος της ημέρας σκεπάζονται με αδρανές υλικό (συνήθως χώμα). Έτσι, μειώνεται στο ελάχιστο ο κίνδυνος για διασπορά των απορριμμάτων από τον άνεμο, αλλά και για την εξάπλωση δυσάρεστων οσμών.



**Εικόνα 3.2:** ΧΥΤΑ με ειδική μεμβράνη στεγανοποίησης [58]

3.2.1.3 ΧΥΤΥ: Χώροι Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων. Αποτελούν την πλέον εξελιγμένη μέθοδο διαχείρισης αποβλήτων. Ο όρος ΧΥΤΥ αφορά μια μέθοδο ελεγχόμενης και οργανωμένης διάθεσης των απορριμμάτων στο έδαφος κάτω από συγκεκριμένες προδιαγραφές.

Σημαντικό στοιχείο αποτελεί το γεγονός ότι στους ΧΥΤΥ δεν εναποτίθενται όλα τα απορρίμματα, αφού πραγματοποιείται διαχωρισμός υλικών. Υλικά όπως χαρτί, αλουμίνιο, πλαστικό, λευκοσίδηρος, σίδηρος, ύφασμα, γυαλί, ξύλο, κ.ά. μπορούν να ανακυκλωθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν. Συνεπώς, στους ΧΥΤΥ καταλήγουν κυρίως υπολείμματα τροφών, με αποτέλεσμα να έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής συγκριτικά με τους ΧΥΤΑ. Ένας ΧΥΤΥ είναι επίσης επιστρωμένος με κατάλληλο υλικό (μεμβράνη) που αποτρέπει τη διαρροή των υγρών, που παράγουν τα απόβλητα όταν αποσυντίθενται, στα υπόγεια νερά και το έδαφος.

Οι ΧΥΤΥ ως χώροι υποδοχής θα πρέπει να πληρούν μια σειρά προϋποθέσεων. Πρώτον, πρέπει να γίνεται η διαλογή στην τροφοδοσία των σκουπιδιών με τη διαδικασία της ανακύκλωσης. Δεύτερον, απαιτείται η ύπαρξη σταθμών μεταφορτώσεων για τη συμπίεση, άρα και μείωση του όγκου. Τρίτον, απαραίτητες είναι οι διαδικασίες μηχανικής ανακύκλωσης και κομποστοποίησης ή άλλης μορφής θερμικής επεξεργασίας, όπως αεριοποίηση και πυρόλυση. Τέλος, βασική προϋπόθεση για όλους τους χώρους αποθήκευσης και επεξεργασίας αποβλήτων) είναι το περιεχόμενο των απορριμμάτων να είναι απαλλαγμένο από τοξικά ή νοσοκομειακά απόβλητα.

Όταν τα απορρίμματα εναποτίθενται στους ΧΥΤΑ/ΧΥΤΥ, συμπιέζονται και σκεπάζονται με χώμα ώστε να επιταχυνθούν οι ζυμώσεις που λαμβάνουν χώρα και που οδηγούν στην αποσύνθεσή τους. Όταν η αποσύνθεση αυτή συντελείται σε μεγάλους όγκους απορριμμάτων, εκλύεται το αέριο<sup>(3)</sup> LFG (πλούσιο σε μεθάνιο), το οποίο μπορεί να συλλεγεί μέσω κάθετων ή και οριζόντιων σωλήνων (βλ. κεφ.4). Εάν η ποσότητα του παραπάνω αερίου είναι μικρή τότε αυτό καίγεται, ενώ αν είναι αρκετή χρησιμοποιείται σε ΜΕΚ (μηχανές εσωτερικής καύσης) για την παραγωγή ενέργειας. Οι χρόνιες ζυμώσεις επιταχύνονται από τη συλλογή του βιοαερίου, καθώς και την ορθή επαναχρησιμοποίηση των συλλεγομένων υγρών. Το πέρας χρήσης ενός ΧΥΤΑ/ΧΥΤΥ οφείλει να συνοδευθεί με δένδροφύτευση, ανάπλαση του χώρου και συνεχή έλεγχο του. Η κατασκευή ενός υγειονομικού χώρου ταφής απορριμμάτων προϋποθέτει πάντα την σωστή εκλογή του μέρους [59].

Εκτός από σοβαρά πλεονεκτήματα, η υγειονομική ταφή εμφανίζει και κάποια σοβαρά μειονεκτήματα. Ένα αρνητικό είναι η αυξημένη επιμέλεια που απαιτείται κατά τη διάρκεια λειτουργίας τους ώστε να αποκλείονται αστοχίες στη διαχείριση των εκπομπών του βιοαερίου και των στραγγισμάτων. Επιπλέον, βασικό μειονέκτημα (κυρίως στην Ελλάδα) είναι ότι οι ΧΥΤΑ, ΧΥΤΥ έχουν ταυτιστεί στη συνείδηση των πολιτών με τις παραδοσιακές χωματερές ανεξέλεγκτης διάθεσης και για το λόγο αυτό δεν έχουν κοινωνική αποδοχή. Κατά καιρούς, διαμάχες μεταξύ πολιτών, περιοχών όπου λειτουργούν οι Χώροι αυτοί (Κερατέα, Λευκίμμη) και αρχών καθιστούν ιδιαίτερα δύσκολη την ομαλή και σωστή λειτουργία τους [60].

<sup>(3)</sup> Περίπου 120-300m<sup>3</sup> εκλυόμενου αερίου ανά τόνο απορριπτόμενου αποβλήτου παράγονται συνολικά, με το περιεχόμενο να είναι ιδιαίτερα πλούσιο σε τοξικές/διαβρωτικές οργανικές ενώσεις, με αποτέλεσμα να προκαλούνται συχνά βλάβες στις μηχανές συμπαραγωγής [48]

**3.2.2 Ανακύκλωση.** Η ορθή και βιώσιμη διαχείριση αποβλήτων είναι ένα σύνολο δραστηριοτήτων που περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων τη συλλογή, μεταφορά, μεταφόρτωση, προσωρινή αποθήκευση, επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση και ανάκτηση συγκεκριμένων κατηγοριών αποβλήτων, έτσι ώστε αυτά να αξιοποιούνται και να εκτρέπονται από το ρεύμα των αποβλήτων που οδηγείται σε χώρους τελικής διάθεσης. Τα οφέλη της ανακύκλωσης αφορούν τόσο την προστασία του περιβάλλοντος και την εξοικονόμηση των φυσικών πόρων, όσο και την οικονομική ανάπτυξη και τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας. Βασικός παράγοντας για την ορθή διαδικασία της ανακύκλωσης είναι η διάθεση και σωστή χρήση των κάδων διαφόρων χρωμάτων (εικόνα 3.3).



**Εικόνα 3.3:** Χρωματιστοί κάδοι ανακύκλωσης διαφορετικής απόθεσης υλικών (πλαστικό, αλουμίνιο, γυαλί, χαρτί) [61]

Ξεκινώντας η ανακύκλωση ως ένα ρεύμα εποχής ή ως μόδα δεν είχε τον αναμενόμενο αντίκτυπο στον σύνολο των Ελλήνων πολιτών. Ωστόσο σήμερα, παρά την αρχική καθυστερημένη εναρμόισή της, διαφαίνεται ότι η ελληνική κοινωνία ταυτίζεται πλέον με τους στόχους της ΕΕ [62].

**3.2.3 Κομποστοποίηση** είναι η πιο απλή μέθοδος για να διατηρούνται τα νοικοκυριά καθαρά, χωρίς κακοσμίες από τη συσσώρευση υπολειμμάτων φαγητών εντός πλαστικών τσαντών, και επίσης ένας αποτελεσματικός και σχεδόν ανέξοδος τρόπος παρασκευής κοπριάς, κατάλληλης για αναγέννηση κήπων και μικρών οικιακών καλλιεργειών. Στην κομποστοποίηση, η φυτική και οργανική ύλη αποδομούνται χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση με τον εξής απλό φυσικό μηχανισμό: το σύνολο των υποεδάφιων μικροοργανισμών (βακτήρια, ζώδια, έντομα κ.ά.) και των πολύτιμων θρεπτικών στοιχείων που έχουν δημιουργηθεί με την πάροδο των ετών λόγω της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης (πεσμένα φύλλα, νεκρά δέντρα και ζώα), σε συνδυασμό με τα περιβαλλοντικά φαινόμενα (βρόχινα νερά, χιόνια, κατολισθήσεις κ.ά.) συντελούν στη δημιουργία ενός ζωντανού υποεδάφιου οικοσυστήματος. Τα βακτήρια, οι μύκητες και άλλα μικρόβια είναι οι 'εργάτες' της κομποστοποίησης που υποβοηθούνται και από πολλούς άλλους μεγαλύτερους οργανισμούς. Κατά τη διάρκεια της κομποστοποίησης, αυτά τα μικρόβια, καθώς αποικοδομούν τα οργανικά υλικά του σωρού, παράγουν διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), θερμότητα και νερό. Το τελικό αποτέλεσμα είναι το "κομπόστ", φυσικό λίπασμα καθαρό από χημικές προσμίξεις.

Αυτή η φυσική διεργασία πραγματοποιείται σε ειδικούς οικιακούς κάδους κομποστοποίησης (εικόνα 3.4), ρίχνοντας όσο γίνεται μικρότερη σε μέγεθος οργανική ύλη (φυτικά υπολείμματα και υπολείμματα τροφών) και έχει μέσο χρόνο ωρίμανσης περίπου 3-4 μήνες. Αυτό σημαίνει ότι αν χρησιμοποιούμε τον κάδο καθημερινά, θα έχουμε ένα μίγμα ώριμου κομπόστ και υλικών που βρίσκονται σε



όλα τα ενδιάμεσα στάδια κομποστοποίησης στο προαναφερθέν χρονικό διάστημα. Για την αποτελεσματική κομποστοποίηση χρειάζονται τόσο συνθήκες σωστού μίγματος υλικών, κατάλληλου αερισμού και υγρασίας, όσο και σωστό μέγεθος υλικών [63].



**Εικόνα 3.4:** Κάδος κομποστοποίησης μαζικής απόθεσης τροφίμων και φυτικών υπολειμμάτων (χόρτα, φύλλα κ.ά.) [64]

### 3.2.4 Ολοκληρωμένη Διαχείριση ΑΣΑ.

Η ολοκληρωμένη και αποδοτική διαχείριση ΑΣΑ πρέπει να συντελείται από μια εναρμονισμένη και αδιάλειπτη αλληλεπίδραση μεταξύ της εφοδιαστικής αλυσίδας, την οποία αποτελούν οι οικιακοί χρήστες, οι βιομηχανίες κ.ά., και των συστημάτων διαχείρισης, δηλαδή πρόσβαση σε συστήματα ανακύκλωσης ή και κομποστοποίησης, διαθεσιμότητα οχημάτων περισυλλογής/μεταφοράς και οποιασδήποτε άλλης μηχανικής ή βιολογικής επεξεργασίας που μπορεί να εφαρμοστεί μέχρι και την ενδεχόμενη ενεργειακή ανάκτηση της παραγόμενης βιομάζας. Η σημασία αυτής της αλληλεπίδρασης δίνεται συνοπτικά παρακάτω:

- Στον οικιακό τομέα, η εφαρμογή/διάθεση και η σωστή χρήση συστημάτων πλήρους εξυπηρέτησης και συλλογής από το πεζοδρόμιο έχουν ως αποτέλεσμα τον διαχωρισμό των διαφορετικών κλασμάτων των αποβλήτων και την μετέπειτα ορθή χρήση τους. Εναλλακτική λύση απόρριψης αποβλήτων αποτελούν οι σταθμοί συλλογής, ωστόσο τείνουν να παράγουν λιγότερο καθαρό οργανικό κλάσμα συγκριτικά με προϊόντα όπως χαρτί, γυαλί και μέταλλα που είναι πιο αποτελεσματικά [48].
- Αντίστοιχα, στον βιομηχανικό τομέα επιβάλλεται και πάλι ο διαχωρισμός των αποβλήτων, ενώ οι εν δυνάμει μεγάλες ποσότητες π.χ. λυματολάσπης που παράγονται μπορούν να επεξεργαστούν σε αναερόβιους αντιδραστήρες. Αν και η εφαρμογή αναερόβιων συστημάτων είναι περιορισμένη, υπάρχουν επιτυχημένα παραδείγματα πιλοτικών και βιομηχανικών εφαρμογών σύμφωνα με τον οδηγό Bisyplan [65].
- Απαραίτητη θεωρείται η ύπαρξη κατάλληλων συστημάτων περισυλλογής και μεταφοράς από τους οικιακούς και βιομηχανικούς χώρους. Απορριμματοφόρα πρέσας οπίσθιας φόρτωσης, πλάγιας φόρτωσης, φορτηγά που μεταφέρουν τους κάδους όπως και ανοιχτά φορτηγά στα οποία αδειάζονται οι κάδοι αποβλήτων, είναι τα μεταφορικά μέσα που απαρτίζουν αυτό το σκέλος [48].

- Η χρήση τεχνολογιών μηχανικής επεξεργασίας, όπως λειοτεμαχιστές και μαγνητικοί διαλογείς συμβάλλουν στη μετέπειτα βιολογική ή θερμική επεξεργασία του εναπομείναντος οργανικού κλάσματος.
- Τέλος, εφόσον τα οργανικά διαχωρισμένα ΑΣΑ περιέλθουν στους εξωτερικούς χώρους διάθεσης και ταφής (ΧΑΔΑ, ΧΥΤΑ, ΧΥΤΥ), κρίνεται ενεργειακά και περιβαλλοντικά απαραίτητη η ανάκτηση των εκλυόμενων αερίων. Η αξιοποίηση του παραγόμενου αερίου γίνεται από συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και από τεχνολογίες συμπαραγωγής οι οποίες παρουσιάζουν υψηλότερη απόδοση.

Συμπερασματικά αναφέρεται ότι η ενεργειακή διαχείριση αστικών απορριμμάτων, όπως η εφαρμογή αντιδραστήρων αναερόβιας χώνευσης (παραγωγή βιοαερίου) ή η χρήση τεχνολογίας ενεργειακής αξιοποίησης των εκλυόμενων αερίων από χώρους απόρριψης και ταφής αποβλήτων, αναμένεται να βοηθήσει στην αναβάθμιση του ήδη επιβαρυσμένου περιβάλλοντος των μεγάλων πόλεων. Με αυτούς τους τρόπους ελέγχεται η ανεξέλεγκτη έκλυση βιο/αερίου από τα απορρίμματα, που συντελεί σημαντικά στην εντατικοποίηση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Τέλος, επιταχύνει την εξάλειψη των οσμών και την αποφυγή εκδήλωσης πυρκαγιών, με το τελευταίο να αποτελεί σύνηθες φαινόμενο ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες [13]. Η συνέχεια της εργασίας εστιάζει στα παραγόμενα αέρια των χώρων διάθεσης και ταφής απορριμμάτων.

Το επόμενο κεφάλαιο περιγράφει την τεχνολογία μονάδων ανάκτησης LFG (κεφ.4). Στο κεφάλαιο 5 επιχειρείται τεχνο-οικονομική και περιβαλλοντική ανάλυση τεχνολογίας ανάκτησης LFG σε συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης, με τη χρήση υπολογιστικού μοντέλου.



## *Κεφάλαιο 4*

---

*Τεχνολογία Ανάκτησης  
Εκλυόμενων Αερίων από  
Χώρους Απόρριψης &  
Υγειονομικής Ταφής ΑΣΑ  
(LFG-RES)*

---



## 4. Εισαγωγή Κεφαλαίου

Το 1994, στα πλαίσια της ενεργειακής αξιοποίησης των εκλυόμενων αερίων από χωματερές και εξωτερικούς χώρους υγειονομικής ταφής ΑΣΑ, εκπονήθηκε ερευνητικό πρόγραμμα σχετιζόμενο με την επίδραση του παραγόμενου αερίου, του μεθανίου (LMOP: Landfill Methane Outreach Program), με συντονιστή τον Αμερικανικό Οργανισμό Προστασίας του Περιβάλλοντος (EPA) [3]. Σύμφωνα με το πρόγραμμα LMOP, η δυνατότητα αξιοποίησης των εκλυόμενων αερίων από χώρους απόρριψης και υγειονομικής ταφής ΑΣΑ (LFG: landfill gas) μπορεί να παρέχει πολλαπλά οφέλη για την τοπική κοινωνία, όπου γίνεται η εγκατάσταση, και τους τελικούς χρήστες, καθώς συμβάλλει και στην ανάπτυξη του εμπορίου των ενεργειακών συστημάτων. Τέτοιου είδους επενδύσεις, με συνεργασία πάντα των εκάστοτε κυβερνήσεων, των τοπικών κοινωνιών και των επιχειρήσεων, μπορούν να φέρουν επιτυχή αποτελέσματα (μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων αερίων θερμοκηπίου), ικανά να αντισταθμίσουν τη χρήση των συμβατικών καυσίμων. Επιτυχή αποτελέσματα μπορεί να είναι η βελτίωση των περιβαλλοντικών συνθηκών των τοπικών κοινωνιών, κέρδη για όλους τους εμπλεκόμενους, δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και συγχρόνως η προώθηση της ανάπτυξης ιδίων ή και διάφορων επιχειρηματικών επενδύσεων, αναπτύσσοντας έτσι μια νέα δυναμική αγορά [66].

Στο παρόν κεφάλαιο, του οποίου οι περισσότερες πληροφορίες αντλήθηκαν από το πρόγραμμα LMOP και από την επίσκεψη που πραγματοποιήθηκε στις εγκαταστάσεις της εταιρίας Βιοαέριο Ενέργεια Άνω Λιοσίων [67], γίνεται τεχνική ανάλυση της επιλεγμένης τεχνολογίας για την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Αρχικά, δίνεται ο ορισμός του εκλυόμενου αερίου και περιγράφονται οι φάσεις της διαδικασίας της μεθανογένεσης, μέχρι το παραγόμενο αέριο των απορριπτόμενων ΑΣΑ να φτάσει στην τελική του ποιοτική σύσταση. Στο δεύτερο μέρος αναλύονται όλα τα συστήματα που απαρτίζουν μια μονάδα ανάκτησης LFG, η οποία παράγει θερμική και ηλεκτρική ενέργεια υψηλών αποδόσεων.

### 4.1 ΕΚΛΥΟΜΕΝΟ ΑΕΡΙΟ (LFG)

Το εκλυόμενο αέριο χωματερών και εξωτερικών χώρων υγειονομικής ταφής ΑΣΑ αποτελεί ένα φυσικό υποπροϊόν της αποσύνθεσης του οργανικού κλάσματος με τη διεργασία αναερόβιας χώνευσης (απουσία οξυγόνου). Η σύσταση του παραγόμενου αερίου αποτελείται από 50-55% μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ), 40-50% διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), λιγότερο από 1% μη μεθανικές οργανικές ενώσεις και από κάποια ίχνη ανόργανων ουσιών [66].

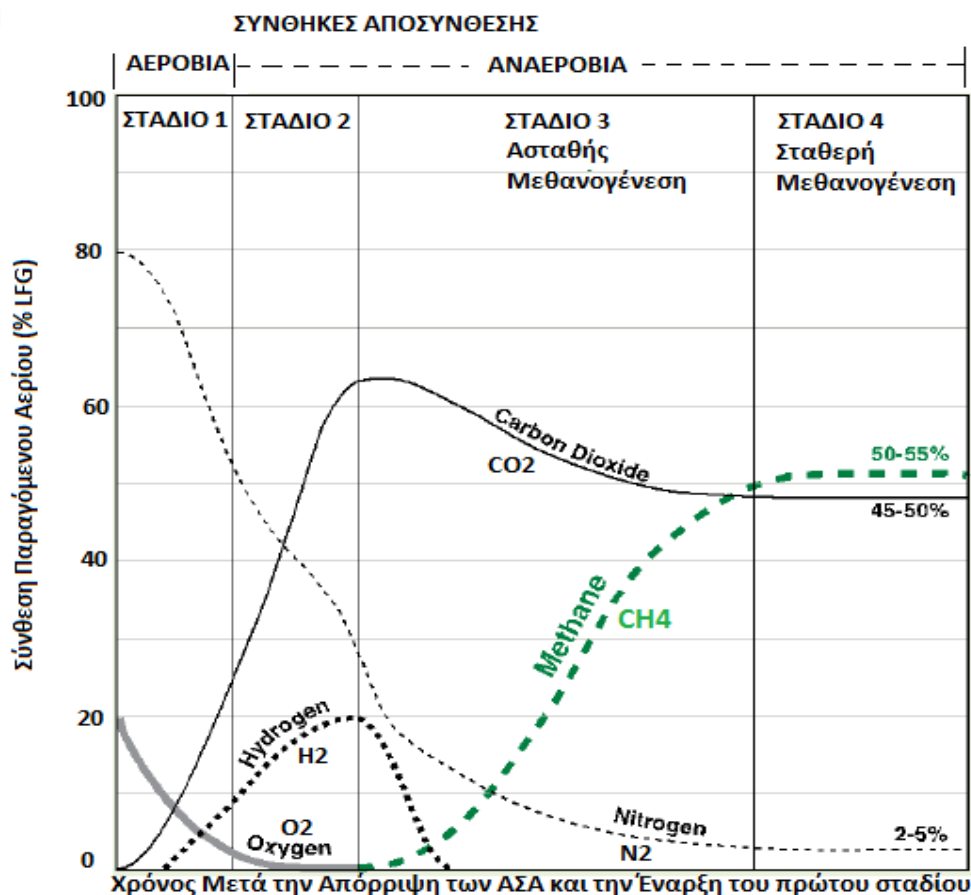
Μετά την απόρριψη και ταφή των ΑΣΑ λαμβάνει χώρα η σταδιακή αποσύνθεση τους, με τα βακτήρια να δρουν σε τέσσερις διαφορετικές φάσεις. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων, η σύσταση του εκλυόμενου αερίου διαφοροποιείται. Ο χρόνος αποσύνθεσης ποικίλει (χρόνος διάρκειας φάσεων) και εξαρτάται από τις συνθήκες του εξωτερικού χώρου απόθεσης και ταφής (υγρασία, βροχοπτώσεις, ποιότητα εδάφους), καθώς και από την ποιότητα/καθαρότητα των απορριπτόμενων ΑΣΑ [66].

Το πρώτο στάδιο αποσύνθεσης γίνεται υπό αερόβιες συνθήκες (παρουσία οξυγόνου), όπου βακτήρια διασπούν τις μεγάλες μοριακές αλυσίδες σύνθετων υδατανθράκων ( $\text{C}_x\text{H}_y$ ), λιπιδίων και πρωτεϊνών που αποτελούν το οργανικό μέρος

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΕΚΛΥΟΜΕΝΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΑΠΟ  
ΧΩΡΟΥΣ ΑΠΟΡΡΙΨΗΣ & ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗΣ ΤΑΦΗΣ ΑΣΑ (LFG-RES)**

των ΑΣΑ, καταναλώνοντας παράλληλα ποσότητες οξυγόνου. Η πρώτη φάση διεξάγεται μέχρις ότου το διαθέσιμο οξυγόνο φτάσει σε χαμηλά επίπεδα. Στη δεύτερη φάση επικρατούν συνθήκες αναερόβιας διαδικασίας (ελλείπει αέρα), με τα βακτήρια να μετατρέπουν τις ενώσεις που έχουν δημιουργηθεί από το πρώτο στάδιο σε οξικά-γαλακτικά και μυρμηκικά οξέα, καθώς και σε αλκοόλες, όπως μεθανόλη και αιθανόλη. Όσο τα οξέα αναμιγνύονται παρουσία υγρασίας στον χώρο απόρριψης/ταφής, καταναλώνονται ποσότητες αζώτου με παράγωγα CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>. Στην επόμενη φάση ( τρίτη), αναερόβια βακτήρια διασπούν τα παράγωγα οργανικά οξέα του δεύτερου σταδίου σχηματίζοντας οξικά άλατα, δηλαδή οργανικά οξέα. Αυτή η διαδικασία μεταλλάσσει τον χώρο απόρριψης/ταφής σε ένα ουδέτερο περιβάλλον, όπου τα βακτήρια παράγουν CH<sub>4</sub> και εγκαθίστανται καταναλώνοντας τις υπολειπόμενες ποσότητες CO<sub>2</sub> και των οξικών αλάτων. Στην τέταρτη και τελική φάση της αποσύνθεσης, η σύνθεση και η παραγόμενη ποσότητα του εκλυόμενου αερίου παραμένει σχετικά σταθερή, με τη συνήθη περιεκτικότητα να κυμαίνεται από 50-55% CH<sub>4</sub>, 45-50% CO<sub>2</sub> και άλλων αερίων προϊόντων όπως σουλφίδια. Υπό αυτές τις συνθήκες, το αέριο παράγεται σε έναν σταθερό ρυθμό για περίπου 20 χρόνια [66].

Οι τέσσερις φάσεις της διαδικασίας αποσύνθεσης και σύνθεσης του παραγόμενου αερίου περιγράφονται σχηματικά στο επόμενο γράφημα (εικόνα 4.1) και δίνονται συναρτήσε του χρόνου μετά την απόρριψη/ταφή των ΑΣΑ (όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο χρόνος παραμένει απροσδιόριστος).



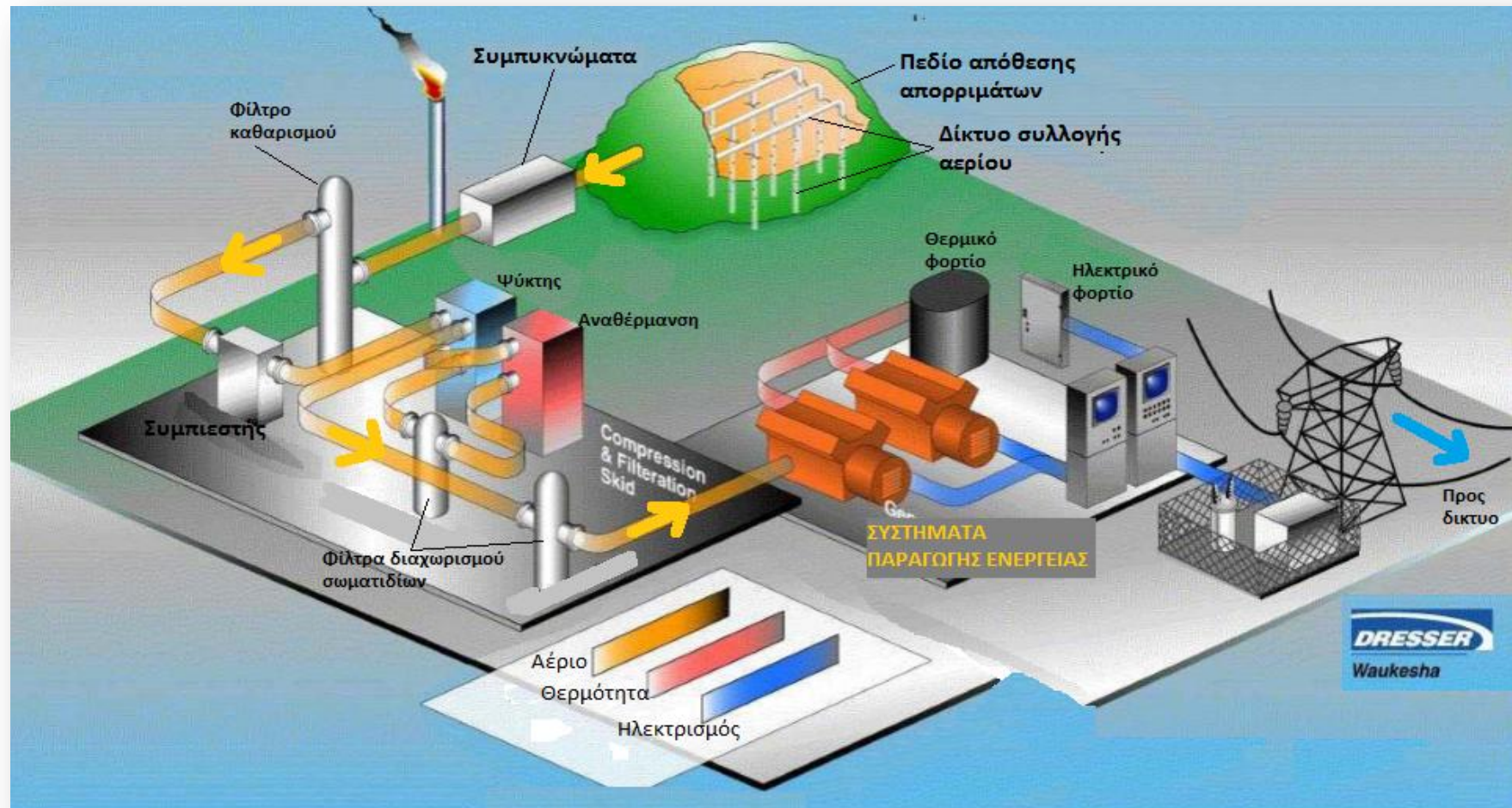
**Εικόνα 4.1:** Φάσεις αποσύνθεσης οργανικών ΑΣΑ και διαμόρφωση σύστασης εκλυόμενου αερίου [66]

## 4.2 ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ LFG

Σε συνέχεια της επίσκεψης που πραγματοποιήθηκε στις εγκαταστάσεις της εταιρίας ΒΕΑΛ ΑΕ για τις ανάγκες της εργασίας το μοντέλο που επιλέχθηκε να ακολουθηθεί είναι το παράδειγμα της εταιρίας αυτής. Η βασική τεχνολογία *LFG-RES (landfill Gas Recovery Energy System)* έγκειται στην ανάκτηση και ενεργειακή αξιοποίηση των εκλυόμενων αερίων από χώρους απόρριψης και υγειονομικής ταφής (ΧΑΔΑ, ΧΥΤΑ, ΧΥΤΥ) για την παραγωγή ρεύματος και πώλησης προς το δίκτυο, αλλά και την παραγωγή θερμότητας για τις ανάγκες της ίδιας μονάδας, κάνοντας ανάκτηση της απορριπτόμενου ποσού θερμότητας, με αποτέλεσμα την αύξηση της συνολικής απόδοσης της μονάδας.

Τα βασικά Η/Μ μέρη που αποτελούν μια τυπική μονάδα *LFG Energy Plant* (εικόνα 4.2), τα οποία αναλύονται στην παρούσα ενότητα, είναι το σύστημα διαχείρισης του παραγόμενου αερίου (συλλογή, επεξεργασία & καύση) και ο εξοπλισμός μετατροπής σε ωφέλιμη ενέργεια, δηλαδή ρεύμα, θερμότητα ή συνδυασμό αυτών. Στην περίπτωση που έχει επιλεγεί, η μονάδα αποτελείται από συνδυασμό μηχανής εσωτερικής καύσης (*ICE*) και γεννήτριας (*GEN*).

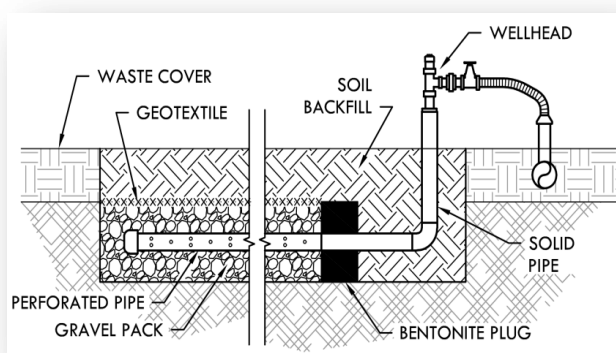
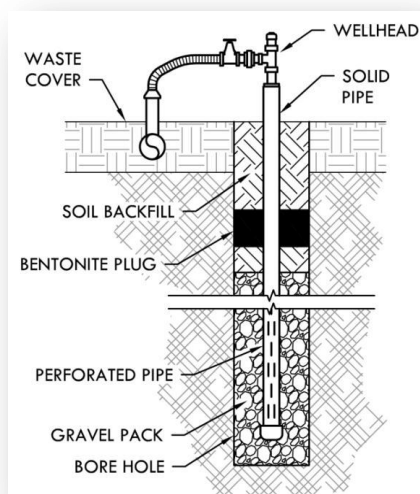




Εικόνα 4.2: Ενεργειακή μονάδα ανάκτησης εκλυόμενου αερίου [66]

**4.2.1 Σύστημα Διαχείρισης LFG.** Εφόσον το εκλυόμενο αέριο διέλθει μέσω του δικτύου συλλογής, πριν την τελική του χρήση και την παραγωγή ενέργειας εισέρχεται εντός διατάξεων καθαρισμού. Στις επόμενες υποπαραγράφους γίνεται αναλυτική αναφορά στο σύνολο των διατάξεων συλλογής αερίου.

**4.2.1.1 Συλλογή Αερίου.** Το σύστημα εξαγωγής του αερίου από τους χώρους απόρριψης ΑΣΑ αποτελείται από δίκτυο κατακόρυφων (πηγάδια, εικόνα 4.3α) και οριζόντιων αγωγών (εικόνα 4.3β), συλλέκτες κατάθλιψης του αερίου προς τους σταθμούς διανομής και επιπλέον από σταθμούς συλλογής/διανομής.



**Εικόνα 4.3α:** κατακόρυφοι αγωγοί [66]

**Εικόνα 4.3β:** οριζόντιοι αγωγοί συλλογής [66]

Οι εικόνες 4.3γ και 4.3δ δείχνουν τους μεμονωμένους κατακόρυφους αγωγούς συλλογής και τους σταθμούς μέτρησης καθαρότητας αερίου σε CH<sub>4</sub> αντίστοιχα, από τις εγκαταστάσεις της μονάδας του ΧΑΔΑ και ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων, ΒΕΑΛ ΑΕ.



**Εικόνα 4.3γ:** μεμονωμένοι κατακόρυφοι αγωγοί [67]

**Εικόνα 4.3δ:** σταθμοί μέτρησης καθαρότητας αερίου σε CH<sub>4</sub> [67]

- Κατακόρυφοι αγωγοί (πηγάδια): οι περισσότεροι σύγχρονοι χώροι υγειονομικής ταφής διαθέτουν τα πηγάδια εξαγωγής αερίου εγκιβωτισμένα στο επίπεδο του εδάφους, πάνω από μια γεωμεμβράνη η οποία λειτουργεί ως επιπλέον επένδυση του εδάφους. Ποσότητες ΑΣΑ απορρίπτονται και στοιβάζονται

περιμετρικά των πηγαδιών, των οποίων η απόσταση είναι μεταξύ 30-50m. Στο χαμηλότερο επίπεδο του αγωγού του πηγαδιού (διαμέτρου 100-200mm και μήκους 2m) τοποθετείται φίλτρο συλλογής στραγγισμάτων, τα οποία καταθλίβονται κατά μήκος ενός οριζόντιου σωληνοσυλλέκτη προς το πηγάδι συλλογής και από εκεί προς περαιτέρω επεξεργασία (π.χ. σε βιολογικό σταθμό). Το πηγάδι προστατεύεται περιμετρικά από χαλύβδινο αγωγό διαμέτρου 1m με μήκος μεταξύ 2,5-5m. Μεταξύ του φίλτρου στραγγισμάτων και του πηγαδιού παρεμβάλλονται κροκάλες ενεργού άνθρακα (εικόνα 4.4) και κάλυμμα δακτυλίου στεγανοποίησης. Το άνω μέρος του φίλτρου είναι κατασκευασμένο από αγωγό (χωρίς οπές), πάνω στον οποίο μοντάρεται μία βαλβίδα αερίου. Η έξοδος της βαλβίδας συνδέεται με μία σωλήνα αντιστάθμισης προς την κατάθλιψη του παραγόμενου LFG.

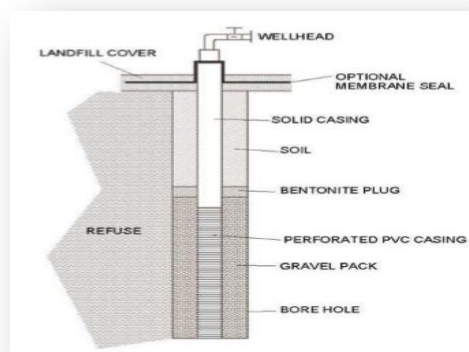


**Εικόνα 4.4:** Κροκάλες ενεργού άνθρακα [67]

Σε υφιστάμενες εγκαταστάσεις ΧΥΤΑ, τα πηγάδια εξαγωγής αερίου εισάγονται στο έδαφος με τη χρήση μηχανημάτων γεώτρησης. Κατακόρυφα ανοίγματα διαμέτρου 400-460mm δημιουργούνται προς τη βάση όπου εδράζονται τα απορριπτόμενα ΑΣΑ και, στη συνέχεια, εντός των ανοιγμάτων τοποθετούνται διάτρητοι αγωγοί (εικόνα 4.5α). Και εδώ, το διάκενο μεταξύ αγωγών και φρεατίου γεμίζει με κροκάλες ενεργού άνθρακα. Σε κάποιο σημείο του άνω μέρους, το φρεάτιο στεγανοποιείται με χώμα (άργιλο) και παράλληλα το κενό δίπλα στο φρεάτιο καλύπτεται με γεωμεμβράνη (εικόνα 4.5β).



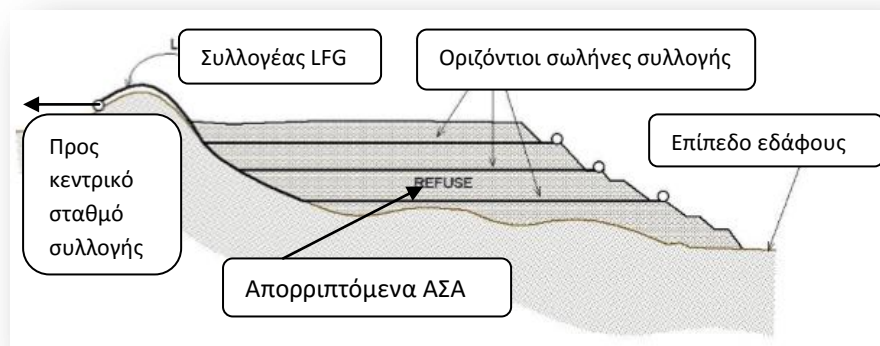
**Εικόνα 4.5α:** Διάτρητοι αγωγοί συλλογής [67]



**Εικόνα 4.5β:** Διάτρητοι αγωγοί εντός πηγαδιού [66]

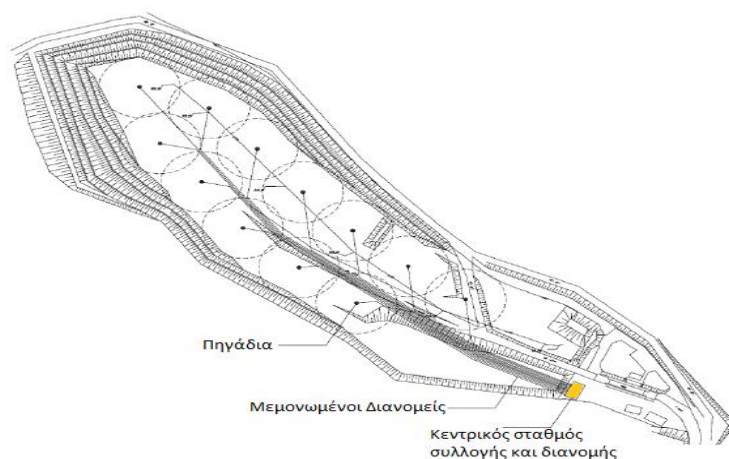
- **Οριζόντιοι αγωγοί:** το οριζόντιο δίκτυο σωλήνων είναι εναλλακτική επιλογή απαγωγής του LFG (εικόνα 4.6). Η επιφάνεια του πεδίου απόρριψης ΑΣΑ χωρίζεται σε κύτταρα (cells). Κάθε τμήμα διατρέχεται από αγωγούς συλλογής αερίου τοποθετημένους σε διαπερατό στρώμα αδρανούς υλικού, πάχους περίπου 200mm, εντός της στιβάδας αποβλήτων. Οι σωλήνες βρίσκονται σε ικανοποιητική

κλίση ώστε να απορρέουν τα συμπυκνώματα και να οδηγείται το αέριο στον κεντρικό σταθμό συλλογής. Ο οριζόντιος τρόπος απαγωγής του βιοαερίου εφαρμόζεται στις περιπτώσεις όπου η επιπλέον μεταφορά του εκλυόμενου αερίου πρέπει να περιοριστεί.

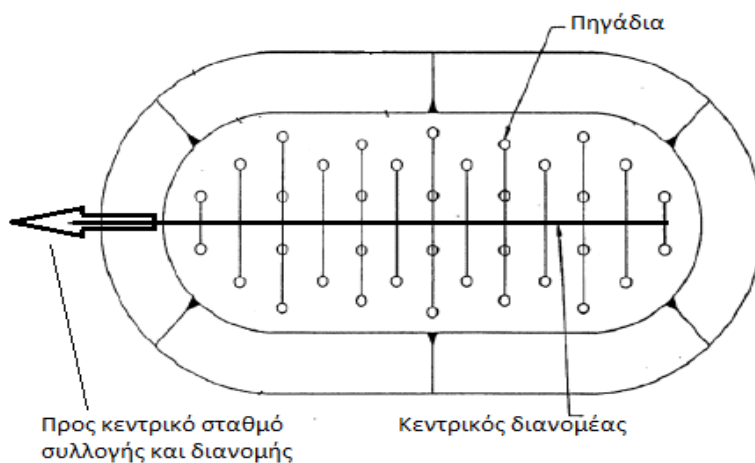


Εικόνα 4.6: Σύστημα συλλογής LFG σε οριζόντια διάταξη [66]

- Συνδυασμός κατακόρυφων - οριζόντιων: Στις περιπτώσεις εγκαταστάσεων όπου το στρώμα απόρριψης ΑΣΑ είναι πυκνό, χρησιμοποιούνται και οι δύο τύποι διάτρητων αγωγών συλλογής αερίου. Αυτή η λύση απομάστευσης αερίου έχει το οικονομικό πλεονέκτημα των λιγότερων εγκατεστημένων πηγαδιών συλλογής.
- Τρόπος σύνδεσης αγωγών: Η σύνδεση των αγωγών προς τον κεντρικό σταθμό διανομής μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους. Η *μεμονωμένη* σύνδεση (εικόνα 4.7α) απαιτεί μονά δίκτυα αγωγών (διαμέτρου 50-63mm) με το καθένα να τρέχει από ένα πηγάδι (ή οριζόντιο τμήμα) απευθείας προς τον σταθμό συλλογής. Το πλεονέκτημα της απευθείας σύνδεσης είναι ότι δίνεται η δυνατότητα της ρύθμισης των πηγαδιών σε ένα κοινό σημείο κατάθλιψης. Το αρνητικό με αυτήν τη μέθοδο είναι πως παρουσιάζεται το φαινόμενο του σιφωνισμού, που έχει ως αποτέλεσμα προβλήματα ροής του εξαγόμενου αερίου. Επιπλέον λειτουργικά προβλήματα παρουσιάζονται κυρίως όταν οι αγωγοί είναι εσφαλμένα τοποθετημένοι. Η *συγκεντρωτική* μέθοδος σύνδεσης (εικόνα 4.7β) έγκειται στο γεγονός ότι μοναδιαία πηγάδια και οριζόντιοι αγωγοί συνδέονται σε κεντρικό αγωγό παροχής αερίου, με διάμετρο 100-160mm, και τελικό αποδέκτη τον σταθμό συλλογής. Η συγκεκριμένη σύνδεση απαντάται κυρίως στα πεδία με αρκετά μεγάλη επιφάνεια. Πλεονέκτημα των συγκεντρωτικών αγωγών είναι η αποδοτικότερη απορροή συμπυκνωμάτων, λόγω της βελτιωμένης χωρητικότητας των αγωγών. Ωστόσο, λόγω της τοποθέτησης των ρυθμιστικών βαλβίδων αερίου σε κάθε πηγάδι, που έχει ως συνέπεια να απλώνονται σε μεγάλο εύρος επιφάνειας του πεδίου, καθίσταται προβληματικός ο έλεγχος του παραγόμενου αερίου [68].



Εικόνα 4.7α: Μεμονωμένη σύνδεση αγωγών [68]



Εικόνα 4.7β: Συγκεντρωτική σύνδεση αγωγών συλλογής σε κεντρικό διανομέα [68]

4.2.1.2 Κεντρικός Σταθμός Συλλογής και Διανομής προς τη Μονάδα Αερίου. Ο τελικός σταθμός συλλογής και διανομής του αερίου (εικόνα 4.8β) αποτελείται από: κολλέκτορες (εικόνα 4.8α) που προωθούν το αέριο προς τα συστήματα καύσης με χρήση φουσητήρων, οι οποίοι αναρροφούν το αέριο από το πεδίο και το καταθλίβουν στην εγκατάσταση των μηχανών, φίλτρα απομάκρυνσης στερεών σωματιδίων, δοχεία (βαρέλες) απόρριψης συμπυκνωμάτων, όργανα μέτρησης ποιότητας του εξαγόμενου LFG και όργανα ελέγχου του μεταφερόμενου αερίου προς τις μηχανές αξιοποίησης [68].

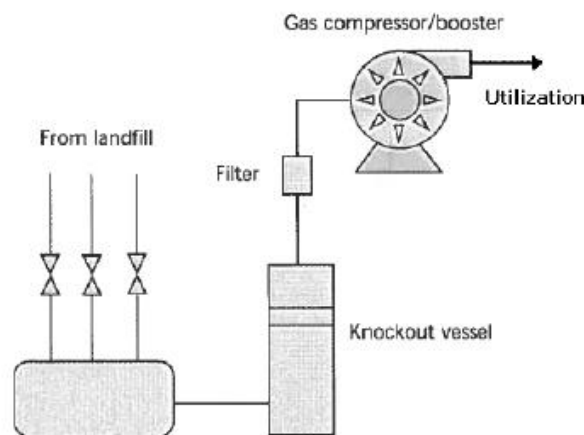


Εικόνα 4.8α: Κολλέκτορες συλλογής [68]



Εικόνα 4.8β: Κεντρικός σταθμός συλλογής και διανομής αερίου [68]

4.2.1.3 *Φυσητήρας (blower)*. Ο φυσητήρας (εικόνα 4.9) εξάγει το αέριο από τους σταθμούς συλλογής και το μεταβιβάζει στο ρεύμα επεξεργασίας και ανάκτησης-μετατροπής ενέργειας. Το μέγεθος, ο τύπος και ο απαιτούμενος αριθμός των φυσητήρων εξαρτάται από τη ροή του αερίου και την απόσταση από το ρεύμα διεργασίας (δηλαδή το μαομετρικό του δικτύου: μήκος, διάμετρος, καμπύλες κτλ.) [68].



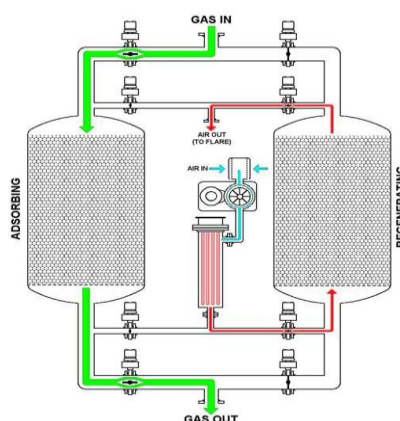
Εικόνα 4.9: Φυσητήρας κατάθλιψης LFG [69]

4.2.1.4 *Επεξεργασία Αερίου*. Συμπυκνώματα, τα οποία προκύπτουν από την απαγωγή θερμότητας του θερμού αερίου κατά την διαδρομή του εντός των αγωγών, σωματίδια και διάφορες ακαθαρσίες που πιθανόν να μεταφέρει, προκαλούν μείωση στην απόδοση του συστήματος, φθορά στις μηχανές και, άρα, υψηλό κόστος συντήρησης. Για τον λόγο αυτό, πριν τη χρήση του LFG και τη μετατροπή του σε ωφέλιμη ενέργεια, κρίνεται απαραίτητη η χρήση διατάξεων συστημάτων φιλτραρίσματος.

Τα συνήθη συστήματα βελτιστοποίησης της ποιότητας του αερίου χωρίζονται σε πρωτεύοντα και δευτερεύοντα συστήματα επεξεργασίας αερίου. Συνήθως, τα πρωτεύοντα συστήματα περιλαμβάνουν διάταξη αφύγρανσης και φίλτρα κατακράτησης/απομάκρυνσης σωματιδίων. Οι αφυγραντήρες λειτουργούν

με την απλή λογική της κατακράτησης νερού ή συμπυκνωμάτων του αερίου χρησιμοποιώντας τις “knockout” συσκευές (εικόνα 4.9). Άλλη μέθοδος αφύγρανσης είναι και η χρήση αερίου ψύξης και συμπίεσης, η οποία αποτελεί σταθερό υποσύστημα στις μονάδες ανάκτησης LFG. Ο σχεδιασμός των δευτερευόντων συστημάτων επιτυγχάνει καθαρισμό του αερίου σε μεγαλύτερο βαθμό συγκριτικά με τα πρωτεύοντα. Επιπλέον, μπορούν να εφαρμοστούν και για πολλαπλή διαδικασία καθαρισμού, όπως φυσικές και χημικές διεργασίες. Ο τύπος των δευτερευόντων εξαρτάται από την ποιότητα των συστατικών στοιχείων που πρέπει να απομακρυνθούν για τη βέλτιστη τελική χρήση του αερίου. Από τους δύο πλέον πιο μολυσματικούς τύπους ρύπων είναι το σιλοξανίο<sup>(4)</sup> (siloxanes) και οι ενώσεις του θείου<sup>(5)</sup> (sulfur compounds).

Οι πιο συνηθισμένες τεχνολογίες δευτερευόντων τεχνολογιών επεξεργασίας βιοαερίου είναι τα συστήματα προσρόφησης και απορρόφησης. Με τη διαδικασία της προσρόφησης, με την οποία απομακρύνονται τα σιλοξάνια, τα ρυπογόνα στοιχεία προσκολλώνται στη επιφάνεια ενός κατάλληλου προσροφητή, όπως ο ενεργός άνθρακας ή η γέλη πυριτίου. Στην εικόνα 4.10 παρουσιάζεται η διάταξη ενός συστήματος προσρόφησης. Άλλες διατάξεις επεξεργασίας αερίου και απομάκρυνσης του σιλοξανίου είναι η ψύξη σε θερμοκρασίες υπό του μηδενός και το υγρό καθάρισμα. Τέλος, η τεχνολογία της απορρόφησης απομακρύνει θειικές ενώσεις από το LFG παρουσία διαλύτη ή ενός στέρεου αντιδρώντος, παράγοντας χημική/φυσική αντίδραση [66].



Εικόνα 4.10: Σύστημα απομάκρυνσης σιλοξανίου [66]

<sup>(4)</sup> Σιλοξάνιο: ενώσεις του οργανοπυριτίου που εντοπίζονται σε οικιακά και εμπορικά προϊόντα που απορρίπτονται σε χώρους υγειονομικής ταφής. Η ποσότητα του σιλοξανίου στο LFG ποικίλει και εξαρτάται από τη σύνθεση και τον χρόνο αποσύνθεσης των αποβλήτων. Κατά την καύση του βιοαερίου, η σιλοξάνη διασπάται σε διοξείδια του πυριτίου (το κυρίως συστατικό στοιχείο της θαλάσσιας άμμου). Το πυριτικό διοξείδιο είναι μια λευκή ουσία που επικάθεται στην εσωτερική επιφάνεια των MEK και στα μέρη των αεριοτουρμπίνων, μειώνοντας έτσι την απόδοση του συστήματος, με αποτέλεσμα το υψηλότερο κόστος συντήρησης [66].

<sup>(5)</sup> Θειικές ενώσεις που περιλαμβάνουν σουλφίδια και δισουλφίδια (όπως υδρόθειο:  $H_2S$ ) είναι εξαιρετικά διαβρωτικά στοιχεία, ιδιαίτερος παρουσία υγρασίας. Στην περίπτωση που τα απόβλητα προέρχονται από οικιακές ή εμπορικές πηγές, οι θειικές ενώσεις βρίσκονται σε μικρά ποσοστά χωρίς να χρήζουν επεξεργασίας καθαρισμού. Αντίθετα, όταν τα απόβλητα είναι προϊόντα κατεδαφίσεων και κατασκευής, τα θειικά είναι σε πολύ υψηλότερη συγκέντρωση και απαιτούνται αξιόπιστα συστήματα κατακράτησης και απομάκρυνσης αυτών [66].

4.2.1.5 *Συσκευή Καύσης Αερίου (flare)*. Σε αυτήν τη συσκευή, το αέριο αναφλέγεται και καίγεται. Αποτελεί μέρος κάθε μονάδας ανάκτησης LFG με την οποία ελέγχονται οι εκπομπές του αερίου κατά την εκκίνηση και το σταμάτημα της μονάδας, όπου οι καταναλώσεις είναι μεγαλύτερες από την κανονική λειτουργία και επιπλέον περιορίζει τις πιθανές περισσευούμενες ποσότητες αερίου αν ξεπερνούν την ονομαστική χωρητικότητα της μονάδας. Επιπλέον, με την συσκευή καύσης αερίου επιτυγχάνεται με οικονομικό τρόπο η σταδιακή αναβάθμιση (αύξηση ισχύος) μιας ενεργούς μονάδας ανάκτησης αερίου. Εως ότου εγκατασταθεί η νέα μηχανή μετατροπής ενέργειας η συλλεγόμενη ποσότητα αερίου, που αυξάνει λόγω της απόρριψης επιπλέον ποσότητας ΑΣΑ, καίγεται με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η έκλυση μεθανίου στην ατμόσφαιρα.

Οι συσκευές καύσης αερίου διακρίνονται σε ανοικτού (εικόνα 4.11α) και κλειστού (εικόνα 4.11β) τύπου. Οι κλειστού τύπου έχουν πιο υψηλό κόστος, αλλά συνήθως προτιμούνται (ή επιβάλλονται από περιβαλλοντικούς κανονισμούς στην Αμερική) έναντι των ανοικτών τύπου, διότι παρέχουν μεγαλύτερο έλεγχο στις συνθήκες καύσης, επιτρέπεται η δοκιμή της καπνοδόχου και επιτυγχάνουν υψηλότερους βαθμούς απόδοσης στην καύση (μεγαλύτερα ποσοστά καύσης μεθανίου). Ακόμη, παρουσιάζουν χαμηλότερα επίπεδα θορύβου και οπτικής όχλησης λόγω της λάμψης από τη φλόγα καύσης.



**Εικόνα 4.11α:** Καύση αερίου ανοικτού τύπου [66]



**Εικόνα 4.11β:** Καύση αερίου κλειστού τύπου [66]

4.2.2 **Διάταξη Συστήματος Παραγωγής Ενέργειας** [66, 68]. Τα συστήματα μετατροπής και παραγωγής ενέργειας αποτελούνται κυρίως από τρεις τύπους τεχνολογιών, ανάλογα με το μέγεθος της εφαρμογής. Η πιο συνηθισμένη τεχνολογία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ή συμπαραγωγής) είναι οι μηχανές εσωτερικής καύσης (ICE), οι οποίες καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο μερίδιο της αγοράς ( $\approx 70\%$ ) σε εγκαταστάσεις ανάκτησης βιοαερίου. Το εύρος ισχύος της απόδοσης μιας ΜΕΚ κυμαίνεται μεταξύ 800KW και 3000KW. Συστοιχίες πολλαπλών ΜΕΚ συνιστούν έργα μεγαλύτερης ισχύος των 3000KW. Επιπλέον, μικρές ΜΕΚ έχουν ισχύ μικρότερη του 1MW. Ο τύπος των αεριοτουρμπίνων (GT) χρησιμοποιείται για πολύ μεγαλύτερα έργα από αυτών των ΜΕΚ, με εγκατεστημένη ισχύ τουλάχιστον 5000KW. Η περίπτωση των τουρμπίνων χαμηλής ισχύος (MT) συναντάται σε εγκαταστάσεις μικρότερων ισχύων, 30-250KW.

Άλλες λιγότερο συνηθισμένες περιπτώσεις συστημάτων μετατροπής και παραγωγής ενέργειας αποτελούν οι συνδυασμοί ατμοστρόβιλου (ST) και Λέβητα, όπου το εκλυόμενο αέριο καίγεται εντός του λέβητα και οι παραγόμενοι ατμοί



τροφοδοτούνται προς τον ST, όπου τον περιστρέφουν και έτσι παράγεται ενέργεια. Συστήματα συνδυασμένου κύκλου (GT και ST) είναι εφαρμογές στις οποίες το LFG καίγεται στον GT και κατόπιν οι ατμοί περιστρέφουν τον ST, παράγοντας έτσι ηλεκτρική ενέργεια. Για έργα μεγαλύτερης ισχύος, χρησιμοποιούνται τεχνολογίες συνδυασμένου κύκλου ST-GT και Λέβητα. Τέλος, οι μηχανές Stirling ανταποκρίνονται σε έργα μικρής κλίμακας, 2,5-100KW, με τις πιο μεγάλες μηχανές (200-300KW) να βρίσκονται σε στάδιο ανάπτυξης.

Τα συστήματα συμπαραγωγής με μηχανές εσωτερικής καύσης και γεννήτριες (εικόνα 4.12) είναι ευρέως διαδεδομένα στην αγορά ανάκτησης LFG. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η ισχύς βρίσκεται στο εύρος 800-3000KW με συνολική απόδοση παραγωγής ενέργειας 65-90% και κατά προσέγγιση ποσοστά 25-40% και 40-50% για το ρεύμα και τη θερμότητα αντίστοιχα.



Εικόνα 4.12: GEN-Set GE's Jenbacher Type-4, 800-1,500kW<sub>e</sub> [70]

Η εν λειτουργία μηχανή, λόγω της καύσης του εκλυόμενου αερίου, περιστρέφει την γεννήτρια, η οποία παράγει ρεύμα. Κατά τη διάρκεια λειτουργίας της, η ICE ανεβάζει θερμοκρασία, οπότε και παράγει σημαντικά ποσά θερμότητας που ανακτώνται από το ελαιόψυκτο σύστημα, ενώ επιπλέον θερμότητα αποβάλλεται στην ατμόσφαιρα με τη μορφή καυσαερίων. Η CHP μονάδα ανακτά αυτούς τους δύο τύπους ισχύος υπό μορφή θερμότητας μέσω πρωτευόντων κλειστών κυκλωμάτων εναλλακτών. Τα ανακτημένα ποσά ενέργειας μεταφέρονται από τον εναλλάκτη μέσω δευτερεύοντος κλειστού κυκλώματος, με μεταφερόμενο ρευστό νερό ή γλυκόλη. Ένας βοηθητικός αυτοματισμός ελέγχου (auxiliary drive switchgear) εξασφαλίζει τις επιθυμητές συνθήκες παροχής του ρευστού (νερό ή γλυκόλη) στην είσοδο και την έξοδο της CHP μονάδας, ρυθμίζοντας τις αντίστοιχες βάνες και το επικουρικό σύστημα ψύξης, και καταγράφοντας μόνιμα τις τιμές του ρευστού (παροχή, θερμοκρασία, πίεση κτλ.). Εάν το νερό στην είσοδο της μονάδας είναι πάνω από την επιτρεπόμενη θερμοκρασία, τότε ο βοηθητικός αυτοματισμός στέλνει μέσω by-pass ποσότητα νερού προς το σύστημα ψύξης. Στην αντίθετη περίπτωση κατά την οποία το νερό είναι χαμηλής θερμοκρασίας, το by-pass κύκλωμα ανεβάζει θερμοκρασιακά το ρευστό στα επιθυμητά επίπεδα. Η συνολική λειτουργία του βοηθητικού αυτοματισμού έγκειται στο γεγονός ότι διατηρεί ένα θερμοκρασιακό διαφορικό μεταξύ εισόδου και εξόδου της CHP, της τάξης  $\Delta T \approx 20^{\circ}\text{C}$  ( $70^{\circ}\text{C}$  είσοδος &  $90^{\circ}\text{C}$  έξοδος).

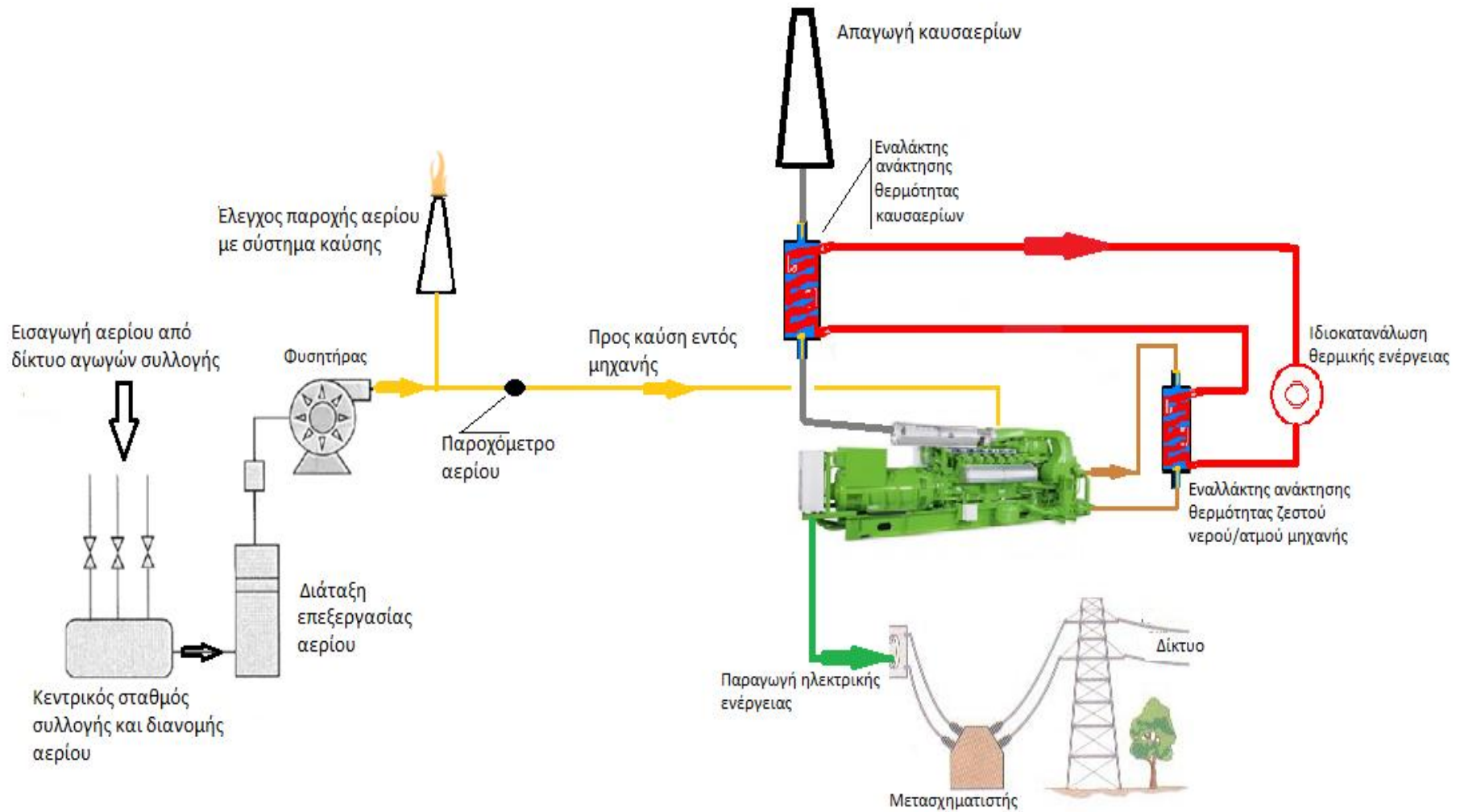
Ένα άρτιο σύστημα αερίου – αέρα καύσης είναι απαραίτητο για την αποδοτική λειτουργία της μηχανής. Η παλινδρομική μηχανή καύσης χρειάζεται κατάλληλη αναλογία μίγματος καύσιμου αερίου και νωπού αέρα, ώστε το μίγμα να αναφλεγεί και να καεί πλήρως στους θαλάμους καύσης της μηχανής. Για τη σωστή αναλογία μίγματος καύσης υπάρχει αυτοματισμός ελέγχου αναλογίας καυσίμου-αέρα. Ο φρέσκος αέρας εισάγεται μέσω φίλτρου, με τα χαρακτηριστικά του αερίου

καυσίμου (πίεση, παροχή) να ελέγχονται μέσω ρυθμιστών πιέσεων ή on-off και ρυθμιστικών βανών.

Επιπλέον βοηθητικό σύστημα αποτελεί το σύστημα λίπανσης των μηχανών. Για την ομαλή λειτουργία της CHP μονάδας απαιτείται εξωτερικό σύστημα παροχής ελαίου (ένα για κάθε μηχανή καύσης) για τη λίπανση των κινούμενων μερών αυτής, καλύπτοντας επιπλέον απώλειες λόγω διαρροών του δικτύου. Το σύστημα παροχής ενέργειας αποτελείται από συσκευές και αυτοματισμούς με σκοπό την προστασία των ηλεκτρολογικών διατάξεων από υπερτάσεις και βραχυκυκλώματα. Ακόμη, οι συγκεκριμένοι αυτοματισμοί έχουν τη δυνατότητα ελέγχου λειτουργίας της συστοιχίας μηχανών, δίνοντας εκκινήσεις και σταματήματα όποτε αυτό χρειαστεί.

Η εικόνα 4.13 που ακολουθεί συνοψίζει όλα τα στοιχεία που αναφέρθηκαν και απαρτίζουν τις GEN-Set μηχανές μιας LFG-CHP μονάδας. Για λόγους απλοποίησης και εστίασης στο ζητούμενο σύστημα, έχει παραληφθεί η αναφορά του συστήματος λίπανσης και ψύξης της μηχανής.





**Εικόνα 4.13:** Βασική διάταξη ενεργειακής μονάδας συμπαραγωγής (CHP) με καύσιμο LFG (η ιδέα σχεδίασης δόθηκε από την πηγή [71])



# *Κεφάλαιο 5*

---

*Μελέτη Περίπτωσης:  
Τεχνο-οικονομική &  
Περιβαλλοντική Ανάλυση  
Συστημάτων LFG-RES*

---



## 5. Εισαγωγή Κεφαλαίου

Ως περίπτωση εφαρμογής για την ανάλυση συστημάτων ενεργειακής ανάκτησης εκλυόμενων αερίων από χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ή και ΧΑΔΑ) επιλέγεται αστική περιοχή. Η τεχνο-οικονομική και περιβαλλοντική προσέγγιση της τεχνολογίας LFG-RES γίνεται με τη χρήση βάσης δεδομένων λογισμικού προσομοίωσης (LFGcost-WEB V.3). Συγκεντρωτικοί πίνακες παρουσιάζουν τα κοστολόγια (σε μονάδες \$) εγκατάστασης των μονάδων βάσει της συνολικής τους ισχύος (KW), η οποία προκύπτει από την απορριπτόμενη ποσότητα ΑΣΑ και τον ρυθμό παροχής του LFG, στοιχεία που αφορούν τη μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια (kwh). Επιπρόσθετα, οι πίνακες αυτοί παρουσιάζουν περιβαλλοντικά αποτελέσματα, όπως ισοδύναμα CH<sub>4</sub> του συλλεγόμενου αερίου, καθώς και αποφυγές CO<sub>2</sub>, των οποίων η μείωση επιτυγχάνεται από τη μη χρήση ορυκτών καυσίμων. Επίσης, τα κόστη και οι αποδόσεις των διαφορετικών συστημάτων LFG-RES, που έχουν επιλεγεί βάσει σεναρίων ως προς την απορριπτόμενη ποσότητα ΑΣΑ και άλλων παραμέτρων, συγκρίνονται μέσω γραφικών αναπαραστάσεων. Στο τελικό σκέλος του έκτου κεφαλαίου επιλέγεται ιδανικό σενάριο εφαρμογής, το οποίο προκύπτει από την ανάλυση των αριθμητικών αποτελεσμάτων των αρχικών σεναρίων και υποθέσεων.

### 5.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η επιλεγμένη προς μελέτη αστική περιοχή είναι ο Δήμος Λιβαδειάς. Ο Δήμος Λιβαδειάς αποτελεί την πρωτεύουσα του Νομού Βοιωτίας, ανήκει στην Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας και εντοπίζεται 135km ΒΔ της Αθήνας (εικόνα 5.1).



Εικόνα 5.1: Επιλεγμένη αστική περιοχή προς μελέτη [72]



**5.1.1 Πληθυσμιακό Προφίλ Ενεργειακής Κατανάλωσης.** Πρόκειται για μια σχετικά αγροτική περιοχή, αφού περιλαμβάνει ενασχόληση με τον πρωτογενή τομέα παραγωγής (καλλιέργεια ελαιόδεντρων, βαμβακιού, σταφυλιών, καθώς και κτηνοτροφία), με πληθυσμό που αγγίζει τους 21.379 κατοίκους (απογραφή 2011). Η βιομηχανία περιορίζεται σε μικρής κλίμακας δραστηριότητες, όπως ελαιοτριβεία και εκκοκκιστήρια βαμβακιού, ενώ έντονη είναι η παρουσία επαγγελματικών εταιριών προμήθειας οικοδομικών υλικών (αλουμίνια, πλακάκια, υδραυλικά είδη κ.α.). Μεγάλο μερίδιο στην ενεργειακή αγορά κατέχουν τα κεντρικά εμπορικά καταστήματα, τα δημόσια διοικητικά κτίρια και ο κλάδος της υγείας. Τέλος, τη μερίδα του λέοντος στο ενεργειακό προφίλ κατέχουν οι οικιακοί χρήστες. Οι πίνακες 5.1, 5.2 συνοψίζουν τις ενεργειακές απαιτήσεις της πόλης της Λειβαδιάς για το έτος **2013** [73]. Για την κάθε κατηγορία τάσης (μέση ΜΤ και χαμηλή ΧΤ) παρουσιάζονται οι υποκατηγορίες των χρηστών και οι ενεργειακές απαιτήσεις αυτών.

**Πίνακας 5.1** [73]: Καταναλώσεις 2013 στη ΧΤ (MWh), ανά είδος χρήστη, για την πόλη της Λειβαδιάς

ΧΤ	Είδος ενεργειακής κατανάλωσης						ΣΥΝΟΛΟ (κατά την 31.12)
	Οικιακή	Βιομηχανία	Εμπορική	Γεωργική	Φωτισμός	Δημόσια κτίρια	
	73.434	3.794	40.193	38.517	4.743	2.991	163.672

**Πίνακας 5.2** [73]: Καταναλώσεις 2013 στη ΜΤ (MWh), ανά είδος χρήστη, για την πόλη της Λειβαδιάς

ΜΤ	Είδος ενεργειακής κατανάλωσης				ΣΥΝΟΛΟ (κατά την 31.12)
	Βιομηχανική	Εμπορική	Γεωργική	Δημόσια κτίρια	
	23.617	7.300	4.365	1.506	36.788

Επομένως, η ετήσια ηλεκτρική ενέργεια ( $MWh_e$ ) που απαιτεί η υπό εξέταση περιοχή σε ΧΤ και ΜΤ ισούται με:

$$E_{(an.)} = 200.460 MWh_e/yr$$

**5.1.2 Διαθέσιμο Ποσοτικό & Ποιοτικό Δυναμικό Εκλυόμενου Αερίου.** Από τα πλέον σημαντικά στοιχεία για τον προσδιορισμό του εκλυόμενου αερίου είναι: η ετήσια απορριπτόμενη ποσότητα των ΑΣΑ (tn/yr) στους χώρους υγειονομικής ταφής, η περιεκτικότητα αυτής της ποσότητας σε αέριο ( $ft^3/tn$ ), η περιεκτικότητα (%) του αερίου σε μεθάνιο ( $CH_4$ ) και τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής σε βροχόπτωση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, θα γίνουν υποθέσεις και θα εισαχθούν στη βάση δεδομένων ως σταθεροί παράμετροι, από τις προεπιλογές που διαθέτει το λογισμικό (βλ. ενότ.5.2).

## 5.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ & ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η παρούσα ενότητα αρχικά παρέχει ορισμένες εισαγωγικές πληροφορίες σχετικά με το χρησιμοποιούμενο λογισμικό LFG-cost-WEB και αναλύεται η μεθοδολογία στην οποία βασίζεται. Αναλυτικές πληροφορίες δίνονται στο παράρτημα Β.

**5.2.1 Λογισμικό LFGcost-WEB V.3.0: Γενικές Πληροφορίες.** Το λογισμικό *LFGcost-WEB V.3.0 2014* αποτελεί ένα υπολογιστικό μοντέλο σε περιβάλλον Microsoft<sup>®</sup> Excel, το οποίο έχει αναπτυχθεί στην Αμερική στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος EPA's Landfill Methane Outreach Program (LMOP) και εξάγει οικονομικά στοιχεία για εφαρμογές ανάκτησης LFG (εικόνα 5.2).



Εικόνα 5.2: LFGcost-WEB V.3.0 [74]

Οι υπολογισμοί του LFGcost-WEB V.3.0 2014 πραγματοποιούνται με την επίλυση *εξίσωσης πρώτου βαθμού* (βλ. παράρτημα Β), μέσω της οποίας προκύπτει το παραγόμενο-εκλυόμενο αέριο (LFG) από τους χώρους απόθεσης των ΑΣΑ. Το παραγόμενο ποσοστό LFG προσεγγίζεται από στοιχεία τυπικών χώρων υγειονομικής ταφής ΑΣΑ που αποτελούν τη βάση δεδομένων. Για την τελική αξιολόγηση του κόστους (*Outputs*), το μοντέλο εξομοίωσης ενσωματώνει στοιχεία (*Inputs*) όπως το κόστος του κατάλληλου εξοπλισμού, την τοποθεσία του έργου, έξοδα λειτουργίας και συντήρησης, και άλλες βασικές παραμέτρους. Επιπλέον, λόγω του ότι κάποια έργα απαιτούν εξειδικευμένο σχεδιασμό, οι αντίστοιχες τροποποιήσεις εισάγονται στο προαιρετικό πεδίο στοιχείων (*Optional Inputs*).

Ωστόσο, πολλοί εξατομικευμένοι παράμετροι που δεν μπορεί να προβλέψει το λογισμικό (περιεχόμενο των διαφόρων απορριπτόμενων ΑΣΑ, διακυμάνσεις στο ποσοστό υγρασίας αυτών, η θερμοκρασία τους, οι συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας του πεδίου των ΑΣΑ) επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα και καθιστούν

το λογισμικό LFGcost-WEB V.3.0 ένα χρήσιμο εργαλείο, το οποίο παρέχει μόνο εκτιμήσεις και βασικές πληροφορίες για την κατανόηση της LFG τεχνολογίας. Το τελικό LFG-RES Project θα πρέπει να στηρίζεται αποκλειστικά και μόνο σε εξειδικευμένο προσωπικό που πρέπει να παρέχει λεπτομερείς τεχνικές μελέτες και προδιαγραφές για την εγκατάσταση και τη λειτουργία της μονάδας [74].

**5.2.2 Δομή Λογισμικού.** Η βάση δεδομένων του LFGcost-WEB περιλαμβάνει ένα μεγάλο εύρος έργων, χρησιμοποιώντας οικονομικούς δείκτες και διαγράμματα ροής για την τελική αξιολόγηση της επένδυσης.

**5.2.2.1 Κατάλογος Έργων.** Οι διάφοροι τύποι συστημάτων και έργων τεχνολογίας LFG που ενσωματώνει και εξομοιώνει τεchnο-οικονομικά το λογισμικό, παρουσιάζονται ακολούθως:

- Συστήματα συλλογής-καύσης LFG
- Έργα άμεσης χρήσης LFG
- Έργα αναβάθμισης λεβήτων
- Αναβάθμιση του παραγόμενου LFG σε αέριο υψηλής ενεργειακής πυκνότητας ή χρήση του ως καύσιμο αυτοκίνησης
- Τεχνολογία εξάτμισης υγρών παραπροϊόντων (στραγγίσματα)
- Παραγωγή ρεύματος με χρήση τυπικών τουρμπίνων, μηχανών εσωτερικής καύσης, τουρμπίνων χαμηλής ισχύος
- Συστήματα συμπαραγωγής (ηλεκτρισμός και θερμότητα)

**5.2.2.2 Βάση Οικονομικών Δεδομένων.** Τα οικονομικά αποτελέσματα προκύπτουν από αποθηκευμένα κοστολόγια μεταξύ των ετών 2008 και 2013 (παράρτημα Β), εκφρασμένα σε δολάρια Ηνωμένων Πολιτειών (USD \$).

**5.2.2.3 Οικονομικοί Δείκτες.** Αρχικό κεφάλαιο επένδυσης (*CAPEX: capital expenditure*), λειτουργικά έξοδα και κόστη συντήρησης (*OPEX: operational expenditure*), καθαρή παρούσα αξία (*NPV: net present value*), εσωτερικός βαθμός επιστροφής (*IRR: internal return rate*), προεξοφλητικό επιτόκιο (*r: discount rate*), χρόνος απόσβεσης (*payback period*) και ταμειακή ροή (*cash flow*) είναι τα βασικά οικονομικά εργαλεία αξιολόγησης μιας επένδυσης που χρησιμοποιεί το λογισμικό. Αναφορά στον ορισμό των οικονομικών δεικτών γίνεται στο Παράρτημα Α.

**5.2.2.4 Λογικό Διάγραμμα Ροής Οικονομικής Αξιολόγησης.** Στο Παράρτημα Β δίνεται διαγραμματικά η διαδικασία της οικονομικής αξιολόγησης των έργων.

**5.2.2.5 Δεδομένα Εισόδου (Inputs) & Εξόδου (Outputs).** Τέλος, στο παράρτημα Β περιγράφονται οι βασικοί παράμετροι εισόδου-εξόδου καθώς και η λειτουργική σημασία των φύλλων εργασίας.

### 5.3 ΣΕΝΑΡΙΑ, ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΕΙΣ & ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στη συνέχεια του κεφαλαίου αναλύονται τα τεchnο-οικονομικά και περιβαλλοντικά αποτελέσματα, τόσο σε συγκεντρωτικούς πίνακες όσο και σε γραφικές παραστάσεις, τα οποία έχουν στηριχθεί σε επιλεγμένα σενάρια και παραμετροποιήσεις, και στο τέλος παρουσιάζεται ιδανικό σενάριο εφαρμογής.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί ότι τα τελικά οικονομικά αποτελέσματα διατηρούνται στην αρχική τους νομισματική μορφή, δηλαδή σε

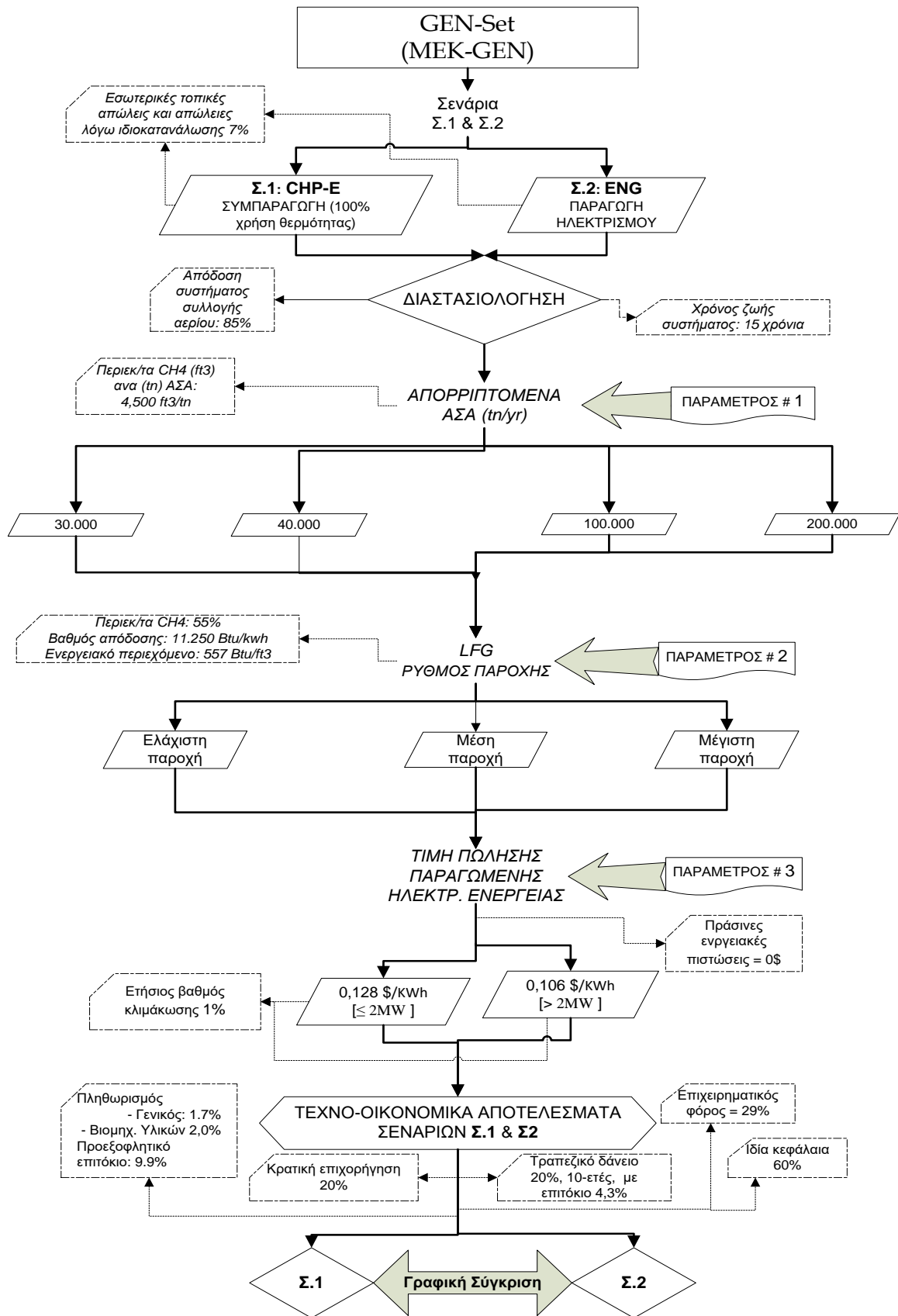
δολάρια Ηνωμένων Πολιτειών (\$), λόγω του ότι, όπως προηγουμένως αναφέρθηκε, η οικονομική βάση δεδομένων αντιστοιχεί σε παρελθοντικά έτη (2008-2013), με αποτέλεσμα η ισοτιμία μεταξύ € και \$ να μην ανταποκρίνεται στα σημερινά δεδομένα.

**5.3.1 Επιλεγμένα Σενάρια & Παραμετροποιήσεις.** Σκοπός της εφαρμογής σεναρίων είναι η ανάλυση του ποσοστού κάλυψης των ετήσιων ενεργειακών απαιτήσεων της πόλης ( $E_{(an.)}=200.460 \text{ MWh}_e$ , υποενότ. 5.1.1), καθώς και η εξέταση του κοστολογίου της τεχνολογίας που κάθε φορά προκύπτει (αναλόγως το υποσενάριο), καθώς και η εκτίμηση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου του κάθε επιλεγμένου συστήματος.

Το βασικό σενάριο έγκειται σε μηχανές καύσης του παραγόμενου αερίου και σε μηχανές μετατροπής σε ηλεκτρική (ή και θερμική) ενέργεια. Άρα, επιλέγεται σύστημα GEN-set, δηλαδή μηχανή εσωτερικής καύσης (ICE) και γεννήτρια (GEN), με μέσο χρόνο ζωής τα 15 χρόνια. Στο βασικό σενάριο σχηματίζονται δύο υποσενάρια (Σ.1 και Σ.2) με διαφορετικό τύπο συστήματος μετατροπής ενέργειας: το ένα αφορά σύστημα συμπαραγωγής, δηλαδή θερμότητας και ηλεκτρισμού (Σ.1: CHPE, με 100% χρήση παραγόμενης θερμότητας) και το άλλο σύστημα αφορά μόνο παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Σ.2: ENG). Τα δύο υποσενάρια βασίζονται στις διαφοροποιήσεις τριών μεταβλητών παραμέτρων: στη δυναμική απόρριψης αποβλήτων στον χώρο υγειονομικής ταφής (με μονάδες μέτρησης  $tn/yr$ ) (παράμετρος #1), στον βαθμό παροχής του εκλυόμενου αερίου, ελάχιστη-μέση-μέγιστη (παράμετρος #2), και στην τιμολόγηση κάθε παραγόμενης κιλοβατώρας<sup>(6)</sup> [75] με μονάδα μέτρησης €/kwh (παράμετρος #3).

Επιπρόσθετες παραμετροποιήσεις που επηρεάζουν τα τελικά αποτελέσματα αφορούν σταθερούς τεχνικούς παράγοντες όπως: εσωτερικές ηλεκτρικές απώλειες και απώλειες λόγω ιδιοκατανάλωσης των μηχανών (7%), περιεκτικότητα  $CH_4$  στην ποσότητα των απορριπτόμενων ΑΣΑ ( $4500ft^3/tn$ ), συγκέντρωση  $CH_4$  του εκλυόμενου αερίου (55%) και το ενεργειακό περιεχόμενο του LFG στα  $12.000Btu/ft^3$  [76]. Επίσης, σταθεροί οικονομικοί παράμετροι που λαμβάνονται ως σταθεροί στη λειτουργία του λογισμικού προσομοίωσης είναι: η ετήσια κλιμάκωση της τιμολογούμενης παραγόμενης kwh στο 1% [76], το ποσοστό του γενικού πληθωρισμού (1,7%) και του πληθωρισμού βιομηχανικών υλικών (2%) [77], και ο επιχειρηματικός φόρος (29%) [78]. Τέλος, γίνεται η υπόθεση ότι η επένδυση στηρίζεται σε ίδια κεφάλαια κατά 60%. Το υπολειπόμενο ποσοστό χρηματοδοτείται από κρατικά (20%) και τραπεζικά κεφάλαια (20%), με δεκαετές πρόγραμμα και επιτόκιο στο 4,3% [77] και χωρίς το ενδεχόμενο πράσινων ενεργειακών πιστώσεων (0€). Το σεναριακό αυτό σκεπτικό και οι παραμετροποιήσεις παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στο επόμενο διάγραμμα ροής (σχήμα 5.1).

<sup>(6)</sup> Για την εκτέλεση του λογισμικού έχει γίνει νομισματική μετατροπή € σε \$)



Σχήμα 5.1: Διάγραμμα ροής σεναρίων και παραμέτρων

### 5.3.2 Παρουσίαση & Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Κατόπιν εισαγωγής των σταθερών και μεταβλητών παραμέτρων (inputs) που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη υποενότητα, εκτελείται η λειτουργία του λογισμικού για το κάθε υποσενάριο (Σ.1, Σ.2) και τα αποτελέσματα που προκύπτουν (outputs) κατηγοριοποιούνται στους επόμενους τέσσερις πίνακες. Ο κάθε πίνακας ορίζεται από τη μεταβαλλόμενη τιμή της παραμέτρου #1 (απορριπτόμενη δυναμική ΑΣΑ σε tn/yr), ο οποίος είναι ο βασικός παράγοντας διαστασιολόγησης της ενεργειακής μονάδας. Οπότε οι πίνακες που διαμορφώνονται αντιστοιχούν σε 30.000 tn/yr (πίνακας 5.3), 40.000 tn/yr (πίνακας 5.4), 100.000tn/yr (πίνακας 5.5) και σε 200.000 tn/yr (πίνακας 5.6).

Τα στοιχεία (outputs) που παρέχουν τα αποτελέσματα εξομοίωσης του λογισμικού και παρουσιάζονται στους επόμενους πίνακες κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες: αποτελέσματα ισχύος-ενέργειας, οικονομικά αποτελέσματα και περιβαλλοντικά αποτελέσματα.

- Τα στοιχεία ισχύος-ενέργειας αποτελούνται από τα εξής επιμέρους: το ποσό ροής του εισερχόμενου αερίου (εντός του συστήματος συλλογής) από τους χώρους απόρριψης/ταφής απορριμμάτων σε κυβικά πόδια ανά λεπτό ( $\text{ft}^3/\text{min}$ ), το μέγεθος της εγκατεστημένης ισχύος σε κιλοβάτ (KW), τη μέση ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε κιλοβατώρες ανά έτος (kwh/yr) και τη δυναμική παραγωγής ζεστού νερού/ατμού (μόνο για τις μηχανές CHPE) σε μονάδες million Btu/yr.
- Στοιχεία οικονομικής αξιολόγησης: αρχικό κεφαλαιουχικό κόστος για το έτος της εγκατάστασης σε δολάρια Ηνωμένων Πολιτειών (\$), ετήσια έξοδα λειτουργίας και συντήρησης για το πρώτο έτος λειτουργίας (\$), επί τοις εκατό ποσοστό (%) του εσωτερικού βαθμού απόδοσης (IRR: Internal Rate of Return), το στοιχείο της παρούσας καθαρής αξίας (NPV) σε νομισματική μορφή \$ και τον χρόνο (σε έτη) αποπληρωμής του NPV, όπου ισχύει  $\text{NPV} \geq 0$ .
- Τέλος, στην κατηγορία των περιβαλλοντικών αποτελεσμάτων περιλαμβάνονται: τα στοιχεία της συλλεγόμενης ή καιόμενης ποσότητας  $\text{CH}_4$  στο σύνολο των ετών λειτουργίας του συστήματος σε εκατομμύρια κυβικά πόδια (million  $\text{ft}^3$ ) και της μέσης ετήσιας ποσότητας του  $\text{CH}_4$ , τα στοιχεία των συνολικών και των μέσων ετήσιων ποσοτήτων αερίων του θερμοκηπίου (GHG: Greenhouse Gases) του αερίου πλούσιας περιεκτικότητας σε  $\text{CH}_4$  που χρησιμοποιούνται προς καύση και τα αντίστοιχα στοιχεία των συνολικών και μέσων ετήσιων αποφυγών έκλυσης  $\text{CO}_2$  από τη ΜΗ χρήση ορυκτών καυσίμων. Οι μονάδες μέτρησης των GHGs ( $\text{CH}_4$  και  $\text{CO}_2$ ) δίνονται σε εκατομμύρια μετρικούς τόνους ισοδύναμου  $\text{CO}_2$  (mmt $\text{CO}_2\text{eq}$ ).

Πίνακας 5.3: τεχνο-οικονομικά και περιβαλλοντικά στοιχεία μηχανών παραγωγής ενέργειας με ετήσια δυναμική απόρριψης ΑΣΑ 30.000 tn/yr (ο συμβολισμός "Ε" ισούται με τον αριθμό "10")

Τύπος συστήματος παραγωγής ενέργειας		CHPE			ENG		
		σύστημα συμπαραγωγής MEK-GEN			σύστημα παραγ. ηλεκ. ενέργειας MEK-GEN		
		30.000					
Απορριπτόμενα ΑΣΑ (tn/yr)							
Ρυθμός Παροχής LFG		min	aver	max	min	aver	max
Στοιχεία Ισχύος-Ενέργειας	Παροχή LFG (ft <sup>3</sup> /min LFG)	314	333	349	314	333	349
	Εγκατεστημένη ισχύς (kW)	931	988	1.037	931	988	1.037
	Μέση ετήσια παρ. ενέργειας (kwh/yr)	7,05E <sup>+06</sup>	7,38E <sup>+06</sup>	7,49E <sup>+06</sup>	7,05E <sup>+06</sup>	7,38E <sup>+06</sup>	7,49E <sup>+06</sup>
	Μέση ετήσια παραγωγή θερμού νερού/ατμού (CHPE) (million Btu/yr)	26.797	28.049	28.457	--	--	--
Οικονομικά Στοιχεία	Αρχικό κεφάλαιο εγκατάστασης [έτος εγκατάστασης](\$)	4,22E <sup>+06</sup>	4,35E <sup>+06</sup>	4,46E <sup>+06</sup>	3,37E <sup>+06</sup>	3,45E <sup>+06</sup>	3,52E <sup>+06</sup>
	Ετήσια έξοδα λειτουργίας και συντήρησης [1 <sup>ο</sup> έτος λειτουργίας(\$)]	2,70E <sup>+05</sup>			2,96E <sup>+05</sup>		
	IRR-Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (%)	18,20%	18,42%	17,95%	23,04%	23,41%	23,01%
	NPV [έτος κατασκευής](\$)	1,04E <sup>+06</sup>	1,12E <sup>+06</sup>	1,10E <sup>+06</sup>	1,34E <sup>+06</sup>	1,44E <sup>+06</sup>	1,44E <sup>+06</sup>
	Αριθμός ετών όπου NPV≥0	9	9	9	7	7	7
Περιβαλλοντικά Στοιχεία	Μέγιστο συλλεγόμενο CH <sub>4</sub> , είτε καιόμενο, (million ft <sup>3</sup> )	1.444			1.444		
	Μέση ετήσια συλλεγόμενη ή καιόμενη ποσότητα CH <sub>4</sub> , (million ft <sup>3</sup> /yr)	96			96		
	Συνολική ποσότητα GHG-CH <sub>4</sub> συλλεγόμενου αερίου, στο σύνολο των ετών λειτουργίας (mmtCO <sub>2</sub> eq)	6,07E <sup>-01</sup>	6,35E <sup>-01</sup>	6,44E <sup>-01</sup>	6,07E <sup>-01</sup>	6,35E <sup>-01</sup>	6,44E <sup>-01</sup>
	Μέση ετήσια ποσότητα GHG-CH <sub>4</sub> συλλεγόμενου αερίου (mmtCO <sub>2</sub> eq/yr)	4,04E <sup>-02</sup>	4,23E <sup>-02</sup>	4,29E <sup>-02</sup>	4,04E <sup>-02</sup>	4,23E <sup>-02</sup>	4,29E <sup>-02</sup>
	Συνολική μείωση εκπομπών CO <sub>2</sub> από τη ΜΗ χρήση ορυκτών καυσίμων, στο σύνολο των ετών λειτουργίας (mmtCO <sub>2</sub> eq)	8,27E <sup>-02</sup>	8,66E <sup>-02</sup>	8,79E <sup>-02</sup>	5,66E <sup>-02</sup>	5,93E <sup>-02</sup>	6,01E <sup>-02</sup>
	Μέση ετήσια μείωση εκπομπών CO <sub>2</sub> από τη ΜΗ χρήση ορυκτών καυσίμων, (mmtCO <sub>2</sub> e/yr)	5,52E <sup>-03</sup>	5,77E <sup>-03</sup>	5,86E <sup>-03</sup>	3,77E <sup>-03</sup>	3,95E <sup>-03</sup>	4,01E <sup>-03</sup>

Πίνακας 5.4: τεχνο-οικονομικά και περιβαλλοντικά στοιχεία μηχανών παραγωγής ενέργειας με ετήσια δυναμική απόρριψης ΑΣΑ 40.000 tn/yr (ο συμβολισμός "E" ισούται με "10")

Τύπος συστήματος παραγωγής ενέργειας		CHPE			ENG		
		σύστημα συμπαραγωγής MEK-GEN			σύστημα παραγ. ηλεκ. ενέργειας MEK-GEN		
		40.000					
Απορριπτόμενα ΑΣΑ (tn/yr)							
Ρυθμός Παροχής LFG		min	aver	max	min	aver	max
Στοιχεία Ισχύος-Ενέργειας	Παροχή LFG (ft <sup>3</sup> /min LFG)	418	444	466	418	444	466
	Εγκατεστημένη ισχύς (kW)	1.241	1.318	1.383	1.241	1.318	1.383
	Μέση ετήσια παρ. ενέργειας (kwh/yr)	9,40E <sup>+06</sup>	9,84E <sup>+06</sup>	9,98E <sup>+06</sup>	9,40E <sup>+06</sup>	9,84E <sup>+06</sup>	9,98E <sup>+06</sup>
	Μέση ετήσια παραγωγή θερμού νερού/ατμού (CHPE) (million Btu/yr)	35.729	37.399	37.943	--	--	--
Οικονομικά Στοιχεία	Αρχικό κεφάλαιο εγκατάστασης [έτος εγκατάστασης](\$)	4,95E <sup>+06</sup>	5,13E <sup>+06</sup>	5,28E <sup>+06</sup>	3,84E <sup>+06</sup>	3,95E <sup>+06</sup>	4,04E <sup>+06</sup>
	Ετήσια έξοδα λειτουργίας και συντήρησης [1 <sup>ο</sup> έτος λειτουργίας(\$)]	3,44E <sup>+05</sup>			3,79E <sup>+05</sup>		
	IRR-Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (%)	22,12%	22,10%	21,48%	28,72%	28,80%	28,16%
	NPV [έτος κατασκευής](\$)	1,82E <sup>+06</sup>	1,93E <sup>+06</sup>	1,90E <sup>+06</sup>	2,21E <sup>+06</sup>	2,35E <sup>+06</sup>	2,34E <sup>+06</sup>
	Αριθμός ετών όπου NPV≥0	7	7	7	5	5	5
Περιβαλλοντικά Στοιχεία	Μέγιστο συλλεγόμενο ή καιόμενο CH <sub>4</sub> , (million ft <sup>3</sup> )	1.925			1.925		
	Μέση ετήσια συλλεγόμενη ή καιόμενη ποσότητα CH <sub>4</sub> , (million ft <sup>3</sup> /yr)	128			128		
	Συνολική ποσότητα GHG-CH <sub>4</sub> συλλεγόμενου αερίου, στο σύνολο των ετών λειτουργίας (mmtCO <sub>2</sub> e)	8,09E <sup>-01</sup>	8,46E <sup>-01</sup>	8,59E <sup>-01</sup>	8,09E <sup>-01</sup>	8,46E <sup>-01</sup>	8,59E <sup>-01</sup>
	Μέση ετήσια ποσότητα GHG-CH <sub>4</sub> συλλεγόμενου αερίου (mmtCO <sub>2</sub> e/yr)	5,39E <sup>-02</sup>	5,64E <sup>-02</sup>	5,73E <sup>-02</sup>	5,39E <sup>-02</sup>	5,64E <sup>-02</sup>	5,73E <sup>-02</sup>
	Συνολική μείωση εκπομπών CO <sub>2</sub> από τη ΜΗ χρήση ορυκτών καυσίμων, στο σύνολο των ετών λειτουργίας (mmtCO <sub>2</sub> e)	1,10E <sup>-01</sup>	1,15E <sup>-01</sup>	1,17E <sup>-01</sup>	7,55E <sup>-02</sup>	7,90E <sup>-02</sup>	8,02E <sup>-02</sup>
	Μέση ετήσια μείωση εκπομπών CO <sub>2</sub> από τη ΜΗ χρήση ορυκτών καυσίμων, (mmtCO <sub>2</sub> e/yr)	7,35E <sup>-03</sup>	7,70E <sup>-03</sup>	7,81E <sup>-03</sup>	5,03E <sup>-03</sup>	5,27E <sup>-03</sup>	5,34E <sup>-03</sup>



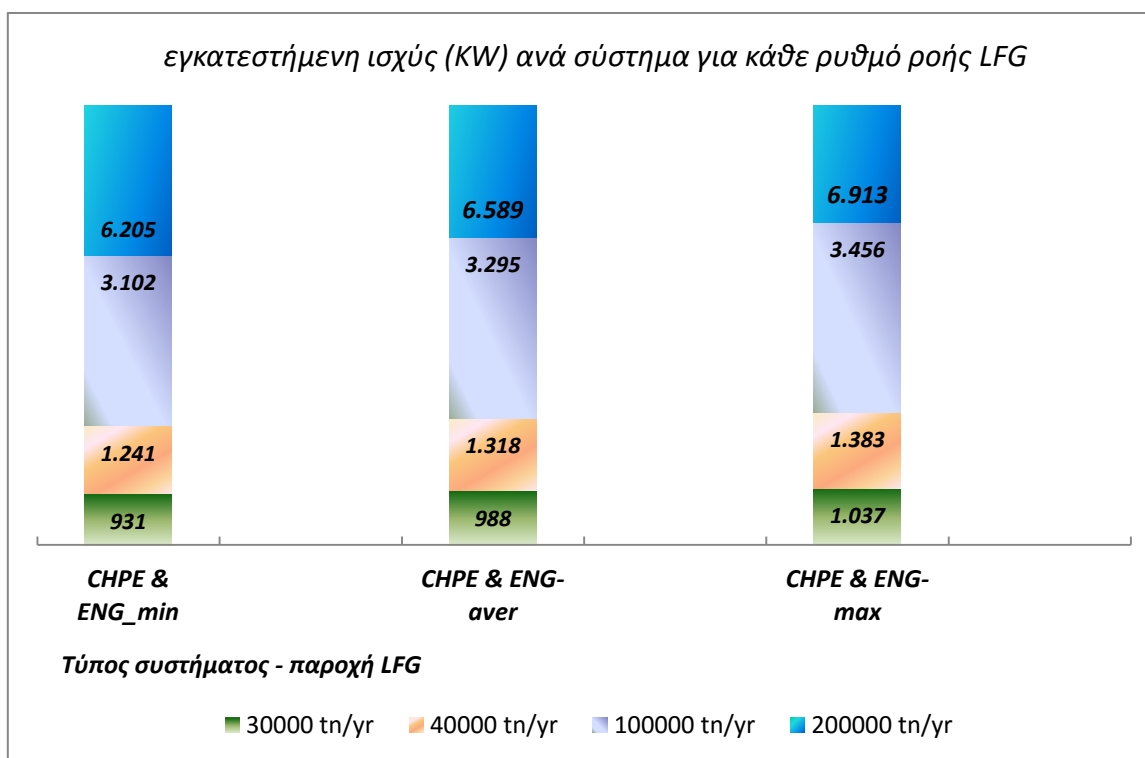
Πίνακας 5.5: τεchnο-οικονομικά και περιβαλλοντικά στοιχεία μηχανών παραγωγής ενέργειας με ετήσια δυναμική απόρριψης ΑΣΑ 100.000 tn/yr (ο συμβολισμός "Ε" ισούται με "10")

Τύπος συστήματος παραγωγής ενέργειας		CHPE			ENG		
		σύστημα συμπαραγωγής MEK-GEN			σύστημα παραγ. ηλεκ. ενέργειας MEK-GEN		
		100.000					
Απορριπτόμενα ΑΣΑ (tn/yr)							
Ρυθμός Παροχής LFG		min	aver	max	min	aver	max
Στοιχεία Ισχύος-Ενέργειας	Παροχή LFG (ft <sup>3</sup> /min LFG)	1.045	1.110	1.164	1.045	1.110	1.164
	Εγκατεστημένη ισχύς (kW)	3.102	3.295	3.456	3.102	3.295	3.456
	Μέση ετήσια παρ. ενέργειας (kwh/yr)	2,35E <sup>+07</sup>	2,46E <sup>+07</sup>	2,50E <sup>+07</sup>	2,35E <sup>+07</sup>	2,46E <sup>+07</sup>	2,50E <sup>+07</sup>
	Μέση ετήσια παραγωγή θερμού νερού/ατμού (CHPE) (million Btu/yr)	89.323	93.497	94.857	--	--	--
Οικονομικά Στοιχεία	Αρχικό κεφάλαιο εγκατάστασης [έτος εγκατάστασης](\$)	9,34E <sup>+06</sup>	9,78E <sup>+06</sup>	1,01E <sup>+07</sup>	6,62E <sup>+06</sup>	6,89E <sup>+06</sup>	7,11E <sup>+06</sup>
	Ετήσια έξοδα λειτουργίας και συντήρησης [1 <sup>ο</sup> έτος λειτουργίας](\$)	7,63E <sup>+05</sup>			8,51E <sup>+05</sup>		
	IRR-Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (%)	23,57%	23,19%	22,28%	33,38%	32,88%	31,79%
	NPV [έτος κατασκευής](\$)	3,86E <sup>+06</sup>	4,01E <sup>+06</sup>	3,91E <sup>+06</sup>	4,80E <sup>+06</sup>	5,02E <sup>+06</sup>	4,98E <sup>+06</sup>
	Αριθμός ετών όπου NPV≥0	6	7	7	4	4	5
Περιβαλλοντικά Στοιχεία	Μέγιστο συλλεγόμενο ή καιόμενο CH <sub>4</sub> , (million ft <sup>3</sup> )	4.813			4.813		
	Μέση ετήσια συλλεγόμενη ή καιόμενη ποσότητα CH <sub>4</sub> , (million ft <sup>3</sup> /yr)	321			321		
	Συνολική ποσότητα GHG-CH <sub>4</sub> συλλεγόμενου αερίου, στο σύνολο των ετών λειτουργίας (mmtCO <sub>2</sub> eq)	2,02E <sup>+00</sup>	2,12E <sup>+00</sup>	2,15E <sup>+00</sup>	2,02E <sup>+00</sup>	2,12E <sup>+00</sup>	2,15E <sup>+00</sup>
	Μέση ετήσια ποσότητα GHG-CH <sub>4</sub> συλλεγόμενου αερίου (mmtCO <sub>2</sub> eq/yr)	1,35E <sup>-01</sup>	1,41E <sup>-01</sup>	1,43E <sup>-01</sup>	1,35E <sup>-01</sup>	1,41E <sup>-01</sup>	1,43E <sup>-01</sup>
	Συνολική μείωση εκπομπών CO <sub>2</sub> από τη ΜΗ χρήση ορυκτών καυσίμων, στο σύνολο των ετών λειτουργίας (mmtCO <sub>2</sub> eq)	2,76E <sup>-01</sup>	2,89E <sup>-01</sup>	2,93E <sup>-01</sup>	1,89E <sup>-01</sup>	1,98E <sup>-01</sup>	2,00E <sup>-01</sup>
	Μέση ετήσια μείωση εκπομπών CO <sub>2</sub> από τη ΜΗ χρήση ορυκτών καυσίμων, (mmtCO <sub>2</sub> e/yr)	1,84E <sup>-02</sup>	1,92E <sup>-02</sup>	1,95E <sup>-02</sup>	1,26E <sup>-02</sup>	1,32E <sup>-02</sup>	1,34E <sup>-02</sup>

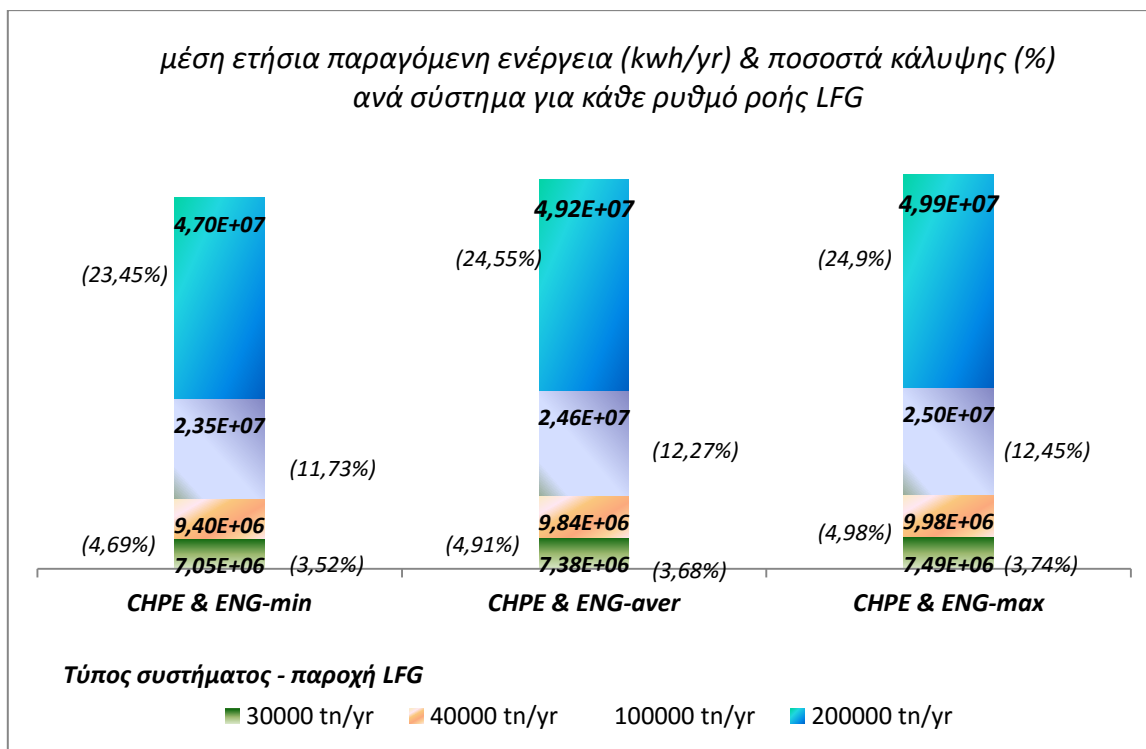
Πίνακας 5.6: τεχνο-οικονομικά και περιβαλλοντικά στοιχεία μηχανών παραγωγής ενέργειας με ετήσια δυναμική απόρριψης ΑΣΑ 200.000 tn/yr (ο συμβολισμός "E" ισούται με "10")

Τύπος συστήματος παραγωγής ενέργειας		CHPE			ENG		
		σύστημα συμπαραγωγής MEK-GEN			σύστημα παραγ. ηλεκ. ενέργειας MEK-GEN		
		200.000					
Απορριπτόμενα ΑΣΑ (tn/yr)							
Ρυθμός παροχής LFG		min	aver	max	min	aver	max
Στοιχεία Ισχύος-Ενέργειας	Παροχή LFG (ft <sup>3</sup> /min LFG)	2.090	2.220	2.329	2.090	2.220	2.329
	Εγκατεστημένη ισχύς (kW)	6.205	6.589	6.913	6.205	6.589	6.913
	Μέση ετήσια παρ. ενέργειας (kwh/yr)	4,70E <sup>+07</sup>	4,92E <sup>+07</sup>	4,99E <sup>+07</sup>	4,70E <sup>+07</sup>	4,92E <sup>+07</sup>	4,99E <sup>+07</sup>
	Μέση ετήσια παραγωγή θερμού νερού/ατμού (CHPE) (million Btu/yr)	178.645	186.993	189.713	--	--	--
Οικονομικά Στοιχεία	Αρχικό κεφάλαιο εγκατάστασης [έτος εγκατάστασης](\$)	1,66E <sup>+07</sup>	1,75E <sup>+07</sup>	1,82E <sup>+07</sup>	1,12E <sup>+07</sup>	1,17E <sup>+07</sup>	1,22E <sup>+07</sup>
	Ετήσια έξοδα λειτουργίας και συντήρησης [1 <sup>ο</sup> έτος λειτουργίας](\$)	1,48E <sup>+06</sup>			1,65E <sup>+06</sup>		
	IRR-Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (%)	27,78%	27,07%	25,90%	41,18%	40,10%	38,52%
	NPV [έτος κατασκευής](\$)	9,07E <sup>+06</sup>	9,37E <sup>+06</sup>	9,18E <sup>+06</sup>	1,09E <sup>+07</sup>	1,14E <sup>+07</sup>	1,13E <sup>+07</sup>
	Αριθμός ετών όπου NPV≥0	5	5	6	3	4	4
Περιβαλλοντικά Στοιχεία	Μέγιστο συλλεγόμενο ή καιόμενο CH <sub>4</sub> , (million ft <sup>3</sup> )	9.625			9.625		
	Μέση ετήσια συλλεγόμενη ή καιόμενη ποσότητα CH <sub>4</sub> , (million ft <sup>3</sup> /yr)	642			642		
	Συνολική ποσότητα GHG-CH <sub>4</sub> συλλεγόμενου αερίου, στο σύνολο των ετών λειτουργίας (mmtCO <sub>2</sub> e)	4,04E <sup>+00</sup>	4,23E <sup>+00</sup>	4,29E <sup>+00</sup>	4,04E <sup>+00</sup>	4,23E <sup>+00</sup>	4,29E <sup>+00</sup>
	Μέση ετήσια ποσότητα GHG-CH <sub>4</sub> συλλεγόμενου αερίου (mmtCO <sub>2</sub> e/yr)	2,70E <sup>-01</sup>	2,82E <sup>-01</sup>	2,86E <sup>-01</sup>	2,70E <sup>-01</sup>	2,82E <sup>-01</sup>	2,86E <sup>-01</sup>
	Συνολική μείωση εκπομπών CO <sub>2</sub> από τη ΜΗ χρήση ορυκτών καυσίμων, στο σύνολο των ετών λειτουργίας (mmtCO <sub>2</sub> e)	5,52E <sup>-01</sup>	5,77E <sup>-01</sup>	5,86E <sup>-01</sup>	3,77E <sup>-01</sup>	3,95E <sup>-01</sup>	4,01E <sup>-01</sup>
	Μέση ετήσια μείωση εκπομπών CO <sub>2</sub> από τη ΜΗ χρήση ορυκτών καυσίμων, (mmtCO <sub>2</sub> e/yr)	3,68E <sup>-02</sup>	3,85E <sup>-02</sup>	3,91E <sup>-02</sup>	2,52E <sup>-02</sup>	2,63E <sup>-02</sup>	2,67E <sup>-02</sup>

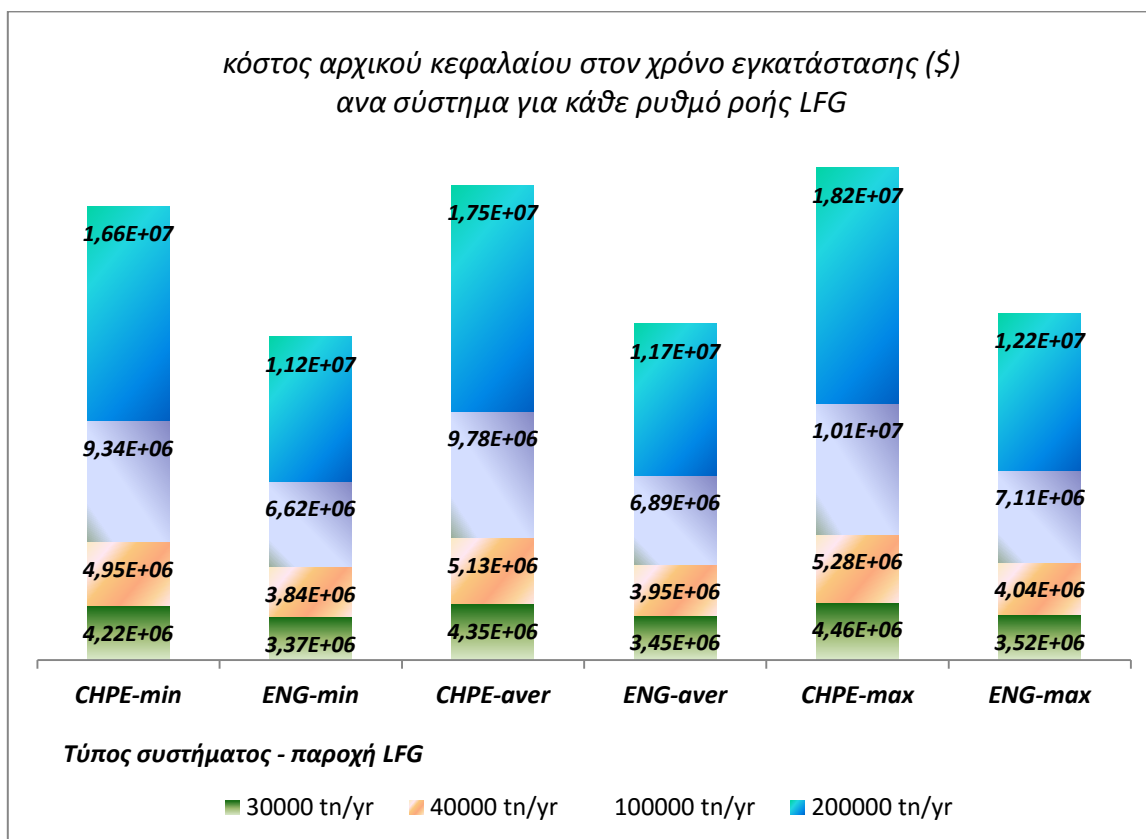
Τα δώδεκα διαφορετικά συστήματα που εξάγονται από τη διαδικασία των σεναρίων συγκρίνονται γραφικά ως προς το τεχνο-οικονομικό και περιβαλλοντικό τους σκέλος. Τα επόμενα έξι γραφήματα απεικονίζουν το μέγεθος της εγκατεστημένης ισχύς τους σε KW (σχήμα 5.2), τη μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια σε kwh ως προς το ποσοστό κάλυψης (%) των ζητούμενων ενεργειακών αναγκών (σχήμα 5.3), το κόστος του αρχικού κεφαλαίου για το έτος της εγκατάστασης σε \$ (σχήμα 5.4), το κόστος για κάθε εγκατεστημένο κιλοβάτ σε \$/KW (σχήμα 5.5), το μέγεθος NPV και τα έτη όπου παίρνει τιμές ίσες ή μεγαλύτερες του μηδενός,  $NPV \geq 0$  (σχήμα 5.6). Τελευταίο παρατίθεται και το συγχωνευμένο γράφημα των εκπομπών  $CH_4$  (που χρησιμοποιούνται τελικά από το σύστημα ανάκτησης LFG) και των αποφυγών έκλυσης  $CO_2$  προς την ατμόσφαιρα, λόγω της μη χρήσης ορυκτών καυσίμων, σε μονάδες  $mmtCO_2eq$  (σχήμα 5.7).



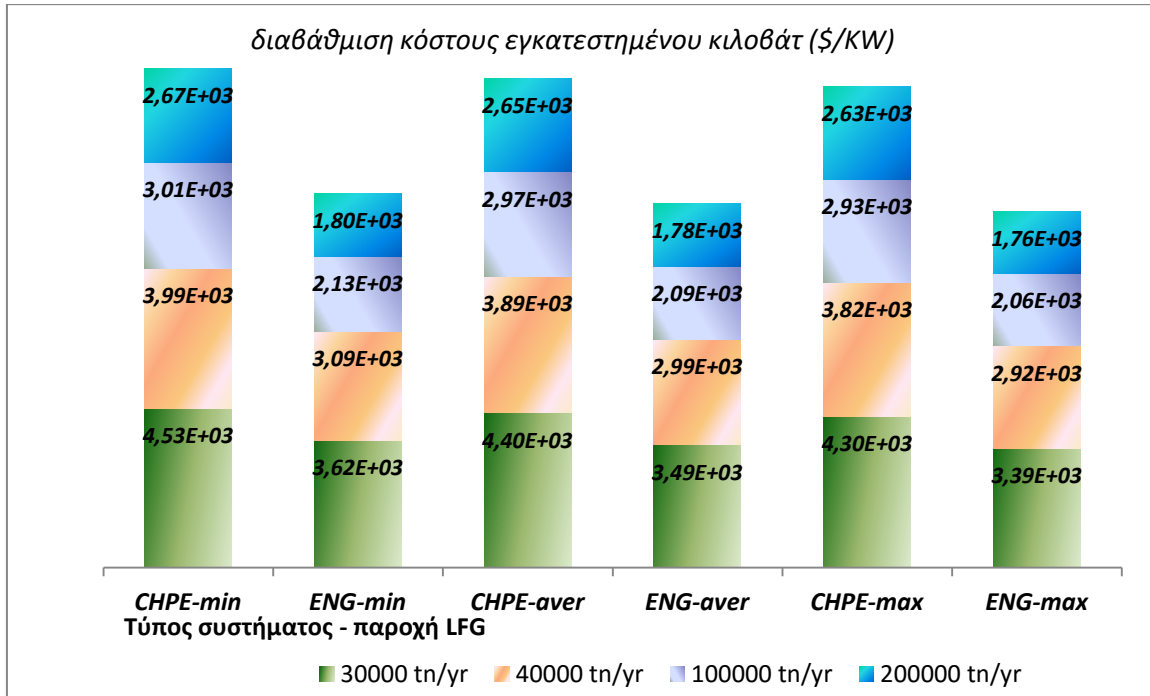
Σχήμα 5.2: γράφημα εγκατεστημένης ισχύος (KW)



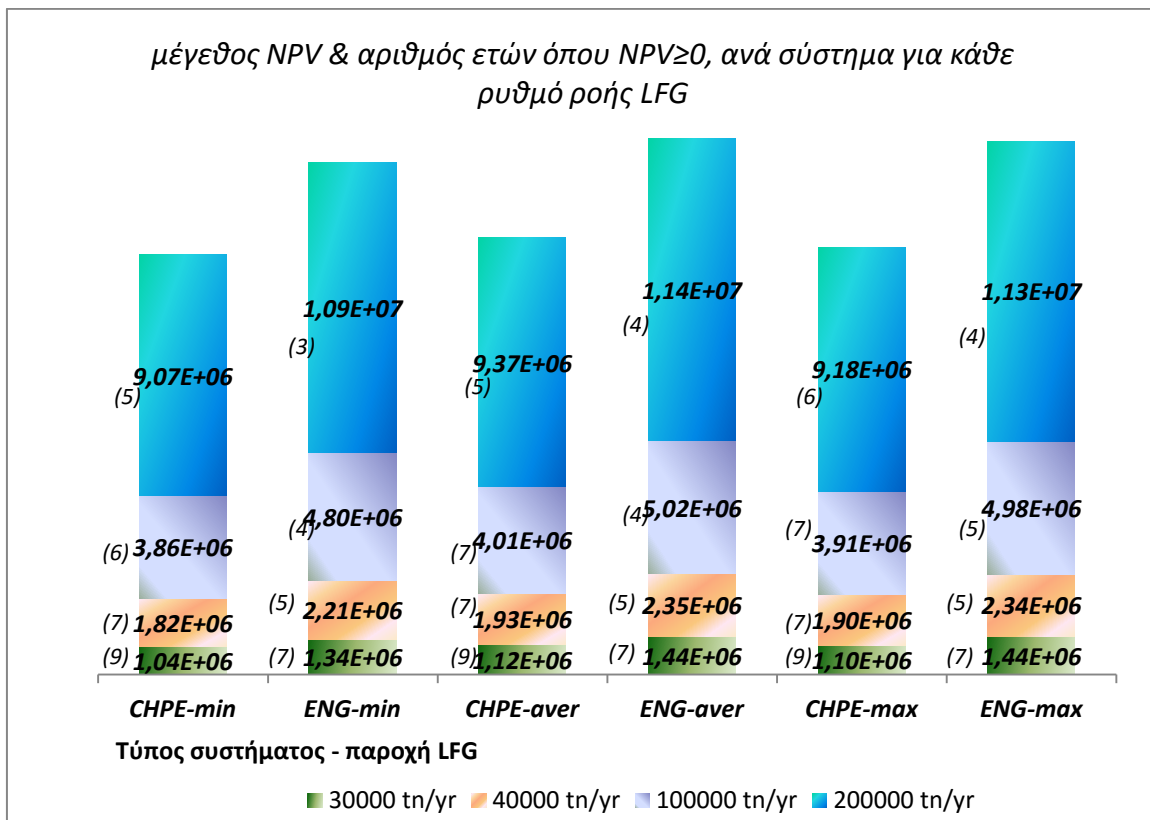
Σχήμα 5.3: γράφημα παραγόμενης ενέργειας και ποσοστών κάλυψης (% στοιχεία εντός παρενθέσεων) των ενεργειακών αναγκών της επιλεγμένης περιοχής



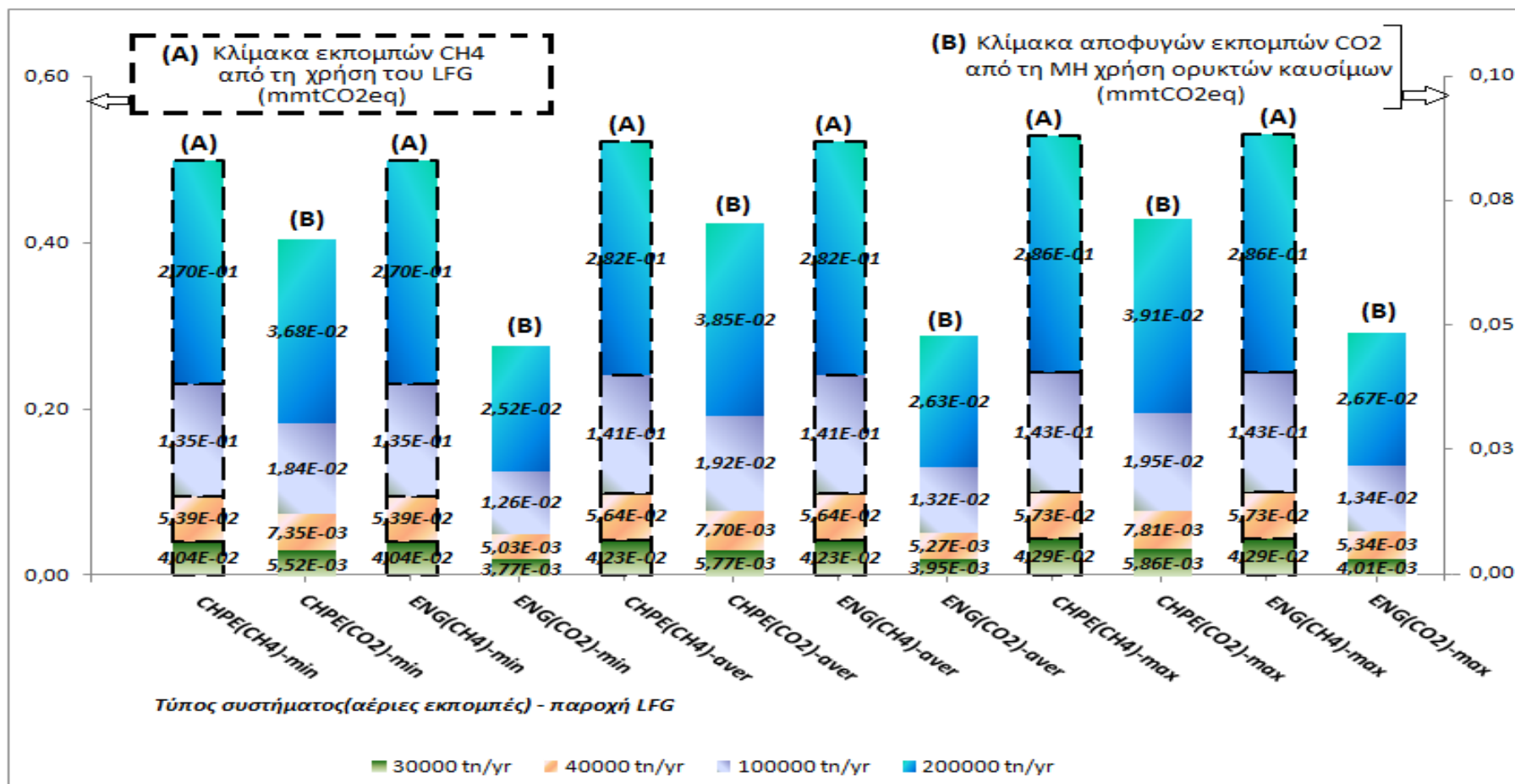
Σχήμα 5.4: γράφημα κόστους κεφαλαίου στον χρόνο εγκατάστασης της μονάδας (\$)



Σχήμα 5.5: γράφημα διαβάθμισης κόστους εγκατεστημένης ισχύος (\$/KW)



Σχήμα 5.6: γράφημα μεγέθους NPV και των απαιτούμενων ετών (στοιχεία εντός παρενθέσεων) όπου το NPV γίνεται ίσο ή μεγαλύτερο του μηδενός ( $NPV \geq 0$ ).



Σχήμα 5.7: γράφημα μέσης ετήσιας ποσότητας αερίων θερμοκηπίου (GHG) του συλλεγόμενου αερίου (CH<sub>4</sub>) και, αντιστοίχως, αποφυγών αερίων CO<sub>2</sub> λόγω ΜΗ χρήσης ορυκτών καυσίμων (mmtCO<sub>2</sub>eq)

Αναλύοντας τα στοιχεία των εξεταζόμενων σεναρίων, το κάθε σύστημα που προκύπτει παρουσιάζει ποικίλα τεchnο-οικονομικά και περιβαλλοντικά αποτελέσματα, των οποίων η εξήγηση δίνεται παρακάτω.

Το εύρος ισχύος<sup>(7)</sup> των συστημάτων παραγωγής ενέργειας, ανάλογα με τις απορριπτόμενες ποσότητες ΑΣΑ, ξεκινάει από 931 KW για τις μηχανές CHPE (ΜΕΚ συστήματα συμπαραγωγής) και ENG (ΜΕΚ συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας) με την ελάχιστη δυνατή (min) παροχή αερίου, και φτάνει στα 6.913 KW για παροχή αερίου στη μέγιστη (max) τιμή του (σχήμα 5.2). Όπως παρατηρείται από το ίδιο σχήμα, το μέγεθος ισχύος για την κάθε ροή εκλυόμενου αερίου (min, aver και max) στην αντίστοιχη ποσότητα απόρριψης ΑΣΑ, είναι το ίδιο και για τους δύο τύπους μηχανών (CHPE και ENG). Η διαφορά μεταξύ των δύο τεχνολογιών εντοπίζεται στο ότι, σε αντίθεση με τις ENG, η CPHE παράγει, επιπρόσθετα, ποσότητες ζεστού νερού και ατμού τις οποίες μπορεί να τις προωθήσει στο δίκτυο πώλησης ή να τις χρησιμοποιήσει για σκοπούς ιδιοκατανάλωσης. Αυτό γίνεται μέσω συστημάτων ανάκτησης θερμότητας και είναι ο λόγος για τον οποίο τα συστήματα συμπαραγωγής εμφανίζουν υψηλότερα ποσοστά ενεργειακής απόδοσης. Στην προκειμένη περίπτωση έχει γίνει η υπόθεση ότι ο παραγόμενος ζεστός ατμός/νερό, λόγω τεχνολογίας ανάκτησης, χρησιμοποιείται 100% εντός της ενεργειακής μονάδας.

Τα στοιχεία της ετήσιας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (σχήμα 5.3) κυμαίνονται από  $7,5 \times 10^6$  kwh/yr (για συστήματα CHPE και ENG, ελάχιστης ροής, 30.000 tn/yr) έως  $4,99 \times 10^7$  kwh/yr (συστήματα μέγιστης ροής, 200.000 tn/yr). Ανάλογη αυξητική τάση παρουσιάζουν τα ποσοστά κάλυψης ενεργειακών αναγκών (% στοιχεία εντός παρενθέσεων). Οι μονάδες χαμηλής δυναμικής ισχύος (30.000 tn/yr) μπορούν να καλύψουν από το 4,69% (min ροή αερίου) της ζητούμενης ενέργειας, δηλαδή του ετήσιου ποσού των 200.460 MWh<sub>e</sub> (βλ. υποεν. 5.1.1), μέχρι το 4,98% (για max ροή αερίου). Μεγαλύτερα ποσοστά κάλυψης πετυχαίνονται στις μονάδες με ελάχιστη δυναμική των 100.000 tn/yr, όπου το εύρος βρίσκεται μεταξύ 11,73% και 12,45%, ενώ τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα πραγματοποιούνται στη δυναμική των 200.000 tn/yr, δηλαδή από 23,45% έως 24,9% του ποσοστού των ετήσιων ενεργειακών απαιτήσεων.

Όσον αφορά την ανάλυση των οικονομικών στοιχείων των συστημάτων, εξετάζονται τα αντίστοιχα γραφήματα [κόστος κεφαλαίου ανά σύστημα για το πρώτο έτος της εγκατάστασης (σχήμα 5.4) και κόστος ανά μονάδα ισχύος KW (σχήμα 5.5)]. Το ελάχιστο αρχικό κόστος της επένδυσης για την πιο μικρή ενεργειακή μονάδα ENG (30.000tn/yr, min ροή) ορίζεται στα  $3,37 \times 10^6$  \$ με το αντίστοιχο κόστος για μηχανή CHPE να ανέρχεται στα  $4,22 \times 10^6$  \$ (σχήμα 5.4). Μεγαλύτερα κόστη απαιτούμενου αρχικού κεφαλαίου εντοπίζονται στις μονάδες με ετήσια δυναμική απόρριψης ΑΣΑ στους 200.000 tn και μέγιστη (max) ροή αερίου, όπου το κόστος για τις μηχανές ENG-max φτάνει στο ποσό των  $1,22 \times 10^7$  \$, ενώ στις μηχανές CHPE-max ξεπερνάει τα  $1,80 \times 10^7$  \$. Στην περίπτωση του παράγοντα κόστους ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ (σχήμα 5.5), η διαβάθμιση είναι αντιστρόφως ανάλογη του μεγέθους ισχύος της μονάδας, συγκριτικά με το κόστος κεφαλαίου. Αυτό σημαίνει ότι όσο αυξάνει η ισχύς της μονάδας, το αντίστοιχο κόστος εγκατεστημένης ισχύος ακολουθεί φθίνουσα πορεία. Χαρακτηριστικά, για τις μηχανές CHPE-min και για αυξητικά κλιμακούμενη δυναμική ΑΣΑ (30.000 έως 200.000 tn/yr), το κόστος εγκατεστημένης ισχύος ξεκινάει από  $4,53 \times 10^3$  και φτάνει

<sup>(7)</sup> Όπως είναι λογικό, μεγαλύτερες ισχύος μονάδες απαιτούν και περισσότερες ποσότητες ΑΣΑ, γεγονός που ίσως αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για μικρές πληθυσμιακά περιοχές.

$2,67 \times 10^3$  \$/KW (σχήμα 5.5, πρώτη στήλη από αριστερά). Εξήγηση για αυτήν τη μείωση δίνεται από τη θεωρία *οικονομίες κλίμακας* [79]. Σύμφωνα με αυτήν, αυξάνοντας το μέγεθος παραγωγής μιας επιχείρησης επιτυγχάνονται καλύτερα οικονομικά αποτελέσματα με μείωση του κόστους.

Επιπλέον, σημαντικές πληροφορίες της ενεργειακής επένδυσης μπορούν να εξαχθούν από την αξιολόγηση του μεγέθους NPV<sup>(8)</sup> (καθαρή παρούσα αξία), καθώς και από τον χρόνο αποπληρωμής αυτού (σχήμα 5.6). Ως μέτρο οικονομικής αξιολόγησης επενδύσεων, ο συντελεστής NPV συνυπολογίζει όλες τις ταμειακές ροές [έξοδα(-) και έσοδα(+)] κατά τη διάρκεια ζωής της επένδυσης (15 έτη) επιστρέφοντας το αριθμητικό αποτέλεσμα στο παρόν και, εφόσον προκύπτει με θετικό πρόσημο, το έργο κρίνεται ως οικονομικά αποδεκτό. Επομένως, με όλες τις τιμές να είναι θετικές, εκτιμάται ότι όλα τα πιθανά σενάρια είναι οικονομικά βιώσιμα.

Επιπρόσθετα, η οικονομική παράμετρος της χρονικής περιόδου (έτη) όπου ο NPV αποπληρώνεται ( $NPV \geq 0$ , ισχύει ότι ταμειακές εισροές  $\geq$  ταμειακές εκροές), μηδενίζεται και στη συνέχεια παίρνει θετικές τιμές (σχήμα 5.6, στοιχεία εντός παρενθέσεων), αποτελεί στοιχείο βιωσιμότητας. Οι πιο μεγάλες τιμές NPV επιτυγχάνονται όσο αυξάνει η εγκατεστημένη ισχύς του επιλεγμένου συστήματος, ενώ αντιστρόφως μειώνεται ο χρόνος αποπληρωμής (όπου ισχύει  $NPV \geq 0$ ) με τις ελάχιστες τιμές να εμφανίζονται στα συστήματα δυναμικής 200.000 tn/yr. Παράλληλα, μπορεί να γίνει και η χρήση του μεγέθους IRR (εσωτερικός βαθμός απόδοσης), το οποίο ως προεξοφλητικό επιτόκιο μηδενίζει επίσης το NPV, με αυξανόμενη τάση της τιμής του όσο το NPV αυξάνει. Για παράδειγμα, στην κατηγορία των CHPE μηχανών με μέση (aver) ροή LFG (σχήμα 5.6, 3<sup>η</sup> στήλη από αριστερά), όσο αυξάνει η δυναμική των απορριπτόμενων ΑΣΑ, τόσο αυξάνει και η νομισματική αξία του συντελεστή NPV, δηλαδή  $1,12 \times 10^6$  \$[IRR<sup>(9)</sup>=18,42%] –  $1,93 \times 10^6$  \$[IRR=22,1%] –  $4,01 \times 10^6$  \$[IRR=23,19%] –  $9,37 \times 10^6$  \$[IRR=27,07%], ενώ αντίθετη και φθίνουσα διαβάθμιση ακολουθεί ο χρόνος εξόφλησης του NPV (9-7-7-5 έτη), γεγονός που οφείλεται στις *οικονομίες κλίμακας*. Σύμφωνα αυτήν, όσο αυξάνεται η δυναμική της εγκατάστασης, τόσο αυξάνεται και η παραγωγή ενέργειας με τελικό αποτέλεσμα τα έσοδα να υπερβαίνουν τα έξοδα ( $NPV \geq 0$ ).

Τέλος, σχετικά με το περιβαλλοντικό σκέλος, κριτήρια όπως οι μέσες ετήσιες τιμές ισοδύναμων αερίων CH<sub>4</sub> από τη συλλογή και χρήση του LFG και των αποφυγών CO<sub>2</sub>, λόγω της ΜΗ χρήσης ορυκτών καυσίμων, σε μονάδες μέτρησης mm<sub>t</sub>CO<sub>2</sub>eq (σχήμα 5.7) εξετάζουν τον αντίκτυπο των τεχνολογιών ενεργειακής ανάκτησης LFG όσον αφορά τις εκπομπές αερίων ρύπων και την επίδρασή τους στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (GHG). Η αριστερή κλίμακα μέτρησης (Α) αντιστοιχεί στις μπάρες με το πλαίσιο διακεκομμένης γραμμής, οι οποίες αναφέρονται στις εκπομπές CH<sub>4</sub> από τη χρήση του εκλυόμενου LFG για το κάθε σύστημα (CHPE και ENG) και τον κάθε ρυθμό ροής LFG (min, aver και max), ενώ η δεξιά κλίμακα (Β) αντιπροσωπεύει τις μπάρες (χωρίς γραμμοσκιασμένο πλαίσιο) των εκπομπών CO<sub>2</sub> που αποτρέπονται λόγω της ΜΗ χρήσης ορυκτών καυσίμων. Αναλύοντας τις στήλες αποφυγών έκλυσης CO<sub>2</sub> (στήλες Β), στη σύγκριση μεταξύ μηχανών CHPE και ENG (όμοιας ροής αερίου) παρατηρείται ότι οι μηχανές συμπαραγωγής CHPE αποτρέπουν μεγαλύτερα εκλυόμενα ποσά CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα. Χαρακτηριστικά, γίνεται η σύγκριση των συστημάτων CHPE(CO<sub>2</sub>)-

<sup>(8)</sup> Ο ορισμός και οι σχετικές πληροφορίες του NPV δίνονται στο παράρτημα Α

<sup>(9)</sup> Οι τιμές των συντελεστών IRR έχουν εξαχθεί, κατά σειρά, από τους πίνακες 5.3, 5.4, 5.5. 5.6 από το αντίστοιχο πεδίο CHPE-aver



min (σχήμα 5.7, 2<sup>η</sup> στήλη από αριστερά) με το σύστημα ENG(CO<sub>2</sub>)-min (σχήμα 5.7, 4<sup>η</sup> στήλη από αριστερά), με τις αντίστοιχες τιμές, σε μονάδες mmtCO<sub>2</sub>eq, να είναι:  $5,52 \times 10^{-3} / 3,77 \times 10^{-3}$  (CPE/ENG) –  $7,35 / 5,03 \times 10^{-3}$  –  $1,84 / 1,26 \times 10^{-2}$  –  $3,68 / 2,52 \times 10^{-2}$ . Αυτό οφείλεται στον μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης των CHPE μηχανών (≈80%) λόγω της εφαρμογής τεχνολογίας ανάκτησης ποσοτήτων θερμότητας. Ακόμη, όσο αυξάνει η μονάδα τόσο αυξάνονται και οι ποσότητες CO<sub>2</sub> που δεν εκπέμπονται προς την ατμόσφαιρα λόγω της εκτεταμένης χρήσης LFG περιεκτικότητας σε CH<sub>4</sub>.

Πολύ μεγαλύτερες από τις αποφυγές CO<sub>2</sub> παρουσιάζονται οι μέσες ετήσιες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου (GHG), του συλλεγόμενου αερίου με περιεκτικότητα CH<sub>4</sub> (σχήμα 5.7, στήλες Α). Οι αποφυγές CO<sub>2</sub> αποτελούν περίπου το 13,6% των ισοδύναμων αερίων CH<sub>4</sub> του συλλεγόμενου LFG. Το ποσοστό αυτό διατηρείται σταθερό αυξάνοντας το μέγεθος απορριπτόμενων ΑΣΑ και συγκρίνοντας ίδιες μηχανές όμοιας ροής αερίου. Συγκεκριμένα, για μηχανές CHPE-min, 100.000tn/yr δυναμικής απορριπτόμενων ΑΣΑ, η ποσότητα αερίων CH<sub>4</sub> αντιστοιχεί σε 0,135mmtCO<sub>2</sub>eq (σχήμα 5.7, πρώτη στήλη από τα αριστερά, γκρι μπάρα), ενώ οι αποφυγές CO<sub>2</sub> είναι 0,0184mmtCO<sub>2</sub>eq (σχήμα 5.7, δεύτερη στήλη από τα αριστερά, γκρι μπάρα) και οι αντίστοιχες τιμές δυναμικής 200.000tn/yr είναι 0,27 και 0,0368mmtCO<sub>2</sub>eq. Επίσης, ίδια συμπεριφορά μηχανών CHPE και ENG ίδιας ροής LFG εμφανίζεται ως προς το ποσοστό χρήσης ισοδύναμου εκλυόμενου αερίου. Συναρτήσει αυτού, σημειώνεται ότι η ροή του LFG (min, aver, max), για μονάδες ίδιας δυναμικής ΑΣΑ, δεν επηρεάζει σημαντικά τα ισοδύναμα αέρια CH<sub>4</sub>. Για παράδειγμα, συγκρινόμενες οι μηχανές CHPE-min και ENG-min, με τις αντίστοιχες ροές aver και max - σε κοινή βάση δυναμικής ΑΣΑ - παρουσιάζουν μικρή απόκλιση αερίων CH<sub>4</sub>. Στους 30.000 tn/yr, οι τιμές αυτές ισούνται (στήλες Α, από αριστερά, πράσινες μπάρες) με 0,0404(min), 0,0423(aver), 0,0429(max) και οι αντίστοιχες για 40.000tn/yr (στήλες Α, από αριστερά, πορτοκαλί μπάρες) ισούνται με 0,0539(min), 0,0564(aver) και 0,0573(max).

Συμπερασματικά, σημαντικές ποσότητες CH<sub>4</sub> που διαφορετικά θα είχαν εκλυθεί προς την ατμόσφαιρα ρυπαίνοντάς την, αξιοποιούνται ενεργειακά από μηχανές CHPE ή ENG με παρόμοια περιβαλλοντικά αποτελέσματα.

### 5.3.3 Ιδανικό Σενάριο

Σε συνέχεια της παρουσίασης και ανάλυσης των αποτελεσμάτων της προηγούμενης υποενοτήτας, επιλέγεται ιδανικό σενάριο συστήματος παραγωγής ενέργειας με δυναμική απορριπτόμενων ποσοτήτων ΑΣΑ πλησίον των δυνατοτήτων της επιλεγμένης περιοχής (μεταξύ 50.000 και 70.000tn/yr). Επιδίωξη του είναι ένα ικανοποιητικό ποσοστό κάλυψης (%) ενεργειακών αναγκών με σχετικά υψηλές αποδόσεις οικονομικών στοιχείων, καθώς η παρουσίαση ανάλογων αποδόσεων σχετικά με τις εκπομπές αερίων. Όπως και στα αρχικά σενάρια, το σύστημα θα αναλυθεί ως προς την τεchnο-οικονομική και περιβαλλοντική του απόδοση.

Λόγω της υψηλότερης απόδοσης ως μηχανές (τεχνολογία ανάκτησης θερμότητας) και των πρόσθετων περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν έναντι των μηχανών ENG (επιτυγχάνονται μεγαλύτερα ποσά αποφυγών CO<sub>2</sub> από τη μη χρήση ορυκτών καυσίμων), επιλέγεται μηχανή συμπαραγωγής (CHPE) με χρήση του παραγόμενου ζεστού νερού/ατμού 100% για τις ανάγκες τις μονάδας. Η απορριπτόμενη δυναμική ΑΣΑ επιλέγεται στους

65.000 tn. Το ιδανικό επιλεγμένο ετήσιο δυναμικό ΑΣΑ ξεπερνάει, θεωρητικά, τα αντίστοιχα παραγόμενα ποσά της υπό μελέτη περιοχής, το οποίο ως στοιχείο θα συζητηθεί στην τελευταία ενότητα (ενότ. 5.4). Επίσης, με σκοπό τη σχετική μείωση των αρχικών κεφαλαιουχικών κόστων εγκατάστασης, καθώς και την επίτευξη υψηλής εγκατεστημένης ισχύος, διατηρείται η ροή του συλλεγόμενου αερίου σε μέσες τιμές (aver). Τα σταθερά στοιχεία εισαγωγής παραμένουν τα ίδια, όπως στην περίπτωση των τεσσάρων προηγούμενων σεναρίων. Πιο συγκεκριμένα, η προκαταβολή ιδίων κεφαλαίων είναι στο 60%, το τραπεζικό δάνειο καλύπτει το 20%, η κρατική επιχορήγηση καλύπτει επίσης το 20% και οι πράσινες ενεργειακές πιστώσεις είναι μηδενικές (zero energy tax credits).

Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος είναι η εγκατεστημένη ισχύς του που αγγίζει τα 2140KW και η μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια των  $1,60 \times 10^7$  kWh/yr με ποσοστό κάλυψης ενεργειακών αναγκών στο 7,98%. Στην οικονομική ανάλυση, το αρχικό κεφαλαιουχικό κόστος εγκατάστασης ανέρχεται στα  $7,07 \times 10^6$  \$, το αντίστοιχο κόστος εγκατεστημένης μονάδας ισχύος στο ποσό των  $3,3 \times 10^3$  \$/KW, και οι οικονομικοί συντελεστές IRR, NPV και ο χρόνος εξόφλησης του NPV (όπου  $NPV \geq 0$ ) ισούνται αντίστοιχα με 19,75%,  $2,13 \times 10^6$  \$ και 8 έτη. Στα περιβαλλοντικά οφέλη, οι μέσες ετήσιες αποφυγές CO<sub>2</sub>, λόγω της μη χρήσης ορυκτών καυσίμων, είναι  $1,25 \times 10^{-2}$  mmtCO<sub>2</sub>eq, με τις αντίστοιχες ισοδύναμες εκπομπές CH<sub>4</sub> του χρησιμοποιούμενου αερίου να ανέρχονται στους  $9,17 \times 10^{-2}$  mmtCO<sub>2</sub>eq. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα (outputs) συνοψίζονται στον πίνακα 5.7.

Πίνακας 5.7: τεchnο-οικονομικά και περιβαλλοντικά στοιχεία ιδανικού σεναρίου (ο συμβολισμός “Ε” ισούται με “10”)

<b>CHPE</b>	
<b>σύστημα συμπαραγωγής MEK-GEN</b>	
<i>Απορριπτόμενα ΑΣΑ [65.000 tn/yr]</i>	
<i>Ρυθμός Παροχής LFG [AVER]</i>	
<b>Στοιχεία Ισχύος-Ενέργειας</b>	Παροχή LFG ( <b>721,42 ft<sup>3</sup>/min</b> )
	Εγκατεστημένη ισχύς ( <b>2142 KW</b> )
	Μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια ( <b>1,60E<sup>7</sup> kwh/yr</b> )
	Κάλυψη ετήσιων ενεργειακών αναγκών ( <b>7,98%</b> )
	Μέση ετήσια παραγωγή θερμού νερού/ατμού ( <b>6,08E<sup>4</sup> million Btu/yr</b> )
<b>Οικονομικά Στοιχεία</b>	Αρχικό κεφάλαιο εγκατάστασης ( <b>7,07E<sup>6</sup> \$</b> )
	Κόστος ανα μονάδα εγκατεστημένου κιλοβάτ ( <b>3,30E<sup>+03</sup> \$/KW</b> )
	Ετήσια έξοδα λειτουργίας και συντήρησης του 1 <sup>ου</sup> έτους λειτουργίας ( <b>5,12E<sup>+05</sup> \$</b> )
	IRR-Εσωτερικός βαθμός απόδοσης ( <b>19,75 %</b> )
	NPV του έτους κατασκευής ( <b>2,13E<sup>+06</sup> \$</b> )
	Αριθμός ετών όπου το NPV ≥ 0 ( <b>8</b> )
<b>Περιβαλλοντικά Στοιχεία</b>	Μέγιστο συλλεγόμενο ή καϊόμενο CH <sub>4</sub> , στο σύνολο των ετών λειτουργίας ( <b>3,13E<sup>+03</sup> million ft<sup>3</sup></b> )
	Μέση ετήσια συλλεγόμενη ή καϊόμενη ποσότητα CH <sub>4</sub> , ( <b>2,09E<sup>+02</sup> million ft<sup>3</sup>/yr</b> )
	Μέγιστες ποσότητες GHG-CH <sub>4</sub> , συλλεγόμενου αερίου στο σύνολο των ετών λειτουργίας ( <b>1,38E<sup>+00</sup> mmtCO<sub>2</sub>eq</b> )
	Μέση ετήσια ποσότητα GHG-CH <sub>4</sub> συλλεγόμενου αερίου ( <b>9,17E<sup>-02</sup> mmtCO<sub>2</sub>eq/yr</b> )
	Συνολική μείωση εκπομπών CO <sub>2</sub> από τη ΜΗ χρήση ορυκτών καυσίμων, στο σύνολο των ετών λειτουργίας ( <b>1,88E<sup>-01</sup> mmtCO<sub>2</sub>eq</b> )
	Μέση ετήσια μείωση εκπομπών CO <sub>2</sub> από τη ΜΗ χρήση ορυκτών καυσίμων, ( <b>1,25E<sup>-02</sup> mmtCO<sub>2</sub>eq/yr</b> )

#### 5.4 ΣΥΝΟΨΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ & ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

✚ Στο τρέχον κεφάλαιο αναπτύχθηκε η τεχνολογία LFG-RES με τη χρήση βάσης δεδομένων του λογισμικού LFGcost-WEB και την εφαρμογή διαφόρων υποθετικών σεναρίων για μια συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης.

✚ Η οικονομική βάση δεδομένων του λογισμικού LFGcost-WEB περιέχει κοστολόγια Η/Μ συστημάτων και εργατικά κόστη λειτουργίας και συντήρησης, σε ένα εύρος ετών 2008 - 2013.

✚ Τα κοστολόγια που παρουσιάζονται δεν περιλαμβάνουν τα έξοδα αγοράς/ενοικίασης και περίφραξης του χώρου όπου θα εγκατασταθεί η μονάδα.

✚ Επίσης, τα τελικά οικονομικά αποτελέσματα διατηρούνται στην αρχική τους νομισματική μορφή [σε δολάρια Ηνωμένων Πολιτειών (\$)], λόγω του ότι η οικονομική βάση δεδομένων αντιστοιχεί σε παρελθοντικά έτη (2008-2013), με αποτέλεσμα η ισοτιμία μεταξύ € και \$ να μην ανταποκρίνεται στα σημερινά δεδομένα.

✚ Οι ετήσιες ενεργειακές ανάγκες της επιλεγμένης περιοχής των 21.000 κατοίκων είναι 200.460 MWh<sub>e</sub>.

✚ Στόχος της μεθόδου είναι η έκβαση αποτελέσματος ενός θεωρητικά ιδανικού σεναρίου, το οποίο πλήροί τις προϋποθέσεις εφαρμογής στην εξεταζόμενη περιοχή.

✚ Στα σενάρια επιλέγονται και συγκρίνονται δύο συστήματα αξιοποίησης LFG, τα οποία περιέχονται στη βάση δεδομένων του λογισμικού. Το πρώτο σύστημα συνοψίζεται στον όρο CHPE, δηλαδή σύστημα συμπαραγωγής αποτελούμενο από μηχανές εσωτερικής καύσης, και το δεύτερο σύστημα ENG περιγράφει μονάδα παραγωγής μόνο ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση επίσης μηχανών εσωτερικής καύσης.

✚ Τα υποθετικά σενάρια σχετίζονται με τις ετήσιες απορριπτόμενες ποσότητες ΑΣΑ και κατηγοριοποιούνται κατά αύξουσα σειρά σε 30.000-40.000-100.000-200.000 tn/yr. Επίσης, σχετίζονται με την παραμετροποίηση του ρυθμού ροής του εκλυόμενου αερίου (LFG), δηλαδή min (ελάχιστη), aver (μέση), max (μέγιστη). Με αυτόν τον τρόπο καθορίζεται το μέγεθος της εγκατεστημένης ισχύος (KW), η παραγόμενη ετήσια ενέργεια (kwh), το ποσοστό κάλυψης (%) των ενεργειακών αναγκών και εξάγονται επιπλέον χρήσιμα τεchnο-οικονομικά και περιβαλλοντικά στοιχεία.

✚ Τα αποτελέσματα που προκύπτουν δίνονται γραφικά και είναι τα εξής:

- ❖ Το εύρος ισχύος των δώδεκα διαφορετικών συστημάτων βρίσκεται μεταξύ 931 και 6.913 KW (σχ. 5.2).
- ❖ Η δυναμική αξιοποίησης του αερίου είναι όμοια και για τους δύο τύπους συστημάτων, CHPE και ENG, συγκρινόμενα πάντα σε κοινή βάση ποσοτήτων ετήσιας απόρριψης ΑΣΑ και ρυθμού ροής αερίου. Άρα, προκύπτουν 12 διαφορετικά ενεργειακά συστήματα.
- ❖ Τα ποσά της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας κυμαίνονται μεταξύ  $7,05 \times 10^6$  και  $4,99 \times 10^7$  kwh/yr (σχ. 5.3).
- ❖ Τα αντίστοιχα ποσοστά κάλυψης των ενεργειακών απαιτήσεων εντοπίζονται μεταξύ 3,52 και 24,9% (σχ. 5.3, στοιχεία εντός παρενθέσεων).

- ❖ Τα διαμορφωμένα κοστολόγια αντιστοιχούν σε είκοσι τέσσερα και όχι δώδεκα συστήματα. Αυτό συμβαίνει γιατί, σε αντίθεση με τα ENG, στα CHPE προϋπολογίζονται και τα δίκτυα ανάκτησης θερμότητας (εναλλάκτες θερμότητας, δίκτυα σωλήνων). Οπότε, τα κόστη αρχικών κεφαλαίων του έτους εγκατάστασης ξεκινούν από  $3,37 \times 10^6$  \$ για το σύστημα ENG-min και φτάνουν μέχρι  $1,82 \times 10^7$  \$ για τις μονάδες συμπαραγωγής με τη μέγιστη δυνατή ροή αερίου, δηλαδή CHPE-max (σχ. 5.4).
- ❖ Στο σχήμα 5.5 παρουσιάστηκε η επίδραση που έχει η θεωρία των οικονομιών κλίμακας, με τις μονάδες χαμηλότερης ισχύος να έχουν αυξημένα κόστη ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος. Χαρακτηριστικά, για την κατηγορία των συστημάτων CHPE το κόστος μονάδας CHPE-min με ετήσια δυναμική ΑΣΑ στις 30.000 tn ανέρχεται σε  $4,53 \times 10^3$  \$/KW, ενώ το αντίστοιχο κόστος για μονάδα CHPE-max μεγέθους 200.000 tn/yr είναι  $2,6 \times 10^3$  \$/KW.
- ❖ Οι οικονομικοί όροι, όπως αυτός της καθαρής παρούσας αξίας (NPV) στο πρώτο έτος κατασκευής που δηλώνει τη διαφορά ταμειακών εκροών και εισροών, καθώς και ο χρόνος αποπληρωμής του (έτη) που μηδενίζει και μετά παίρνει θετικές τιμές (εκροές < εισροές), φαίνονται στο σχήμα 5.6. Το μέγεθος NPV παίρνει σε όλες τις περιπτώσεις θετική τιμή, με τον καλύτερο βαθμό να πετυχαίνεται στο σύστημα ENG-min, δυναμικής 200.000 tn/yr, όπου η τιμή του είναι  $1,09 \times 10^7$  \$, και με ένα επίσης πολύ καλό χρόνο απόσβεσης στα 3 έτη.
- ❖ Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα περιβαλλοντικά αποτελέσματα (σχ. 5.7). Συγκριτικά με τα ENG συστήματα, οι μονάδες συμπαραγωγής CHPE έχουν υψηλότερες περιβαλλοντικές επιδόσεις όσον αφορά τις εκλυόμενες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου (GHG) και συγκεκριμένα στις εκπομπές CO<sub>2</sub> που αποφεύγονται λόγω της μη χρήσης ορυκτών καυσίμων. Αυτό οφείλεται στην ενσωματωμένη τεχνολογία ανάκτησης θερμότητας από τα καυσαέρια και του παραγόμενου ζεστού νερού/ατμού, με επακόλουθο τον υψηλότερο βαθμό απόδοσης των CHPE μονάδων (≈80%). Παρόμοια επίδοση μεταξύ CHPE και ENG υπάρχει στις εκπομπές CH<sub>4</sub> του αερίου που τελικώς χρησιμοποιούνται αντί να διαφεύγουν στην ατμόσφαιρα, οπότε δεν εντείνεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου.
- ❖ Στα περιβαλλοντικά αποτελέσματα (σχ. 5.7), ένα επιπλέον μέτρο αξιολόγησης είναι ότι οι ποσότητες CH<sub>4</sub> που δεν διαφεύγουν προς την ατμόσφαιρα, λόγω της χρήσης του εκλυόμενου αερίου ως καύσιμο, είναι μεγαλύτερες συγκριτικά με τις ποσότητες CO<sub>2</sub> που δεν παράγονται, λόγω της μη χρήσης ορυκτών καυσίμων. Αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημασία αν αναλογιστεί κανείς πως, ενώ ο χρόνος ζωής του CH<sub>4</sub> στην ατμόσφαιρα (≈12 έτη) είναι κατά πολύ μικρότερος από αυτόν του CO<sub>2</sub> (κάποιες χιλιάδες χρόνια), η παρουσία του επιδρά πιο έντονα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου καθώς παγιδεύει μεγαλύτερα ποσά ακτινοβολίας [80]. Αυτό το συμπέρασμα μπορεί να εξαχθεί και από την εξέταση του δείκτη δυναμικού θέρμανσης του πλανήτη (GWP: global warming potential), με βάση τον οποίο το CH<sub>4</sub> ( $GWP_{CH_4} \approx 28_{(100 \text{ years})}$ ) παρουσιάζει 28 φορές μεγαλύτερη ικανότητα απορρόφησης ενέργειας συγκριτικά με το CO<sub>2</sub> σε βάθος 100 ετών [81].

✚ Επιπλέον, υπενθυμίζεται ότι σε όλα τα σενάρια έχουν υποτεθεί κάποιοι σταθεροί οικονομικοί παράμετροι που έχουν εισαχθεί στο λογισμικό και είναι:

- ❖ Προκαταβολή με ίδια κεφάλαια: 60%
- ❖ Δανειοδότηση: 20%
- ❖ Κρατική επιχορήγηση: 20%
- ❖ “Πράσινες” ενεργειακές πιστωτικές μονάδες (energy tax credits): 0\$

✚ Τα χαρακτηριστικά του ιδανικού σεναρίου ενεργειακού συστήματος LFG-RES είναι:

- ❖ Επιλέγεται σύστημα μονάδας συμπαραγωγής με μηχανές εσωτερικής καύσης (CHPE), με ετήσια δυναμική απόρριψης ΑΣΑ 65.000 tn/yr και μέσο ρυθμό ροής αερίου (aver).
- ❖ Η ισχύς του συστήματος είναι 2.142 MW με ετήσια παραγωγή ενέργειας  $1,60 \times 10^7$  kWh<sub>e</sub>/yr και ποσοστό κάλυψης φορτίων της επιλεγμένης περιοχής στο 7,98%.
- ❖ Ο οικονομικός συντελεστής CAPEX που προκύπτει ισούται με  $7,07 \times 10^6$  \$, με το NPV στα  $2,13 \times 10^6$  \$ και με χρόνο αποπληρωμής του στα 8 χρόνια.
- ❖ Τέλος, στα περιβαλλοντικά του χαρακτηριστικά παρουσιάζονται σημαντικές αποδόσεις. Οι ετήσιες εκλυόμενες ποσότητες CH<sub>4</sub> του παραγόμενου αερίου που χρησιμοποιούνται αντί να εκλύονται στην ατμόσφαιρα είναι  $9,17 \times 10^{-2}$  mmtCO<sub>2</sub>eq/yr, με τις αντίστοιχες ποσότητες CO<sub>2</sub> που αποφεύγονται λόγω της μη χρήσης ορυκτών καυσίμων να είναι  $1,25 \times 10^{-2}$  mmtCO<sub>2</sub>eq/yr.

✚ Παρά τα θετικά στοιχεία των αποτελεσμάτων του ιδανικού σεναρίου, υπάρχουν και κάποιοι περιοριστικοί παράγοντες, προσδίδοντας έναν συντελεστή αβεβαιότητας:

- ❖ Το αρκετά υψηλό κεφαλαιουχικό κόστος εγκατάστασης για μια επαρχιακή πόλη ίσως αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα για τέτοιου είδους επενδύσεις. Απαιτούνται σίγουρα κίνητρα σε κρατικό επίπεδο, όπως μεγαλύτερα ποσά κρατικών επιχορηγήσεων και ενεργειακές πιστώσεις, π.χ. επιπλέον πιστώσεις παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και πιστώσεις μείωσης GHGs (θεωρούνται μηδενικές κατά την εκτέλεση του λογισμικού). Επίσης, σημαντικό ρόλο μπορούν να παίξουν και τα ευνοϊκότερα επιτόκια δανείων. Αυτός ο συνδυασμός θα είχε ως αποτέλεσμα τη βελτίωση των οικονομικών μεγεθών, όπως μείωση του CAPEX, αύξηση του NPV και ταυτόχρονη μείωση της διάρκειας ετών αποπληρωμής του NPV.
- ❖ Σημαντική αλλά και περιοριστική παράμετρο, που δεν είναι διαθέσιμη, αποτελεί το πραγματικό ετήσιο δυναμικό απόρριψης των ΑΣΑ (tn/yr) της επιλεγμένης υπό μελέτη περιοχής. Η ποσότητα των 65.000 tn/yr που έχει οριστεί ως σημείο αναφοράς του ιδανικού σεναρίου υπολείπεται των πραγματικών δυνατοτήτων για μια περιοχή 21.000 κατοίκων. Αυτό το γεγονός θα πρέπει να ωθήσει τις τοπικές αρχές να συνεργαστούν σε επίπεδο περιφέρειας και ενδεχομένως εμπορίας ΑΣΑ από άλλες όμορες περιοχές, όπως στο πολύ χαρακτηριστικό παράδειγμα της Σουηδίας όπου υπάρχει έλλειψη σκουπιδιών λόγω συστηματικής τους χρήσης (βλ. Εισαγωγή, υποεν. 2.3).
- ❖ Επίσης, τον συντελεστή αβεβαιότητας των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης εντείνουν και οι ελλιπείς πραγματικές συνθήκες των χώρων ΧΑΔΑ/ΧΥΤΑ (καιρικές συνθήκες, ποσοστά υγρασίας), οι οποίες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην περιεκτικότητα του εκλυόμενου αερίου

σε CH<sub>4</sub>. Στην ποιότητα του αερίου συμβάλλει και το κατά πόσο το οργανικό κλάσμα των ΑΣΑ είναι καθαρό και ομοιογενές, δεδομένο που δεν είναι διαθέσιμο στην παρούσα μελέτη.

✚ Βέβαια, η βέλτιστη εφαρμογή της τεχνολογίας LFG-RES θα απαιτούσε μια ολοκληρωμένη αλυσίδα διεργασιών:

- ❖ Αρχική διαχείριση των ΑΣΑ σε νοικοκυριά, εμπορικές εταιρίες, βιοτεχνίες, βιομηχανίες, όπου πρέπει να γίνεται ο αρχικός διαχωρισμός των αποβλήτων σε μεταλλικά, πλαστικά και οργανικά.
- ❖ Περαιτέρω διαχωρισμός/ανακύκλωση και ανάκτηση χρήσιμων υλικών εντός αυτοματοποιημένων συστημάτων.
- ❖ Απόρριψη της θεωρητικά καθαρής μορφής οργανικών ΑΣΑ στους εξωτερικούς χώρους ταφής για την αξιοποίηση των εκλυόμενων αερίων, ικανοποιητικής περιεκτικότητας σε CH<sub>4</sub> ≈ 55-65%.
- ❖ Τέλος, ύπαρξη συστημάτων βιολογικού καθαρισμού των αποβλήτων στραγγισμάτων (leachates) που απορρέουν από τις υγροποιήσεις των εκλυόμενων αερίων, κατά τη συλλογή και επεξεργασίας αυτών.

✚ Το τελικό σχόλιο αφορά το λογισμικό LFGcost-WEB V.3.0, ένα χρήσιμο εργαλείο που παρέχει μόνο τις απαραίτητες εκτιμήσεις και βασικές πληροφορίες για την κατανόηση της τεχνολογίας ενεργειακής ανάκτησης εκλυόμενων αερίων από χώρους ταφής αποβλήτων, σε τεchnο-οικονομική και περιβαλλοντική βάση. Ο ακριβής σχεδιασμός συστημάτων LFG-RES θα πρέπει να στηρίζεται, αποκλειστικά και μόνο, σε εξειδικευμένο προσωπικό, παρέχοντας πληροφορίες σχετικές με την ποιότητα των διαθέσιμων ΑΣΑ, των χώρων απόθεσης απορριμμάτων και των περιβαλλοντικών συνθηκών τους, καθώς και λεπτομερείς τεχνικές μελέτες και προδιαγραφές για την εγκατάσταση και τη λειτουργία της μονάδας [74].

## *Κεφάλαιο 6*

---

*Υγεία & Ασφάλεια,  
Περιβάλλον,  
Ποιότητα  
και Νομοθετικό Πλαίσιο  
Αδειοδότησης*

---



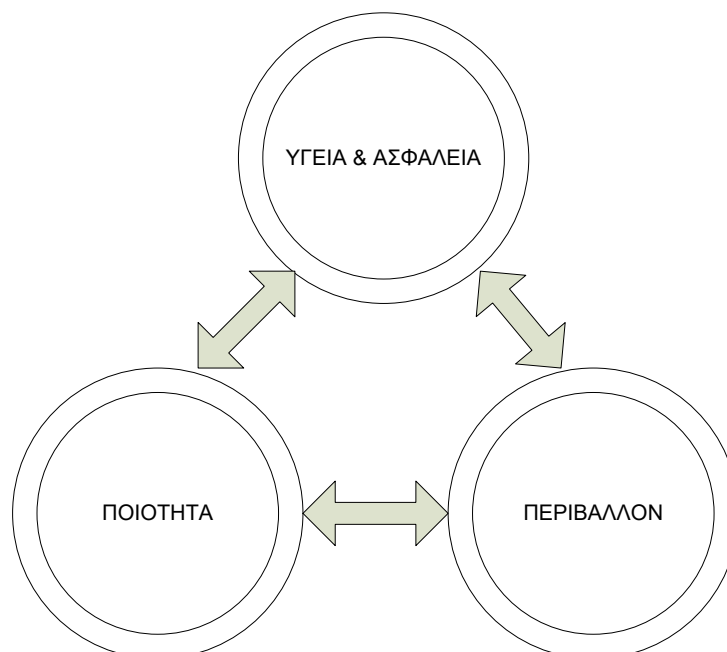


## 6. Εισαγωγή Κεφαλαίου

Η επιτυχημένη εξέλιξη κάθε νεοσύστατης επιχείρησης εξαρτάται από την εφαρμογή κανονισμών και νομοθεσιών που ορίζουν και ελέγχουν την ποιότητα των υπηρεσιών που οι πρώτες παρέχουν, τις πρακτικές υγιεινής και ασφάλειας που εφαρμόζουν, καθώς και τον πιθανό περιβαλλοντικό τους αντίκτυπο από τις δραστηριότητές τους. Αρχικά, στην πρώτη ενότητα γίνεται αναφορά σε αυτά τα πρότυπα και τους σχετικούς νόμους, ενώ τέλος δίνεται περιγραφικά η διαδικασία αδειοδότησης για την εγκατάσταση και έναρξη ενεργειακών μονάδων που υπόκεινται σε νομοθετικά πλαίσια.

### 6.1 ΤΡΙΠΤΥΧΟ: ΥΓΕΙΑ & ΑΣΦΑΛΕΙΑ – ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ – ΠΟΙΟΤΗΤΑ

Οι διεθνείς κανόνες που σχετίζονται με το τρίπτυχο αυτό (σχήμα 6.1) συνοψίζονται στους όρους *ISO (International Standards Organization)* ή εναλλακτικά *OHSAS (Occupational Health and Safety Management System)*. Οι κανόνες αυτοί, των οποίων η ορθή εφαρμογή προσδίδει κύρος και αξιοπιστία σε μια εταιρία, καθώς και οι νόμοι που συντάσσονται στα πλαίσια αυτών των κανονισμών, περιγράφονται στις επόμενες υποενότητες.



Σχήμα 6.1: Τρίπτυχο εφαρμογής κανονισμών και νόμων

**6.1.1 Υγεία & Ασφάλεια.** Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Πιστοποίησης Συστημάτων Διαχείρισης (LRQA) που εδρεύει στο Λονδίνο, η εφαρμογή ενός συστήματος διαχείρισης υγείας και ασφάλειας στην εργασία αποτελεί νομοθετική απαίτηση σε κάποιες χώρες. Η διασφάλιση της υγείας και ασφάλειας των εργαζομένων αποτελεί μείζον θέμα για τις σημερινές επιχειρήσεις [82]. Τα Συστήματα Διαχείρισης Υγείας και Ασφάλειας στην εργασία θέτουν το πλαίσιο για ένα συστηματικό τρόπο αναγνώρισης, αξιολόγησης και διαχείρισης των κινδύνων

για την υγεία και την ασφάλεια, μειώνουν την πιθανότητα ατυχημάτων, βοηθούν στη συμμόρφωση με τη νομοθεσία και βελτιώνουν τη συνολική επίδοση [83].

**6.1.1.1 Πρότυπα Υγείας & Ασφάλειας.** Το πρότυπο OHSAS 18001 αποτελεί το πλέον διεθνώς αναγνωρισμένο πρότυπο για την πιστοποίηση του Συστήματος Διαχείρισης Υγείας και Ασφάλειας ενός οργανισμού, με το αντίστοιχο ελληνικό πρότυπο ΕΛΟΤ 1801 να έχει εκδοθεί το 2002. Και τα δύο πρότυπα είναι σχεδιασμένα στη βάση απαιτήσεων για την ανάπτυξη και εφαρμογή ενός αποτελεσματικού συστήματος διαχείρισης της Υγείας και Ασφάλειας στους εργασιακούς χώρους, με τη δυνατότητα εφαρμογής από οποιονδήποτε οργανισμό ενδιαφέρεται, ανεξάρτητα από το μέγεθος ή τον τομέα στον οποίο αυτός ο οργανισμός δραστηριοποιείται. Επιπρόσθετα, έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να είναι συμβατά με άλλα πρότυπα συστημάτων διαχείρισης, όπως ΕΛΟΤ EN ISO 14001 (Περιβάλλον) και ΕΛΟΤ EN ISO 9001 (Ποιότητα), ώστε να είναι δυνατή η ενοποίηση διαφορετικών συστημάτων διαχείρισης σε ένα ενιαίο ολοκληρωμένο [83].

Τα οφέλη από την εφαρμογή των προαναφερθέντων προτύπων διαχείρισης Υγιεινής και Ασφάλειας στην εργασία συνοψίζονται στα ακόλουθα χαρακτηριστικά [83]:

- (i) αποτελεσματικότερη διαχείριση των κινδύνων για την υγεία και ασφάλεια στην εργασία
- (ii) μείωση της έκτασης και σοβαρότητας ατυχημάτων που οφείλονται στην εργασία, (iii) επίτευξη μεγαλύτερης συμμόρφωσης με τη νομοθεσία και αποφυγή προστίμων και αποζημιώσεων
- (iv) βελτίωση του ηθικού και της παραγωγικότητας των εργαζομένων
- (v) βελτίωση της εικόνας της επιχείρησης προς το ευρύ κοινό, τις αρμόδιες αρχές, τους δανειστές και επενδυτές και τέλος
- (vi) προσανατολισμένη εκπαίδευση του συνόλου των εργαζομένων για εξάλειψη ή αποφυγή κινδύνων

Ωστόσο, τον προσεχή Οκτώβριο του 2016, το υπάρχον πρότυπο θα αντικατασταθεί από το αναθεωρημένο επαγγελματικό σύστημα διαχείρισης υγιεινής και ασφάλειας ISO 45001, που θα είναι πλήρως εναρμονισμένο με τα αναθεωρημένα πρότυπα ISO 9001:2008 (πλέον ISO 9001:2015) και ISO 14001:2004 (πλέον ISO 14001:2015). Το νέο ISO 45001:2016 συνοψίζεται στα ακόλουθα βασικά σημεία [84]:

- (α) μείωση των κινδύνων και επιπρόσθετα σχετικά θέματα
- (β) επιδίωξη δημιουργίας εστίας συνεχούς βελτίωσης, με αποτέλεσμα την επίτευξη σταθεράς στη βελτίωση των προτύπων υγείας και ασφάλειας στον χώρο εργασίας και
- (γ) διασφάλιση ότι όλες οι δραστηριότητες που πραγματοποιούνται σε μια επιχείρηση ακολουθούν πιστά και υπεύθυνα μια πολιτική για την υγεία και την ασφάλεια μιας εταιρείας σύμφωνα με διεθνή αναγνωρισμένα πρότυπα

**6.1.1.2 Νόμοι Σχετιζόμενοι με τις Συνθήκες Υγείας & Ασφάλειας.** Στο πλαίσιο της βελτίωσης των συνθηκών υγιεινής και ασφάλειας για όλους τους εμπλεκόμενους σε ένα εργασιακό περιβάλλον, και πόσο μάλλον όταν αυτός ο χώρος είναι βιομηχανικός (βιομηχανίας της ενέργειας), περιγράφονται κάποιοι βασικοί νόμοι (Ν), υπουργικές αποφάσεις (ΥΑ) και προεδρικά διατάγματα (ΠΔ):

- ΠΔ 82/2010 (ΦΕΚ 145/Α/1.9.2010), σχετικό με οπτική ακτινοβολία, περιγραφή: “ελάχιστες απαιτούμενες προδιαγραφές υγείας και ασφάλειας όσον

αφορά στην έκθεση των εργαζομένων σε κινδύνους προερχόμενους από φυσικούς παράγοντες (τεχνητή οπτική ακτινοβολία), σε συμμόρφωση με την οδηγία 2006/25/EK”

- Ν 3850/2010 (ΦΕΚ 84/A/2-6-2010), σχετικός με την υγεία και την ασφάλεια των εργαζομένων, περιγραφή: “κύρωση του κώδικα νόμων για την υγεία και την ασφάλεια των εργαζομένων”
- ΚΥΑ Υ7α/ΓΠ. οικ. 112498 (ΦΕΚ Β΄ 1775/26.08.2009), σχετιζόμενη με τεχνικούς ασφαλείας & Ιατρούς εργασίας, περιγραφή: “όροι και προϋποθέσεις για την απόκτηση της ειδικότητας της ιατρικής της εργασίας από ιατρούς άλλων ειδικοτήτων”
- ΠΔ 162/2007 (ΦΕΚ 202/A/23-08-2007), αναφερόμενο σε χημικούς παράγοντες, περιγραφή: “προστασία της υγείας των εργαζομένων που εκτίθενται σε ορισμένους χημικούς παράγοντες κατά την διάρκεια της εργασίας τους, κατά τροποποίηση του πδ 307/1986 όπως ισχύει, σε συμμόρφωση προς την οδηγία 2006/15/EK”
- ΠΔ 149/2006 (Φ.Ε.Κ. 159/A/28-07-2006), σχετικό με φυσικούς παράγοντες, περιγραφή: “ελάχιστες προδιαγραφές υγείας και ασφαλείας όσον αφορά την έκθεση των εργαζομένων σε κινδύνους προερχόμενους από φυσικούς παράγοντες (θόρυβος) σε εναρμόνιση με την οδηγία 2003/10/EK”
- ΠΔ 155/2004 (Φ.Ε.Κ. 121/A/5-7-2004), το οποίο αναφέρεται στον απαραίτητο εξοπλισμό εργασίας και αποτελεί τροποποίηση του Π.Δ. 395/1994 (ΦΕΚ 220/A/1994), περιγραφή: “ελάχιστες προδιαγραφές ασφαλείας και υγείας για τη χρησιμοποίηση εξοπλισμού εργασίας από τους εργαζόμενους κατά την εργασία τους σε συμμόρφωση με την οδηγία 89/655/ΕΟΚ”
- ΠΔ 42/2003 (Φ.Ε.Κ. 44/A/21-02-2003), σχετικό με ύπαρξη εκρηκτικής ατμόσφαιρας, περιγραφή: “αναφέρεται στις ελάχιστες απαιτήσεις για την βελτίωση της προστασίας της υγείας και της ασφαλείας των εργαζομένων, οι οποίοι είναι δυνατόν να εκτεθούν σε κίνδυνο από εκρηκτικές ατμόσφαιρες σε συμμόρφωση με την οδηγία 1999/92/EK της 16ης Δεκεμβρίου 1999”
- ΠΔ 105/1995 (Φ.Ε.Κ. 67/A/10-4-1995), αναφερόμενο σε σημάνσεις ασφαλείας, περιγραφή: “ελάχιστες προδιαγραφές για τη σήμανση ασφαλείας ή/ και υγείας στην εργασία σε συμμόρφωση με την Οδηγία 92/58/ΕΟΚ”

**6.1.2 Περιβάλλον.** Όλες οι επιχειρήσεις και κυρίως αυτές που δραστηριοποιούνται στον χώρο της ενέργειας οφείλουν να αναγνωρίζουν ότι η ανάπτυξη της οικονομίας εξαρτάται άμεσα από τη βιωσιμότητα των φυσικών οικοσυστημάτων. Επίσης, απαραίτητο θεωρείται το αίσθημα ευθύνης που πρέπει να διέπει τους εκάστοτε αρμόδιους (τεχνικούς ασφαλείας και περιβάλλοντος) ως προς την ενεργή συμβολή των επιχειρήσεων στην προστασία του περιβάλλοντος και την αειφόρο διαχείριση των φυσικών πόρων, καθώς απαιτείται η δέσμευση για την αντιμετώπιση των άμεσων και έμμεσων συνεπειών στο περιβάλλον ως απόρροια της λειτουργίας των εμπορικών και βιομηχανικών επιχειρήσεων.

**6.1.2.1 Πρότυπα Περιβάλλοντος.** Το ISO 14001:2015, ως αναθεωρημένη μορφή του ISO 14001:2004, θέτει τις περιβαλλοντικές παραμέτρους και απαιτήσεις βάσει των οποίων ενισχύεται επιχειρηματικά ένας οργανισμός, δίνοντας θετικό πρόσημο στην περιβαλλοντική του επίδοση και συμβάλλοντας παράλληλα στη βιωσιμότητα του οικοσυστήματος στο οποίο δραστηριοποιείται. Το συγκεκριμένο πρότυπο είναι εφαρμόσιμο από οποιονδήποτε οργανισμό ανεξαρτήτως μεγέθους, τύπου και φύσης λειτουργίας, λαμβάνοντας υπόψη τις περιβαλλοντικές πρακτικές της

επιλεγμένης επιχείρησης. Επιπλέον, καθορίζεται ο τρόπος βιώσιμης και αειφόρου διαχείρισης από την οπτική του κύκλου ζωής των παραγόμενων προϊόντων ή των υπηρεσιών που προσφέρονται από έναν οργανισμό. Αν και το πρότυπο ISO 14001:2015 μπορεί να χρησιμοποιηθεί εξ ολοκλήρου ή και εν μέρει για τη συστηματική βελτίωση της περιβαλλοντικής διαχείρισης, σημειώνεται ωστόσο ότι απαιτήσεις συμμόρφωσης δεν είναι αποδεκτές, με εξαίρεση την περίπτωση όπου έχουν ενσωματωθεί όλες οι απαιτήσεις σε ένα ενιαίο σύστημα περιβαλλοντικής διαχείρισης του ελεγχόμενου οργανισμού και πληρούνται χωρίς εξαίρεση [85].

Το ISO 14001:2015, μπορεί να παρέχει συστηματική προσέγγιση της περιβαλλοντικής διαχείρισης ώστε να επιτυγχάνονται υψηλές αποδόσεις επιχειρηματικού ελέγχου και συγχρόνως να δημιουργούνται ευκαιρίες και επιλογές βιώσιμης συνεισφοράς προς το περιβάλλον. Βασικοί του στόχοι είναι [86]:

- (i) η προστασία του περιβάλλοντος με την πρόληψη ή τον μετριασμό αναπόφευκτων περιβαλλοντικών επιπτώσεων
- (ii) η εξοάλυνση των πιθανών δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων στον οργανισμό
- (iii) η βελτίωση των περιβαλλοντικών επιδόσεων
- (iv) η βοήθεια στην εκπλήρωση των υποχρεώσεων συμμόρφωσης από την πλευρά της επιχείρησης
- (v) ο έλεγχος και η επιρροή στον σχεδιασμό, κατασκευή, διανομή, κατανάλωση και απόρριψη των παραγόμενων προϊόντων και υπηρεσιών στο πλαίσιο του κύκλου ζωής τους
- (vi) η εφαρμογή φιλικών, περιβαλλοντικών, εναλλακτικών λύσεων με στόχο τα πιθανά οικονομικά και λειτουργικά οφέλη και την ισχυροποίηση της εταιρικής θέσης στην αγορά
- (vii) η προώθηση των περιβαλλοντικών εταιρικών θέσεων προς άλλους σχετικούς ενδιαφερόμενους

*6.1.2.2 Νόμοι Σχετιζόμενοι με την Προστασία του Περιβάλλοντος.* Λόγω των συνεχιζόμενων κλιματικών αλλαγών, το αντίστοιχο νομοθετικό πλαίσιο διευρύνεται με σκοπό την πρόληψη και αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τις δραστηριότητες στους χώρους εργασίας. Παρακάτω παρατίθενται συνοπτικά οι βασικότεροι νόμοι (Ν), προεδρικά διατάγματα (ΠΔ) και υπουργικές αποφάσεις (ΥΑ):

- Ν 2971/01 (ΦΕΚ 285Α), περιγραφή: "αιγιαλός, παραλία και άλλες διατάξεις"
- Ν 3028/2002 (ΦΕΚ 153Α), περιγραφή: "για την προστασία των αρχαιοτήτων και εν γένει της πολιτιστικής κληρονομιάς"
- ΚΥΑ 54409/2632/04 (1931Β), αναφέρεται στο σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2003/87/ΕΚ, περιγραφή: "σχετικά με τη θέσπιση συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου εντός της Κοινότητας και την τροποποίηση της οδηγίας 96/61 /ΕΚ του Συμβουλίου της 13ης Οκτωβρίου 2003 και άλλες διατάξεις"
- Ν 1650/86 (ΦΕΚ 160Α), "για την προστασία του περιβάλλοντος"
- Ν 3010/02 (ΦΕΚ 91Α), περιγραφή: "εναρμόνιση του Ν 1650/1986 με τις Οδηγίες 97/11 ΕΕ και 96/61 ΕΕ, διαδικασία οριοθέτησης και ρυθμίσεις θεμάτων για τα υδατορέματα και άλλες διατάξεις"

- ΠΥΣ 34/02 (125/A/5/6/02), περιγραφή: "Οριακές και κατευθυντήριες τιμές ποιότητας της ατμόσφαιρας σε διοξείδιο του θείου, διοξείδιο του αζώτου και οξειδίων του αζώτου, σωματιδίων και μολύβδου"
- ΚΥΑ 10315/93 (ΦΕΚ 369B), περιγραφή: "ρύθμιση θεμάτων σχετικών με τη λειτουργία των σταθερών εστιών καύσης για τη θέρμανση κτιρίων και νερού"
- ΚΥΑ 11294/93 (ΦΕΚ 264B), περιγραφή: "όροι λειτουργίας και επιτρεπόμενα όρια εκπομπών αερίων αποβλήτων από βιομηχανικούς λέβητες, ατμογεννήτριες, ελαιόθερμα και αερόθερμα που λειτουργούν με καύσιμο μαζούτ, ντίζελ ή αέριο"
- Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 2037/2000, σχετικός με τις "ουσίες που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος", όπως εκάστοτε ισχύει τροποποιημένος
- Ν 1739/87 (ΦΕΚ 201Α), αναφορικά με τη "διαχείριση των υδατικών πόρων και άλλες διατάξεις"
- ΚΥΑ 4859/726/01 (ΦΕΚ 253B), περιγραφή: "Μέτρα και περιορισμοί για την προστασία του υδατικού περιβάλλοντος από απορρίψεις και ειδικότερα καθορισμός οριακών τιμών ορισμένων επικίνδυνων ουσιών που υπάγονται στον Κατάλογο II της οδηγίας 76/464/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 4<sup>ης</sup> Μαΐου 1976"
- ΥΑ 3131 .1/01/99 (ΦΕΚ 12B), περιγραφή: "έγκριση του γενικού κανονισμού λιμένα με αριθ. 18. και προϋποθέσεις και μέτρα ασφάλειας για τις εργασίες φόρτωσης ή εκφόρτωσης ή μετάγγισης χύμα πετρελαίου ή χύμα υγρών χημικών (ή και των καταλοίπων τους) ή χύμα υγροποιημένων αερίων που μεταφέρονται με δεξαμενόπλοια"
- ΠΔ 11/02 (ΦΕΚ 6Α), περιγραφή: "εθνικό σχέδιο έκτακτης ανάγκης για την αντιμετώπιση περιστατικών ρύπανσης από πετρέλαιο και άλλες επιβλαβείς ουσίες"
- ΚΥΑ 50910/2727/03 (ΦΕΚ 1909B), περιγραφή: "μέτρα και όροι για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων, εθνικός - περιφερειακός σχεδιασμός διαχείρισης"
- ΚΥΑ 13588/725/06 (ΦΕΚ 383B), περιγραφή: "μέτρα, όροι και περιορισμοί για την διαχείριση επικινδύνων αποβλήτων σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της οδηγίας 91/689/ ΕΟΚ « για τα επικίνδυνα απόβλητα» του Συμβουλίου της 12<sup>ης</sup> Δεκεμβρίου 1991 καθώς και αντικατάσταση της υπ αριθμ. 19396/1546/1997 κοινή υπουργικά απόφαση «μέτρα και όροι για τη διαχείριση επικίνδυνων αποβλήτων» (B '604)
- ΚΥΑ 11535/93 (ΦΕΚ 328B), περιγραφή: "επιτρεπόμενα είδη καυσίμων στις βιομηχανικές, βιοτεχνικές και συναφείς εγκαταστάσεις, στους αποτεφρωτήρες νοσηλευτικών μονάδων και μέτρα για τις ανοικτές εστίες καύσης"
- ΠΔ 44/87 (ΦΕΚ 15Α), περιγραφή: "καθορισμός τεχνικών προδιαγραφών διαμόρφωσης, σχεδίασης, κατασκευής και ασφαλούς λειτουργίας των μηχανολογικών εγκαταστάσεων εναποθήκευσης υγρών καυσίμων των επιχειρήσεων που δεν αποτελούν εταιρείες εμπορίας πετρελαιοειδών προϊόντων"
- ΥΑ 84498/2579/90 (ΦΕΚ 810B), περιγραφή: "σύσταση γραφείων περιβάλλοντος στις νομαρχίες"
- ΚΥΑ 5697/590/00 (Φ ΕΚ 405B), περιγραφή: "καθορισμός μέτρων και όρων για την αντιμετώπιση των κινδύνων από ατυχήματα μεγάλης έκτασης σε εγκαταστάσεις ή μονάδες λόγω της ύπαρξης επικίνδυνων ουσιών"

**6.1.3 Ποιότητα.** Η ποιότητα, κινητήριος μοχλός ανάπτυξης ενός οργανισμού, συμβάλλει στην αποτελεσματικότερη λειτουργία του, στη βελτίωση του επιπέδου των προσφερόμενων υπηρεσιών ή/και προϊόντων του και στην αύξηση του βαθμού ικανοποίησης των πελατών του. Τα Συστήματα Διαχείρισης της Ποιότητας

παρέχουν το πλαίσιο μέσα στο οποίο κάθε οργανισμός μπορεί να μετρήσει και να βελτιώσει την απόδοση και τον τρόπο λειτουργίας του [87].

**6.1.3.1 Πρότυπα Ποιότητας.** Το πρότυπο ISO 9001, ως ο πιο γνωστός κανονισμός παγκοσμίως, παρέχει γνωστικό πεδίο εφαρμόσιμο στους επιχειρηματικούς σχεδιασμούς δίνοντας τη δυνατότητα εξοικονόμησης χρημάτων, αύξησης κερδών, επιχειρηματική καταξίωση και ικανοποίηση περισσότερων πελατών. Τα οφέλη που παρέχει το πρότυπο ποιότητας είναι [88]:

- (i) δυνατότητα να γίνει μια επιχείρηση πιο συνεπής και ανταγωνιστική στο πεδίο της αγοράς
- (ii) προσφορά ποιοτικότερης διαχείρισης των πελατειακών αναγκών
- (iii) εξοικονόμηση χρόνου, χρημάτων και πόρων μέσω αποτελεσματικών τρόπων εργασίας
- (iv) βελτιωμένη και λειτουργική απόδοση μειώνοντας τα λάθη και αυξάνοντας τα κέρδη
- (v) αύξηση πιθανοτήτων για νέες προσλήψεις με αποτελεσματικότερες εσωτερικές μεθόδους
- (vi) άνοιγμα πελατολογίου σε άτομα υψηλής ποιότητας και απαιτήσεων με την καλύτερη δυνατή εξυπηρέτηση, και επίσης
- (vii) αύξηση των επιχειρηματικών ευκαιριών λόγω της ευρείας αποδοχής του προτύπου ποιότητας

Ως αντικατάσταση του ISO 9001:2008, το αναθεωρημένο πλέον ISO 9001:2015 είναι κατάλληλο για όλους τους τύπους επιχειρήσεων, αφού θέτει απαιτήσεις για τα συστήματα διαχείρισης ποιότητας. Η νέα έκδοση του προτύπου δίνει τη δυνατότητα για καλύτερη ευθυγράμμιση και ενσωμάτωση διαφόρων προτύπων διαχείρισης σε ένα κοινό σύστημα, υποστηρίζει εφαρμογή μεθόδου βάσει κινδύνου, παρέχοντας εφόδια προληπτικής δράσης, και απομακρύνει τα γραφειοκρατικά συμπλέγματα του παρελθόντος [88].

**6.1.3.2 Νόμοι Σχετιζόμενοι με την Ποιότητα.** Αντίστοιχοι νόμοι που να ορίζουν τις παρεχόμενες υπηρεσίες και τα παραγόμενα προϊόντα δεν έχουν συνταχθεί και εξαρτάται από τις προσδοκίες της κάθε επιχείρησης το κατά πόσο και αν θα εφαρμόσουν τους σχετικούς κανονισμούς.

## **6.2 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΒΙΟΜΑΖΑΣ [32, 33, 73, 89, 90]**

Ο πρώτος νόμος που αναπτύχθηκε στην Ελλάδα για την εφαρμογή των ΑΠΕ και παραγωγή ενέργειας ήταν ο Ν 3468/2006, στον οποίο δεν περιλαμβάνονταν η διαχείριση της βιομάζας. Πλέον, έχει αναπτυχθεί η πιο ευέλικτη νομοθεσία, Ν 3581/2010 (ΦΕΚ 85Α/04.06.2010) “Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής” όπου και εισάγεται η χρήση της βιομάζας.

Αρμόδια υπηρεσία για τη χορήγηση άδειας μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ, εγκατεστημένης ισχύος >1MW είναι η ΡΑΕ. Η Άδεια Παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, εφόσον εγκριθεί, έχει ισχύ μέχρι είκοσι πέντε χρόνια, με δυνατότητα ανανέωσης μέχρι ίσο χρόνο. Η άδεια

παραγωγής παύει αυτοδικαίως να ισχύει (με διαπιστωτική πράξη της ΡΑΕ) με το πέρας τριάντα μηνών και ενώ δεν έχει εκδοθεί άδεια εγκατάστασης.

Προϋπόθεση για την έκδοση της Άδειας Εγκατάστασης, εκτός από την άδεια παραγωγής, είναι η Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ), Ν 1650/1986 αρ.4. η οποία εκδίδεται κατόπιν της Αδείας Παραγωγής. Επίσης, ο αιτούμενος ζητά, εφόσον απαιτείται, και την Άδεια Επέμβασης σε δάσος ή δασική έκταση, κατά τον Ν 998/1979 (ΦΕΚ 289 Α') παρ.2 του άρ.58 ή γενικά των αναγκαίων αδειών για την απόκτηση του δικαιώματος χρήσης της θέσης εγκατάστασης του έργου, οικοδομικές άδειες κτλ. Για την έκδοση απόφασης ΕΠΟ υποβάλλεται πλήρης φάκελος και Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) στην αρμόδια για την περιβαλλοντική αδειοδότηση αρχή ΔΙΠΕΧΩ (Διεύθυνση Περιβάλλοντος Χωροταξίας).

Από την υποχρέωση χορήγησης Άδειας Παραγωγής και Εγκατάστασης και οποιασδήποτε άλλης σχετικής διαπιστωτικής απόφασης εξαιρούνται οι περιπτώσεις μονάδων που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από τις εξής κατηγορίες εγκαταστάσεων ΑΠΕ ή ΣΗΘΥΑ: σταθμούς βιομάζας, βιοαερίου και βιοκαυσίμων με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ  $\leq 1\text{MW}$  (Ν.3581/2010, παρ.2, απ.3). Ως εκ τούτου, σε αντίθεση με τις μονάδες  $>1\text{MW}$ , δεν απαιτείται Δοκιμαστική Λειτουργία. Σε αυτήν την περίπτωση, (μονάδες ισχύος  $\leq 1\text{MW}$ ) αρμόδια υπηρεσία αδειοδότησης είναι ο ΔΕΔΔΗΕ.

Απαλλαγή από την υποχρέωση ΕΠΟ δικαιούνται οι μονάδες βιομάζας ή βιοκαυσίμων με εγκατεστημένη ισχύ  $\leq 500\text{KW}$  που εγκαθίστανται σε γήπεδα. Της απαλλαγής ΕΠΟ εξαιρούνται έργα που εγκαθίστανται εντός περιοχής Natura 2000 [91] (ή σε απόσταση  $<100\text{m}$  από αιγιαλό) και οι εγκαταστάσεις πλησίον ( $<150\text{m}$ ) σε άλλη μονάδα ίδιας τεχνολογίας των οποίων η αθροιστική ισχύς υπερβαίνει τα 500KW.

Τέλος, βάσει των τιμών πώλησης της παραγόμενης ενέργειας που αναγράφονται στο Ν 4254/2014 παρ.ΙΓ (ΦΕΚ 85Α/07.04.2014), ο ΛΑΓΗΕ συνάπτει σύμβαση πώλησης με τον παραγωγό ενέργειας. Οι συμβάσεις αφορούν εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που συνδέονται στο Σύστημα είτε απευθείας είτε μέσω του Δικτύου, καταβάλλοντας τις προβλεπόμενες πληρωμές.

Εν γένει, η ΡΑΕ εξετάζει αν πληρούνται τα απαραίτητα κριτήρια και αποφασίζει για τη χορήγηση ή μη άδειας παραγωγής εντός δύο μηνών από την υποβολή της αίτησης, εφόσον ο φάκελος είναι πλήρης. Ο φάκελος του έργου που κατατίθεται προς αξιολόγηση, ο οποίος θεωρείται πλήρης αν εντός τριάντα ημερών από την υποβολή του δεν ζητηθούν εγγράφως από τον αιτούντα συμπληρωματικά στοιχεία, θα πρέπει να αναφέρεται με λεπτομέρεια σε όλες τις τεχνικές Η/Μ προδιαγραφές με συνάφεια στον περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Ενδεικτικά ο φάκελος του έργου θα περιγράφει τα ακόλουθα:

- τον χώρο αποθήκευσης και παροχής του καυσίμου
- το είδος του καυσίμου
- την τεχνολογία παραγωγής ενέργειας (ΜΕΚ, τουρμπίνες, γεννήτριες κτλ.)
- τις μεθόδους φιλτραρίσματος και ψύξης αερίου
- μετασχηματιστές ΧΤ, ΜΤ
- σύστημα διασύνδεσης με το δίκτυο ηλεκτροδότησης
- μέθοδοι επεξεργασίας και μετέπειτα διαχείρισης των παραγόμενων αποβλήτων (υγρών και στερεών)
- πηγή καταναλισκόμενης ενέργειας για την λειτουργία της μονάδας
- χρήση ποσοτήτων νερού ή και ελαίου (κλειστά κυκλώματα ψύξης)



- αναφορά στα παραγόμενα όρια θορύβου από τις μηχανές
- αντιπλημμυρικά έργα προστασίας
- συστήματα πυρασφάλειας

Συμπερασματικά, ο φάκελος αδειοδότησης [92] μιας ενεργειακής μονάδας ΑΠΕ θα πρέπει να εμπίπτει σε μία σειρά από νόμους, αποφάσεις και προεδρικά διατάγματα, αναφερόμενοι στην προστασία του περιβάλλοντος περί ανάπτυξης των ΑΠΕ, σχετικά με χρήση παλαιών και άχρηστων υλικών κ.ά. Συνοπτικά, αυτές οι κατηγορίες νόμων είναι:

- Ν 1650/1986 (ΦΕΚ 160Α/18.10.1986) όπως τροποποιήθηκε με το Ν 3010/2002. “Για την προστασία του περιβάλλοντος”
- Ν 4014/2011 (ΦΕΚ 209Α/21.09.2011), αρ.30, παρ.4 “Περιβαλλοντική αδειοδότηση έργων, ρύθμιση αυθαιρέτων σε συνάρτηση με δημιουργία περιβαλλοντικού ισοζυγίου”
- Ν 4042/2012 (ΦΕΚ 24Α/13.02.2012), “Ποινική προστασία του περιβάλλοντος” και “Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων” σε εναρμόνιση με τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες “2008/99/ΕΚ ” και “2008/98/ΕΚ ” αντίστοιχα
- Ν 3852/2010 (ΦΕΚ 87Α/07.06.2010), “Νέα Αρχιτεκτονική της Αυτοδιοίκησης και της Αποκεντρωμένης Διοίκησης – Πρόγραμμα Καλλικράτης”
- ΚΥΑΗ.Π.11014/703/Φ104/03 (ΦΕΚ 332Β/20.03.03), “Διαδικασία Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και Αξιολόγησης και Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων”
- Ν 3851/2010 (ΦΕΚ 85Α/04.06.2010), “Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής”
- Ν 4254/2014 (ΦΕΚ 85Α/7.4.2014), “Μέτρα στήριξης και ανάπτυξης της ελληνικής οικονομίας στο πλαίσιο εφαρμογής του ν. 4046/2012 και άλλες διατάξεις”
- Απ. αρ. 15277/2012 (ΦΕΚ 1077Β/09-04-2012), ΥΠΕΚΑ, “Εξειδίκευση διαδικασιών για την ενσωμάτωση στις Αποφάσεις Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων ή στις Πρότυπες Περιβαλλοντικές Δεσμεύσεις”
- ΚΥΑ αρ. Οικ. 104247/2006/ΕΥΠΕ/ΥΠΕΧΩΔΕ (ΦΕΚ 663Β/26.05.2006) “Διαδικασία Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και Αξιολόγησης (ΠΠΕΑ) και Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ) έργων ΑΠΕ, σύμφωνα με το άρθρο 4 του Ν 1650/1986, όπως αντικαταστάθηκε με το άρθρο 2 του Ν 3010/2002”
- ΚΥΑ Αρ. Οικ. 104248/2006/ΕΥΠΕ/ΥΠΕΧ\_ΔΕ (ΦΕΚ 663Β/26.05.2006) “Περιεχόμενο, δικαιολογητικά και λοιπά στοιχεία των Προμελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΠΠΕ), των Μελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ), καθώς και συναφών μελετών περιβάλλοντος, έργων ΑΠΕ”
- Ν 3468/2006 (ΦΕΚ 129Α/27.06.2006), “Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης”
- Ν 3734/2009 αρ. 27, 28 (ΦΕΚ 8Α/28.01.2009), “Πρώθηση της συμπαραγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών ενέργειας, ρύθμιση ζητημάτων σχετικών με το υδροηλεκτρικό έργο Μεσοχώρας”
- Ν 4001/2011 (ΦΕΚ 179Α/22.08.2011 (179 Α), “Για τη λειτουργία Ενεργειακών Αγορών Ηλεκτρισμού και Φυσικού Αερίου, για Έρευνα, Παραγωγή και δίκτυα μεταφοράς Υδρογονανθράκων και άλλες ρυθμίσεις”

- ΚΥΑ 50910/2727/2003 (ΦΕΚ 1909/Β/22.12.2003), «Μέτρα και όροι για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων»
- ΚΥΑ 8668/2007 (ΦΕΚ 287Β/02.03.2007) “Εγκριση Εθνικού Σχεδιασμού Διαχείρισης Επικινδύνων Αποβλήτων” και Υγειονομική διάταξη Ε1β/221/65 (ΦΕΚ 138Β/24.2.65), «Περί διαθέσεως λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων”
- ΚΥΑ 145116/2011 (ΦΕΚ 354/Β/8.3.2011), «Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων”
- ΠΔ 1180/81, “Διατάξεις περί τήρησης του ορίου θορύβου κατά την λειτουργία των Η/Μ συστημάτων και χρήση κατάλληλων ηχομονωτικών μέσων”
- ΚΥΑ 54409/2632/04 (1931Β), " Εμπορία δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου βάσει της οδηγίας 2003/87/ΕΚ «σχετικά με τη θέσπιση συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου εντός της Κοινότητας και την τροποποίηση της οδηγίας 96/61 /ΕΚ του Συμβουλίου της 13ης Οκτωβρίου 2003 και άλλες διατάξεις”
- Απ 2000/479/ΕΚ της Επιτροπής της 17ης Ιουλίου 2000: “υιοθέτηση ευρωπαϊκού μητρώου ρυπογόνων εκπομπών σύμφωνα με το άρθρο 15 της οδηγίας 96/61/ΕΚ του Συμβουλίου σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης” (Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, L192/36/28 .7.2000).



# *Συμπεράσματα*

---



---

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

---

✓ Σίγουρα, το δυναμικό της βιομάζας δίνει σημαντικές προοπτικές για το μέλλον και την εξέλιξη στην αγοράς της ενέργειας, αποτελώντας ένα πολλά υποσχόμενο καύσιμο, καθώς μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια δεξαμενή αποταμίευσης ενέργειας που χρήζει ορθολογικής χρήσης. Τα διάφορα είδη βιομάζας καταδεικνύουν το μεγάλο εύρος εφαρμογής της. Ενεργειακές καλλιέργειες, αγροτικά και δασικά υπολείμματα, ζωικά και βιομηχανικά απόβλητα, και απορρίμματα αστικής προέλευσης συνθέτουν τη διαθέσιμες πηγές βιομάζας. Κύριο χαρακτηριστικό και ταυτόχρονα πλεονέκτημα είναι ότι η βιομάζα συμμετέχει στον κύκλο του άνθρακα, οπότε θεωρείται πως έχει ουδέτερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα και δεν εντείνει το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Αυτό συμβαίνει σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα, κατά την εξόρυξη και χρήση των οποίων για την παραγωγή ενέργειας εκλύονται μεγάλες ποσότητες CO<sub>2</sub> που ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα.

✓ Στο σκέλος της ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας, η καύση, η πυρόλυση, η αεριοποίηση και η αναερόβια χώνευση, αποτελούν τις βασικές τεχνολογίες τόσο σε μικρά ευέλικτα ενεργειακά συστήματα όσο και σε μεγάλες ενεργειακές μονάδες.

✓ Η διαχείριση των παραγόμενων ποσοτήτων ΑΣΑ αποτελεί ένα από τα μεγάλα προβλήματα των σύγχρονων αστικών περιοχών. Η έλλειψη σοβαρής και ουσιαστικής αντιμετώπισης των ΑΣΑ είναι εμφανής σε πολλές ελληνικές πόλεις με επακόλουθο τη μόλυνση του περιβάλλοντος και την υποβάθμιση της ποιότητας ζωής των κατοίκων. Εν δυνάμει λύση, σε αυτό το πρόβλημα, θα μπορούσε να αποτελέσει η ενεργειακή αξιοποίηση. Πολλά παραδείγματα ενεργειακής διαχείρισης ΑΣΑ, τα οποία αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο της Εισαγωγής, όπως η “έλλειψη” σκουπιδιών και το εμπόριο αυτών στην περίπτωση της Σουηδίας, η εφαρμογή συστημάτων παραγωγής ενέργειας από ΑΣΑ από την εταιρία Conanta σε διάφορες πολιτείες των ΗΠΑ, καθώς επίσης και η Ελληνική ενεργειακή μονάδα της BEAL AE στην Αττική, όπου πραγματοποιήθηκε επίσκεψη στις εγκαταστάσεις της, δείχνουν τα οφέλη από την εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας.

✓ Η παρούσα διπλωματική εργασία, βασισμένη σε αυτές τις περιπτώσεις και κυρίως στη μονάδα της BEAL AE, επικεντρώθηκε στη διαχείριση των ΑΣΑ και συγκεκριμένα στο σύστημα χρήσης του εκλυόμενου αερίου, ως αέριο καύσιμο, από τους χώρους απόρριψης και ταφής απορριμμάτων (σύστημα LFG-RES). Η εφαρμογή του συστήματος LFG-RES γίνεται με το λογισμικό προσομοίωσης LFGcost-WEB, του οποίου η βάση δεδομένων αποτελείται από πραγματικές εφαρμογές στις ΗΠΑ. Τα τελικά αποτελέσματα των περιπτώσεων (βλ. κεφ. 5) και κυρίως του ιδανικού σεναρίου σε συγκεκριμένη περίπτωση εφαρμογής (με εγκατεστημένη ισχύς στα 2.142KW), παρόλο που παρουσιάζουν αρχικά υψηλά κόστη εγκατάστασης και συντήρησης, έχουν πολλά περιβαλλοντικά οφέλη. Χαρακτηριστικά, οι αποφυγές CO<sub>2</sub> (λόγω της μη χρήσης συμβατικών καυσίμων) αλλά και η χρήση ακόμη μεγαλύτερων ποσοτήτων CH<sub>4</sub>, που περιέχονται στο εκλυόμενο αέριο (LFG), για την παραγωγή ενέργειας, που σε αντίθετη περίπτωση θα είχαν απορριφθεί ανεκμετάλλευτα στην ατμόσφαιρα επιβαρύνοντάς την με επιπλέον ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου (GHGs), καθιστούν τέτοιου είδους εφαρμογές θετικές για το περιβάλλον.

✓ Στο περιβαλλοντικό σκέλος και στις αέριες εκπομπές CH<sub>4</sub> ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζει η ερμηνεία του δείκτη δυναμικού θέρμανσης του πλανήτη (GWP<sub>CH<sub>4</sub></sub> ≈ 28<sub>(100 years)</sub>). Ο δείκτης GWP δηλώνει πως το CH<sub>4</sub> έχει 28 φορές μεγαλύτερη ικανότητα απορρόφησης ενέργειας συγκριτικά με το CO<sub>2</sub> σε βάθος 100 ετών. Αυτό δείχνει πως, αν και ο κύκλος ζωής του CH<sub>4</sub> (10-12 χρόνια) είναι κατά πολύ μικρότερος από το CO<sub>2</sub> (κάποιες χιλιάδες χρόνια), έχει μεγαλύτερο δυναμικό δέσμευσης ποσοτήτων ενέργειας καθιστώντας το ισχυρότερο και πιο επιβλαβές αέριο του θερμοκηπίου συγκριτικά με το CO<sub>2</sub>. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει πως η τεχνολογία LFG-RES, δεσμεύοντας και αξιοποιώντας το εκλυόμενο αέριο, συμβάλλει περιβαλλοντικά με θετικό πρόσημο.

✓ Η ομαλή και κερδοφόρα λειτουργία των ηλεκτροθερμικών μονάδων, όπως και κάθε νεοσύστατη επιχείρησης, πρέπει να στηρίζεται στην εφαρμογή κανονισμών και νόμων, τηρώντας το τρίπτυχο Υγεία & Ασφάλεια – Περιβάλλον – Ποιότητα. Επομένως, μια ενεργειακή επιχείρηση οφείλει να αποδέχεται ως σκοπό της την ελαχιστοποίηση της επικινδυνότητας των δραστηριοτήτων της σε σχέση με την υγεία και ασφάλεια των εργαζομένων, των προμηθευτών, των πελατών και των επισκεπτών της. Να αποδέχεται ότι η ανάπτυξη της οικονομίας εξαρτάται άμεσα από τη βιωσιμότητα των φυσικών οικοσυστημάτων και να αναλαμβάνει την ευθύνη που έχει ως προς την ενεργή της συμβολή στην προστασία του περιβάλλοντος και την αειφόρο διαχείριση των φυσικών πόρων. Ακόμη πρέπει να δεσμεύεται και για την αντιμετώπιση των άμεσων και έμμεσων συνεπειών στο περιβάλλον ως απόρροια της λειτουργίας της. Στο σκέλος της ποιότητας, η εταιρία πρέπει να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια στη χονδρική αγορά της χώρας με τη μεγαλύτερη δυνατή διαθεσιμότητα, καθώς και στη λιανική, προμηθεύοντας ηλεκτρική ενέργεια τους τελικούς καταναλωτές.

✓ Προς το παρόν, οι ενεργειακές μονάδες βιομάζας έχουν υψηλότερο κόστος συγκρινόμενες με αυτές των ορυκτών καυσίμων. Αν συνυπολογιστούν παράγοντες, όπως ότι τα καύσιμα προερχόμενα από βιομάζα διαθέτουν χαμηλότερη περιεκτικότητα ενεργειακού δυναμικού, κοστίζουν περισσότερο κατά τη μεταφορά τους σε μεγάλες αποστάσεις, απαιτούν χρονοβόρες διαδικασίες προετοιμασίας και επεξεργασίας σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα, τα οποία είναι άμεσα διαθέσιμα προς χρήση μετά την εξόρυξη τους, είναι εύλογο το συμπέρασμα ότι η χρήση της βιομάζας απαιτεί υψηλότερο κόστος κεφαλαίου. Ωστόσο πρόκληση για το μέλλον της βιομάζας αποτελούν η ωρίμανση και ανταγωνιστικότητά της ως προς τα ορυκτά καύσιμα (π.χ. φυσικό αέριο), η ανάγκη της ανάπτυξης ποιοτικής βιομάζας υψηλής απόδοσης και τέλος η ανάγκη για επιπλέον έρευνα, ανάπτυξη και εφαρμογές στον τομέα της ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας.

✓ Κλείνοντας, είναι γεγονός ότι οι πολιτικό-οικονομικές συνθήκες που επικρατούν στην Ελλάδα δεν είναι κατάλληλες ώστε να ευδοκιμήσουν τέτοιου είδους επιχειρηματικές/ενεργειακές δράσεις και πρωτοβουλίες. Η εφαρμογή των τεχνολογιών ενεργειακής αξιοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ειδικότερα της βιομάζας, απαιτεί κίνητρα και ευνοϊκότερη αντιμετώπιση από την πολιτεία. Οικονομικές παροχές και πιστώσεις λόγω πράσινης ενέργειας, εμπιστοσύνη από τους τραπεζικούς φορείς και όχι δυσπιστία απέναντι σε αυτού του είδους τις επενδύσεις. Η βιομάζα έχει τη δυναμική να αποτελέσει σημείο αναφοράς και ανάπτυξης για τη γεωργία, τη βιομηχανία και τις τοπικές κοινωνίες, διευρύνοντας τόσο την αγορά των ενεργειακών συστημάτων όσο και τη ζήτηση εξειδικευμένου προσωπικού.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Adams P.W.R. & McManus M.C. (2014) 'Sustainable Energy Technologies and Assessments', Small-scale biomass gasification CHP utilization in industry. Energy and environmental evaluation, 6 (February 2014), p.129-140
- [2] Maurizio Cellura et.al. (2013) 'Journal of Cleaner Production', Energy and Environmental Impacts of Energy Related Products (ErP): A Case Study of Biomass-Fuelled Systems, 85 (December 2013), p.359-370
- [3] EPA: US Environmental Protection Agency, [www3.epa.gov](http://www3.epa.gov)
- [4] Βαμβουκά Δ., *Βιομάζα: Βιοενέργεια & Περιβάλλον*, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2009.
- [5] Agroenergy, *Τι Είναι η Αεριοποίηση της Βιομάζας*, [www.agroenergy.gr/content/τι-είναι-η-αεριοποίηση-βιομάζας](http://www.agroenergy.gr/content/τι-είναι-η-αεριοποίηση-βιομάζας)
- [6] ΒΕΑΛ ΑΕ, Βιοαέριο Ενέργεια Άνω Λιοσίων, *Μονάδα Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας με Χρήση Εκλυόμενων Αερίων από χώρους ΧΑΔΑ και ΧΥΤΑ*, [www.beal.gr](http://www.beal.gr)
- [7] Epsilon-Econ, *Αεριοποίηση της Βιομάζας*, <http://epsilon-econ.gr/el-GR/βιομάζα>
- [8] Naftemporiki.gr (2015), *Η Αφρική Μπορεί να Παράγει το 20% του Ηλεκτρισμού της από Απόβλητα*, [www.naftemporiki.gr/story/1015434/i-afriki-mporei-na-paragei-to-20-tou-ilektrismou-tis-apo-apoblita](http://www.naftemporiki.gr/story/1015434/i-afriki-mporei-na-paragei-to-20-tou-ilektrismou-tis-apo-apoblita) [13/10/2015]
- [9] Michanikos (2015), *Βουλγαρία: Η Σόφια Λύνει Οριστικά το Πρόβλημα των Απορριμμάτων της με Ελληνικά «Χέρια»*, [www.michanikos.gr/Ειδήσεις/περιβάλλον/Βουλγαρία-Η-Σόφια-λύνει-οριστικά-το-πρόβλημα-τω-r3356](http://www.michanikos.gr/Ειδήσεις/περιβάλλον/Βουλγαρία-Η-Σόφια-λύνει-οριστικά-το-πρόβλημα-τω-r3356), [16/9/2015]
- [10] Econews (2015), *Η Σουηδία «Κλέβει» Σκουπίδια από τη Νορβηγία και Πλουτίζει*, [www.econews.gr/2015/09/15/souidia-skoupidia-norvigia-125092/](http://www.econews.gr/2015/09/15/souidia-skoupidia-norvigia-125092/), [15/9/2015]
- [11] Covanta (2016), *Energy-from-Waste Facility: Covanta Honolulu Resource Recovery Venture, LLC, Kapolei - Hawaii*, [www.covanta.com/facilities/facility-by-location/honolulu.aspx](http://www.covanta.com/facilities/facility-by-location/honolulu.aspx)
- [12] ΗΛΕΚΤΩΡ – Μέλος του Ομίλου ΕΛΑΚΤΩΡ, Αξιοποίηση βιοαερίου από ΧΥΤΑ στην περιοχή των Άνω Λιοσίων, [www.helector.gr/default.asp?catid=32335&subid=2&pubid=15375336](http://www.helector.gr/default.asp?catid=32335&subid=2&pubid=15375336)
- [13] BiogasIN Project (2011), Συντονιστές: Κροατικό Ινστιτούτο Ενέργειας -Hrvoje Pozar-, Ευρωπαϊκή Ένωση Βιοαερίου -EBA- & WIP Renewable Energies of Germany, *BiogasIN Project*, (Ελληνική απόδοση ΚΑΠΕ), *Κριτήρια αξιολόγησης επενδύσεων βιοαερίου: Οδηγίες για χρηματοπιστωτικούς οργανισμούς και επενδυτές*, [www.biogasin.org/files/pdf/WP5/D.5.4.4\\_CRES\\_GR.pdf](http://www.biogasin.org/files/pdf/WP5/D.5.4.4_CRES_GR.pdf), [16/11/2011]
- [14] Sudhakar Y. and Jyoti K. P. (2001), 'Int. J. Environment and Pollution', Economic Evaluation of A Landfill System with Gas Recovery for Municipal Solid Waste Management: A Case Study, 15 (4), p.433-447



- [15] Kaplanis S., Kaplani E., *Renewable Energy Systems - Theory, Innovations & Intelligent Applications*, Nova Science Publishers, 2013
- [16] [www.gizmodo.com.au/2015/07/how-much-does-wind-energy-cost-debunking-the-myths/](http://www.gizmodo.com.au/2015/07/how-much-does-wind-energy-cost-debunking-the-myths/)
- [17] [www.itiscannizzaro.it/moodle/mod/wiki/view.php?id=6107&page=ENERGIA+SOLARE](http://www.itiscannizzaro.it/moodle/mod/wiki/view.php?id=6107&page=ENERGIA+SOLARE)
- [18] [www.artinaid.com/2013/04/biomass-energy/](http://www.artinaid.com/2013/04/biomass-energy/)
- [19] [www.dionicenergy.com/gr/luseis/geothermia/](http://www.dionicenergy.com/gr/luseis/geothermia/)
- [20] [www.conserve-energy-future.com/HydroElectricPower.php](http://www.conserve-energy-future.com/HydroElectricPower.php)
- [21] Organization for Economic Co-operation and Development, *Anon- Urban energy handbook*, Paris, 1995
- [22] Σκορδούλης Κ., Σωτηράκου Μ., *Περιβάλλον, Επιστήμη & Εκπαίδευση*, Εκδόσεις Leader Books, Αθήνα, 2005
- [23] Wohlgemuth N., Missfeldt F. (2000), *The Kyoto Mechanisms and the prospects for Renewable Energy Technologies - Solar Energy* 69(4), p. 305
- [24] European Commission (2005), Green Paper on Energy Efficiency, *Doing more with less*, COM 265 final
- [25] Curtis J., *Bioenergy (2006) - Opportunities for Agriculture, Industry and Waste management*, EPA paper
- [26] Meyer N.I. (2003), European Schemes for Producing Renewables in Liberalized Markets, *Energy Policy* 31, p. 665
- [27] Faaij A., Schlamadinger B., Schouwenberg P.P. and Robertson K. (2006), *Options for Trading Bioenergy Product and Services*, IEA Bioenergy, Task 38, Task 40
- [28] Fagernas L., Johansson A., Wilen C. et. al., *Bioenergy in Europe- Opportunities and Barriers*. Julkaisija-Utgivare. VTT Finland, 2006]
- [29] IEA (2004), *Biofuels for Transport-An International Perspective*, Chirat, p. 171
- [30] Imerisia.gr (2015), Έρευνα της Eurostat: Στο 15% η Ενεργειακή Κατανάλωση από ΑΠΕ στην Ελλάδα, [www.imerisia.gr/article.asp?catid=26515&subid=2&pubid=113479183](http://www.imerisia.gr/article.asp?catid=26515&subid=2&pubid=113479183) [14/3/2015]
- [31] Naftemporiki.gr (2015), Γερμανία: Σε Επίπεδα Ρεκόρ το Μερίδιο των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, [www.naftemporiki.gr/story/932194/germania-se-epipeda-rekor-to-meridio-ton-ananeosimon-pigon-energeias](http://www.naftemporiki.gr/story/932194/germania-se-epipeda-rekor-to-meridio-ton-ananeosimon-pigon-energeias) [27/3/2015]
- [32] ΛΑΓΗΕ (2015), *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας & ΣΗΘΥΑ: Συνοπτικό Πληροφοριακό Δελτίο Φεβρουάριος 2015*, [www.lagie.gr/fileadmin/groups/EDRETH/RES/2015\\_02\\_GR\\_MONTHLY\\_RES.pdf](http://www.lagie.gr/fileadmin/groups/EDRETH/RES/2015_02_GR_MONTHLY_RES.pdf)
- [33] ΑΔΜΗΕ (2014), *Δεκαετές Πρόγραμμα Ανάπτυξης Συστήματος Μεταφοράς 2015-2024: Προκαταρκτικό Σχέδιο-Φεβρουάριο 2014*, [http://www.admie.gr/uploads/media/DPA\\_2015-2024\\_Prokatartiko\\_Schedio\\_Kyrio\\_teychos.pdf](http://www.admie.gr/uploads/media/DPA_2015-2024_Prokatartiko_Schedio_Kyrio_teychos.pdf),

- [34] ΚΑΠΕ, Εξοικονόμηση Ενέργειας, Οδηγός για τη Βιομάζα, [www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/biomass\\_guide.pdf](http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/biomass_guide.pdf)
- [35] Resch G., Faber T., R. Haas ,Short Characterization of the Green-X Model, EEG and TU Vienna, 2002 – 2004
- [36] ΥΠΕΚΑ (2015), Βιομάζα, [www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=288&language=el-GR](http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=288&language=el-GR)
- [37] Easy2find (2014), Βιομάζα & Ενέργεια, [www.easy2find.gr/](http://www.easy2find.gr/)
- [38] Agri (2016), [www.agri.gr](http://www.agri.gr)
- [39] Παναγιωτάρας Δ., Σημειώσεις Μαθήματος: Βιομάζα και Ενέργεια, Μεταπτυχιακό Τμήμα: Συστήματα ΑΠΕ Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας, Πάτρα, 2013
- [40] Λυμπεράτος Γ., Παραγωγή Ενέργειας Μέσω Αναερόβιας Χώνευσης Στερεών Αποβλήτων και Αποβλήτων και Υπολειμμάτων, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, [http://library.tee.gr/digital/m2494/m2494\\_liberatos.pdf](http://library.tee.gr/digital/m2494/m2494_liberatos.pdf)
- [41] Calda Energy ΑΕΒΕ, Εμπορική και Εισαγωγική Εταιρία Ειδών Θέρμανσης και Κλιματισμού, [www.calda.gr](http://www.calda.gr)
- [42] Παρασκευαδάκη Ε. (2009), Παραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας από Βιοαέριο, Περιοδικό Τεχνική Εκλογή, Τεύχος 507, σελ. 14
- [43] DOE (2010), Department of Energy: Energy Efficiency & Renewable Energy, Tribal Energy of Program: Biomass Energy – Biopower, [https://www1.eere.energy.gov/tribalenergy/guide/biomass\\_biopower.html](https://www1.eere.energy.gov/tribalenergy/guide/biomass_biopower.html), [10/14/2010]
- [44] Ινστιτούτο Τεχνικής Χημικών Διεργασιών (ΙΤΧΗΔ) & Εργαστήριο Περιβαλλοντικών Καυσίμων και Υδρογονανθράκων (ΕΠΚΥ), [www.certh.gr/dat/8DC56118/file.pdf](http://www.certh.gr/dat/8DC56118/file.pdf)
- [45] Easy2find (2014), Στερεά Αστικά Απόβλητα & Καλλιέργεια Ευκαλύπτου, [www.easy2find.gr/articles/label/στερεά-αστικά-απόβλητα](http://www.easy2find.gr/articles/label/στερεά-αστικά-απόβλητα) & [www.easy2find.gr/articles/label/καλλιέργεια-ευκαλύπτου](http://www.easy2find.gr/articles/label/καλλιέργεια-ευκαλύπτου)
- [46] Agroenergy, Στερεά Αστικά Απορρίμματα, [www.agroenergy.gr/categories/στερεά-αστικά-απορρίμματα](http://www.agroenergy.gr/categories/στερεά-αστικά-απορρίμματα)
- [47] Φιλιππόπουλος Ενεργειακή ΑΤΕ, Εξοπλισμός Ενεργειακής Αξιοποίησης Βιομάζας-Αποβλήτων, [www.nphilippopoulos.gr/](http://www.nphilippopoulos.gr/)
- [48] Bisyplan (2012), Οδηγός Σχεδιασμού Ενεργειακών Συστημάτων, [www.bisyplan.bioenarea.eu/html-files-gr/handbook-intro.html](http://www.bisyplan.bioenarea.eu/html-files-gr/handbook-intro.html)
- [49] Bioenarea, Improve Regional Policies for Bio-energy and Territorial Development, [www.bioenarea.eu/](http://www.bioenarea.eu/)
- [50] Klass D.L. (1998), Biomass for Renewable Energy, Fuels and Chemicals, Academic Press, p.137
- [51] ΤΑ ΝΕΑ.gr (2016), Ξανά στο Ευρωδικαστήριο η Ελλάδα για τα επικίνδυνα απόβλητα, [www.tanea.gr/news/greece/article/5337420/ksana-sto-eyrwdikasthrio-h-ellada-gia-ta-epikindyna-apoblhta/](http://www.tanea.gr/news/greece/article/5337420/ksana-sto-eyrwdikasthrio-h-ellada-gia-ta-epikindyna-apoblhta/), [24/2/2016]

- [52] TheBest.gr (2016), *Ηλεία - Αμαλιάδα: Προχωρά η Μονάδα Μηχανικής Ανακύκλωσης*, <http://www.thebest.gr/news/index/viewStory/373610>, [20/1/2016]
- [53] Energia.gr (2016), *Πρόταση για Ολοκληρωμένη Διαχείριση Απορριμμάτων του Δήμου Τριπόλεως*, [www.energia.gr/article.asp?art\\_id=103519](http://www.energia.gr/article.asp?art_id=103519), [23/3/2016]
- [54] Αυστριακό Τεχνολογικό Ινστιτούτο (2016), The IUT Group, [www.theiutgroup.com/](http://www.theiutgroup.com/)
- [55] ΚΥΑ ΗΠ 50910/2727/16.2.2003, Νομοθέτημα: *Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων – Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης*, [www.elinyae.gr/el/item\\_details.jsp?item\\_id=3736&cat\\_id=2864](http://www.elinyae.gr/el/item_details.jsp?item_id=3736&cat_id=2864)
- [56] Dikaiologitika.gr (2015), *Από αύριο τα πρόστιμα του Ευρωπαϊκού Δικαστηρίου στους δήμους για ΧΑΔΑ*, [www.dikaiologitika.gr/eidhseis/dhmosio/62561/apo-ayrio-ta-prostima-tou-evropaikoy-dikastiriou-stous-dimous-gia-xada](http://www.dikaiologitika.gr/eidhseis/dhmosio/62561/apo-ayrio-ta-prostima-tou-evropaikoy-dikastiriou-stous-dimous-gia-xada) [1/6/2015]
- [57] Enet.gr (2013), *Και Τώρα Ο Ευρωλογαριασμός για Σκουπίδια, Λύματα, Απόβλητα*, [www.enet.gr/?i=news.el.article&id=403381](http://www.enet.gr/?i=news.el.article&id=403381) [9/12/2013]
- [58] Prasinomple, [www.prasinomple.gr](http://www.prasinomple.gr)
- [59] Ελληνική Εταιρία Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων (2015), [www.eedsa.gr](http://www.eedsa.gr)
- [60] Prasinomple, [www.prasinomple.gr](http://www.prasinomple.gr)
- [61] Aftodioikisi (2013), *Χανιά: Καδοί Ανακύκλωσης στο Αεροδρόμιο «Ιωάννης Δασκαλογιάννης»*, [www.aftodioikisi.gr/ota/dimoi/xania-kadoi-anakiklosis-sto-aerodromio-ioannis-daskalogiannis](http://www.aftodioikisi.gr/ota/dimoi/xania-kadoi-anakiklosis-sto-aerodromio-ioannis-daskalogiannis), [26/3/2013]
- [62] Ελληνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης (2015), [www.eoan.gr](http://www.eoan.gr)
- [63] Οικολογική Εταιρία Ανακύκλωσης (2015,) [www.ecorec.gr](http://www.ecorec.gr)
- [64] Ideales.gr (2015), *Ο Μαύρος Χρυσός Βρίσκεται στα Απορρίμματά μας* [www.blog.ideales.gr/diafora/o-mavros-xrysos-vrisketai-sta-aporrimmata-mas/](http://www.blog.ideales.gr/diafora/o-mavros-xrysos-vrisketai-sta-aporrimmata-mas/) [1/1/2015]
- [65] Orozco A. (1997), *Pilot and Full Scale Anaerobic Treatment of Low Strength Wastewater at Sub-Optimal Temperature (15°C) with a Hybrid Plug Flow Reactor*. Proceedings of 8th International Conference on Anaerobic Digestion, Sendai, Japan , 2. p.183-191
- [66] EPA (2015), Landfill Methane Outreach Program (LMOP), *LFG Energy Project Development Handbook*, [www3.epa.gov/lmop/documents/pdfs/pdf\\_full.pdf](http://www3.epa.gov/lmop/documents/pdfs/pdf_full.pdf)
- [67] BEAL ΑΕ, *Βιοαέριο Ενέργεια Άνω Λιοσίων*, [www.beal.gr](http://www.beal.gr)
- [68] Oil & Gas Institute of Krakow (2010), *'Landfill Gas Energy Technologies'*, Poland-Krakow, [www.globalmethane.org/Data/1022\\_LFG-Handbook.pdf](http://www.globalmethane.org/Data/1022_LFG-Handbook.pdf)
- [69] BEA (2005), British Environmental Agency, *Guidance of Gas Treatment Technologies for Landfill Gas Engines*, [www.sepa.org.uk/about\\_us/publications.aspx](http://www.sepa.org.uk/about_us/publications.aspx)

- [70] GE Power Generation (2016), [www.powergen.gepower.com/content/dam/gepower-pgdp/global/en\\_US/documents/product/Reciprocating%20Engines/Jenbacher/Type%204/jenbacher-type-4-fs-en-metric-2016.pdf](http://www.powergen.gepower.com/content/dam/gepower-pgdp/global/en_US/documents/product/Reciprocating%20Engines/Jenbacher/Type%204/jenbacher-type-4-fs-en-metric-2016.pdf)
- [71] Clarke Energy, [www.clarke-energy.com/gas-engines/leanox/](http://www.clarke-energy.com/gas-engines/leanox/)
- [72] [www.google.com/maps](http://www.google.com/maps)
- [73] ΔΕΔΔΗΕ (2015), [www.deddie.gr](http://www.deddie.gr)
- [74] LFGcost-WEB v.3.0 (2014), *User's Manual*, [www3.epa.gov/lmop/publications\\_tools/lfgcost/LFGcost-WebV3\\_0manual.pdf](http://www3.epa.gov/lmop/publications_tools/lfgcost/LFGcost-WebV3_0manual.pdf)
- [75] ΥΠΕΚΑ, Ν.4254/7-4-2014/ΦΕΚΑ85/Υποπαραγρ.ΙΓ.5, [www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=hL%2FXuG%2B4%2Bho%3D&tabid=37&language=el-GR](http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=hL%2FXuG%2B4%2Bho%3D&tabid=37&language=el-GR)
- [76] LFGcost-WEB v.3.0 Software (2014), [www3.epa.gov/lmop/publications-tools/lfgcost/index.html](http://www3.epa.gov/lmop/publications-tools/lfgcost/index.html)
- [77] Τράπεζα Ελλάδος (2015), [www.bankofgreece.gr](http://www.bankofgreece.gr)
- [78] Kathimerini (2015), Στο 29% ο φόρος επί των κερδών επιχειρήσεων, [www.kathimerini.gr/823605/article/oikonomia/ellhnikh-oikonomia/sto-29-o-foros-epi-twn-kerdwn-epixeirhsewn](http://www.kathimerini.gr/823605/article/oikonomia/ellhnikh-oikonomia/sto-29-o-foros-epi-twn-kerdwn-epixeirhsewn), [15/7/2015]
- [79] Investopedia (2016), *What Are Economies Of Scale*, [www.investopedia.com/articles/03/012703.asp](http://www.investopedia.com/articles/03/012703.asp)
- [80] EPA GHG EMISSIONS (2016), Climate Change, *Overview of Greenhouse Gases*, [www3.epa.gov/climatechange/ghgemissions/gases/ch4.html](http://www3.epa.gov/climatechange/ghgemissions/gases/ch4.html), [24/2/2016]
- [81] EPA GHG GWP (2016), Climate Change, *Understanding Global Warming Potentials*, <http://www3.epa.gov/climatechange/ghgemissions/gwps.html> [24/2/2016]
- [82] LRQA Ελλάδα (2015), Lloyd's Register Quality Assurance, [www.greece.lrqqa.com/standards-and-schemes/ohsas18001/](http://www.greece.lrqqa.com/standards-and-schemes/ohsas18001/)
- [83] ΕΛΟΤ 1801 (2008), Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης, *Πιστοποίηση Συστημάτων Διαχείρισης Υγείας και Ασφάλειας*, [www.elot.gr/461\\_ell\\_html.aspx](http://www.elot.gr/461_ell_html.aspx)
- [84] ISO-QSLtd (2015), ISO Quality Services Ltd, *ISO 45001 - The new Health and Safety Management Standard revision*, [www.isoqsltd.com/general/new-health-and-safety-management-standard-revision/](http://www.isoqsltd.com/general/new-health-and-safety-management-standard-revision/), [19/1/2015]
- [85] ISO 14001 (2015), International Standards Organization, *Environmental Management Systems-Requirements with guidance for use*, [www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=60857](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=60857)
- [86] ISO 14001 Preview (2015), International Standards Organization, *Environmental Management Systems-Requirements with guidance for use*, [www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14001:ed-3:v1:en](http://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14001:ed-3:v1:en)
- [87] ΕΛΟΤ EN ISO 9001 (2008), Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης, *Πιστοποίηση Συστημάτων Διαχείρισης της Ποιότητας*, [www.elot.gr/457\\_ELL\\_HTML.aspx](http://www.elot.gr/457_ELL_HTML.aspx)

- [88] BSI ISO 9001:2015 (2016), British Standards Institution, *ISO 9001 Quality Management System (QMS)*, [www.bsigroup.com/en-GB/iso-9001-quality-management/](http://www.bsigroup.com/en-GB/iso-9001-quality-management/)
- [89] PAE, [www.rae.gr](http://www.rae.gr)
- [90] ΔΕΣΜΗΕ, [www.desmie.gr](http://www.desmie.gr)
- [91] Natura 2000, [www.natura2000.eea.europa.eu/#](http://www.natura2000.eea.europa.eu/#)
- [92] Energy Register (2016), *ΕΠΟ Μονάδας Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας, Τεχνολογία Αεριοποίησης της Βιομάζας στο ΒΙΠΑ Κηφισιάς θέση Καλιφτάκη της Εταιρίας ΓΑΙΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΡΤΕΜΙΣ ΕΝΝΕΑ ΕΠΕ*, [www.energyregister.gr/adeio\\_dotisi/bezaor1k-sxb](http://www.energyregister.gr/adeio_dotisi/bezaor1k-sxb)
- [93] [www.euretiro.com/kefalaiopoiimena-exoda/](http://www.euretiro.com/kefalaiopoiimena-exoda/)
- [94] [www.investopedia.com/terms/c/cashflow.asp?layout=orig](http://www.investopedia.com/terms/c/cashflow.asp?layout=orig)
- [95] [www.euretiro.com/proexoflitiko-epitokio-discount-rate/](http://www.euretiro.com/proexoflitiko-epitokio-discount-rate/)
- [96] [www.euretiro.com/kathari-parousa-axia-kpa-npv/](http://www.euretiro.com/kathari-parousa-axia-kpa-npv/)
- [97] [www.investopedia.com/terms/i/irr.asp?layout=orig](http://www.investopedia.com/terms/i/irr.asp?layout=orig)
- [98] Webinar LFGcost-WEB-2014 (2015), [www3.epa.gov/lmop/documents/pdfs/lmop\\_webinar\\_lfgcost-web-3feb2015.pdf](http://www3.epa.gov/lmop/documents/pdfs/lmop_webinar_lfgcost-web-3feb2015.pdf)

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

## Ορισμοί Οικονομικών Παραμέτρων

**A.1 Κεφαλαιοποιημένα Έξοδα (CAPEX: capital expenditures).** Είναι τα έξοδα από τα οποία προσδοκεί μια επιχείρηση οφέλη, και όχι μόνο στην παρούσα λογιστική χρήση αλλά και στις μελλοντικές, για παράδειγμα τα έξοδα σχεδιασμού, ίδρυσης και οργάνωσης της επιχείρησης καθώς και τα έξοδα έρευνας και ανάπτυξης [93].

**A.2 Έξοδα Λειτουργίας & Συντήρησης (O&M: operation & maintenance).** Αποτελούν τα έξοδα εκείνα που πρέπει να προβλέψει μια εταιρία και αφορούν κόστη εργασίας των υπαλλήλων, πάγιες δαπάνες όπως κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος, προμήθεια καυσίμου (έξοδα θέρμανσης) καθώς και τα επιπλέον κόστη που σχετίζονται με εργασίες συντήρησης, ανταλλακτικά μηχανημάτων κ.α.

**A.3 Ταμειακές Ροές (CF: cash flows).** Οι ταμειακές ροές είναι το καθαρό ποσό των ταμειακών διαθέσιμων και ισοδύναμων ποσών που κινούνται εντός και εκτός της επιχείρησης. Θετικές ταμειακές ροές (εισροές) δείχνουν ότι τα διαθέσιμα ρευστά της εταιρείας αυξάνονται, δίνοντας τη δυνατότητα για εξόφληση χρεών, επανεπένδυση, πληρωμή τρεχόντων εξόδων κ.α. Αρνητικές τιμές (εκροές) δηλώνουν ότι η εταιρική ρευστότητα μειώνεται. Οι ταμειακές ροές χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της ποιότητας των εσόδων της εταιρείας, δηλαδή κατά πόσο είναι οικονομικά σταθερή, οπότε και υποδεικνύει την φερεγγυότητα της [94].

**A.4 Προεξοφλητικό Επιτόκιο ( $r$ : discount rate).** Είναι το επιτόκιο που η Κεντρική Τράπεζα χρεώνει τις τράπεζες για δάνεια. Μια αύξηση του προεξοφλητικού επιτοκίου μειώνει την προσφορά χρήματος, ενώ αντιθέτως η μείωση αυξάνει του συντελεστή  $r$  αυξάνει την προσφορά χρήματος [95].

**A.5 Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV: net present value).** Η Καθαρή Παρούσα Αξία είναι ένα χρήσιμο εργαλείο που χρησιμοποιείται στην οικονομική επιστήμη (economics), στα χρηματοοικονομικά (finance) και στη λογιστική (accounting) για να καθοριστεί αν μια επένδυση ή ένα έργο κρίνεται συμφέρον για να χρηματοδοτηθεί ή όχι. Η παρούσα αξία των αναμενόμενων ταμειακών ροών υπολογίζεται με την προεξόφληση τους χρησιμοποιώντας το κατάλληλο προεξοφλητικό επιτόκιο ( $r$ : discount rate). Ο συντελεστής NPV είναι το άθροισμα των παρούσων αξιών των εισερχόμενων (+) και εξερχόμενων (-) ταμειακών ροών κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου  $n$ . Μετράει το πλεόνασμα ή την έλλειψη ταμειακών ροών, σε όρους παρούσας αξίας, σε σχέση με το κόστος κεφαλαίων (capex) που χρησιμοποιήθηκαν για μια επένδυση, με την γενική της μαθηματική μορφή να περιγράφεται παρακάτω [96]:

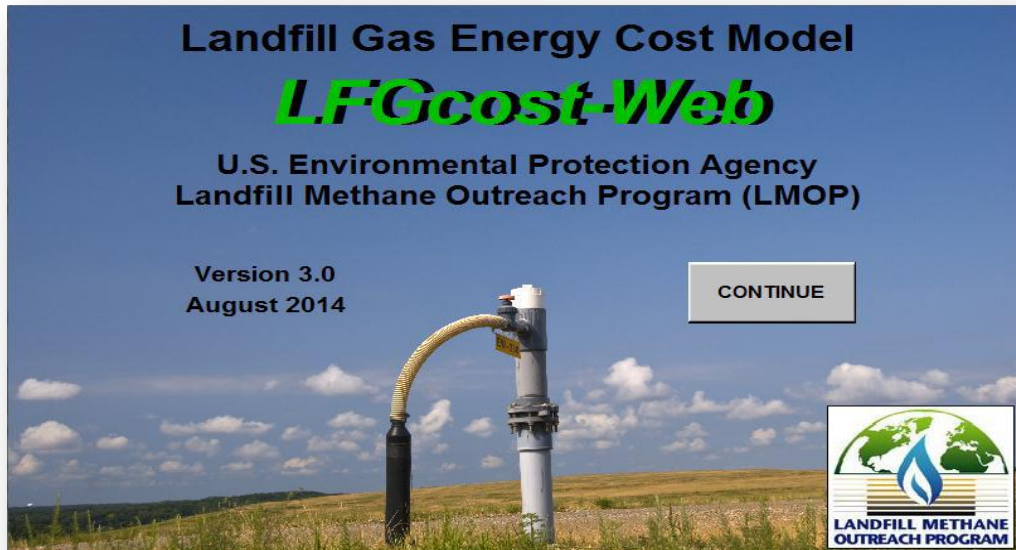
$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{\text{ταμειακές ροές}}{(1+r)^t} - CAPEX$$

**A.6 Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης** (*IRR: internal rate of return*). Ο συντελεστής IRR χρησιμοποιείται για την μέτρηση της αποδοτικότητας μιας επένδυσης. Στην ουσία αποτελεί ένα προεξοφλητικό επιτόκιο για το οποίο ο συντελεστής NPV, όλων των ταμειακών εισροών και εκροών μιας επένδυσης, ισούται με μηδέν, δηλαδή  $IRR_{(NPV=0)}$  [97].

**A.7 Χρόνος Απόσβεσης NPV** (*NPV payback time period*). Ο χρόνος που απαιτείται ώστε η καθαρή παρούσα αξία μηδενίσει (εισροές = εκροές) και από το σημείο αυτό και μετά παίρνει τιμές θετικές και ισχύει  $NPV > 0$  [98].

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

### Πληροφορίες Λογισμικού LFGcost-WEB V.3.0 2014



Οι πληροφορίες που παρατίθενται στο Παράρτημα Β, έχουν συλλεχθεί από την ιστοσελίδα του Αμερικάνικου Οργανισμού Προστασίας Περιβάλλοντος (EPA) [3], και συγκεκριμένα από τις εξής επιμέρους πηγές:

- ✓ EPA LFG Handbook (2015) [66].
- ✓ LFGcost-WEB V.3.0 User's Manual (2014) [74]
- ✓ Webinar LFGcost-WEB (2015) [98]

Το λογισμικό LFGcost-WEB, το οποίο λειτουργεί σε περιβάλλον Microsoft Excel, παρέχει μόνο προκαταρκτικές εκτιμήσεις κοστολογίων για την τεχνολογία ανάκτησης εκλυόμενων αερίων από εξωτερικούς χώρους απόρριψης και υγειονομικής ταφής ΑΣΑ (LFG RES),. *Το τελικό LFG-RES Project θα πρέπει να στηρίζεται, αποκλειστικά και μόνο, σε εξειδικευμένο προσωπικό που να παρέχει λεπτομερείς τεχνικές μελέτες και προδιαγραφές για την εγκατάσταση και τη λειτουργία της μονάδας.*

**B.1 Λίστα Έργων.** Η βάση δεδομένων περιλαμβάνει δώδεκα τύπους συστημάτων ενεργειακής αξιοποίησης των εκλυόμενων αερίων.

- ✓ έργα άμεσης χρήσης LFG (DIR: direct use system)
- ✓ έργα αναβάθμισης λεβήτων (BLR: boiler retrofit)
- ✓ αναβάθμιση του παραγόμενου LFG σε αέριο υψηλής ενεργειακής πυκνότητας (HBTU: high Btu processing plant)
- ✓ μετατροπή του παραγόμενου LFG σε συμπιεσμένο φυσικό αέριο και χρήση σε πρατήρια καυσίμων αυτοκινήτων (CNG: compressed natural gas)
- ✓ τεχνολογία εξάτμισης υγρών παραπροϊόντων/στραγγίσματα (LCH: Leachate evaporator)
- ✓ συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας



- τυπικές τουρμπίνες (TUR: turbine)
  - τυπικές μηχανές εσωτερικής καύσης (ENG: engine)
  - μικροτουρμπίνες (MTUR: Microturbine)
  - μικρές μηχανές εσωτερικής καύσης (SENG: small engine)
- ✓ συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας
- συστήματα συμπαραγωγής τουρμπίνων (CHPT: CHP Turbine)
  - συστήματα συμπαραγωγής μηχανών εσωτερικής καύσης (CHPE: CHP engine)
  - συστήματα συμπαραγωγής μικροτουρμπίνων (CHPM: CHP Microturbine)

**B.2 Κοστολογική Βάση Δεδομένων.** Οι κύριες κατηγορίες εξόδων που λαμβάνει υπόψη και υπολογίζει το λογισμικό, είναι το κεφαλαιουχικό κόστος (CAPEX) και τα κόστη λειτουργίας/συντήρησης (O&M).

CAPEX	O&M
σχεδιασμός και μηχανήματα διαδικασία αδειών και αμοιβές προετοιμασία χώρου και εγκαταστάσεων εξοπλισμός και χώρος εγκατάστασης αυτών κόστη έναρξης και κεφάλαιο κίνησης έξοδα διαχείρισης	εξαρτημάτων και υλικών εργασία/μισθοί κόστος χρηματοδότησης φόροι έξοδα διαχείρισης

Παρακάτω παρουσιάζονται μόνο τα κόστη (σε δολάρια Αμερικής, \$) των συστημάτων ENG και CHPE, με τα οποία πραγματεύεται η εργασία, και αναφέρονται στα έτη 2013 και 2008, αντιστοίχως.

ENG: κόστη εξαρτημάτων	Κόστη έτους 2013 (\$)
κόστος εγκατάστασης συστήματος κατάθλιψης και επεξεργασίας LFG, σετ μηχανών εσωτερικής καύσης/γεννητριών, κόστος εργασίας και εσωτερικές εγκαταστάσεις	$1,300 \times KW_{inst} + 1,100,000$
κόστος εγκατάστασης του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού διασύνδεσης	250.000 ανα σετ συστήματος
ετήσια κόστη O&M των συστημάτων κατάθλιψης/ επεξεργασίας του LFG και των μηχανών	0,025 ανα παραγόμενη kWh

CHPE Cost Component	Κόστη έτους 2008 (\$)
κόστος εγκατάστασης συστήματος κατάθλιψης και επεξεργασίας LFG, σετ μηχανών εσωτερικής καύσης/γεννητριών, κόστος εργασίας και εσωτερικές εγκαταστάσεις	1.900 ανα $KW_{inst}$
κόστος εγκατάστασης του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού διασύνδεσης	250.000 ανα σετ συστήματος
Κόστη εγκατάστασης αγωγών αερίου	\$63 ανα μονάδα ποδιού (ft)
Κόστη εγκατάστασης κυκλώματος ζεστού νερού (2 αγωγοί: προσαγωγή και επιστροφή)	106 ανα μονάδα ποδιού (ft) της τάφρου
Κόστη εγκατάστασης αντλιών κυκλοφορίας νερού	12.000 ανα σετ συστήματος
ετήσια κόστη O&M των συστημάτων κατάθλιψης/ επεξεργασίας του LFG και των μηχανών καθώς και των εναλλακτών θερμότητας	0,020 ανα παραγόμενη kWh

**B.3 Στοιχεία Εισόδου (Inputs).** Τα βασικά στοιχεία εισόδου, καθώς και τα προαιρετικά στοιχεία, που απαιτούνται για την εκτέλεση λειτουργίας του λογισμικού είναι τα εξής:

**a. Απαιτούμενα στοιχεία εισόδου**

- έτος έναρξης και έτος κλεισίματος του χώρου απόρριψης και ταφής ΑΣΑ
- επιφάνεια χώρου υποδοχής ΑΣΑ
- απορριπτόμενη ποσότητα ΑΣΑ (tn/yr)
- τύπος έργου (CHP, ENG κ.τ.λ.) και έτος έναρξης
- κόστη συστημάτων συλλογής και καύσης LFG (ναι ή όχι)
- απόσταση δικτύου αγωγού για συστήματα CHP, DIR, HBTU

**b. Προαιρετικά στοιχεία εισόδου**

- τύπος έργου (CHP, ENG κ.τ.λ.) και έτος έναρξης
- ρύθμιση μεγέθους ισχύος εγκατάστασης αναλόγως τον επιθυμητό ρυθμό παροχής LFG (min, aver, max)
- στοιχεία που αφορούν τον χώρο υποδοχής ΑΣΑ, όπως κλιματολογικές συνθήκες (υγρασία, βροχόπτωση), περιεκτικότητα CH<sub>4</sub> του παραγόμενου
- εισαγωγή οικονομικών στοιχείων, όπως ύψος δανείου και επιτοκίου (εαν υπάρχει), στοιχεία πληθωρισμού, τιμή πώλησης παραγόμενης kWh, ενεργειακές πιστωτικές μονάδες (εάν υπάρχουν)

**B.4 Στοιχεία Εξόδου (Outputs).** Τα κυριότερα αποτελέσματα που εξάγει και παρουσιάζει το λογισμικό είναι οι παρακάτω κατηγορίες:

**a. Τεχνικά στοιχεία**

- μέγεθος εγκατεστημένης ισχύος
- μέγεθος παραγόμενης ενέργειας (συνολικής στη διάρκεια ζωής του έργου και ετήσιας)

**b. Οικονομικά στοιχεία**

- κόστος κεφαλαίου εγκατάστασης
- ετήσια κόστη O&M
- εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR)
- καθαρή παρούσα αξία (NPV)
- χρόνος εξόφλησης NPV (έτος όπου το  $NPV \geq 0$ )

**c. Περιβαλλοντικά στοιχεία**

- συλλεγόμενη και καϊόμενη ποσότητα CH<sub>4</sub> (συνολική και ετήσια)
- ισοδύναμα CO<sub>2</sub> των ποσοτήτων του CH<sub>4</sub> (mmtCO<sub>2</sub>eq) που χρησιμοποιούνται
- ποσότητες CO<sub>2</sub> των οποίων αποφεύγεται η έκλυση λόγω της μη χρήσης συμβατικών καυσίμων

**B.5 Υπολογισμός Εκλυόμενου Αερίου με Χρήση Πρωτοβάθμιας Εξίσωσης.** Με την εφαρμογή της παρακάτω εξίσωσης, γίνεται ο προσδιορισμός του παραγόμενου αερίου.

$$Q_t = (1/(CH_4/100)) * L_o * R * [e^{(-kc)} - e^{(-kt)}]$$

Όπου:  $Q_t$  =ετήσια παραγωγή LFG στον χρόνο t (ft<sup>3</sup>/year)

$CH_4$  = περιεκτικότητα (%) CH4 του παραγόμενου LFG

$L_o$  = περιεχόμενο CH4 (ft<sup>3</sup>) ανά τόνο ΑΣΑ

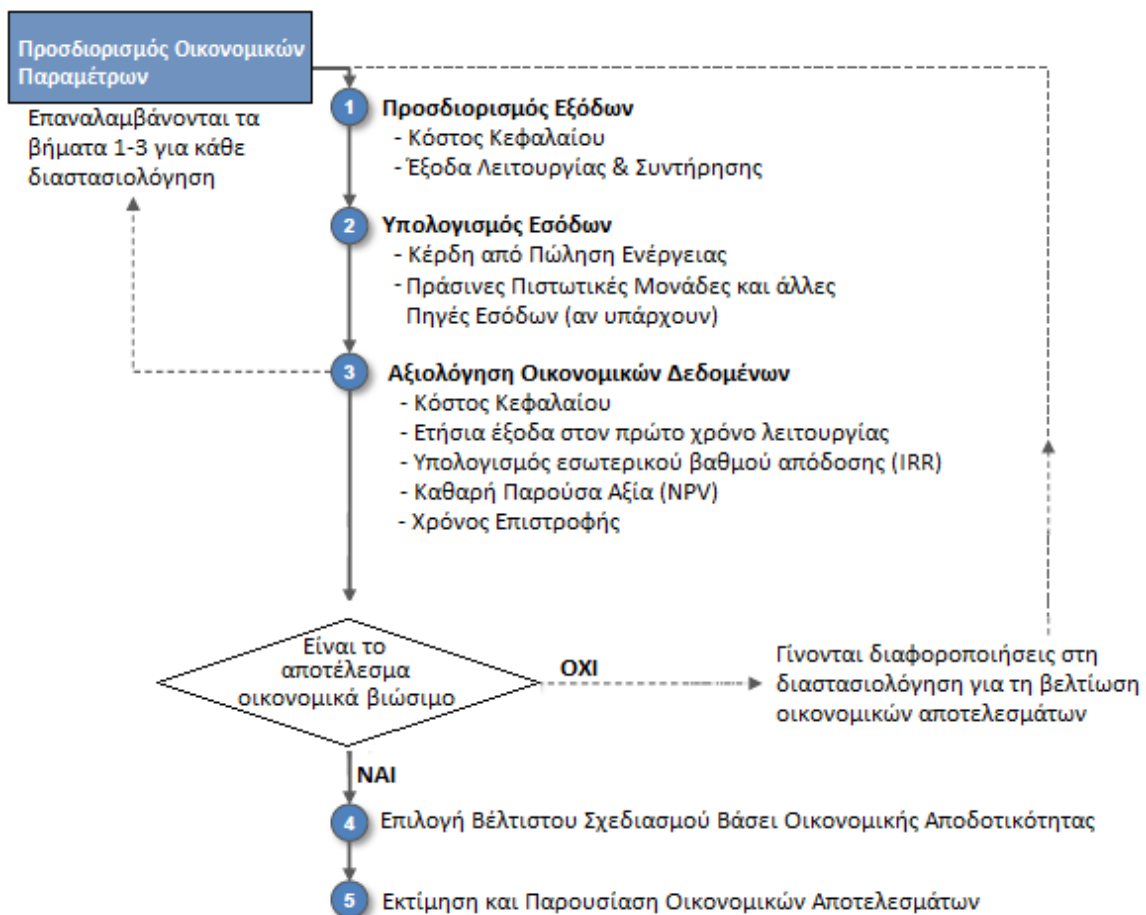
R = μέση ετήσια απορριπτόμενη ΑΣΑ (tn)

k = σταθερά ρυθμού παραγωγής CH4 σχετιζόμενο με τη συχνότητα βροχόπτωσης

c = χρόνος για το κλείσιμο του χώρου απόρριψης/ταφής ΑΣΑ (χρόνια)

t = χρόνος από την πρώτη απόρριψη ΑΣΑ (χρόνια)

**B.6 Λογικό Διάγραμμα Ροής Οικονομικής Αξιολόγησης.** Η λογική λειτουργία του λογισμικού, βάσει της οποίας γίνονται όλοι οι υπολογισμοί συνοψίζεται στο παρακάτω διάγραμμα:



**B.7 Φύλλα Εργασίας (Worksheets).** Το λογισμικό LFGcost-WEB V.3.0 2014, περιλαμβάνει είκοσι δύο φύλλα εργασίας, τα οποία κατά σειρά είναι:

1. INST: instructions, περιέχει βασικές οδηγίες για την κατάλληλη χρήση του λογισμικού, καθώς και παρέχει τους ορισμούς των στοιχείων εισόδου (input) και εξόδου (output).
2. INP-OUT: input-output, τοποθετούνται τα απαραίτητα στοιχεία (και τα προαιρετικά) καθώς επίσης και παρέχονται τα τεχνο-οικονομικά και περιβαλλοντικά αποτελέσματα.
3. WASTE, εισάγεται η συνολική απορριπτόμενη ποσότητα ΑΣΑ ή εναλλακτικά το ετήσιο ιστορικό απόρριψης ΑΣΑ (εάν είναι διαθέσιμα αυτά τα στοιχεία), διαφορετικά στο φύλλο INP-OUT εισάγεται προσεγγιστικά το ετήσιο ποσό απόρριψης ΑΣΑ
4. REPORT: περιγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά του έργου, που έχουν εισαχθεί στο φύλλο INP-OUT και συνοψίζει τα τελικά αποτελέσματα.
5. RPT-CASHFLOW, αναλύονται λεπτομερώς οι ετήσιες ταμειακές ροές (εισροές - εκροές) για τα χρόνια ζωής του έργου, βάσει των στοιχείων που έχουν οριστεί το INP-OUT.
6. CURVE, δίνονται οι γραφικές απεικονίσεις τριών καμπύλων παροχής ( $\text{ft}^3/\text{min}$ ) του εκλυόμενου αερίου, δηλαδή της καμπύλης παραγωγής, συλλογής και χρήσης, με τις τιμές να αντιστοιχούν σε μέσες ετήσιες παροχές LFG.
7. ENV (environmental), γίνονται οι υπολογισμοί των περιβαλλοντικών οφελών του προτεινόμενου συστήματος, όπως μέσες ετήσιες αποφυγές ποσότητες CO<sub>2</sub> λόγω μη χρήσης συμβατικών καυσίμων καθώς και ισοδύναμων ποσοτήτων CH<sub>4</sub> που χρησιμοποιούνται (mmtCO<sub>2</sub>eq).
8. FLOW, παρουσιάζεται αναλυτικά η υπολογιζόμενη ροή ανα έτος του παραγόμενου, συλλεγόμενου και χρησιμοποιούμενου εκλυόμενου αερίου, με τη χρήση της πρωτοβάθμιας εξίσωσης που αναφέρθηκε προηγουμένως (παράρτημα B.5).
9. C&F (collection & flaring system), σχεδιασμός και κοστολόγηση ενός νέου συστήματος συλλογής και καύσης LFG. Τα συγκεκριμένα κόστη περιλαμβάνονται εφόσον επιλεγθούν από το αντίστοιχο πεδίο (προαιρετικά στοιχεία).

Τα υπόλοιπα δώδεκα φύλλα εργασίας αναφέρονται στα δώδεκα διαθέσιμα έργα που περιλαμβάνει η βάση δεδομένων του λογισμικού (παράρτημα B.1). Στο τελευταίο φύλλο εργασίας (ECN: economic) γίνονται οι αναλυτικοί οικονομικοί υπολογισμοί των ταμειακών ροών που παρουσιάζονται στο φύλλο εργασίας RPT-CASHFLOW.

Στις επόμενες σελίδες δίνονται ενδεικτικά τέσσερα φύλλα εργασίας, που αντιστοιχούν στα φύλλα INST, INP-OUT και στους δύο τύπους συστημάτων που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς του κεφαλαίου 5, CHPE και ENG.

**LFGcost-Web Model (Version 3.0)**

LFGcost-Web is a spreadsheet tool developed for EPA's Landfill Methane Outreach Program (LMOP) to estimate the costs of a landfill gas (LFG) energy project in the United States. *The tool is designed for parties interested in obtaining an initial economic feasibility analysis for a specific type of LFG energy project.* These project types include electricity generation, direct-use, boiler retrofit, combined heat and power, leachate evaporation, CNG production, and high Btu production. *Analyses performed using LFGcost-Web are considered preliminary and should be used for guidance only.*

This tool consists of 12 required inputs to characterize the age and size of the landfill, the type of LFG energy project, and other input parameters relating to the project. Several additional optional inputs are set to suggested default parameters but can be adjusted to incorporate more site-specific data about the landfill and LFG energy project. The model provides the economic analysis and environmental benefits based on your inputs. Descriptions of the required and optional user inputs are in Table 1, and descriptions of the model outputs are listed in Table 2.

*The default input parameters and estimated costs are based on typical project designs and for typical landfill situations.* You should use Table 3 when selecting the type of LFG energy project appropriate for the size of your project. Within these size ranges LFGcost-Web is estimated to have an accuracy of ± 30-50%. Using LFGcost-Web to evaluate projects outside of these recommended ranges will likely provide cost estimates with a greater

[Go to Inputs/Outputs](#)     [Go to Important Notes](#)

[Go to Table 1. Glossary of Input Parameters](#)     [Go to Table 2. Glossary of Output Parameters](#)     [Go to Table 3. LFG Energy Project Types and Recommended Sizes](#)     [Go to Table 4. Workbook Design](#)

Required Input	Definition
<a href="#">Year landfill opened</a>	Four-digit year that the landfill opened or is planning to open.
<a href="#">Year of landfill closure</a>	Four-digit year that the landfill closed or is expected to close.
<a href="#">Area of LFG wellfield to supply project</a>	Acreage of the landfill that contains waste and generates LFG to be collected and utilized by the LFG energy project. The model assumes one well per acre to determine vertical gas well, wellhead, pipe gathering system, and other costs for the collection and flaring system. Acreage should represent area of landfill for gas collection to feed project, not total landfill area. Gas collection and flaring cost estimates represent a complete new system (costs for expansion of an existing system will be higher); inaccurate cost estimates may result for smaller landfill areas (<10 acres) due to economic infeasibility of designing and installing an entire new collection and flaring system.
<a href="#">Average annual waste acceptance rate</a>	Average annual tons of municipal solid waste (MSW) accepted each year the landfill is open.
<a href="#">Waste acceptance rate calculator</a>	If you do not know the average annual waste acceptance rate, then you can use the calculator to estimate this rate.
<a href="#">Waste-in-place</a>	Total tons of MSW accepted and placed in the landfill.
<a href="#">Year representing waste-in-place</a>	Four-digit year that corresponds to the waste-in-place tonnage.
<a href="#">Annual waste disposal history</a>	The waste disposal history should be used only when year-to-year waste acceptance is known for each year that the landfill operates. The annual waste acceptance rate, in tons per year, MUST be entered for all years beginning with the landfill open year and ending with the landfill closure year.
<a href="#">LFG energy project type</a>	list to choose one of the 12 LFG energy project types you want to analyze. Table 3 (below) contains a list of project types to use for selecting the project type appropriate for the size of your project.
<a href="#">Will LFG energy project costs include collection and flaring costs?</a>	Determines if costs for new vertical well collection and flaring equipment (not expansion of existing equipment) are included in the total LFG energy project cost. - Select Y (for yes) if the landfill does NOT have collection and flaring equipment installed and you want to include collection and flaring costs in the total project cost. - Select N (for no) if the landfill already contains a collection and flaring system or you do not want to include collection and flaring costs in the total project cost. Collection and flaring costs cannot be included if boiler retrofit costs are not combined with direct-use project costs.

INST

Ready     INST     INP-OUT     WASTE     REPORT     RPT-CASHFLOW     CURVE     ENV     FLOW     C&F     DIR     BLR     HBTU     CNG     LCH     TUR     ENG     MTUR     SENG     CHPE     CHPT     CHPM     ECN     70%     5:48 μμ     8/3/2016

Φύλλο εργασίας INP-OUT

LFGcost-WebV3.0 - Microsoft Excel

Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Developer Add-Ins

Clipboard Font Alignment Number Styles Cells Editing

Enter Landfill Name or Identifier: Thesis\_Semester\_Nikos\_Diam\_79

1 INPUTS / OUTPUTS

2 [Go To Instructions](#)

3

4 Required User Inputs:

Type of Input Required	Required Input Data
Year landfill opened	1979
Year of landfill closure	2035
Area of LFG wellfield to supply project (acres) [assumes 1 well/acre]	15
Method for entering waste acceptance data	Average annual waste acceptance rate (tons/yr) 65,000
[CHOOSE ONLY ONE]	Waste acceptance rate calculator (in WASTE worksheet) <a href="#">Go to WASTE</a>
METHOD:	Annual waste disposal history (in WASTE worksheet) <a href="#">Go to WASTE</a>
LFG energy project type [refer to recommended sizes in INST worksheet when selecting]	CHP engine
Will LFG energy project cost include collection and flaring costs? (Y)es or (N)o	Y
For Leachate Evaporator projects: Amount of leachate collected (gal/yr)	
For Boiler Retrofits: Will boiler retrofit costs be combined with direct-use project costs? (Y)es or (N)o	
For Boiler Retrofits: Distance between end user's property boundary and boiler (miles)	
For Direct-use, High Btu, and CHP projects:	
Distance between landfill and end use, pipeline, or CHP unit (miles)	3.0
For CHP projects: Distance between CHP unit and hot water/steam user (miles)	0.0
Year LFG energy project begins operation	2018

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22 Option:

23

24

Type of Optional input	Suggested Default Data	Optional User Input Data
LFG energy project size: Gas rate = Minimum, Average, Maximum, or Defined by user (must enter design flow rate below)?	Minimum	Average
For user-defined project size only: Design flow rate (ft <sup>3</sup> /min)	---	
Methane generation rate constant, k (1/yr)	0.04	0.04
[0.04 for typical climates, 0.02 for arid climates, 0.1 for bioreactors or wet landfills]		
Potential methane generation capacity of waste, L <sub>0</sub> (ft <sup>3</sup> /ton)	3.204	4.500
Methane content of landfill gas (%)	50%	55%
Average depth of landfill waste (ft)	65	90
Landfill gas collection efficiency (%)	85%	85%

25

26

27

28

29

30

31

32

33

INP-OUT

Basικά στοιχεία εισόδου

Ποσότητα απόρριψης ΑΣΑ

Τύπος συστήματος (CHPE)

Προαιρετικά στοιχεία εισόδου

Go to Report

Type of Output	Output Data
<b>Economic Analysis:</b>	
Design project size (ft <sup>3</sup> /min LFG)	721
Generating capacity for projects generating electricity (kW)	2,142
Average project size for projects NOT generating electricity: (million ft <sup>3</sup> /yr LFG)	--
(ft <sup>3</sup> /min LFG)	--
Average project size for projects generating electricity (kWh/yr)	15,992,831
Average project size for CHP projects producing hot water/steam (million Btu/yr)	60,773
Total installed capital cost for year of construction (\$)	\$7,071,936
Annual costs for initial year of operation (\$)	\$511,868
Internal rate of return (%)	30%
Net present value at year of construction (\$)	\$3,104,567
Net present value payback* (years after operation begins)	5
<b>Environmental Benefits:</b>	
Total lifetime amount of methane collected and destroyed (million ft <sup>3</sup> )	3,128
Average annual amount of methane collected and destroyed (million ft <sup>3</sup> /yr)	209
GHG value of total lifetime amount of methane utilized in energy project (MMTCCO <sub>2</sub> E)	1,38E+00
GHG value of average annual amount of methane utilized in energy project (MMTCCO <sub>2</sub> E)	9,17E-02
Total lifetime carbon dioxide from avoided energy generation (MMTCCO <sub>2</sub> E)	1,88E-01
Average annual carbon dioxide from avoided energy generation (MMTCCO <sub>2</sub> E/yr)	1,25E-02

\* "None" = no return on investment or no payback in LFG energy project lifetime

After completing Inputs, select this button to:

Calculate Initial Product Price Needed to Achieve Financial Goals

Product Prices When Net Present Value is Optimized to Achieve Financial Goals:

Landfill gas production (\$/million Btu) ---

Electricity generation (\$/kWh) \$0,06000

Στοιχεία εξόδου

INST INP-OUT WASTE REPORT RPT-CASHFLOW CURVE ERW FLOW C&F DIR BLR HBTU CNG LCH TUR ENG MTUR SENG CHPE CHPT CHPM ECN

Ready 70%

5:45 μμ 8/3/2016

Φύλλο εργασίας CHPE

LFGcost-WebV3.0 - Microsoft Excel

Landfill Name or Identifier: Thesis_Semester_Nikos_Diamantopoulos											
Cost Component				Cost (2008\$'s)	Cost Unit						
Installed cost of gas compression/treatment, engine/generator, heat recovery, site work, and housings				\$1.900	per kW capacity						
Installed cost of electrical interconnect equipment				\$250.000	per system						
Installed cost of gas pipeline				\$63	per ft						
Installed cost of water pipelines (assumes 2 lines for supply and return)				\$106	per ft of trench						
Installed cost of circulation pump				\$12.000	per system						
Annual O&M of compression/treatment, engine/generator, and exchangers (excluding energy)				\$0,020	per kWh generated						
Project Component			Quantity								
Gross capacity factor (%)			93%								
System operating schedule (hours/year)			8.147								
Fuel use rate (Btu/kWh generated)			11.250								
Hot water production (Btu/kWh, net)			3.800								
Parasitic loss efficiency (%)			93%								
Landfill gas heat content (Btu/ft <sup>3</sup> )			557								
Engine capacity (kW)			2.142								
Length of gas piping from compressor to engine (ft)			15.840								
Length of water piping from engine to user (ft)			0								
<b>Electricity and Heat Generation:</b>											
Year	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	
Net Electricity Generated (kWh)	15.278.860	15.438.244	15.591.377	15.738.506	15.879.867	16.015.684	16.146.176	16.225.469	16.225.469	16.225.46	
Hot water produced (million Btu @ 230 °F)	58.060	58.665	59.247	59.806	60.343	60.860	61.355	61.657	61.657	61.657	
<b>Installed Capital Costs:</b>				2017 \$'s							

CHPE

Φύλλο εργασίας ENG

LFGcost-WebV3.0 - Microsoft Excel

Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Developer Add-Ins

Clipboard Font Alignment Number Styles Cells Editing

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1	STANDARD RECIPROCATING ENGINE-GENERATOR SET							Landfill Name or Identifier: Thesis_Semester_Nikos_Diamantopoulos			
2											
3	Cost Component					Cost (2013\$'s)	Cost Unit				
4	Installed cost of gas compression/treatment, engine/generator, site work, and housings					\$1,300(x) + \$1,100,000	\$, x = kW capacity				
5	Installed cost of electrical interconnect equipment					\$250,000	per system				
6	Annual O&M of compression/treatment and engine/generator (excluding energy)					\$0.025	per kWh generated				
7											
8	Project Component			Quantity							
9	Gross capacity factor (%)			93%							
10	System operating schedule (hours/year)			8,147							
11	Fuel use rate (Btu/kWh generated)			11,250							
12	Parasitic loss efficiency (%)			93%							
13	Landfill gas heat content (Btu/ft <sup>3</sup> )			557							
14	Engine capacity (kW)			2,142							
15											
16	<b>Electricity Generation:</b>										
17	Year	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025		
18											
19	Net Electricity Generated (kWh)	15,278,860	15,438,244	15,591,377	15,738,506	15,879,867	16,015,684	16,146,176	16,225,469		
20											
21	<b>Installed Capital Costs:</b>					2017 \$'s					
22	Gas Compression/Treatment, Engine/Generator, Site Work, and Housings:					\$4,204,176					
23	Electrical Interconnect Equipment:					\$270,608					
24	Total Capital Costs Including Cost Contingency					\$4,474,784					
25											
26	<b>Annual Costs:</b>										
27	Year	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025		
28											
29	O&M	\$446,841	\$459,178	\$471,616	\$484,159	\$496,812	\$509,580	\$522,465	\$533,956		

INST | INP-OUT | WASTE | REPORT | RPT-CASHFLOW | CURVE | ENV | FLOW | C&F | DIR | BLR | HBTU | CNG | LCH | TUR | **ENG** | MTUR | SENG | CHPE | CHPT | CHPM | ECN

Ready | 100% | 7:47 μμ | 8/3/2016