

# ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ  
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ



«Ανάπτυξη μεθοδολογίας για την επιλογή της βέλτιστης  
διαδρομής του παραγόμενου βιοαερίου σε ΧΥΤΑ»

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΣΤΑΥΡΙΑΝΗ Ν. ΡΟΓΚΑΚΟΥ**

**Χανιά , Οκτώβρης 2015**

***Εξεταστική επιτροπή:***

Σπύρος Παπαευθυμίου , Επίκουρος Καθηγητής (Επιβλέπων)  
Μιχάλης Δούμπος. Αναπληρωτής Καθηγητής  
Νικόλαος Ματσατσίνης, Καθηγητής

## Πρόλογος

Πρώτα απ'όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Σπύρο Παπαευθυμίου για την ανάθεση της παρούσας πτυχιακής εργασίας , για την καθοδήγηση του καθ' όλη τη διάρκεια της δουλειάς μου και τις πολύτιμες γνώσεις που αποκόμισα.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου κ. Μιχάλη Δούμπο και κ. Νικόλαο Ματσατσίνη για τη συμμετοχή τους, την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και τις πολύτιμες υποδείξεις τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Οφείλω ένα ευχαριστώ και στον κ. Άνθιμο Μπούκη υπεύθυνο στην εταιρεία ΒΕΑΛ για τα στοιχεία που μας δόθηκαν για τη λειτουργία της μονάδας βιοαερίου στον ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων καθώς και την κ. Τριβυζά Ζαΐρα από την ΕΠΑ Αττικής για τα στοιχεία φυσικού αερίου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον πατέρα μου Νίκο, την αδερφή μου Χριστίνα και τους φίλους μου για την αγάπη και τη στήριξη που μου έδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και την ενθάρρυνση που μου έδιναν στο δύσκολο καθημερινό φόρτο. Τέλος την παρούσα εργασία θα ήθελα να την αφιερώσω στη μητέρα μου Βασιλική που παρατηρούσε από μακριά αυτήν την προσπάθεια.

## Περίληψη

Η διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στο ισοζύγιο ηλεκτρικής ενέργειας έχει αυξηθεί σημαντικά λόγω των προνομιακών Feed -in tariffs ( FIT ). Μία από τις ΑΠΕ είναι το παραγόμενο βιοαέριο στους χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων ( ΧΥΤΑ ), το οποίο είναι πλούσιο σε μεθάνιο. Η μελέτη αυτή έχει ως στόχο να δημιουργήσει μία μεθοδολογία υποστήριξης αποφάσεων για την πιο συμφέρουσα διαδρομή χρήσης του βιοαερίου, από οικονομικής άποψης. Αρχικά αναφέρονται κάποια εισαγωγικά στοιχεία σχετικά με τη χρήση της βιομάζας στην ηλεκτροπαραγωγή, τις τεχνολογίες αξιοποίησής της και τις προοπτικές χρήσης της. Εν συνεχεία, η μεταπτυχιακή εργασία επικεντρώνεται στο βιοαέριο, τα στάδια παραγωγής του, τις χρήσεις του, ενώ παράλληλα περιγράφονται και παραδείγματα εγκαταστάσεων βιοαερίου στην Ευρώπη και στην Ελλάδα. Μελετάται επίσης η αναβάθμιση του βιοαερίου σε βιομεθάνιο και παρουσιάζονται οι προοπτικές χρήσης και τα πλεονεκτήματά του.

Στη συνέχεια της εργασίας, περιγράφεται η υπό μελέτη εγκατάσταση, καθώς και οι βασικές επιλογές που διαθέτει η επιχείρηση, οι οποίες περιλαμβάνουν την καύση του βιοαερίου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή την αναβάθμισή του σε βιομεθάνιο και την εκμετάλλευσή του. Αν επιλεγεί η αναβάθμιση του βιοαερίου σε βιομεθάνιο, υπάρχουν εναλλακτικές που οδηγούν σε διαφορετικό κέρδος η κάθε μία. Οι επιλογές αυτές αφορούν είτε την καύση του βιομεθανίου σε μηχανή συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής απόδοσης, είτε την έγχυση του αναβαθμισμένου βιοαερίου στο δίκτυο φυσικού αερίου είτε την πώληση του βιομεθανίου ως καύσιμο οχημάτων. Μελετώνται όλες οι εναλλακτικές περιπτώσεις ώστε να υπολογιστεί το καθαρό όφελος της επιχείρησης από την κάθε επιλογή, ενώ παράλληλα γίνεται μια παραμετρική ανάλυση ως προς το κόστος αναβάθμισης το βιοαερίου σε βιομεθάνιο, το οποίο αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τις περισσότερες επιλογές.

Η τελική απόφαση θα πρέπει να βασίζεται στις οικονομικές απολαβές της υπό μελέτη επιχείρησης, αλλά δίνονται και προοπτικές για την εξέταση και άλλων παραμέτρων που μπορούν να συνεισφέρουν στην τελική επιλογή. Η διερεύνηση πραγματοποιείται τόσο για τις Feed -In τιμές τιμολογίου (FIT) όσο για τις οριακές τιμές του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Για τις τιμές αυτές παρουσιάζεται το ποσό που αναμένεται να διεισδύσει στο δίκτυο του φυσικού αερίου ή να πωληθεί ως καύσιμο οχημάτων. Τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν ύστερα από τη μελέτη, καθώς και προοπτικές που αν υλοποιηθούν θα οδηγήσουν σε ακόμη μεγαλύτερο οικονομικό όφελος για την επιχείρηση.

**Λέξεις κλειδιά:** Βιοαέριο, Μέθοδοι αναβάθμισης, Βιομεθάνιο, Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας, Έγχυση στο δίκτυο φυσικού αερίου, Καύσιμο οχημάτων

## Abstract

The contribution of Renewable Energy Sources in the power production has significantly increased due to the favorable Feed-in Tariffs (FIT). Biogas is one of the renewable energy sources, produced at landfills, which is rich on methane. The aim of this thesis is to create a decision support methodology, which provides the most advantageous, economically speaking, option of biogas exploitation. First of all, the use of biomass in electricity production, as well as the technologies provided are presented. Secondly, this thesis focuses on biogas and biomethane, presenting their production stages and their uses, as well as examples of such installations.

In the next chapter the installation under study, as well as the main options available to the company, including the biogas combustion for electricity production or its upgrading to biomethane are presented. There are different alternatives concerning the exploitation of the upgraded biomethane, such as biomethane combustion for combined heat and power production, injection into the natural gas network or selling as fuel vehicle. For each case, the company's profit is calculated. Moreover, a parametric analysis for the influence of the upgrading cost, which is a key factor for the final decision, is realized.

The final decision should be based on the economic rewards of the company under study, but also other factors that could contribute to the final economic result are mentioned. The investigation is carried out for Feed-in Tariffs, as well as for the System's Marginal Prices. The amount of biomethane that is injected to the network or is sold as vehicle fuel is also calculated. Finally the conclusions of the study as well as topics for further research that could contribute to an even greater economic profit are presented.

**Keywords:** *Biogas, Upgrading methods, Biomethane, Combined Heat and Power, Injection into the natural gas network, Vehicle fuel.*

## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	1
Abstract .....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:Εισαγωγή .....	16
1.1 Γενικά στοιχεία.....	16
1.2 Διατύπωση προβλήματος .....	19
1.3 Σκοπός εργασίας.....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:Βιομάζα και Ηλεκτροπαραγωγή .....	21
2.1 Εισαγωγή .....	21
2.2 Ιστορική αναδρομή και τάσεις.....	22
2.3 Πρώτες ύλες.....	24
2.4 Δυναμικό και αξιοποίηση βιομάζας .....	27
2.5 Τεχνολογίες μετατροπής βιομάζας.....	30
2.5.1 Θερμοχημικές Μέθοδοι.....	31
2.5.2 Τεχνολογία σύγχρονης καύσης βιομάζας (Biomass co-firing).....	33
2.5.3 Βιοχημική Επεξεργασία .....	36
2.6 Εφαρμογές της ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας .....	39
2.7 Ηλεκτροπαραγωγή από Βιομάζα .....	46
2.7.1 Μονάδες παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού με βιομάζα .....	48
2.7.2 Παραδείγματα εγκαταστάσεων βιομάζας.....	49
2.8 Προοπτικές χρήσης βιομάζα .....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3::Παραγωγή και Χρήση Βιοαερίου .....	53
3.1 Χημική Σύσταση .....	53
3.2 Υποστρώματα και μονάδες για την παραγωγή βιοαερίου .....	55
3.3 Στάδια Παραγωγής Βιοαερίου.....	58
3.4 Χρήσεις βιοαερίου .....	62
3.4.1 Πλεονεκτήματα και οφέλη από τη χρήση του βιοαερίου.....	63
3.5 Εγκαταστάσεις χρήσης βιοαερίου ανά τον κόσμο .....	64
3.6 Εγκαταστάσεις χρήσης βιοαερίου στην Ελλάδα .....	65
3.7 Δυναμικό παραγωγής βιοαερίου .....	67
3.8 Προοπτικές βιοαερίου .....	68

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Παραγωγή και Χρήση Βιομεθανίου.....</b>	<b>70</b>
<b>4.1 Παραγωγή Βιομεθανίου .....</b>	<b>70</b>
<b>4.2 Στάδια παραγωγής βιομεθανίου από βιοαέριο ΑΧ.....</b>	<b>72</b>
<b>4.3 Τεχνολογίες καθαρισμού και αναβάθμισης βιοαερίου .....</b>	<b>75</b>
4.3.1 Κόστος τεχνολογιών καθαρισμού και αναβάθμισης σε βιομεθάνιο .....	76
<b>4.4 Χρήση Βιομεθανίου στην Ευρώπη και παγκοσμίως .....</b>	<b>77</b>
4.4.1 Κίνηση οχημάτων .....	77
4.4.2 Έγχυση Βιομεθανίου στο Δίκτυο Φ.Α. ....	79
<b>4.5 Τεχνικές απαιτήσεις για την έγχυση στο δίκτυο .....</b>	<b>81</b>
4.5.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα έγχυσης βιομεθανίου στο δίκτυο.	82
<b>4.6 Παραγωγή Βιομεθανίου στην Ελλάδα.....</b>	<b>83</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Σενάρια ηλεκτροπαραγωγής με βιοαέριο και έγχυσης στο δίκτυο φυσικού αερίου.....</b>	<b>84</b>
<b>5.1 Εισαγωγή.....</b>	<b>84</b>
<b>5.2 Σχηματικό διάγραμμα εγκατάστασης αξιοποίησης βιοαερίου .....</b>	<b>88</b>
<b>5.3 Καμπύλες κατανάλωσης καυσίμου.....</b>	<b>89</b>
5.3.1 Βιοαέριο.....	89
5.3.2 Φυσικό αέριο .....	90
5.3.3 Μέγιστη και ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα βιοαερίου .....	91
<b>5.4 Κοστολόγηση φυσικού αερίου .....</b>	<b>91</b>
<b>5.5 Τιμές αγοράς Ηλεκτρισμού.....</b>	<b>91</b>
<b>5.6 Έγχυση στο δίκτυο .....</b>	<b>93</b>
5.6.1 Σύστημα Αναβάθμισης.....	94
<b>5.7 Επιμέρους Βήματα και Αποτελέσματα .....</b>	<b>96</b>
5.7.1 Ελάχιστη τιμή έγχυσης βιοαερίου για να προτιμηθεί έναντι της παραγωγής ηλεκτρισμού .....	96
5.7.2 Επιπρόσθετα κόστη Φ.Α. ....	96
5.7.3 Πωλούμενη ποσότητα στο Δίκτυο Φυσικού Αερίου .....	97
5.7.4 Σύγκριση τιμών φυσικού αερίου.....	99
5.7.5 Μεταβολή εσόδων λόγω της υιοθέτησης ΟΤΣ σε σχέση με τη FIT (Feed-in-Tariff) .....	99
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Σενάρια χρήσης αναβαθμισμένου βιομεθανίου σε ΣΗΘΥΑ.....</b>	<b>102</b>

<b>6.1 Σενάριο Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ) με νέα Feed-in Tariff (FIT).....</b>	<b>102</b>
6.1.1 1 <sup>ο</sup> Υποσενάριο: Εκμετάλλευση της παραγόμενης θερμότητας για γεωργικούς σκοπούς.....	109
6.1.2 2 <sup>ο</sup> Υποσενάριο: Εκμετάλλευση της παραγόμενης θερμότητας για εξοικονόμηση καυσίμου.....	115
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:Μεταβολή του κόστους αναβάθμισης .....</b>	<b>121</b>
7.1.1 1 <sup>ο</sup> υποσενάριο: Σύγκριση κέρδους από ΣΗΘΥΑ σε κάθε περίπτωση .	121
7.1.2 Εκμετάλλευση της παραγόμενης θερμότητας για γεωργικούς σκοπούς... ..	129
7.1.3 Εκμετάλλευση της παραγόμενης θερμότητας για εξοικονόμηση καυσίμου.....	135
7.1.4 2 <sup>ο</sup> υποσενάριο: Έγχυση βιομεθανίου στο δίκτυο για κάθε κόστος αναβάθμισης σε σχέση με την FIT (παραγωγής ηλ. ενέργειας με βιοαέριο) .....	139
7.1.5 3 <sup>ο</sup> υποσενάριο: Έγχυση βιομεθανίου στο δίκτυο με διαφορετικό κόστος αναβάθμισης σε σχέση με την FIT (ΣΗΘΥΑ).....	143
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ..Χρήση του αναβαθμισμένου βιομεθανίου ως καύσιμο οχημάτων .....</b>	<b>146</b>
8.1.1 Εισαγωγή στην τεχνολογία.....	146
8.1.2 Σημερινή κατάσταση.....	148
8.1.3 Προοπτικές υιοθέτησης αεριοκίνησης .....	150
8.1.4 Οικονομικά στοιχεία σεναρίου .....	151
8.1.5 1 <sup>ο</sup> υποσενάριο: Διανομή του βιομεθανίου με ειδικά βυτία .....	152
8.1.6 2 <sup>ο</sup> Υποσενάριο: Εναλλακτική διανομή με σωληνώσεις.....	154
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9:Συμπεράσματα και Προοπτικές .....</b>	<b>156</b>
9.1 Συμπεράσματα.....	156
9.2 Μελλοντικές προοπτικές .....	160
<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>162</b>
<b>Παράρτημα .....</b>	<b>166</b>

## Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1.1: Σύνθεση των αστικών απορριμμάτων στην Ελλάδα (Θεοχάρη Χ., 2006)	18
Εικόνα 2.1: Διαδικασία παραγωγής βιομάζας ( <a href="http://www.biomassenergy.gr">http://www.biomassenergy.gr</a> )	22
Εικόνα 2.2: Συμμετοχή των Περιφερειών στην ετήσια παραγωγή Α.Σ.Α. (Μπουρτσάλας Αθ., 2011)	26
Εικόνα 2.3: Ποιοτική σύσταση ΑΣΑ για τις Περιφέρειες της Ελλάδος (ΤΕΕ 2006)	27
Εικόνα 2.4: Παγκόσμια ζήτηση ενέργειας και δυναμικό κάλυψης από βιομάζα (IEA 2009 Bioenergy)	28
Εικόνα 2.5: Ποσότητα της βιομάζας που χρησιμοποιείται και το δυναμικό της στις περισσότερες περιοχές του κόσμου (IEA 2009 Bioenergy)	29
Εικόνα 2.6: Μερίδιο βιοενέργειας στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας (Κούκιος Ε. 2010)	30
Εικόνα 2.7: Παρουσίαση όλων των διαδικασιών μετατροπής βιομάζας (Κατσίρη Α. 2011)	31
Εικόνα 2.8: Θερμοχημικές τεχνολογίες μετατροπής βιομάζας και τα αντίστοιχα προϊόντα της (Κούκιος Ε. 2010)	32
Εικόνα 2.9: Χημική αντίδραση που περιγράφει την καύση της βιομάζας (Κούκιος Ε. 2010)	32
Εικόνα 2.10: Βιοχημικές τεχνολογίες μετατροπής βιομάζας (Ζαφείρης Χ. 2003)	37
Εικόνα 2.11: Σχηματικό διάγραμμα διαδικασίας ζύμωσης βιομάζας και τα αντίστοιχα προϊόντα της (Ζαφείρης Χ. 2003)	37
Εικόνα 2.12: Τα κύρια βήματα της αναερόβιας χώνευσης (Κούκιος Ε. 2010)	39
Εικόνα 2.13: Ενδεικτικό διάγραμμα εγκατάστασης αξιοποίησης βιοαερίου (Γεράσιμος Μαρτζόπουλος, 2004)	40
Εικόνα 2.14: Μονάδα Συμπααραγωγής με χρήση βιομάζας στη Βοιωτία (Κ.Α.Π.Ε.)	42
Εικόνα 2.15: Λέβητας Βιομάζας για θέρμανση θερμοκηπίων στο νόμο Σερρών ( <a href="http://www.cres.gr">www.cres.gr</a> )	44
Εικόνα 2.16: Ενδεικτικό διάγραμμα τηλεθέρμανσης από σταθμό ηλεκτροπαραγωγής ( <a href="http://www.alteren.gr/viomaza.asp">www.alteren.gr/viomaza.asp</a> )	45
Εικόνα 2.17: Μονάδα ΣΗΘ που λειτουργεί με αέριο ΧΥΤΑ για σύστημα Τηλεθέρμανσης στη Σουηδία ( <a href="http://www.alteren.gr/viomaza.asp">www.alteren.gr/viomaza.asp</a> )	45
Εικόνα 2.18: Διάγραμμα Sankey για τις ροές ενέργειας και απώλειες από την πρωτογενή ύλη μέχρι την εκάστοτε τελική χρήση (Κακαράς Ε., 2010)	48
Εικόνα 2.19: Εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση βιομάζας στην Σκωτία (Κακαράς Ε., 2010)	49



Εικόνα 2.20: Φωτογραφία της μονάδας Skelleftea Kraft στη Σουηδία (Κακαράς Ε., 2010).....	50
Εικόνα 2.21: Σχηματικό διάγραμμα της εγκατάστασης και των επιμέρους τμημάτων που την απαρτίζουν (Κακαράς Ε., 2010) .....	50
Εικόνα 2.22: Φωτογραφία και εσωτερική άποψη της μονάδας Avedore Unit στη Δανία (Κακαράς Ε., 2010).....	51
Εικόνα 3.1: Μοριακή δομή των αντιδρώντων και των προϊόντων της καύσης (www.biofuels.gr) .....	53
Εικόνα 3.2: Εγκατάσταση βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος στη Δανία, για συγχώνευση ζωικών πολτών και ενεργειακών καλλιεργειών (groengas.nl) .....	56
Εικόνα 3.3: Εγκατάσταση βιοαερίου στη Γερμανία, που επεξεργάζεται κοπριάς από χοίρους, πουλερικά και σωρούς χόρτων (www.kriegfischer.de).....	56
Εικόνα 3.4: Εγκατάσταση βιοαερίου στη Γερμανία που κατασκευάστηκε το 2005 για την χώνευση ενεργειακών καλλιεργειών (www.kriegfischer.de ).....	57
Εικόνα 3.5: Κύρια βήματα διεργασίας παραγωγής βιοαερίου (Σιούλας Κ. ΚΑΠΕ) ..	58
Εικόνα 3.6: Γενικό διάγραμμα ροής της διεργασίας παραγωγής του βιοαερίου (Σιούλας Κ. ΚΑΠΕ) .....	59
Εικόνα 3.7: Ολοκληρωμένη μονάδα βιοαερίου (Γιακουμέλος Α. 2012).....	60
Εικόνα 3.8: Σύστημα αποθήκευσης βιοαερίου (Γιακουμέλος Α. 2012).....	60
Εικόνα 3.9: Ενεργειακή αξιοποίηση βιοαερίου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας (www.jenbacher.com) .....	61
Εικόνα 3.10: Σχηματική αναπαράσταση του κλειστού κύκλου της συγκεντρωμένης αναερόβιας χώνευσης (Al Seadi et al., 2001).....	61
Εικόνα 3.11: Εγκατάσταση μονάδας βιοαερίου στη Δανία (www.lemvigbiogas.dk) ..	62
Εικόνα 3.12: Χρήσεις βιοαερίου (Σιούλας Κ. ΚΑΠΕ) .....	62
Εικόνα 3.13: Μονάδα βιοαερίου στα Α. Λιόσια δυναμικότητας 23,5 MW (www.helektor.gr) .....	66
Εικόνα 3.14: Μονάδα βιοαερίου στη Ψυτάλλεια δυναμικότητας 11,4 MW (www.rae.gr).....	66
Εικόνα 3.15: Μονάδα βιοαερίου στους Ταγαράδες δυναμικότητας 5 MW (www.helektor.gr).....	67
Εικόνα 3.16: Ο ευρωπαϊκός χάρτης του φυσικού αερίου και πιθανοί διάδρομοι (κίτρινα) κατάλληλοι για την παραγωγή βιοαερίου και την έγχυση βιομεθανίου (Rutz D. et al. 2008).....	68
Εικόνα 3.17: Διαδικασία ελέγχου καυσασερίων (www.dvgw.de).....	69

Εικόνα 4.1: Σχηματική αναπαράσταση παραγωγής βιοαερίου με αεριοποίηση (Swedish Gas Centre 2001) .....	70
Εικόνα 4.2: Παραγωγή βιοκαυσίμων 1ης και 2ης γενιάς από βιοαέριο (www.lemvigbiogas.dk) .....	71
Εικόνα 4.3: Στατιστικά στοιχεία παραγωγής βιομεθανίου (http://www.biofuelstp.eu/biogas.html#sust).....	72
Εικόνα 4.4: Μονάδα διαχωρισμού CH <sub>4</sub> / CO <sub>2</sub> μέσω προσρόφησης με εναλλαγή πίεσης έξι δοχείων (Severn Wye Energy Agency) .....	74
Εικόνα 4.5: Αναβάθμιση βιοαερίου στο Laholm της Σουηδίας με παροχή – 250 m <sup>3</sup> /h (Jonsson O. 2008).....	74
Εικόνα 4.6: Εγκατάσταση συστήματος PSA μονάδας βιομεθανίου στο Pliening της Γερμανίας (Rutz et al. 2008).....	75
Εικόνα 4.7: Μονάδες αναβάθμισης βιοαερίου με απορρόφηση Selexol στη Σουηδία (Jonsson O. 2008).....	76
Εικόνα 4.8: Κόστος αναβάθμισης βιοαερίου σε βιομεθάνιο ανάλογα με τη δυναμικότητα της μονάδας (ELECTRIGAZ).....	77
Εικόνα 4.9: Σύγκριση των βιοκαυσίμων μεταφορών σε σχέση με την απόσταση που καλύπτεται από ένα αυτοκίνητο (www.biofuels.gr) .....	79
Εικόνα 4.10: Σύνδεση αγωγού με το δίκτυο του φυσικού αερίου (www.dvgw.de ) ..	81
Εικόνα 5.1: Σχηματική αναπαράσταση όλων των εναλλακτικών διαδρομών του βιοαερίου που θα εξεταστούν στην παρούσα εργασία.....	85
Εικόνα 5.2 MEK τύπου Deutz TBG 620K.....	86
Εικόνα 5.3: MEK τύπου Jenbacher JMS 620-L.L .....	87
Εικόνα 5.4: Σχηματικό διάγραμμα εγκατάστασης αξιοποίησης βιοαερίου και των αντίστοιχων επιλογών παραγωγής ηλεκτρισμού ή έγχυσης βιομεθανίου στο δίκτυο Φ.Α. ....	89
Εικόνα 5.5: Καμπύλη κατανάλωσης καυσίμου βιοαερίου για μία μηχανή Deutz.....	90
Εικόνα 5.6: Καμπύλη κατανάλωσης καυσίμου φυσικού αερίου για μία μηχανή Deutz .....	90
Εικόνα 5.7: Καμπύλη διάρκειας ΟΤΣ .....	92
Εικόνα 5.8: Διακύμανση της μέσης τιμής MWh για κάθε ώρα της ημέρας.....	92
Εικόνα 5.9: Διακύμανση της μέσης τιμής MWh για μήνα του έτους.....	93
Εικόνα 5.10: Σχηματικό διάγραμμα ιδέας υλοποίησης.....	94
Εικόνα 6.1: Καμπύλη διάρκειας Οριακής Τιμής Συστήματος (Ο.Τ.Σ.) για το 2014.....	105

Εικόνα 6.2: Σύγκριση κέρδους επιχείρησης σε κάθε περίπτωση τιμής πώλησης ως προς το κέρδος από την FIT της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο....	108
Εικόνα 6.3: Σύγκριση κέρδους επιχείρησης σε κάθε περίπτωση τιμής πώλησης ως προς το κέρδος ΣΗΘΥΑ για γεωργικά σε συνδυασμό με συμφέρουσες ΟΤΣ.....	114
Εικόνα 6.4: Σύγκριση κέρδους επιχείρησης σε κάθε περίπτωση τιμής πώλησης ως προς το κέρδος ΣΗΘΥΑ με πλεόνασμα παραγωγής από ΣΗΘΥΑ.....	119
Εικόνα 6.5: Σύγκριση κέρδους της επιχείρησης για την καλύτερη περίπτωση κάθε σεναρίου που εξετάστηκε .....	120
Εικόνα 7.1: Σύγκριση κέρδους επιχείρησης για διαχωρισμό με μεμβράνες σε κάθε περίπτωση τιμής πώλησης ως προς το κέρδος από την FIT της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο.....	128
Εικόνα 7.2: Σύγκριση κέρδους επιχείρησης για απορρόφηση νερού σε κάθε περίπτωση τιμής πώλησης ως προς το κέρδος από την FIT της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο.....	128
Εικόνα 7.3: Σύγκριση κέρδους επιχείρησης για χημική απορρόφηση σε κάθε περίπτωση τιμής πώλησης ως προς το κέρδος από την FIT της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο.....	129
Εικόνα 7.4: Σύγκριση κέρδους επιχείρησης σε κάθε περίπτωση τιμής πώλησης με αναβάθμιση με διαχωρισμό με μεμβράνες ως προς το κέρδος της ηλεκτροπαραγωγής από βιοαέριο με αποζημίωση στη FIT .....	134
Εικόνα 7.5: Σύγκριση κέρδους επιχείρησης σε κάθε περίπτωση τιμής πώλησης με αναβάθμιση με απορρόφηση νερού ως προς το κέρδος της ηλεκτροπαραγωγής από βιοαέριο με αποζημίωση στη FIT .....	134
Εικόνα 7.6: Σύγκριση κέρδους επιχείρησης σε κάθε περίπτωση τιμής πώλησης με αναβάθμιση με χημική απορρόφηση ως προς το κέρδος της ηλεκτροπαραγωγής από βιοαέριο με αποζημίωση στη FIT .....	135
Εικόνα 7.7: Σύγκριση κέρδους επιχείρησης σε κάθε περίπτωση τιμής πώλησης με αναβάθμιση με διαχωρισμό με μεμβράνες ως προς το κέρδος της ηλεκτροπαραγωγής από βιοαέριο με αποζημίωση στη FIT .....	138
Εικόνα 7.8: Σύγκριση κέρδους επιχείρησης σε κάθε περίπτωση τιμής πώλησης με αναβάθμιση με απορρόφηση νερού ως προς το κέρδος της ηλεκτροπαραγωγής από βιοαέριο με αποζημίωση στη FIT .....	138
Εικόνα 7.9: Σύγκριση κέρδους επιχείρησης σε κάθε περίπτωση τιμής πώλησης με αναβάθμιση με χημική απορρόφηση ως προς το κέρδος της ηλεκτροπαραγωγής από βιοαέριο με αποζημίωση στη FIT .....	139
Εικόνα 7.10: Σύγκριση επιθυμητής τελικής τιμής αναβάθμισης βιοαερίου σε βιομεθάνιο με την τιμή προμήθειας της ΕΠΑ από τη ΔΕΠΑ, αναλόγως με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο αναβάθμισης .....	141

Εικόνα 7.11: Σύγκριση επιθυμητής τελικής τιμής αναβάθμισης βιοαερίου σε βιομεθάνιο με την τιμή προμήθειας της ΕΠΑ από τη ΔΕΠΑ, αναλόγως με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο αναβάθμισης .....	144
Εικόνα 8.1: Σταθμός ανεφοδιασμού λεωφορείων της ΕΘΕΛ με CNG ( <a href="http://www.gpeppas.gr/4x4/faerio.html">http://www.gpeppas.gr/4x4/faerio.html</a> ) .....	146
Εικόνα 8.2: Passat 1.4 Ecofuel με χρήση CNG ( <a href="http://www.gpeppas.gr/4x4/faerio.html">http://www.gpeppas.gr/4x4/faerio.html</a> ) .....	150

## Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1.1: Σύσταση και θερμογόνος δύναμη απορριμμάτων (Θεοχάρη Χ., 2006)	18
Πίνακας 2.1: Διαχρονική εξέλιξη Α.Σ.Α. Περιφέρειας Αττικής (τόνοι το έτος) (ΤΕΕ 2006).....	26
Πίνακας 2.2: Ποιοτική σύσταση των Α.Σ.Α. Αττικής (ΤΕΕ 2006).....	27
Πίνακας 2.3: Διαθέσιμο δυναμικό βιομάζας σε παγκόσμια κλίμακα – 2050 (Κατσίρη Α. 2011).....	28
Πίνακας 3.1: Τυπική χημική σύσταση του βιοαερίου ( <a href="http://www.biomassenegy.gr">www.biomassenegy.gr</a> ) .....	54
Πίνακας 4.1: Σύσταση βιοαερίου, βιομεθανίου και αερίου σύνθεσης ( <a href="http://www.dvgw.de">www.dvgw.de</a> ) .....	70
Πίνακας 4.2: Ενδεικτικό κόστος μεθόδων καθαρισμού βιοαερίου (ELECTRIGAZ)	77
Πίνακας 4.3: Χαρακτηριστικά βιομεθανίου κίνησης στη Σουηδία, βάσει προδιαγραφών SS 155438 (Swedish Gas Centre 2001).....	78
Πίνακας 4.4: Ποιοτικές απαιτήσεις για την έγχυση του βιοαερίου στο δίκτυο του φυσικού αερίου της ΕΕ (Marcogaz, 2006) .....	80
Πίνακας 5.1: Συγκεντρωτικός πίνακας σύγκρισης κερδών ηλεκτρισμού FIT-ΟΤΣ...	99
Πίνακας 6.1: Feed-in Tariff για ΣΗΘΥΑ, κόστος αναβάθμισης βιοαερίου και καθαρή τιμή αποζημίωσης .....	104
Πίνακας 6.2: Υπολογισμός κέρδους της επιχείρησης από ΣΗΘΥΑ με αποζημίωση στην FIT.....	104
Πίνακας 6.3: Σύγκριση κέρδους από τη ΣΗΘΥΑ με αποζημίωση στην FIT με κέρδος από παραγωγή ηλεκτρισμού και αποζημίωση στην ΟΤΣ .....	106
Πίνακας 6.4: Σύγκριση κέρδους από τη ΣΗΘΥΑ με αποζημίωση στην FIT με κέρδος από παραγωγή ηλεκτρισμού και αποζημίωση στην προηγούμενη FIT .....	106
Πίνακας 6.5: Κέρδος από ΣΗΘΥΑ σε συνδυασμό με συμφέρουσες ΟΤΣ ηλεκτρικής ενέργειας.....	107
Πίνακας 6.6: Σύγκριση κέρδους για τις τέσσερις περιπτώσεις που εξετάστηκαν .....	108
Πίνακας 6.7: Feed-in Tariff για ΣΗΘΥΑ με γεωργικά, κόστος αναβάθμισης βιοαερίου και καθαρή τιμή αποζημίωσης.....	110
Πίνακας 6.8: Υπολογισμός κέρδους της επιχείρησης από ΣΗΘΥΑ με γεωργικά με αποζημίωση στην αυξημένη FIT .....	111
Πίνακας 6.9: Σύγκριση κέρδους από ΣΗΘΥΑ για γεωργικές δραστηριότητες με αποζημίωση στην αυξημένη FIT με κέρδος από παραγωγή ηλεκτρισμού και αποζημίωση στην ΟΤΣ.....	112

Πίνακας 6.10: Σύγκριση κέρδους από τη ΣΗΘΥΑ για γεωργικές δραστηριότητες με αποζημίωση στην αυξημένη FIT με κέρδος από παραγωγή ηλεκτρισμού και αποζημίωση στην προηγούμενη FIT.....	112
Πίνακας 6.11: Κέρδος από ΣΗΘΥΑ για γεωργικά σε συνδυασμό με συμφέρουσες ΟΤΣ ηλεκτρικής ενέργειας .....	113
Πίνακας 6.12: Σύγκριση κέρδους για τις τέσσερις περιπτώσεις που εξετάστηκαν ...	114
Πίνακας 6.13: Υπολογισμός ειδικής θερμοχωρητικότητας καυσαερίων .....	116
Πίνακας 6.14: Σύγκριση κέρδους για όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν.....	118
Πίνακας 7.1: Κόστος αναβάθμισης και καθαρή τιμή αποζημίωσης ΣΗΘΥΑ για κάθε μέθοδο αναβάθμισης .....	122
Πίνακας 7.2: Ετήσιο κέρδος από ΣΗΘΥΑ ανάλογα με τη μέθοδο αναβάθμισης .....	124
Πίνακας 7.3: Υπολογισμός κέρδους από ΣΗΘΥΑ σε συνδυασμό με συμφέρουσες ΟΤΣ .....	126
Πίνακας 7.4: Σύγκριση κέρδους για τις τέσσερις περιπτώσεις που εξετάστηκαν ανάλογα με τη μέθοδο αναβάθμισης.....	127
Πίνακας 7.5: Κόστος αναβάθμισης και καθαρή τιμή αποζημίωσης ΣΗΘΥΑ για κάθε μέθοδο αναβάθμισης .....	130
Πίνακας 7.6: Ετήσιο κέρδος από ΣΗΘΥΑ για γεωργικά ανάλογα με τη μέθοδο αναβάθμισης .....	131
Πίνακας 7.7: Υπολογισμός κέρδους από ΣΗΘΥΑ για γεωργικά σε συνδυασμό με συμφέρουσες ΟΤΣ.....	132
Πίνακας 7.8: Σύγκριση κέρδους για τις τέσσερις περιπτώσεις που εξετάστηκαν ανάλογα με τη μέθοδο αναβάθμισης.....	133
Πίνακας 7.9: Κέρδη με χρήση εξοικονόμησης καυσίμου για παραγωγή επιπλέον ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από ΣΗΘΥΑ.....	135
Πίνακας 7.10: Κέρδη με χρήση εξοικονόμησης καυσίμου για παραγωγή επιπλέον ηλεκτρικής ενέργειας με αποζημίωση στην ΟΤΣ .....	136
Πίνακας 7.11: Σύγκριση κέρδους για τις τέσσερις περιπτώσεις που εξετάστηκαν ανάλογα με τη μέθοδο αναβάθμισης.....	137
Πίνακας 7.12: Επιμέρους κόστη για την αναβάθμιση του βιοαερίου σε βιομεθάνιο και στη συνέχεια στην έγχυση του στο δίκτυο .....	140
Πίνακας 7.13: Κόστος διαφορετικών μεθόδων αναβάθμισης σε €/Nm <sup>3</sup> και σε €/MWh .....	141
Πίνακας 7.14: Τιμές φυσικού αερίου ανηγμένες σε €/MWh <sub>el</sub> .....	142

Πίνακας 7.15: Επιμέρους κόστη για την έγχυση του αναβαθμισμένου βιομεθανίου στο δίκτυο φυσικού αερίου ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο αναβάθμισης .....	144
Πίνακας 8.1: Τιμές λιανικής πώλησης CNG (( <a href="http://www.depa.gr/content/article/002003003/11.html">http://www.depa.gr/content/article/002003003/11.html</a> ).....	151
Πίνακας 8.2: Ενδεικτικές τιμές πώλησης φυσικού αερίου από την επιχείρηση σε €/kg .....	152
Πίνακας 8.3: Κόστος διανομής και μεταφοράς φυσικού αερίου ως καύσιμο οχημάτων (Max Ahman 2010) .....	152
Πίνακας 8.4: Κέρδη επιχείρησης από πώληση του βιομεθανίου ως καύσιμο οχημάτων .....	153
Πίνακας 8.5: Κόστος επιλογής κρυογονικού διαχωρισμού (Max Ahman 2010) .....	154
Πίνακας 8.6: Κόστος διανομής με σωληνώσεις (Max Ahman 2010).....	154
Πίνακας 8.7: Κέρδη επιχείρησης από πώληση του βιομεθανίου ως καύσιμο οχημάτων .....	155

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

## 1.1 Γενικά στοιχεία

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) συγκεντρώνουν το παγκόσμιο ενδιαφέρον όσον αφορά το μέλλον της αγοράς ενέργειας, παράλληλα με την αντικατάσταση των συμβατικών μονάδων, με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος και τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>, καθώς και την κάλυψη της απαιτούμενης ζήτησης ενέργειας. Σημαντικός είναι και ο ρόλος της βιομάζας προς την κατεύθυνση αυτή, και ιδιαίτερα του βιοαερίου, το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί με διάφορους τρόπους. Στην παρούσα εργασία το βιοαέριο που μελετάται προέρχεται από το Χώρο Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.).

Η διαχείριση των απορριμμάτων αποτελεί ένα από τα πλέον σύνθετα και δύσκολα προβλήματα που καλείται να αντιμετωπίσει η χώρα μας, όπως και κάθε σύγχρονη κοινωνία. Με τα σημερινά δεδομένα, στη χώρα μας παράγουμε κάθε χρόνο περίπου 4,8 εκατομμύρια τόνους αστικών στερεών απορριμμάτων (απορρίμματα που προέρχονται από κατοικίες και εμπορικές δραστηριότητες), χωρίς να συμπεριλαμβάνονται στις ποσότητες αυτές τα απόβλητα της γεωργίας, του οικοδομικού τομέα και της βιομηχανίας. Αυτό σημαίνει ότι κάθε κάτοικος αυτής της χώρας παράγει κατά μέσο όρο 480 κιλά αστικά απορρίμματα ετησίως. (Μπουρτσάλας Αθ., 2011)

Τα απορρίμματα δεν είναι τίποτε άλλο από υλικά ή αντικείμενα που βρίσκονται σε στερεή ή ημιστερεή κατάσταση - περιέχουν, δηλαδή, αρκετή υγρασία - και, τα οποία ο άνθρωπος θεωρεί άχρηστα, δηλαδή ότι δεν έχουν απολύτως καμία χρησιμότητα και αξία. Ωστόσο η χρηστική αξία ενός υλικού ή αντικειμένου διαφέρει πολύ σε σχέση με το χρόνο, τον τόπο, τον πολιτισμό, το οικονομικό και το εκπαιδευτικό επίπεδο του ανθρώπου, το ιδεολογικό υπόβαθρο, το αισθητικό κριτήριο, την ψυχοσύνθεση και πολλούς ακόμα παράγοντες.

Τα τελευταία χρόνια λόγω της ανάπτυξης των μεγάλων αστικών κέντρων, της συνεχούς αύξησης του τουριστικού ρεύματος, της ανόδου του βιοτικού επιπέδου και κατ' επέκταση της αλλαγής των καταναλωτικών συνηθειών παρατηρείται μια τάση σημαντικής αύξησης της παραγωγής των αστικών απορριμμάτων, με ταυτόχρονη αλλαγή της ποιοτικής τους σύστασης (αύξηση των επικίνδυνων και τοξικών απορριμμάτων, εμφάνιση σύνθετων υλικών συσκευασίας, κ.λπ.), ενώ παράλληλα παρατηρείται όλο και μεγαλύτερο πρόβλημα στην εξεύρεση και αποδοχή χώρων για τη διαχείρισή τους.

Εκτός αυτού, μεγάλες ποσότητες χρήσιμων υλικών όπως χαρτί, γυαλί, αλουμίνιο, πλαστικό, μέταλλα, ξύλο χάνονταν, ενώ θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν είτε με την επαναχρησιμοποίησή τους είτε με την ανακύκλωση και τη χρήση τους σε νέες εφαρμογές, εξοικονομώντας έτσι τεράστιες ποσότητες πρώτων υλών και ενέργειας. Οι σύγχρονες αντιλήψεις και πρακτικές για τη διαχείριση των αστικών στερεών αποβλήτων υπαγορεύουν πλέον σχεδιασμό και υλοποίηση ολοκληρωμένων



συστημάτων, με βασικούς στόχους την αειφόρο ανάπτυξη και την αποτελεσματική διαχείριση και εξοικονόμηση φυσικών πόρων και ενέργειας. Το κέντρο βάρους έχει μετατοπιστεί καθαρά προς την πρόληψη της παραγωγής αποβλήτων, την ανακύκλωση και προς την μείωση των επικίνδυνων συστατικών των αποβλήτων (Θεοχάρη Χ., 2006).

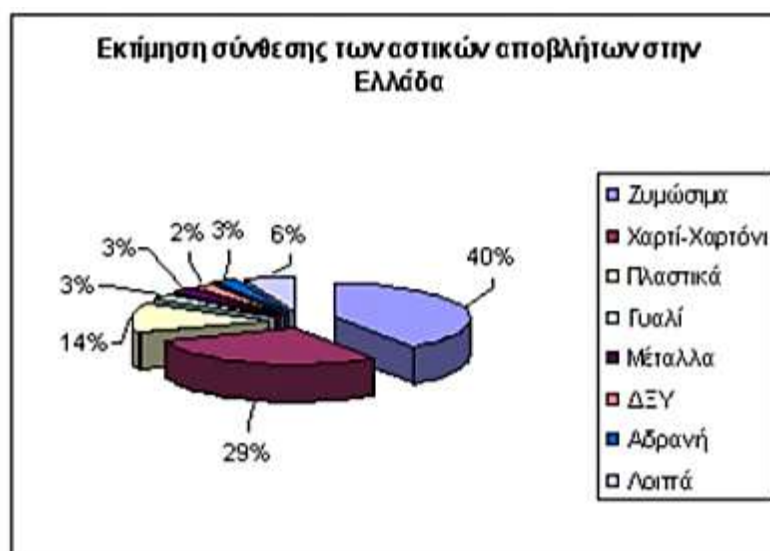
Τα απορρίμματα μπορούν να ταξινομηθούν σε 4 ευρείες κατηγορίες:

αστικά, βιομηχανικά, αγροτικά και μεταλλευτικά – λατομικά.

Τα αστικά απορρίμματα περιλαμβάνουν αυτά που παράγονται, ως επί το πλείστον, εντός ενός οικισμού, εξαιρουμένων των εργοστασίων, βιοτεχνιών και βιομηχανιών που μπορεί να βρίσκονται μέσα στον οικισμό. Τα αστικά απορρίμματα διακρίνονται σε:

- οικιακά, τα οποία παράγονται μέσα στο σπίτι αλλά και στον κήπο όπως υπολείμματα τροφής (ζυμώσιμα), χαρτιά, γυαλιά, πλαστικά, υφάσματα, κονσερβοκούτια, κουτιά αναψυκτικών, άλλα μέταλλα, διάφορες συσκευασίες, μπαταρίες, στάχτες, απορρίμματα κηπουρικής (ξύλα, φύλλα, χώματα, κλπ), ακόμα και λάστιχα αυτοκινήτων, ψυγεία, πλυντήρια, τηλεοράσεις, κουτιά από φάρμακα, είδη Η/Υ και άλλα πολλά.
  - εμπορικά, τα οποία παράγονται από εμπορικά καταστήματα, γραφεία, ξενοδοχεία, εστιατόρια, κ.ά. Συνήθως αποτελούνται από χαρτιά, υπολείμματα τροφής, πλαστικά, γυαλιά, μέταλλα, υφάσματα κ.ά.
  - νοσοκομειακά, τα οποία είναι τα απορρίμματα των νοσοκομείων, ιατρικών κέντρων, κλινικών, ιατρείων, κλπ και συχνά κατατάσσονται ως ανεξάρτητη κατηγορία, διότι ακολουθούν μια ιδιαίτερη επεξεργασία. Περιλαμβάνουν σε μεγάλη αναλογία φαρμακευτικά είδη, όπως κουτιά και μπουκάλια από φάρμακα, γάζες, βαμβάκι, κ.ά.
  - οικοδομών, τα οποία προέρχονται από τις οικοδομικές εργασίες, ανεγέρσεις και κατεδαφίσεις. Τέτοια υλικά είναι, κατά κύριο λόγο, τσιμέντο, ξύλα, μέταλλα (σίδηρο, ατσάλι, κλπ.), νάιλον κ.α., και τέλος
  - δημοτικά τα οποία προκύπτουν από το καθάρισμα των δρόμων, των πάρκων, των ακτών και άλλων περιοχών αναψυχής. Σ' αυτά μπορούμε να συναντήσουμε χαρτιά, πλαστικά, γυαλιά, χόρτα, ξύλα, ακόμα και φύκια.
- (Θεοχάρη Χ., 2006)

Όσον αφορά στην ποιοτική σύσταση των αστικών απορριμμάτων (στο εξής θα αναφέρονται και ως Α.Σ.Α. – Αστικά Στερεά Απορρίμματα), μια μέση ανάλυση για τα ελληνικά δεδομένα σε κατά βάρος ποσοστά μπορεί να είναι η ακόλουθη.



Εικόνα 1.1: Σύνθεση των αστικών απορριμμάτων στην Ελλάδα (Θεοχάρη Χ., 2006)

Πίνακας 1.1: Σύσταση και θερμογόνος δύναμη απορριμμάτων (Θεοχάρη Χ., 2006)

Συστατικό	% κ.β. στα απορρίμματα	Θερμογόνος δύναμη (kcal /kg)
Οργανικά υπολ.	45.0	1000
Χαρτί	20.0	4000
Πλαστικά	14.0	7000
Ξύλο	1.0	4000
Γυαλί	4.0	30
Αλουμίνιο	5.0	160
Σιδηρούχα μέταλλα	2.0	160
Μη σιδηρούχα	1.0	0
Ανόργανα	8.0	500

Η επιλογή μιας αποτελεσματικής μεθόδου διαχείρισης απορριμμάτων στοχεύει στη μείωση των βλαβερών συνεπειών που αυτά έχουν στο περιβάλλον και στον άνθρωπο. Ιδιαίτερα στην Ελλάδα, η μέθοδος που επικράτησε και εφαρμόστηκε μέχρι πολύ πρόσφατα ήταν η εδαφική εναπόθεση, η οποία δεν ήταν πλέον ενδεδειγμένη οπότε και οργανώθηκε καλύτερα το σύστημα συλλογής και μεταφοράς προς Χώρους Υγειονομικής Ταφής (Χ.Υ.Τ.Α.) όπου και θα έπρεπε να λαμβάνει χώρα αποτέφρωση μέρους των Α.Σ.Α. αλλά και ανακύκλωση και λιπασματοποίηση. Παρόλα αυτά, η αυστηρή νομοθεσία σχετικά με την εφαρμογή της εναπόθεσης Α.Σ.Α., η ραγδαία αύξηση της αξίας της γης αλλά και η ανικανότητα ανάκτησης του υλικού και της ενέργειας οδηγούν στην ανάγκη εφαρμογής άλλων μεθόδων. Τέτοιες μπορεί να είναι είτε θερμοχημικές όπως είναι η πυρόλυση, η απευθείας καύση και η αεριοποίηση, είτε βιοχημικές, όπως αλκοολική ζύμωση, αναερόβια και αερόβια χώνευση. (Μπουρτσάλας Αθ., 2011)

Για τα αστικά απόβλητα πρέπει να σημειωθεί ότι στην Ελλάδα ανακυκλώνεται μόλις το 17% και κομποστοποιείται μόλις το 2%. Το υπόλοιπο 81% οδηγείται σε ΧΥΤΑ ή ΧΥΤΥ. Σε αντίθεση με την Ελλάδα, στην Αυστρία κομποστοποιείται το 40% των απορριμμάτων, στην Ιταλία το 32%, ενώ στην Ολλανδία το 28%. (Μπουρτσάλας Αθ., 2011)

## **1.2 Διατύπωση προβλήματος**

Το πρόβλημα που θα εξετάσουμε στην παρούσα εργασία είναι η λειτουργία της μονάδας αξιοποίησης βιοαερίου υπό τη διαχείριση της ΒΕΑΛ στον ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων υπό διάφορες συνθήκες. Για την αποφυγή ύπαρξης ανεκμετάλλετου βιοαερίου στον χώρο, εκτός από τη δυνατότητα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού θερμότητας (ΣΗΘ) και καύσης στους υπάρχοντες πυρσούς καύσης στην εγκατάσταση, υπάρχει η δυνατότητα αξιοποίησης του βιοαερίου και η αναβάθμιση του σε φυσικό αέριο. Η αναβάθμιση αυτή που το μετατρέπει σε βιομεθάνιο, υπό συγκεκριμένες διαδικασίες που ερευνήθηκαν και μελετώνται στην εργασία αυτή μπορεί να οδηγήσει στην χρήση του αερίου για καύσιμο μεταφορών καθώς και διοχέτευση και σύνδεση με το δίκτυο φυσικού αερίου.

## **1.3 Σκοπός εργασίας**

Με τη δυνατότητα έγχυσης του βιομεθανίου στο δίκτυο του φυσικού αερίου που προτείνουμε δίνεται πρόσβαση στο παραγωγό βιοαερίου σε μια πολύ μεγαλύτερη αγορά των δυνητικών αγοραστών από ό,τι αν το βιοαέριο επρόκειτο να πωληθεί και να χρησιμοποιηθεί σε τοπικό επίπεδο. Η εγκατάσταση θα μπορεί να επεξεργάζεται και να αναβαθμίζει το βιοαέριο, το οποίο στη συνέχεια θα μεταφέρεται στο δίκτυο φυσικού αερίου. Πραγματοποιείται ένα πλήθος προσομοιώσεων υπό συνθήκες που ορίζονται βάσει της υπάρχουσας νομοθεσίας και τιμολόγησης για τη συμπαραγωγή ενέργειας από τέτοιες μονάδες, βάσει των επικρατουσών συνθηκών αγοράς ηλεκτρισμού. Απαραίτητη επίσης ήταν η προσομοίωση με δεδομένες τιμές ΦΑ, για παράδειγμα τιμολόγιο της ΕΠΑ ( εταιρείας παροχής αερίου Αττικής) που συνιστά τον φορέα άμεσου ενδιαφέροντος για συνεργασία με τους υπευθύνους της ΒΕΑΛ. Στόχος της εργασίας είναι, μέσα από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, να γίνει φανερό η ευελιξία του συγκεκριμένου εργοστασίου να παράγει ηλεκτρισμό και φυσικό αέριο προς όφελος του διαχειριστή της εγκατάστασης (ΒΕΑΛ), καθώς επίσης να αναδείξει τη δυνατότητα συνεργασίας με τον φορέα παροχής αερίου ΕΠΑ.

Μελετώνται και προτείνονται τρόποι για την αύξηση της ευελιξίας της λειτουργίας των μονάδων, μέσω αναβάθμισης του βιοαερίου και έγχυσης του στο δίκτυο φυσικού αερίου. Διερευνώνται οι δυνατότητες τροφοδοσίας που έχει η συγκεκριμένη εγκατάσταση σε σχέση με το εθνικό δίκτυο ηλεκτρισμού και το δίκτυο φυσικού

αερίου υπό συνθήκες αγοράς ενέργειας που υφίστανται στη χώρα μας. Αναλύονται διαφορετικά σενάρια παραγωγής βιοαερίου και τιμολόγησης και εξάγονται οικονομικά συμπεράσματα που αφορούν την οικονομική λειτουργία της εγκατάστασης και της συνεργασίας της με τους φορείς της αγοράς.

Για να πραγματοποιηθούν αυτά τα σενάρια στην υλοποίηση έπρεπε να γίνουν κάποιες παραδοχές επειδή δεν υφίσταται στην Ελλάδα κάποια τιμολόγηση ώστε να μπορέσουμε να προσομοιώσουμε την κατάσταση. Οι παραδοχές αυτές είναι η οριοθέτηση τιμών αναβάθμισης βάσει έργων και νομοθεσίας που υφίσταται στη Γερμανία, μετά από συγκέντρωση διάφορων στοιχείων, καθώς και η τιμολόγηση του αερίου στη Δανία.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Βιομάζα και Ηλεκτροπαραγωγή

### 2.1 Εισαγωγή

Η βιομάζα είναι η πιο παλιά και διαδεδομένη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Ετυμολογικά η βιομάζα προέρχεται από τη λέξη βίος (ζωή) και τη λέξη μάζα. Από τους πρωτόγονους ανθρώπους και μέχρι σήμερα, και κυρίως οι αγροτικοί πληθυσμοί, για να ζεσταθούν, να μαγειρέψουν και να φωτιστούν, χρησιμοποιούν την ενέργεια (θερμότητα) που προέρχεται από την καύση των ξύλων, που είναι ένα είδος βιομάζας. Μετά την ενεργειακή κρίση του 1973, η βιομάζα άρχισε να παίζει όλο και σημαντικότερο ρόλο στην κάλυψη των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών (θέρμανσης, ψύξης, ηλεκτρισμού) και στην παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων (βιοαιθανόλη, βιοντήζελ κ.α.).

Σήμερα, θεωρείται μια σπουδαία πηγή ενέργειας, η οποία είναι δυνατόν να συμβάλλει στην ενεργειακή επάρκεια μετά την εξάντληση των αποθεμάτων του αργού πετρελαίου, του ορυκτού άνθρακα και του φυσικού αερίου. Οι αναπτυσσόμενες χώρες παράγουν περίπου το ένα τρίτο της ενέργειάς τους από βιομάζα (Βουρδούμπας Γ. 1998). Στην Ελλάδα, οι κυριότερες εφαρμογές αφορούν σε παραγωγή θερμικής ενέργειας σε γεωργικές και δασικές βιομηχανίες, σε θέρμανση στον οικιακό τομέα, ενώ έχει ξεκινήσει και η παραγωγή βιοντήζελ. Το ενεργειακό περιεχόμενο της βιομάζας μετριέται με την καθαρή θερμιδική της αξία.

Ο όρος βιομάζα χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει: **12**

- α) τα υλικά ή καλύτερα τα υποπροϊόντα και κατάλοιπα της φυσικής, ζωικής, δασικής, γεωργικής ή και αλιευτικής παραγωγής.
- β) τα υποπροϊόντα τα οποία προέρχονται από τη βιομηχανική επεξεργασία των υλικών αυτών.
- γ) τα αστικά λύματα και σκουπίδια.
- δ) τις φυσικές ύλες που προέρχονται είτε από φυσικά οικοσυστήματα π.χ., αυτοφυή φυτά/δάση, είτε από τεχνητές φυτείες αγροτικού ή δασικού τύπου.

Διαφορετικά η βιομάζα μπορεί να οριστεί ως το σύνολο της ύλης που έχει βιολογική (οργανική) προέλευση. (Δήμος Β. 2009). Με τον όρο βιομάζα λοιπόν, περιγράφεται, οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς όπως, τα φυτικά και δασικά υπολείμματα (καυσόξυλα, κλαδοδέματα, άχυρα, πριονίδια, ελαιοπυρήνες, κουκούτσια), τα ζωικά απόβλητα (κοπριά, άχρηστα αλιεύματα), τα φυτά που καλλιεργούνται στις ενεργειακές φυτείες, καθώς επίσης και τα υπολείμματα της βιομηχανίας τροφίμων, της αγροτικής βιομηχανίας και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των αστικών απορριμμάτων, και τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως

καύσιμο για παραγωγή ενέργειας. Η παραγωγή και η χρήση της, δεν ρυπαίνει το περιβάλλον με τοξικές ουσίες.

Η ενέργεια της βιομάζας (βιοενέργεια ή πράσινη ενέργεια) είναι δευτερογενής ηλιακή ενέργεια, που μετασχηματίζεται από τα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης. Πιο συγκεκριμένα, η βιομάζα είναι ανανεώσιμη, με την έννοια ότι μετασχηματίζεται, καταστρέφεται και αναπαράγεται. Οι βασικές πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται, είναι το νερό και ο άνθρακας, που είναι άφθονα στη φύση. Η διεργασία αυτή μπορεί να παρασταθεί σχηματικά, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.1, ως εξής:



**Εικόνα 2.1: Διαδικασία παραγωγής βιομάζας**

Η μόνη φυσικά ευρισκόμενη πηγή ενέργειας με άνθρακα που τα αποθέματά της είναι ικανά ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων, είναι η βιομάζα. Αντίθετα από αυτά, η βιομάζα είναι ανανεώσιμη καθώς απαιτείται μόνο μια σύντομη χρονική περίοδος για να αναπληρωθεί ό,τι χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας. Η βιομάζα λοιπόν, είναι ανανεώσιμη, με την έννοια ότι μετασχηματίζεται, καταστρέφεται και αναπαράγεται. Η αξιοποίηση της μπορεί να γίνει με μετατροπή της σε μεγάλη ποικιλία προϊόντων.

Δίistanται όμως, οι απόψεις ως προς την επίδραση που έχει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και την παγκόσμια θέρμανση. Αν θεωρηθεί ότι το CO<sub>2</sub> και το νερό που αποδίδει στην ατμόσφαιρα η βιομάζα, το είχε ήδη αφαιρέσει η ίδια από την ατμόσφαιρα κατά την ανάπτυξή της, τότε είναι φανερό πως την καθιστά, ουδέτερη προς το φαινόμενο αυτό. (Δημόπουλος - Μαλαφούρης, 1997)

## **2.2 Ιστορική αναδρομή και τάσεις**

Μετά τις πετρελαϊκές κρίσεις του 1973 και 1979 και την συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων που δημιουργούν οι συμβατικές πηγές ενέργειας, ο σημαντικότερος τρόπος για να μπορέσει η ΕΕ και τα κράτη μέλη να ανταποκριθούν στους φιλόδοξους στόχους που έθεσαν το 1992, 1997 και 2002 στις συνδιασκέψεις του ΟΗΕ για το περιβάλλον και την βιώσιμη ανάπτυξη στο Ρίο, Κιότο και Γιохάνεσμπουργκ, είναι να αυξήσει το ποσοστό συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) στην ακαθάριστη εσωτερική ενεργειακή κατανάλωση, με ποσοτικούς στόχους και δεσμευτικά χρονοδιαγράμματα.

Από το 1997 η ΕΕ είχε καταβάλει προσπάθειες ώστε να επιτευχθεί έως το 2010 ο φιλόδοξος στόχος να είναι 12% το μερίδιο των ΑΠΕ στην ακαθάριστη εσωτερική κατανάλωση ενέργειας, με σκοπό τη δημιουργία άνω των 500.000 θέσεων εργασίας και την αύξηση του μεριδίου της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στην συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕ από 14,2 % το 1998 σε 22,1% το 2010. Κατά τις διασκέψεις που πραγματοποιήθηκαν στο Βερολίνο τον Ιανουάριο του 2004, στη Βόννη τον Ιούνιο του 2004 και στο Πεκίνο τον Νοέμβριο του 2005, εξετάστηκε η δυνατότητα παράτασης των συνολικών γενικών στόχων για τις ΑΠΕ πέραν του 2010, συμφωνήθηκε να αυξηθεί το ποσοστό συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών παγκοσμίως έως και 50% μέχρι το 2040 και να βελτιωθεί σημαντικά η ενεργειακή αποδοτικότητα (Ζαφείρης Χ. 2006).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση σήμερα καλύπτει το 4% των ενεργειακών της αναγκών με βιομάζα. Αν αξιοποιούσε πλήρως το δυναμικό της θα διπλασίαζε τη χρήση βιομάζας από 69 εκατ. ΤΙΠ το 2003 σε 185 εκατ. ΤΙΠ το 2010. Σύμφωνα με το Σχέδιο Δράσης για τη Βιομάζα (Biomass action plan) που εγκρίθηκε τον Δεκέμβριο 2005 από την ΕΕ, η συμμετοχή της βιομάζας και η παραγωγή βιοαερίου προβλέπεται να παίζει σημαντικό ρόλο στην παραγωγή ενέργειας σε Ευρωπαϊκό επίπεδο (ΕU-25), καθώς προβλέπεται να αυξηθεί από 69 εκατ. ΤΙΠ σε 149 εκατ. ΤΙΠ, προκειμένου να καλυφθεί ο στόχος του 12%. Ως άμεσο αποτέλεσμα του στόχου αυτού αναμένεται να είναι η μείωση των αερίων του θερμοκηπίου κατά 209 εκατ. τόνους ισοδυνάμου CO<sub>2</sub> κατ' έτος, η εξασφάλιση 250-300.000 θέσεων εργασίας στις αγροτικές κυρίως περιοχές, και υπό ιδανικές συνθήκες η πίεση προς τα κάτω των τιμών του πετρελαίου λόγω μειωμένης ζήτησης. Σύμφωνα με το ίδιο σενάριο, μέχρι το 2010 προβλεπόταν να εγκατασταθούν μονάδες ενεργειακής αξιοποίησης βιοαερίου συνολικής ισχύος 1000 MW<sub>e</sub>.

Στη χώρα μας, το βιοαέριο, το οποίο παράγεται κατά την επεξεργασία οργανικών αποβλήτων και αστικών λυμάτων, μπορεί να έχει σημαντική συμβολή στην ενεργειακή αυτάρκεια, υποκαθιστώντας ρυπογόνα ή εισαγόμενα καύσιμα. Η ανάπτυξη και εγκατάσταση τεχνολογιών βιοαερίου αποτελεί εναλλακτική λύση με σημαντικά πλεονεκτήματα, καθώς προσφέρει περιβαλλοντικά φιλική ενέργεια και ταυτόχρονα αντιμετωπίζει το θέμα της ανάκτησης/ ανακύκλωσης των στερεών αποβλήτων.

Παρόλη τη δυναμική υπάρχει ένας αριθμός ζητημάτων που χρειάζεται να «χρεωθεί» στην εξέλιξη της βιομάζας σε κύκλους ενεργειακών καυσίμων. Η βιομάζα συχνά θεωρείται ως ένα καύσιμο που είναι άβολο, που απαιτεί εκτεταμένη χρήση γης, που οδηγεί σε υψηλά ενεργειακά κόστη και είναι ύποπτο όσο αφορά τα περιβαλλοντικά οφέλη. Ενώ αυτά τα ζητήματα έχουν να κάνουν περισσότερο με τις αντιλήψεις (ή παρανοήσεις) της βιομάζας, οι τεχνολογίες και πρακτικές που αναλύονται παρακάτω μαζί με καλή διαχείριση των πηγών βιομάζας μπορούν να συντελέσουν στο να ανακουφισθούν πολλές ανησυχίες (Ζαφείρης Χ. 2006).

## 2.3 Πρώτες ύλες

Οι πηγές προέλευσης της βιομάζας ποικίλλουν - κάθε οργανικό υλικό φυσικής προέλευσης μπορεί να θεωρηθεί βιομάζα. Οι βασικές πρώτες ύλες βιομάζας προέρχονται:

- από την υλοτομία και τη βιομηχανία επεξεργασίας ξύλου

Τα ξυλώδη υπολείμματα που λαμβάνονται από την επεξεργασία του ξύλου (πριονίδι, ροκανίδι, θρύμματα ξύλου, κ.λπ.), καθώς και υπολείμματα ξυλείας που παράγονται κατά την υλοτόμηση των δέντρων και είναι ακατάλληλα για περαιτέρω επεξεργασία, μπορούν να χρησιμοποιηθούν με διαφορετικούς τρόπους για την παραγωγή βιοενέργειας, είτε για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος είτε για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης.

- από τις γεωργικές δραστηριότητες

Αντίστοιχα με τα παραπροϊόντα της βιομηχανίας ξύλου, τα υπολείμματα από τις γεωργικές δραστηριότητες, όπως π.χ. το άχυρο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά, για την παραγωγή φιλικής προς το περιβάλλον ενέργειας και καύσιμης ύλης. Εκτός από το άχυρο, τα κλαδέματα από τις δενδρώδεις καλλιέργειες (ελαιοκλαδέματα), αντί να παραμένουν στους αγρούς και να αποτελούν εστίες ανάπτυξης πυρκαγιών, μπορούν να αξιοποιηθούν και να μετατραπούν σε υψηλής ποιότητας στερεά βιοκαύσιμα, προσφέροντας, ταυτόχρονα, ένα επιπλέον έσοδο για τους παραγωγούς.

Οι καλλιέργειες ενεργειακών φυτών αποτελούν, επίσης, μια πρακτική παραγωγής βιομάζας. Είναι, δε, αρκετά διαδεδομένα, τα τελευταία χρόνια ακόμα και στη χώρα μας όπου αξιοποιείται για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων. Οι ενεργειακές καλλιέργειες μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας, εναλλακτικών αέριων βιοκαυσίμων (βιοαέριο) καθώς και στερεών βιοκαυσίμων (pellets). Για την παραγωγή των στερεών βιοκαυσίμων έχει, επίσης, ξεκινήσει η εγκατάσταση δενδρωδών καλλιεργειών ταχείας ανάπτυξης.

- από τις κτηνοτροφικές δραστηριότητες

Το βασικό απόβλητο όλων των κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων είναι η ζωική κοπριά. Το ζήτημα της αποτελεσματικής διαχείρισης της γίνεται ακόμα πιο έντονο κατά την μαζική εκτροφή ζώων (συνήθως βοοειδών, χοίρων και πουλερικών) σε περιορισμένους και συστεγασμένους χώρους.

Ο ιδανικότερος τρόπος διαχείρισης αυτών των αποβλήτων είναι η χρησιμοποίησή τους για την παραγωγή βιοενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, με τη βοήθεια της τεχνολογίας της αναερόβιας χώνευσης, τα υγρά ζωικά απόβλητα μετατρέπονται σε βιοαέριο, ένα εναλλακτικό και «πράσινο» βιοκαύσιμο.

Μετά την παραγωγή του, το βιοαέριο τροφοδοτείται σε σύστημα συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, από την πώληση των οποίων προκύπτουν τα πολύ σημαντικά έσοδα της μονάδας βιοαερίου. Επιπλέον έσοδα μπορούν να



προκύψουν από την εμπορική εκμετάλλευση του χωνεμένου υπολείμματος της κοπριάς ως βιολογικό λίπασμα.

Η βιομάζα, συνεπώς, που λαμβάνεται από την εκτροφή ζώων ως απόβλητο, όχι μόνο δεν είναι άχρηστη, αλλά αποτελεί μια πολύ σημαντική πηγή εσόδων για τον παραγωγό καθώς και ένα τρόπο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με φιλικό για το περιβάλλον και τον άνθρωπο τρόπο. Συνιστά έναν ανεκμετάλλευτο πλούτο, τον οποίο έχουν αναγνωρίσει όλες οι αναπτυγμένες χώρες εδώ και χρόνια, γι αυτό και επενδύουν σε αυτόν διαρκώς.

- από τη βιομηχανία παραγωγής τροφίμων

Τα απόβλητα των βιομηχανιών παραγωγής τροφίμων, είτε βρίσκονται σε στερεή είτε σε υγρή μορφή, μπορούν να αξιοποιηθούν ενεργειακά, μέσω της τεχνολογίας της αναερόβιας χώνευσης και της παραγωγής βιοαερίου, πράγμα που εξετάζουμε και στην παρούσα διπλωματική. Έτσι, υγρά απόβλητα που φημίζονται για το υψηλό ρυπαντικό τους φορτίο (π.χ. τυρόγαλα, κατσίγαρος, απόβλητα σφαγείων, απόβλητα χυμοποιείων, ζυθοποιείων και βιομηχανιών επεξεργασίας φρούτων και λαχανικών) σε συνδυασμό με τα στερεά απόβλητα (ελαιοπυρηνόξυλο), σταματούν, πλέον, να αποτελούν πρόβλημα για τους παραγωγούς καθώς μετατρέπονται σε ηλεκτρική ενέργεια.

Με αυτόν τον τρόπο διαχείρισης των αποβλήτων προκύπτουν πολλαπλά οφέλη: διακόπτεται η περιβαλλοντική υποβάθμιση των υδάτινων αποδεκτών από την λειτουργία των ρυπογόνων βιομηχανιών με τρόπο που όχι μόνο δεν κοστίζει στον παραγωγό του αποβλήτου, αλλά του προσφέρει επιπλέον έσοδα από την πώληση της εναλλακτικής ενέργειας και την αποφυγή των υψηλών προστίμων που οφείλει να πληρώνει για την ακατάλληλη διάθεση των αποβλήτων του. Αντιστοίχως και για τα στερεά οργανικά απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων, υπάρχουν αποτελεσματικές τεχνολογίες χρήσης τους για την παραγωγή βιοαερίου και ηλεκτρικής ενέργειας.

Για την εγκατάσταση μιας τεχνολογικά άρτιας μονάδας παραγωγής βιοενέργειας είναι, συνήθως, αναγκαία η συνεργασία των παραγωγών των ζωικών ή γεωργικών αποβλήτων με εκείνους των οργανικών βιομηχανικών αποβλήτων για την κατασκευή μονάδας συνδυασμένης αναερόβιας χώνευσης. Πέραν των περιβαλλοντικών, τα οικονομικά οφέλη του φορέα που θα επενδύσει στην υλοποίηση μιας τέτοιας μονάδας εναλλακτικής ηλεκτροπαραγωγής, είναι σημαντικά υψηλότερα.

- από τα αστικά στερεά απόβλητα

Στον όρο «αστικά στερεά απόβλητα» (Α.Σ.Α.) περιλαμβάνονται τα οικιακά απόβλητα, τα απόβλητα που παράγονται από τον καθαρισμό δρόμων και άλλων κοινόχρηστων χώρων ή, και άλλα στερεά απόβλητα παρόμοια με τα Α.Σ.Α. (εμπορικά, επιχειρήσεων, ιδρυμάτων κ.λπ.) Η συνολική παραγωγή Α.Σ.Α. της Ελλάδας το έτος 2001 ήταν 4.529.585 τόνοι, σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία των Περιφερειακών Σχεδιασμών Διαχείρισης Απορριμμάτων (ΠΕ.Σ.Δ.Α.). Αναλυτικά, η συμμετοχή των Περιφερειών στην παραγωγή Αστικών Στερεών Αποβλήτων παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.2. (Λυμπεράτος, Μπουρτσάλας Αθ., 2011)



Εικόνα 2.2: Συμμετοχή των Περιφερειών στην ετήσια παραγωγή Α.Σ.Α. (Μπουρτσάλας Αθ., 2011)

Η περιφέρεια Αττικής παράγει τα περισσότερα απορρίμματα, καθώς διαθέτει τον μεγαλύτερο πληθυσμό: 3,76 εκατ. κατοίκους έναντι 1,87 εκατ. κατοίκους της δεύτερης πληθυσμιακής Περιφέρειας της Κεντρικής Μακεδονίας, και 0,75 εκατ. κατοίκων της τρίτης πληθυσμιακής Περιφέρειας της Θεσσαλίας. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η πυκνότητα πληθυσμού στην Αττική είναι 988 κάτοικοι/τ.χλμ., έναντι 100 της Κεντρικής Μακεδονίας. Ο μέσος συντελεστής παραγωγής απορριμμάτων κυμαίνεται από 340 kg/capita (Β. Αιγαίο και Ήπειρος) έως 585 kg/capita (Αττική). Ο μέσος συντελεστής παραγωγής Α.Σ.Α. για την Ελλάδα ήταν κατά το 2001, 417 kg/capita, ενώ σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία της Eurostat κατά το 2009 ήταν 458 kg/capita ενώ το 2011 υπολογίστηκε σε 475 kg/capita. (Μπουρτσάλας Αθ., 2011)

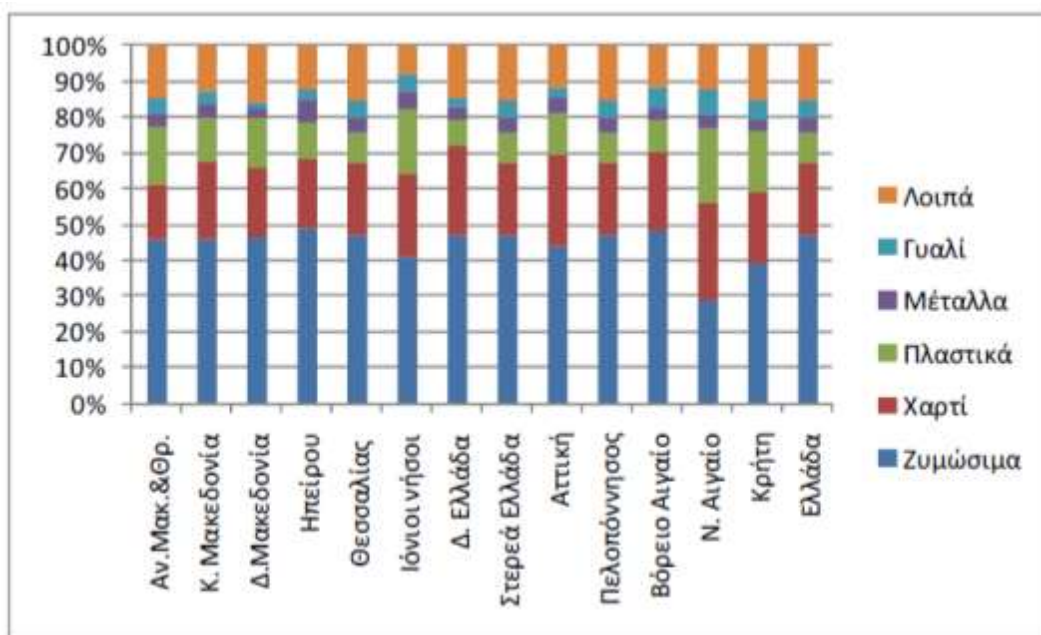
Ο Πίνακας 2.1 παρουσιάζει το βέλτιστο, το πιθανότερο και το χειρίστο σενάριο για την εξέλιξη των Α.Σ.Α. στην Αττική, καθώς και μια πρόβλεψη της ποσότητας των Α.Σ.Α. ως το 2025.

Πίνακας 2.1: Διαχρονική εξέλιξη Α.Σ.Α. Περιφέρειας Αττικής (τόνοι το έτος) (ΤΕΕ 2006)

ΕΤΟΣ	ΒΕΛΤΙΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ	ΠΙΘΑΝΟΤΕΡΟ ΣΕΝΑΡΙΟ	ΧΕΙΡΙΣΤΟ ΣΕΝΑΡΙΟ
2015	2392038	2488067	3268564
2016	2427918	2531608	3382963
2017	2464337	2575911	3501367
2018	2501302	2620990	3623915
2019	2538822	2666857	3750752
2020	2576904	2713527	3882028
2021	2615558	2761014	4017899
2022	2654791	2809331	4158526
2023	2694613	2858495	4304074
2024	2735032	2908518	4454717
2025	2776057	2959417	4610632

### Ποιοτική σύσταση ΑΣΑ

Η ποιοτική σύσταση των Αστικών Στερεών Αποβλήτων για τις 13 Περιφέρειες της Ελλάδος παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.3.



Εικόνα 2.3: Ποιοτική σύσταση ΑΣΑ για τις Περιφέρειες της Ελλάδος (ΤΕΕ 2006)

Η ποιοτική σύσταση των Α.Σ.Α. της Αττικής έχει ως ακολούθως:

Πίνακας 2.2: Ποιοτική σύσταση των Α.Σ.Α. Αττικής (ΤΕΕ 2006)

Οργανικά	40%
Χαρτί	32%
Πλαστικά	13%
Μέταλλα	3,5%
Γυαλί	2,5%
Δέρμα- Ξύλο- Λάστιχο	3,2%
Λοιπά	5,8%

## 2.4 Δυναμικό και αξιοποίηση βιομάζας

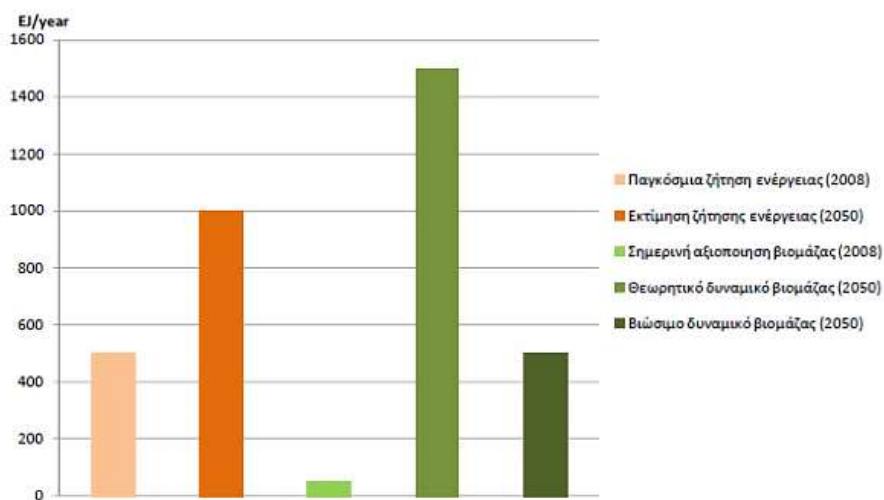
Το Διαθέσιμο δυναμικό βιομάζας αντιπροσωπεύει το ποσοστό του θεωρητικού δυναμικού που μπορεί να ληφθεί με βάση τοπικούς (π.χ. μορφολογία εδάφους) και άλλους (π.χ. ανταγωνιστικές χρήσεις) περιορισμούς. Έτσι ο Πίνακας 2.3 παρουσιάζει το διαθέσιμο δυναμικό βιομάζας σε παγκόσμια κλίμακα μέχρι το έτος 2050 (Κατσίρη Α. 2011)

Πίνακας 2.3: Διαθέσιμο δυναμικό βιομάζας σε παγκόσμια κλίμακα – 2050 (Κατσίρη Α. 2011)

Κατηγορία βιομάζας	Χαρακτηρισμός	Βασικές παραδοχές	Δυναμικό (EJ/yr)
Ενεργειακές καλλιέργειες (σε καλής ποιότητας εδάφη)	Βιομάζα που μπορεί να παραχθεί σε γεωργική γη μετά την κάλυψη των αναγκών για τρόφιμα και ζωοτροφές 1. Συμβατικές καλλιέργειες (καλαμπόκι, τεύτλα, ζαχαροκάλαμο, σόγια, κράμβη) 2. Λιγνοκυτταρινούχες καλλιέργειες (λεύκα, ιτιά, ευκάλυπτος, μίσχανθος)	Διαθέσιμες εκτάσεις 1-2 Δισ hα (Υψηλότερες τιμές προϋποθέτουν εντατική γεωργία) Απόδοση: 8-12 tonne/ha/year ξηρά ουσία	0 - 700
Ενεργειακές καλλιέργειες (σε χέρσα γη)	Βιομάζα που μπορεί να παραχθεί σε «περιθωριοποιημένη» γη (περιοχές που έχουν προκύψει από καταστροφή δασών, υποβαθμισμένες εκτάσεις γης)	Διαθέσιμες εκτάσεις 1,7 Gha Χαμηλή απόδοση 2-5 tonne/ha/year ξηρά ουσία	<60 - 150
Γεωργικά υπολείμματα	Υπολείμματα από την παραγωγή και επεξεργασία τροφίμων (άχυρο, φλοιοί ρυζιού, εκκοκκαστήρια, ελαιοπυρήνα, βγάση, κλπ)		15-70
Δασικά υπολείμματα	Υπολείμματα από την καλλιέργεια και εκμετάλλευση δασών, πρωτογενή (παράγωγα υλοτομίας) και δευτερογενή (πριονίδια, φλοιοί, κλπ)	Χαμηλές τιμές: αειφόρος διαχείριση δασών Υψηλές τιμές: Θεωρητικό δυναμικό	30-150
Κοπριά	Βιομάζα από κτηνοτροφικά απόβλητα (χοιροστάσια, βουστάσια, πτηνοσφαγεία)	Χαμηλές τιμές: τρέχουσα χρήση Υψηλές τιμές: Θεωρητικό δυναμικό	5-55
Οργανικά απόβλητα	Αστικά απορρίμματα (ΑΣΑ),	Οργανικό μέρος ΑΣΑ (50%)	5 - >50
Σύνολο	<b>Αισιόδοξο σενάριο:</b> Εντατική καλλιέργεια σε καλής ποιότητας εδάφη <b>Απαισιόδοξο σενάριο:</b> Χωρίς ενεργειακές καλλιέργειες, χρήση μόνο υπολειμμάτων		<50 - >1000

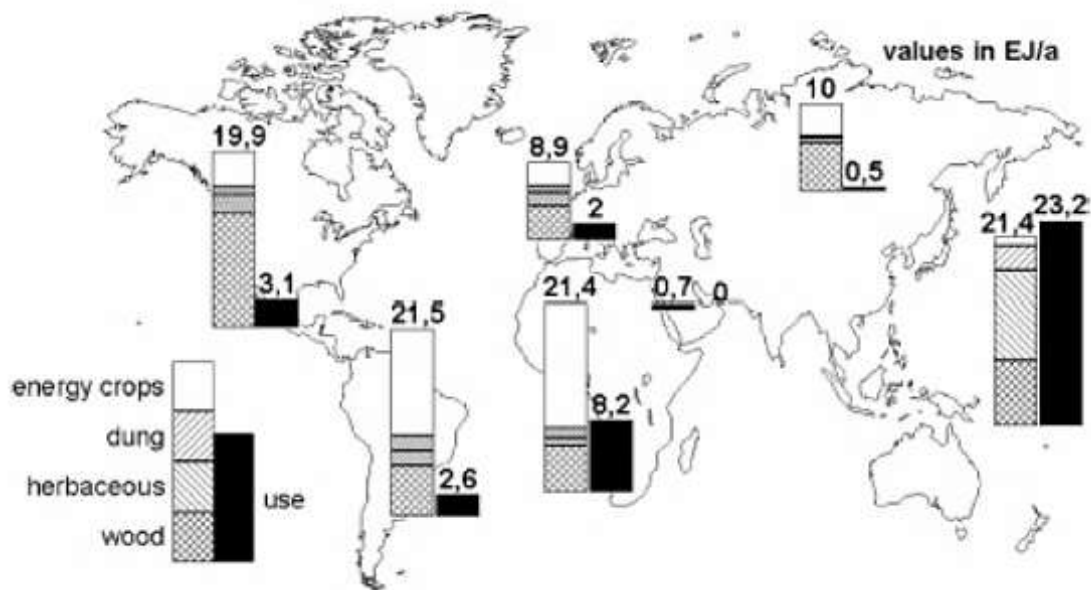
Στην Εικόνα 2.4 παρουσιάζεται η αναμενόμενη ζήτηση ενέργειας παγκοσμίως το 2050, σύμφωνα με εκτιμήσεις που βασίστηκαν στο 2008, αλλά και η αναμενόμενη αξιοποίηση της ενέργειας από βιομάζα για το έτος 2050, από το θεωρητικό δυναμικό μέχρι το βιώσιμο. Παρατηρούμε ότι το βιώσιμο δυναμικό βιομάζας μπορεί να καλύψει σχεδόν το μισό της παγκόσμιας ζήτησης ενέργειας, ενώ από την άλλη το θεωρητικό δυναμικό, το οποίο αντιπροσωπεύει το μέγιστο ποσό της βιομάζας που μπορεί να παραχθεί σε μια συγκεκριμένη περιοχή, υπερκαλύπτει την εκτιμώμενη ζήτηση ενέργειας (Κατσίρη Α. 2011).

1 EJ =  $10^{18}$  J



Εικόνα 2.4: Παγκόσμια ζήτηση ενέργειας και δυναμικό κάλυψης από βιομάζα (IEA 2009 Bioenergy)

Η τωρινή χρήση της βιομάζας για ενέργεια υπολογίζεται στο 14% περίπου της παγκόσμιας πρωτογενούς ενέργειας, περισσότερη από την οποία χρησιμοποιείται στις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου η βιομάζα καλύπτει μέχρι και το 1/3 των ενεργειακών αναγκών (Bauen & Kaltschmitt, 1999). Αντιθέτως η βιομάζα παρέχει το ανώτερο 3% της ενέργειας στις βιομηχανοποιημένες χώρες. Η τωρινή χρήση της βιομάζας σε σύγκριση με ένα υπολογισμό του πρακτικά αποδεκτού δυναμικού απεικονίζεται στην Εικόνα 2.5.



**Εικόνα 2.5: Ποσότητα της βιομάζας που χρησιμοποιείται και το δυναμικό της στις περισσότερες περιοχές του κόσμου (IEA 2009 Bioenergy)**

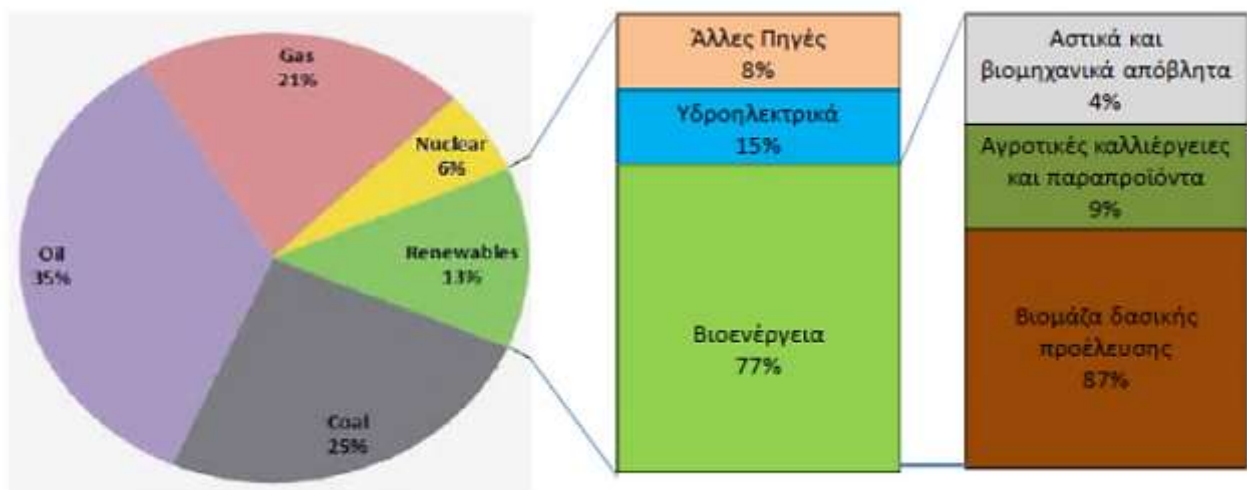
Όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.5, η ποσότητα της βιομάζας που χρησιμοποιείται σε όλο τον κόσμο είναι πολύ χαμηλότερη από το δυναμικό της στις περισσότερες περιοχές. Παρόλα αυτά, η χρήση φαίνεται να υπερβαίνει την υποστηρικτική κατανάλωση σε κάποιες περιοχές, κυρίως στην Ασία. Η επέκταση της χρήσης της βιομάζας μπορεί να ακολουθήσει τις ακόλουθες οδούς:

- Στις αναπτυσσόμενες χώρες, οι προσπάθειες χρειάζεται να προσανατολιστούν σε πιο μοντέρνες και μεγαλύτερης διάρκειας χρήσεις βιομάζας, οι οποίες μπορούν να ανακουφίσουν τα τοπικά περιβαλλοντικά προβλήματα συμπεριλαμβανομένων και των σοβαρών συνεπειών στην υγεία που έχει η έκθεση σε προϊόντα καύσεως βιομάζας.
- Επιπλέον και σε αναπτυσσόμενες αλλά και σε βιομηχανικές χώρες, η βιομάζα μπορεί να έχει πολυάριθμα περιβαλλοντικά και άλλα οφέλη.

Η βιομάζα για παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού συνεισφέρει περίπου 4% της πρωτογενούς ενέργειας των ΗΠΑ, 11% στην Αυστρία, 20% στη Φινλανδία, 17% στη Σουηδία. Η βιομάζα για τηλεθέρμανση (district heating) και συμπαραγωγή (CHP)

είναι επίσης καλά οργανωμένη σε Δανία και Γερμανία. Η συνολική παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από βιομάζα υπερβαίνει τις 100 TWh –η βιομάζα έχει σημαντικά μεγαλύτερη εμπειρία αγοράς από οποιαδήποτε άλλη ανερχόμενη ανανεώσιμη επιλογή. Η χρήση της έχει επεκταθεί σημαντικά σε αρκετές χώρες την τελευταία δεκαετία, κυρίως ως αποτέλεσμα ενός πλαισίου υποστηρικτικής πολιτικής. Η παραγωγή των παράγωγων υγρών καυσίμων βιομάζας για ανάμειξη με συμβατικά καύσιμα οχημάτων είναι καλά οργανωμένη στη Βραζιλία και στις ΗΠΑ (IEA 2009).

Τέλος, στην Εικόνα 2.6 φαίνεται το μερίδιο της βιοενέργειας στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας, το οποίο αποτελεί μέρος των ΑΠΕ, αλλά και τα ποσοστά των πρώτων υλών που απαρτίζουν την εκμεταλλευόμενη βιομάζα. Όπως φαίνεται, η βιοενέργεια αποτελεί άνω των 2/3 του μεριδίου διείσδυσης των ΑΠΕ, ενώ τα δασικά υπολείμματα αποτελούν την κύρια πηγή διαθέσιμης βιομάζας.



Εικόνα 2.6: Μερίδιο βιοενέργειας στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας (Κούκιος Ε. 2010)

## 2.5 Τεχνολογίες μετατροπής βιομάζας

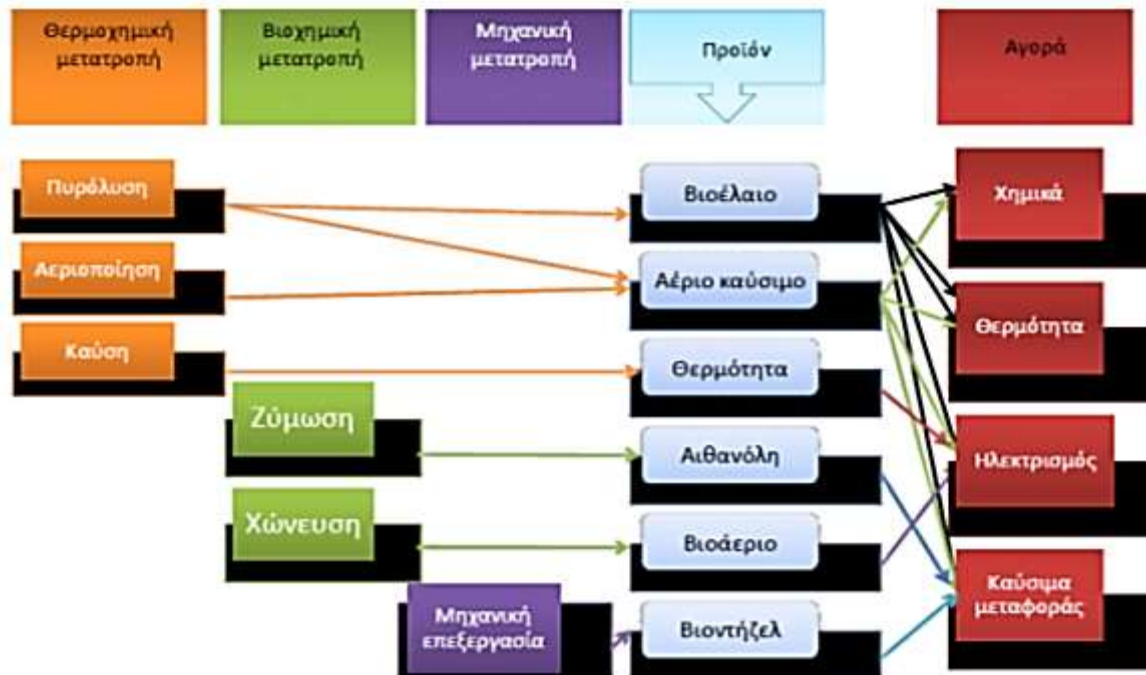
Οι μέθοδοι μετατροπής της απορριπτόμενης βιομάζας διακρίνονται βασικά σε δύο κατηγορίες:

- Θερμοχημικές μέθοδοι
- Βιοχημικές μέθοδοι

Στην Εικόνα 2.7 που ακολουθεί παρουσιάζονται όλες οι κύριες θερμοχημικές και βιοχημικές διαδικασίες μετατροπής βιομάζας, με τα κύρια προϊόντα τους καθώς και την αγορά που απευθύνονται και απορροφώνται.



## Διαδικασίες μετατροπής βιομάζας, προϊόντα και αγορές

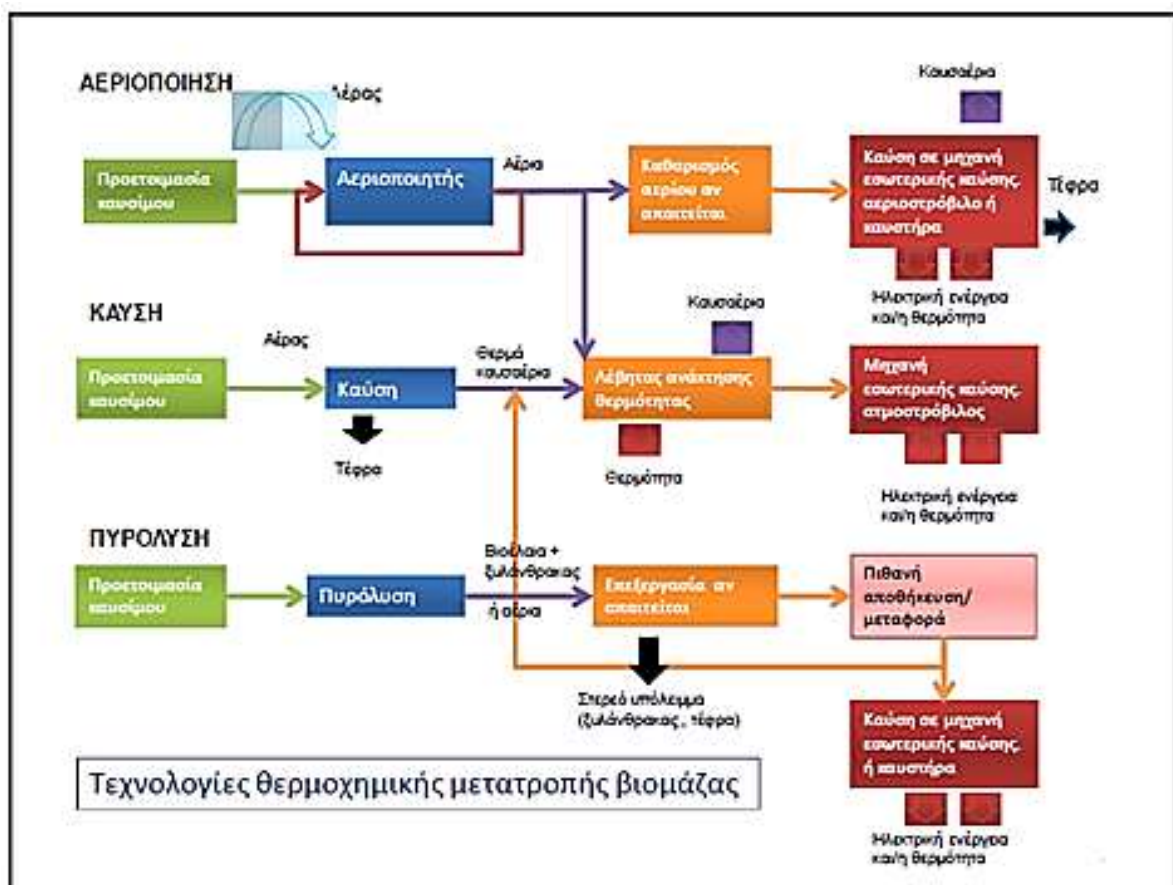


Εικόνα 2.7: Παρουσίαση όλων των διαδικασιών μετατροπής βιομάζας (Κατσίρη Α. 2011)

Κύριοι παράγοντες που καθορίζουν την καταλληλότερη μέθοδο είναι η σχέση C/N και η περιεχόμενη υγρασία της βιομάζας κατά την συλλογή. Οι θερμοχημικές προτιμούνται κυρίως για είδη βιομάζας με σχέση  $C/N > 30$  και ποσοστό υγρασίας μικρότερο του 50%, ενώ οι βιοχημικές μέθοδοι εφαρμόζονται σε φυτικά είδη που χαρακτηρίζονται από λόγο  $C/N < 30$  και παρουσιάζουν υψηλό ποσοστό υγρασίας (άνω του 50%).

### 2.5.1 Θερμοχημικές Μέθοδοι

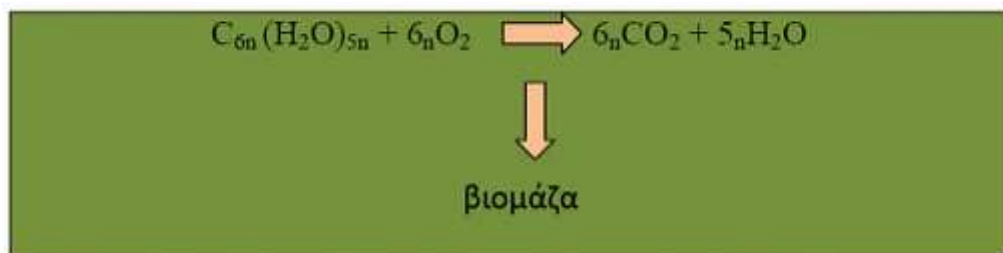
Οι θερμοχημικές τεχνολογίες μετατροπής περιλαμβάνουν την άμεση καύση, την αεριοποίηση, την πυρόλυση και την υδροποίηση. Οι διεργασίες αυτές είναι προτιμητέες όταν η πρώτη ύλη συνίσταται από λιγνοκυτταρινούχα υλικά με χαμηλή περιεκτικότητα σε νερό. Τα βασικότερα προϊόντα που λαμβάνονται είναι θερμότητα, ατμός, ηλεκτρισμός, ξυλάνθρακας, αέρια και υγρά καύσιμα (όπως μεθανόλη, υδρογονάνθρακες που προκύπτουν με καταλυτική σύνθεση από το αέριο κ.ά.). Οι περιγραφόμενες θερμοχημικές τεχνολογίες μετατροπής παρουσιάζονται συνοπτικά στην Εικόνα 2.8 (Κούκιος Ε. 2010).



Εικόνα 2.8: Θερμοχημικές τεχνολογίες μετατροπής βιομάζας και τα αντίστοιχα προϊόντα της (Κούκιος Ε. 2010)

### ✓ Καύση Βιομάζας

Η καύση της βιομάζας συνίσταται στη θερμική της διάσπαση παρουσία οξυγόνου (Εικόνα 2.9). Τα κύρια συστατικά της βιομάζας που αντιδρούν με το οξυγόνο είναι ο άνθρακας και το υδρογόνο. Σήμερα η απευθείας καύση είναι η πλέον διαδεδομένη τεχνολογία για τη μετατροπή της βιομάζας σε ενέργεια. Στις αναπτυσσόμενες χώρες χρησιμοποιείται ευρέως για μαγείρεμα και θέρμανση ενώ επιπρόσθετα στις ανεπτυγμένες χώρες χρησιμοποιείται για την παραγωγή θερμότητας ή/και ηλεκτρισμού. Οι κυριότερες πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται είναι: αγροτικά παραπροϊόντα, ξύλο και δασικά υπολείμματα.



Εικόνα 2.9: Χημική αντίδραση που περιγράφει την καύση της βιομάζας (Κούκιος Ε. 2010)



✓ *Αεριοποίηση*

Η αεριοποίηση είναι η θερμική αποικοδόμηση της οργανικής ύλης (ξύλο, αγροτικά παραπροϊόντα, αστικά απορρίμματα κ.λπ.) παρουσία ελεγχόμενης ποσότητας αέρα ή οξυγόνου προς μείγμα αερίων σε θερμοκρασίες περί των 850 °C. Το καύσιμο αέριο που παράγεται στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί καθαρό οξυγόνο αποτελείται από υδρογόνο, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο και μικρές ποσότητες υδρογονανθράκων (αιθάνιο, αιθυλένιο, κλπ.). (Quaak P. 1999)

✓ *Πυρόλυση*

Η πυρόλυση είναι η θερμική διάσπαση κατά προτίμηση βιομάζας με μικρό ποσοστό υγρασίας απουσία οξυγόνου. Η διαδικασία οδηγεί σε ένα μείγμα αερίων, υγρών και στερεών προϊόντων, η αναλογία των οποίων ποικίλει ανάλογα με τη θερμοκρασία και το χρόνο παραμονής στους κλιβάνους. Κατά την ταχεία (flash) πυρόλυση, η πρώτη ύλη θερμαίνεται (απουσία οξυγόνου) ταχύτατα ώστε να διασπαστεί σε μείγμα αερίων και στερεών προϊόντων, τα οποία στη συνέχεια ψύχονται και υγροποιούνται. Το τελικό προϊόν της αντίδρασης είναι ένα υγρό σκούρου καφέ χρώματος (βιοέλαιο - bio oil), του οποίου η θερμογόνος δύναμη είναι περίπου η μισή αυτής του πετρελαίου. Με την ίδια διεργασία, μπορούν να παραχθούν διάφορα προϊόντα όπως υγρή φαινόλη, κόλλες, μονωτικοί αφροί κ.ά.

✓ *Υγροποίηση*

Τα στερεά λιγνοκυτταρινούχα υλικά κατά την κατεργασία τους υπό πίεση, παρουσία υδρογόνου και καταλύτη, μετατρέπονται (με θέρμανση) σε υγρό που αποτελείται από έλαια και νερό. Έχει αποδειχθεί ότι η απόδοση της μεθόδου αυτής σε έλαια ευνοείται σημαντικά από την αρχική πίεση του υδρογόνου. Επιπλέον, στην περίπτωση που η βιομάζα πρώτα εκχυλίζεται με οργανικούς διαλύτες και μετά υγροποιείται, προκύπτουν ελαφρά και μέσου βάρους λάδια σχεδόν ελεύθερα από οξυγόνο (Koecker and Nelte, 1988).

## **2.5.2 Τεχνολογία σύγχρονης καύσης βιομάζας (Biomass co-firing)**

Ο όρος “σύγχρονη καύση” χρησιμοποιείται για να ορίσει την ταυτόχρονη καύση διαφορετικών καυσίμων στον ίδιο καυστήρα. Σε πολλούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας, οι καυστήρες που λειτουργούν με γαιάνθρακα ή πετρέλαιο έχουν υποστεί μετατροπές ώστε να επιτρέπουν την χρησιμοποίηση πολλών καυσίμων ταυτόχρονα. Η βιομάζα είναι η κατάλληλη μορφή ενέργειας για “σύγχρονη καύση” με άνθρακα αλλά και σαν ένα μέτρο ελέγχου των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου καθώς και της όξινης βροχής. Η τεχνολογία αυτή αποτελεί μια επιλογή αντικατάστασης καυσίμου, στην προκειμένη περίπτωση άνθρακα, στην ήδη υπάρχουσα χωρητικότητα και όχι για την επέκτασή της. Η χρησιμοποίησή της έχει επιτυχώς επιδειχθεί σε μία

ευρεία περιοχή από διαφόρους τύπους καυστήρων άνθρακα. (U.S. Department of Energy)

#### Απόδοση

Η υιοθέτηση της τεχνολογίας αυτής συνεπάγεται μία πολύ μικρή απώλεια στην απόδοση του καυστήρα από την χρησιμοποίηση μείγματος καυσίμων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η απόδοση της καύσης βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας να κυμαίνεται από 33% έως 37%, κατά την χρησιμοποίηση της μαζί με γαιάνθρακα.

Λεπτομερής δοκιμές έχουν επιβεβαιώσει ότι η ενέργεια της βιομάζας μπορεί να αποδώσει μέχρι και το 15% της συνολικής ενέργειας εισόδου. Αυτό επιτυγχάνεται με μικρές μετατροπές στο σύστημα τροφοδοσίας του συστήματος με καύσιμο καθώς και στο εσωτερικό τμήμα του καυστήρα.

Μία αρνητική επίπτωση από την υιοθέτηση της τεχνολογίας “σύγχρονης καύσης” βιομάζας είναι η πιθανότητα αυξημένης σκουριάς και βρωμιάς στα τοιχώματα του καυστήρα όταν χρησιμοποιείται έντονα αλκαλική χορτώδης βιομάζα. (National Renewable Energy Laboratory)

#### Οικονομικοί παράμετροι

Σύμφωνα με τις Τροποποιήσεις της Πράξης Καθαρού Αέρα (Clean Air Act Amendments – CAAA) του 1990 κάθε παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας ο οποίος ελαττώνει τις εκπομπές SO<sub>2</sub> επωφελείται επιχορηγήσεων ανάλογα του ποσοστού της μείωσης. Σύμφωνα με την παραπάνω πράξη παρέχεται μία επιχορήγηση για κάθε τόνο μείωσης του SO<sub>2</sub>. Επίσης ο παραγωγός μπορεί να κερδίσει άλλη μία επιχορήγηση για κάθε 10<sup>6</sup> KWh η οποία παράγεται από βιομάζα. Η τιμή κάθε επιχορήγησης SO<sub>2</sub> ανέρχεται στο ποσό των \$135 το 1993 ενώ στις μέρες μας είναι \$80. (National Renewable Energy Laboratory)

#### Κόστος υλοποίησης

Το κόστος υλοποίησης αυτής της τεχνολογίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τοποθεσία της εγκατάστασης, το τύπο της καθώς και την διαθεσιμότητα από βιοκαύσιμα χαμηλού κόστους. Μία τυπική εγκατάσταση “σύγχρονης καύσης” περιλαμβάνει μετατροπές στον χειρισμό του καυσίμου, το σύστημα αποθήκευσης του καθώς και στο εσωτερικό μέρος του καυστήρα.

Το κόστος μπορεί να αυξηθεί σε μεγάλο βαθμό αν το καύσιμο (π.χ. ξύλο) πρέπει πριν να στεγνώσει, να μειωθεί το μέγεθος ή αν ο καυστήρας χρειάζεται έναν ξεχωριστό μηχανισμό τροφοδοσίας. (National Renewable Energy Laboratory)

Το κόστος καυσίμων βιομάζας προερχόμενη από κατάλοιπα άλεσης ή ξυλείας μπορεί να κυμανθεί από \$0/BTU έως \$1.40/BTU, αναλόγως και από την απόσταση της πηγής του καυσίμου από τις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας.

Το κόστος μετατροπής της εγκατάστασης κυμαίνεται από \$150 έως \$300 ανά KW παραγωγής βιομάζας σε καυστήρα γαιάνθρακα σε σκόνη ενώ για έναν καυστήρα κύκλου το κόστος είναι χαμηλότερο και ανέρχεται στην τιμή των \$50 ανά KW.

Η τροφοδοσία καυσίμων είναι ο σημαντικότερος παράγοντας κόστους. Το κόστος για καύσιμα βιομάζας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως κλιματικούς, η απόσταση του από πληθυσμιακά κέντρα καθώς και η παρουσία βιομηχανιών που εμπορεύονται και διαθέτουν ξυλεία.

Χαμηλές τιμές, χαμηλό κόστος μεταφοράς και αξιόλογες ποσότητες τροφοδοσίας είναι πολύ σημαντικοί παράμετροι. Συνήθως το κόστος καυσίμων βιομάζας πρέπει να είναι ίσο ή μικρότερο από το κόστος του γαιάνθρακα ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας για να είναι οικονομικά επιτυχημένη.

Πολλές εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ελαττώνουν το κόστος των καυσίμων με την σύγχρονη καύση καυσίμων βιομάζας. Για παράδειγμα ο φορέας Tennessee Valley Authority στις Η.Π.Α. υπολογίζεται ότι θα ελαττώσει κατά \$1.5 εκατομμύρια ανά έτος το κόστος καυσίμων χρησιμοποιώντας καύσιμα βιομάζας στις εγκαταστάσεις της. (National Renewable Energy Laboratory)

Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα από οικονομικής πλευράς είναι η εξοικονόμηση κεφαλαίων από την χρησιμοποίηση κατάλοιπων από βιομηχανικές διεργασίες. Αυτό έχει ευεργητικές συνέπειες για το βιομηχανικό τομέα αφού ελαττώνει σε μεγάλο ποσοστό το υλικό το οποίο καταλήγει προς εκταφή. Έτσι, πλέον οι βιομηχανίες δεν έχουν το επιπλέον κόστος της εκταφή των κατάλοιπων τους ενώ δεν έχουν να αντιμετωπίσουν διάφορους περιορισμούς που έχουν θεσπιστεί για την εκταφή κατάλοιπων από μέρους των βιομηχανιών. Έτσι οι εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας απαλλάσσουν την βιομηχανία από τα κατάλοιπα ενώ επιπλέον αποκτούν πρώτη ύλη χαμηλού κόστους. (U.S. Department of Energy)

Επίσης η χρήση βιομάζας ελαττώνει σε σημαντικό βαθμό την ενεργειακή εξάρτηση μιας χώρας από τον σημερινό υπαρκτό κίνδυνο της μείωσης των αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων αλλά επίσης και την εξάρτηση από άλλες χώρες από τις οποίες πραγματοποιούνται οι εισαγωγές αυτών των καυσίμων.

Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι ένας από τους μεγαλύτερους παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος αυτής της τεχνολογίας είναι η μεταφορά των καυσίμων από το μέρος παραγωγής προς τις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας. Για αυτό το λόγο επιβάλλεται μία προσεκτική μελέτη ως προς την τροφοδοσία πρώτων υλών. 4

#### Περιβαλλοντικοί παράμετροι

Σε αντίθεση με τον γαιάνθρακα, οι περισσότερες μορφές βιομάζας περιέχουν πολύ μικρές ποσότητες θείου. Ως εκ τούτου, η αντικατάσταση του γαιάνθρακα από βιομάζα έχει σαν αποτέλεσμα την ελάττωση των εκπομπών του διοξειδίου του θείου SO<sub>2</sub>. Το ποσοστό της ελάττωσης του διοξειδίου του θείου εξαρτάται από το πόσο της θερμότητας που αποκτάται από την βιομάζα καθώς και από την περιεκτικότητα του γαιάνθρακα σε θείο.

Όπως και με τα ορυκτά καύσιμα, σαν αποτέλεσμα της καύσης βιομάζας έχουμε την εκπομπή CO<sub>2</sub>. Εντούτοις η βιομάζα απορροφά το ίδιο ποσό διοξειδίου του άνθρακα

κατά την διάρκεια του κύκλου ανάπτυξης της με το ποσό που εκλύεται κατά την καύση της. Έτσι όταν η παραγωγή βιομάζας γίνεται με τον ενδεικνυόμενο τρόπο, τότε οι καθαρές εκπομπές CO<sub>2</sub> στον πλήρη κύκλο του καυσίμου (από την παραγωγή στην καύση) είναι μηδενικές. (U.S. Department of Energy)

Από μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί σε εγκαταστάσεις όπου χρησιμοποιείται άνθρακα / βιομάζα έχουν παρατηρηθεί εκπομπές της τάξεως των 681 g CO<sub>2</sub>-equiv/kWh σε σύγκριση με τα 847 g CO<sub>2</sub>-equiv/kWh για εγκαταστάσεις με καύσιμο αποκλειστικά άνθρακα, δηλαδή μείωση της τάξης του 19%, ενώ η μείωση στην κατανάλωση ορυκτών καυσίμων ανέρχεται στο ποσοστό του 12%.

Οι εκπομπές NO<sub>x</sub> που προκαλούνται από την τεχνολογία αυτή είναι επίσης μικρότερες και οφείλονται στην μικρότερη περιεκτικότητα σε νάτριο της βιομάζας καθώς και στην χαμηλότερη θερμοκρασία που χρησιμοποιείται για την καύση της πρώτης ύλης. (U.S. Department of Energy)

Εντούτοις, υπάρχουν ορισμένες εγκαταστάσεις βιομάζας οι οποίες παρουσιάζουν υψηλό επίπεδο εκπομπών NO<sub>x</sub> ανά kWh σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες καύσης. Αυτό το υψηλό επίπεδο NO<sub>x</sub> οφείλεται στην σημαντική ποσότητα NO<sub>x</sub> που παρατηρείται σε ορισμένα καύσιμα βιομάζας. Το γεγονός αυτό αποτελεί και το σημαντικότερο παράγοντα εκπομπών που συνδέεται με την βιομάζα.

Επίσης, οι ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα (CO) που εκπέμπονται ορισμένες φορές είναι υψηλότερες από αυτές των εγκαταστάσεων άνθρακος. 2

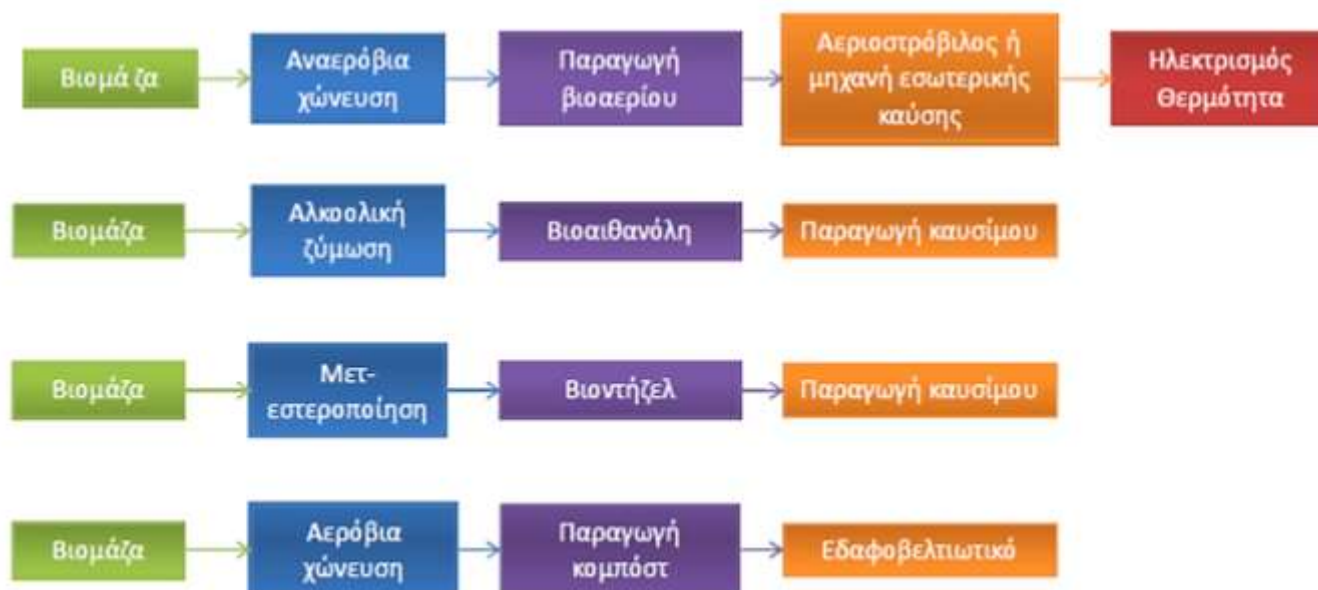
Πέρα από την μείωση των αερίων του θερμοκηπίου, μία άλλη σημαντική συνεισφορά στο περιβάλλον της τεχνολογίας αυτής είναι ότι διάφορα βιομηχανικά υποπροϊόντα τα οποία οδηγούνται προς την εκταφή, τώρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πρώτη ύλη παραγωγής βιομάζας και αυτή με την σειρά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Ορισμένες αρνητικές συνέπειες από την χρήση βιομάζας είναι ότι λόγω της αύξησης της καλλιεργήσιμης γης για την απόκτηση πρώτων υλών διαφαίνεται ο κίνδυνος μείωσης των θρεπτικών συστατικών της καθώς και των ποσοτήτων νερού που απαιτούνται για ποτιστικούς σκοπούς. Επίσης η μεταβολή στην χρησιμοποίηση της γης στην καλλιέργεια καυσίμων βιομάζας μπορεί να επιφέρει μεταβολές στην βιοποικιλία της περιοχής. 2

### **2.5.3 Βιοχημική Επεξεργασία**

Οι βιοχημικές μέθοδοι (κυρίως αλκοολική ζύμωση και αναερόβια χώνευση, αλλά και μετεστεροποίηση και αερόβια χώνευση) εφαρμόζονται κυρίως σε υποστρώματα που έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε νερό. Η ζύμωση χρησιμοποιείται για την παραγωγή κυρίως αιθανόλης, αλλά και άλλων προϊόντων, όπως το γαλακτικό οξύ. Οι κυριότερες πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία της ζύμωσης είναι η γλυκόζη, το

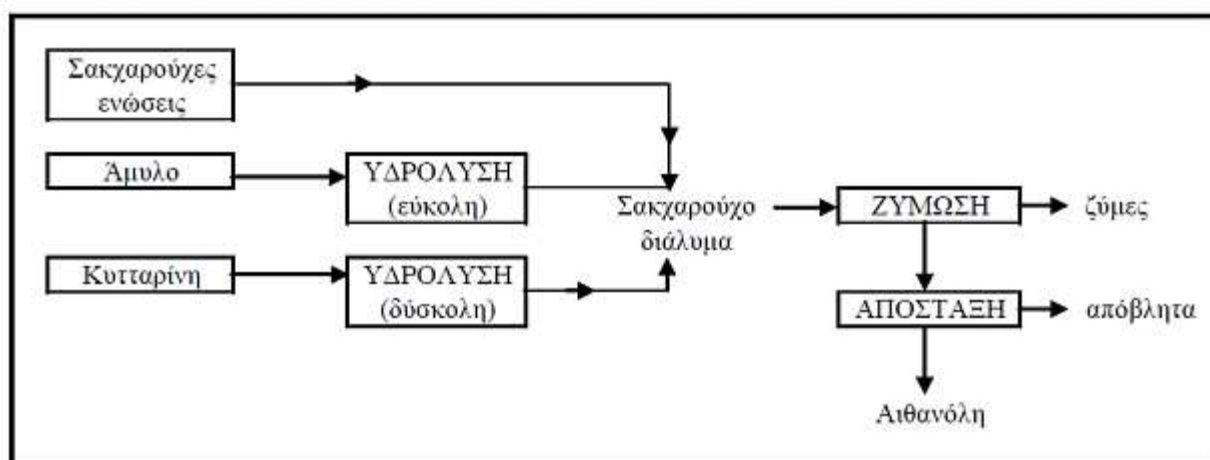
άμυλο, η μελάσσα, το τυρόγαλα κ.λπ. Η αναερόβια χώνευση χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιοαερίου από υγρά/στερεά απόβλητα, κοπριά, σκουπίδια κ.λπ.



Εικόνα 2.10: Βιοχημικές τεχνολογίες μετατροπής βιομάζας (Ζαφείρης Χ. 2003)

### 2.5.3.1 Ζύμωση

Η σημαντικότερη ζύμωση που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενεργειακών προϊόντων από βιολογικές πρώτες ύλες είναι η αλκοολική ζύμωση, κατά την οποία η γλυκόζη μετατρέπεται σε αιθανόλη με τη βοήθεια μικροοργανισμών (ζύμες) σε αναερόβιες συνθήκες. Η πρώτη ύλη που συνήθως χρησιμοποιείται είναι αμυλούχα και/ή κυτταρινούχα προϊόντα. Χαρακτηριστικό διάγραμμα διαδικασίας ζύμωσης φαίνεται στην Εικόνα 2.11 (IEA 2009 Bioenergy).



Εικόνα 2.11: Σχηματικό διάγραμμα διαδικασίας ζύμωσης βιομάζας και τα αντίστοιχα προϊόντα της (Ζαφείρης Χ. 2003)

### 2.5.3.2 Αναερόβια Χώνευση

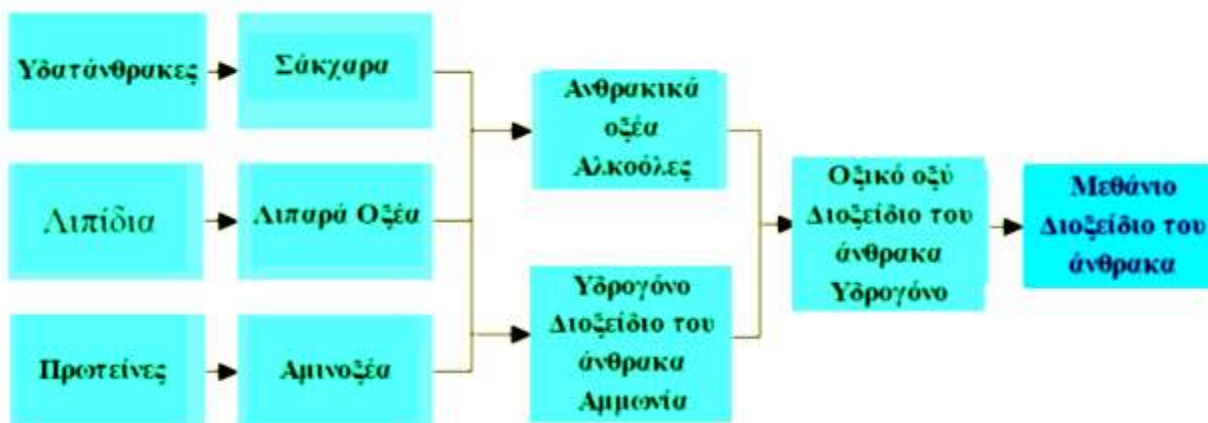
Η διαδικασία συνίσταται στην αναερόβια αποικοδόμηση φυτικών υπολειμμάτων, ζωικών (κοπριά) και αστικών αποβλήτων. Κύριος σκοπός της αναερόβιας χώνευσης είναι η σταθεροποίηση του οργανικού υλικού με ταυτόχρονη μείωση των οσμών, της συγκέντρωσης των παθογόνων μικροοργανισμών και της μάζας του οργανικού υλικού που χρειάζεται περαιτέρω επεξεργασία. Το βιοαέριο που παράγεται αποτελείται σχεδόν εξ' ολοκλήρου από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα σε αναλογίες που ποικίλουν ανάλογα με την πρώτη ύλη και τη διεργασία που ακολουθείται. Η αναερόβια χώνευση του οργανικού υλικού οδηγεί και στο σχηματισμό ιλύος (ως παραπροϊόν), η οποία είναι πλούσια σε θρεπτικά στοιχεία και σε ιχνοστοιχεία και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως οργανικό λίπασμα. Από το βιοαέριο μπορεί να παραχθεί θερμική και ηλεκτρική ενέργεια.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη μετατροπή της κυτταρίνης είναι το πορώδες του υλικού (προσβασιμότητα επιφάνειας), η κρυσταλλικότητα των ινών της κυτταρίνης καθώς και η περιεκτικότητα σε λιγνίνη και ημικυτταρίνη (McMillan, 1994). Για το λόγο αυτό είναι σημαντικές οι μέθοδοι προεπεξεργασίας, οι οποίες στοχεύουν στην απομάκρυνση της λιγνίνης και της ημικυτταρίνης, στη μείωση της κρυσταλλικότητας των ινών της κυτταρίνης και στην αύξηση του πορώδους του υλικού, οι οποίες μπορούν να αυξήσουν σε σημαντικό βαθμό την απόδοση των προαναφερθέντων μεθόδων μετατροπής της κυτταρίνης.

Γενικά, οι μέθοδοι προεπεξεργασίας των λιγνοκυτταρινούχων υλικών θα πρέπει: (α) να ενισχύουν το σχηματισμό των σακχάρων ή τη δυνατότητα του επακόλουθου σχηματισμού τους με περαιτέρω υδρόλυση, (β) να ελαχιστοποιούν την απώλεια των υδατανθράκων, (γ) να αποτρέπουν το σχηματισμό παραπροϊόντων που μπορούν να δράσουν παρεμποδιστικά για τις διεργασίες της ενζυμικής υδρόλυσης και της αναερόβιας χώνευσης και (δ) να είναι οικονομικά βιώσιμες (Sun & Cheng, 2002).

Η περιγραφή της αναερόβιας χώνευσης του οργανικού υλικού απλουστεύεται χρησιμοποιώντας ένα σχήμα τεσσάρων σταδίων (Εικόνα 2.12). Τα στάδια αυτά είναι (Κούκιος Ε. 2010):

- Υδρόλυση
- Οξυγένεση
- Οξικογένεση
- Μεθανογένεση



## ΥΔΡΟΛΥΣΗ ΟΞΕΟΓΕΝΕΣΗ ΟΞΙΚΟΓΕΝΕΣΗ ΜΕΘΑΝΟΓΕΝΕΣΗ

Εικόνα 2.12: Τα κύρια βήματα της αναερόβιας χώνευσης (Κούκιος Ε. 2010)

Η αναερόβια χώνευση απαιτεί χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, παράγει ένα αέριο καύσιμο το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί και να ελαττώσει περισσότερο το κόστος επεξεργασίας, και τέλος παράγει μικρές ποσότητες βιομάζας σαν παραπροϊόν της διεργασίας. Από την άλλη πλευρά όμως είναι μία αργή διεργασία με μεγάλη αστάθεια, λόγω της αυξημένης ευαισθησίας των μεθανογενών βακτηρίων στις τοξικότητες του υποστρώματος (Fiestas et al., 1992).

### Διαθέσιμες τεχνολογίες αναερόβιας χώνευσης

Οι διατιθέμενες τεχνολογίες αναερόβιας χώνευσης περιλαμβάνουν (ΚΑΠΕ, “Οδηγός Βιομάζας”):

- ❖ Αντιδραστήρες συνεχούς λειτουργίας πλήρους ανάδευσης (CSTR)
- ❖ Αντιδραστήρες με επιστροφή τη βιομάζας (contact reactors)
- ❖ Αντιδραστήρες ανοδικής ροής μέσω κλίνης βιομάζας (UASB)
- ❖ Αναερόβια βιόφιλτρα (ανοδικής ροής και καθοδικής ροής)
- ❖ Αντιδραστήρες ρευστοστερεάς κλίνης (διαστελόμενης ή μη)
- ❖ Αναερόβια χώνευση δύο σταδίων όπου διαχωρίζονται οι διεργασίες οξυγένεσης από τις διεργασίες μεθανογένεσης
- ❖ Αντιδραστήρες διαδοχικής υπερχείλισης (Anaerobic baffled reactor, ABR).

## 2.6 Εφαρμογές της ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας

- Ως βιοκαύσιμο

Καλλιέργειες που είτε περιέχουν άμυλο σαν κύριο συστατικό, όπως οι πατάτες και το καλαμπόκι, εφόσον υδρολυθούν, και μετατραπεί το περιεχόμενο άμυλο σε σάκχαρο, ή καλλιέργειες σακχαροκαλάμων, με κατάλληλη διεργασία (αναερόβια βιολογική) μετατρέπουν το περιεχόμενο σάκχαρο σε αλκοόλη και αποδίδουν τελικά αιθανόλη. Η

βιοαιθανόλη που προκύπτει μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις μεταφορές, σε μηχανές εσωτερικής καύσης είτε άμεσα σε κατάλληλα τροποποιημένες μηχανές είτε έμμεσα με τη χρήση μιγμάτων αυτής με βενζίνη κατά 10%- 20%, δίχως μετατροπή του κινητήρα. Βιοκαύσιμα, επίσης εξάγονται από στελέχη φυτών συνηθισμένων καλλιεργειών στον Ελλαδικό χώρο, όπως το βαμβάκι, ο ηλίανθος, ο καπνός, δημητριακά και καλαμπόκι. (Γεράσιμος Μαρτζόπουλος, 2004)

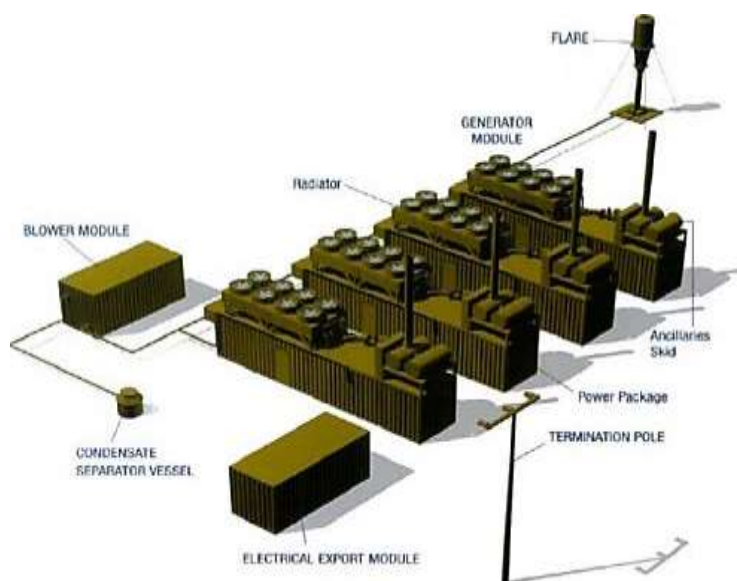
Οι ενεργειακές καλλιέργειες συνεισφέρουν σημαντικά στην παραγωγή βιοκαυσίμων. Η μείωση του κόστους μεταφοράς της βιομάζας και κατά συνέπεια της ενέργειας που θα παραχθεί προϋποθέτουν τη δημιουργία μονάδων δύλισης βιομάζας σε μικρή απόσταση από την πηγή και άρα συντελούν στην ανάπτυξη της αγροτικής περιοχής. (Ε. Λόης, 2005)

Τα πλέον διαδεδομένα βιοκαύσιμα είναι:

➔ Το *βιοντήζελ*, που παράγεται από φυτικά έλαια και ζωικά λίπη με μια διαδικασία που ονομάζεται μετεστεροποίηση. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στους υπάρχοντες πετρελαιοκινητήρες είτε αυτούσιο είτε σε ανάμιξη με το πετρέλαιο κίνησης.

➔ Η *βιοαιθανόλη*, που παράγεται από σακχαρούχα, κυτταρινούχα και αμυλούχα φυτά με αλκοολική ζύμωση. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει έντονη ερευνητική δραστηριότητα για την παραγωγή βιοαιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχες πρώτες ύλες, όπως άχυρο και ξύλο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ανάμιξη με την βενζίνη στους υπάρχοντες βενζινοκινητήρες μετά από ελάχιστες ή και καθόλου μετατροπές ανάλογα με την περιεκτικότητα του μίγματος.

➔ Το *βιοαέριο*, που παράγεται από την αναερόβια χώνευση έχει μια σειρά από πιθανές χρήσεις σε μηχανές εσωτερικής καύσης, σε συστήματα με αεριοστρόβιλους και γεννήτριες ηλεκτροπαραγωγής, παραγωγής θερμότητας σε εμπορικές και οικιακές χρήσεις και σε ειδικά τροποποιημένα οχήματα ως καύσιμο κίνησης. (Quaak P., 1999)



Εικόνα 2.13: Ενδεικτικό διάγραμμα εγκατάστασης αξιοποίησης βιοαερίου (Γεράσιμος Μαρτζόπουλος, 2004)



Το βιοαέριο, με την κατάλληλη επεξεργασία και αναβάθμιση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως καύσιμο μεταφορών, με ιδιαίτερα ανταγωνιστική τιμή. Στη Σουηδία ήδη αρκετά οχήματα κινούνται με μεθάνιο και λειτουργούν σταθμοί διανομής βιοαερίου. Παράλληλα, το αναβαθμισμένο βιοαέριο μπορεί να διοχετευθεί στο δίκτυο του φυσικού αερίου, όπως πλέον γίνεται στην Ολλανδία, τη Σουηδία και την Ελβετία και να χρησιμοποιηθεί για ηλεκτρική και θερμική ενέργεια. Πειραματικά χρησιμοποιείται και για παραγωγή  $H_2$ , τροφοδοτώντας κυψέλες καυσίμου (fuel cells). (Γεράσιμος Μαρτζόπουλος, 2004)

Η ανάπτυξη και εγκατάσταση τεχνολογιών βιοαερίου, αποτελεί μία εναλλακτική λύση με σημαντικά πλεονεκτήματα, καθώς προσφέρει περιβαλλοντικά φιλική ενέργεια και ταυτόχρονα επιλύει το συνεχώς διογκούμενο πρόβλημα της διάθεσης των λυμάτων. Ένα άλλο σημαντικό οικονομικό όφελος αποτελεί η παραγωγή προϊόντος κατάλληλου για ζωοτροφή, ως υποκατάστατου του βαμβακάλευρου, που προέρχεται από την αποξήρανση του επεξεργασμένου αναερόβια υλικού σε θερμοκρασία 65 °C. Με το προϊόν αυτό παρέχονται στα ζώα πρωτεΐνες και υποκαθιστούνται άλλες ζωοτροφές. (Γεράσιμος Μαρτζόπουλος, 2004)

- *Ενεργειακές καλλιέργειες*

Οι ενεργειακές καλλιέργειες είναι παραδοσιακές καλλιέργειες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων είτε φυτά που δεν καλλιεργούνται, προς το παρόν, εμπορικά όπως ο μίσχανθος, η αγριαγκινάρα και το καλάμι που το τελικό προϊόν τους προορίζεται για την παραγωγή ενέργειας και βιοκαυσίμων. Οι ενεργειακές καλλιέργειες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες οι οποίες είναι:

**Ετήσιες:** σακχαρούχο ή γλυκό σόργο, ινώδες σόργο, κενάφ, ελαιοκράμβη, βρασσική η αιθίοπια.

**Πολυετείς:** I. Γεωργικές : Αγριαγκινάρα, καλάμι, μίσχανθος,

II. Δασικές : Ευκάλυπτος, ψευδακακία

Οι ενεργειακές καλλιέργειες μπορούν να δώσουν καύσιμη ύλη και για τις άλλες εφαρμογές της βιομάζας.

Η ανάπτυξη των ενεργειακών καλλιεργειών είναι μία πολύ καλή λύση για την υπέρβαση του οικονομικού αδιεξόδου που αισθάνονται οι Ευρωπαίοι και ιδιαίτερα οι Έλληνες γεωργοί ότι έρχεται, λόγω της ελεύθερης εισαγωγής αγροτικών προϊόντων από τις αρχές του τρέχοντος έτους αλλά και ενόψει της κατάργησης των κλασικών επιδοτήσεων. 18

- *Παραγωγή ηλεκτρισμού*

Η χρήση της βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρισμού φέρει τη σφραγίδα της «πράσινης ενέργειας».



Η απαραίτητη ξήρανση του βαμβακιού πριν τον εκκοκκισμό παλαιότερα γινόταν με την καύση πετρελαίου και τη διοχέτευση των καυσαερίων στο προς ξήρανση βαμβάκι, μέχρι την εγκατάσταση συστήματος συμπαραγωγής .

Η ισχύς του λέβητα βιομάζας είναι 4.000.000 kcal/h και ο παραγόμενος ατμός έχει πίεση 10 bar. Το έργο που παράγεται κατά την εκτόνωση του ατμού σε ένα στρόβιλο, μετατρέπεται στη γεννήτρια σε ηλεκτρική ενέργεια ισχύος 500 kW. Μετά την εκτόνωσή του, ο ατμός οδηγείται μέσω σωληνώσεων, σε εναλλάκτες θερμότητας, όπου θερμαίνεται ο αέρας στους 130 °C ,ο οποίος εν συνεχεία, χρησιμοποιείται για την ξήρανση του βαμβακιού σε ειδικούς πύργους. Μέρος του θερμού αέρα κατευθύνεται στο σπορελαιουργείο, όπου χρησιμοποιείται στις πρέσες ατμού για την παραγωγή βαμβακόλαδου.

Με αυτό τον τρόπο καλύπτονται οι συνολικές ανάγκες της μονάδας σε θερμότητα και ένα μέρος των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια. Η εξοικονόμηση ενέργειας φθάνει τους 630 τόνους πετρελαίου ετησίως με αποτέλεσμα την μείωση του κόστους παραγωγής του τελικού προϊόντος αλλά και την ταχύτατη απόσβεση της αρχικής επένδυσης (Κ.Α.Π.Ε).

- *Παραγωγή υδρογόνου*

Το υδρογόνο έχει χαρακτηριστεί από πολλούς ως το καύσιμο του μέλλοντος και όχι άδικα, εξαιτίας της υψηλής ενεργειακής του αξίας (162kJ/g), και του ότι είναι καθαρό καύσιμο, η καύση του παράγει μόνο νερό, σε αντίθεση με τα οργανικά καύσιμα που παράγουν και διοξείδιο του άνθρακα (υπεύθυνο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου). (Levin DB., 2004)

Προς το παρόν το υδρογόνο παράγεται κυρίως από πετρελαϊκούς υδρογονάνθρακες, με αποτέλεσμα η παραγωγή του να έχει αυξημένο κόστος. Είναι γνωστό ότι το υδρογόνο αποτελεί ενδιάμεσο προϊόν της αναερόβιας επεξεργασίας των οργανικών ουσιών με τελικό προϊόν την παραγωγή μεθανίου. Πρόσφατα ξεκίνησαν έρευνες στην αναερόβια παραγωγή υδρογόνου χρησιμοποιώντας διάφορες μεθόδους διακοπής της μεθανογένεσης ( χαμηλό pH, αναστολείς μεθανογένεσης), το υπόστρωμα που έγιναν οι έρευνες ήταν η γλυκόζη καθώς και οικιακά απόβλητα. (Han SK., 2004)

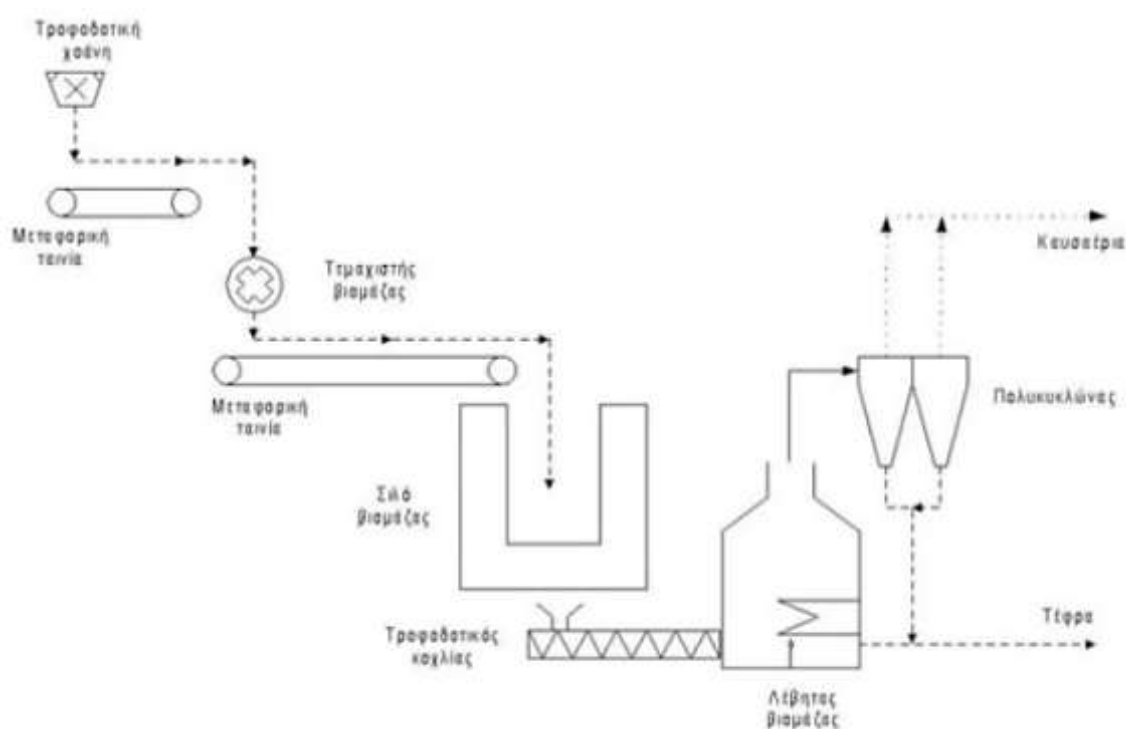
Η αναερόβια παραγωγή υδρογόνου από ζωικά απόβλητα δεν έχει επιτευχθεί ακόμη λόγω της υψηλής δυσκολίας να διακοπεί η μεθανογένεση που συντελείτε σε αυτά. Το εργαστήριο Εναλλακτικών Ενεργειακών Πόρων στη Γεωργία θέλοντας να συμβάλει και αυτό στην έρευνα για τη βιολογική παραγωγή υδρογόνου έχει ξεκινήσει πειράματα στον τομέα αυτόν χρησιμοποιώντας ζωικά απόβλητα. (Han SK., 2004)

- *Θέρμανση θερμοκηπίων*

Η αξιοποίηση της βιομάζας σε μονάδες παραγωγής θερμότητας για τη θέρμανση θερμοκηπίων, αποτελεί μια καλή πρόταση για την μείωση του κόστους παραγωγής των θερμοκηπιακών προϊόντων. Στο 10% της συνολικής επιφάνειας των

θερμοκηπίων στη χώρα μας, έχουν εγκατασταθεί λέβητες βιομάζας με χρήση πυρηνόξυλου, άχυρου και άλλων φυτικών υπολειμμάτων ως καύσιμης ύλης. Κατά την καύση της βιομάζας, η δεσμευμένη ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική ενώ το CO<sub>2</sub> (που δεσμεύεται για την παραγωγή της) επιστρέφει στην ατμόσφαιρα.. Τα ανόργανα στοιχεία που περιέχονται στην τέφρα εμπλουτίζουν το έδαφος με θρεπτικά στοιχεία.

Μια τέτοια εφαρμογή υπάρχει στο νομό Σερρών σε ένα θερμοκήπιο οπωροκηπευτικών, έκτασης 2 στρεμμάτων όπου έχει εγκατασταθεί λέβητας, θερμικής ισχύος 400.000 kcal/h όπου χρησιμοποιείται ως καύσιμη ύλη άχυρο σιτηρών. Η ετήσια εξοικονόμηση πετρελαίου έχει φθάσει τους 40 τόνους. (Κ.Α.Π.Ε, ) 18

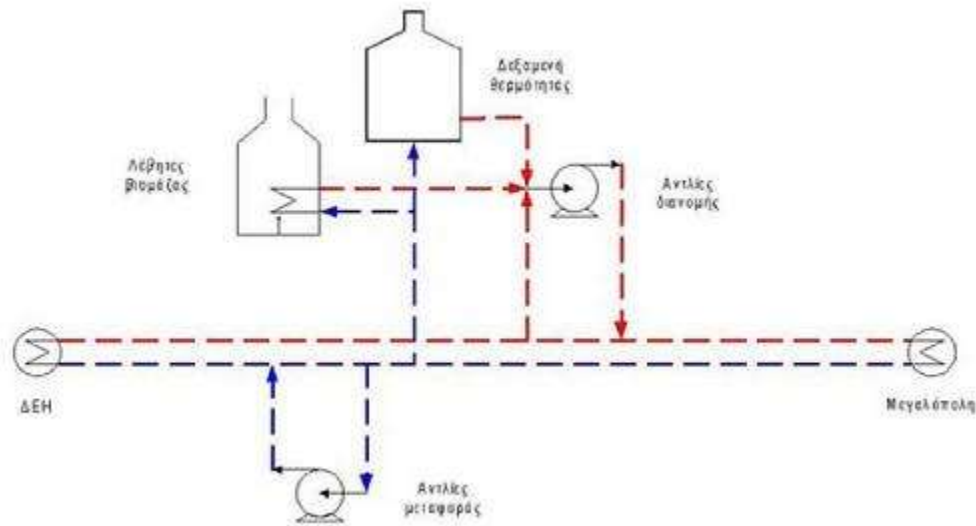


Εικόνα 2.15: Λέβητας Βιομάζας για θέρμανση θερμοκηπίων στο νόμο Σερρών

- *Τηλεθέρμανση*

Η τηλεθέρμανση (ή η τηλεψύξη) είναι η εφαρμογή μεθόδων κεντρικής παραγωγής θερμότητας (ή ψύξης) και η διανομή της (συνήθως με την μορφή ζεστού ή ψυχρού νερού) για θέρμανση ή ψύξη σε κατοικίες ή άλλες εφαρμογές. Η θερμότητα μεταφέρεται με προ-μονωμένο δίκτυο αγωγών από το σταθμό προς τα θερμαινόμενα κτίρια .Τα πλεονεκτήματα των τεχνολογιών αυτών είναι τόσο περιβαλλοντικά τα οποία σχετίζονται με τον καλύτερο και ευκολότερο έλεγχο της καύσης που γίνεται σε κεντρικό επίπεδο όσο και ενεργειακά καθώς η κεντρική παραγωγή ενέργειας είναι δυνατή με πλήθος τεχνολογιών και καυσίμων, μεταξύ των οποίων ιδιαίτερα σημαντική θέση κατέχει η βιομάζα. Χαρακτηριστική εφαρμογή είναι η εγκατάσταση

λέβητα καύσης απορριμμάτων βάμβακος για την κάλυψη θερμικών αναγκών της παραγωγής και τηλεθέρμανσης του μηχανοστασίου των "Εκκοκκιστηρίων Μακεδονίας Α.Ε", το 2002 με την οποία επιτεύχθηκε εξοικονόμηση 3 GWh/έτος θερμικής ενέργειας. ([www.alteren.gr/viomaza.asp](http://www.alteren.gr/viomaza.asp))



Εικόνα 2.16: Ενδεικτικό διάγραμμα τηλεθέρμανσης από σταθμό ηλεκτροπαραγωγής 6



Εικόνα 2.17: Μονάδα ΣΗΘ που λειτουργεί με αέριο ΧΥΤΑ για σύστημα Τηλε-θέρμανσης στη Σουηδία 6

- Κομποστοποίηση

Η «κομποστοποίηση» είναι μια απλή διαδικασία αξιοποίησης της βιομάζας, με την μετατροπή της σε ενεργό οργανικό λίπασμα (κομπόστα). Οργανικά φυσικά υλικά συγκεντρώνονται, τεμαχίζονται και αφήνονται να χωνέψουν (να αποσυντεθούν) με τη βοήθεια των μικροοργανισμών που υπάρχουν παντού στη φύση. Ο τεμαχισμός των

υλικών είναι απαραίτητος γιατί α) μειώνεται ο όγκος του υλικού, β) γίνεται δυνατή η ανάμιξη και ο χειρισμός των ετερογενών υλικών και γ) αυξάνεται η δραστική επιφάνεια ώστε η κομποστοποίηση να είναι πλήρης και να γίνεται στον ελάχιστο χρόνο (το πολύ 6 μήνες). Η χωνεμένη ώριμη κομπόστα είναι φορέας γονιμότητας, ασύγκριτα καλύτερη ακόμα και από την τύρφη ως βελτιωτικό του εδάφους. Με τη χρήση της κομπόστας:

- Αξιοποιούμε πολύτιμη οργανική ύλη για την μακροπρόθεσμη αύξηση της γονιμότητας των εδαφών.
- Επειδή αποφεύγεται η καύση των υπολειμμάτων, μειώνεται ο κίνδυνος των πυρκαγιών και περιορίζεται η ατμοσφαιρική ρύπανση και το πρόβλημα της διάθεσης των οργανικών απορριμμάτων από τις μονάδες ζωικής παραγωγής.
- Εξοικονομούμε ενέργεια, χρήμα και εργασία (ενεργειακές εισροές), γιατί με τη σωστή εφαρμογή της κομπόστας διευκολύνονται ή περιορίζονται ορισμένες καλλιεργητικές επεμβάσεις όπως βοτανίσματα, σκαλίσματα, άρδευση ενώ παράλληλα πετυχαίνουμε ανώτερη ποιότητα προϊόντων (θρεπτική αξία, γεύση, άρωμα, αντοχή).
- Συντελούμε στην προστασία των υπόγειων νερών, των υδάτινων αποδεκτών και της θάλασσας από τον ευτροφισμό και εξοικονομούμε πολύτιμο νερό. 24

## 2.7 Ηλεκτροπαραγωγή από Βιομάζα

Η ηλεκτροπαραγωγή από στερεά Βιομάζα γίνεται σήμερα αποκλειστικά μέσω της καύσης της σε ατμοηλεκτρικούς σταθμούς με θαλάμους καύσης των τύπων “κινούμενης σχάρας” (παλαιότεροι), “αιώρησης κονιορτού” (suspension burners) ή “ρευστοποιημένης κλίνης” (πλέον πρόσφατη εξέλιξη με σαφή πλεονεκτήματα στην μεσαία και την μεγάλη κλίμακα).

Στην Ελλάδα, πρακτικά το σύνολο της παραγωγής ηλεκτρισμού από Βιομάζα και Βιοκαύσιμα προέρχεται σήμερα από ΧΥΤΑ και εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού αστικών λυμάτων, όπου παράγεται Βιοαέριο από την αναερόβια χώνευση του βιοαποικοδομήσιμου κλάσματος των αποβλήτων αυτών. Εκεί, η μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται ως τώρα αποκλειστικά από εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσης, αλλά γενικότερα οι τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής από ρευστά Βιοκαύσιμα συμπεριλαμβάνουν αεριοστροβίλους και συστοιχίες μικροτουρμπινών σε απλούς και συνδυασμένους κύκλους ή σε εφαρμογές συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ). Ενδιαφέρουσες δυνατότητες αποτελούν η σύζευξη συνδυασμένου κύκλου αεριοστροβίλου – ατμοστροβίλου με αεριοποιητή Βιομάζας (IGCC) ή με αντιδραστήρα πυρόλυσης (IPCC) για την επίτευξη υψηλών ηλεκτρικών αποδόσεων, καθώς και τα “Βιοδιυλιστήρια”, τα οποία εκτός από Βιοκαύσιμα ηλεκτρισμό και θερμότητα, θα παράγουν και μια γκάμα εμπορεύσιμων χημικών με τρόπο που να μεγιστοποιείται η αξία της Βιομάζας και η απόδοση της επένδυσης.

Μερικές καλές ευκαιρίες για την παραγωγή ηλεκτρισμού από βιολογικής προέλευσης καύσιμα που έχουμε στην Ελλάδα, αφορούν στην καλύτερη ενεργειακή αξιοποίηση πάσης φύσεως βιοαποικοδομήσιμων υπολειμμάτων, αποβλήτων και λυμάτων. Σε πολλές περιπτώσεις αυτά απλά αφήνονται / απορρίπτονται στο περιβάλλον, με όλες τις αρνητικές συνέπειες μιας τέτοιας πρακτικής, ενώ σε άλλες η αξιοποίηση δεν είναι πλήρης. Πιο συγκεκριμένα: ([www.desmie.gr](http://www.desmie.gr))

α) Σε μεγάλες κτηνοτροφικές μονάδες ή σε περιοχές όπου υπάρχουν συγκεντρωμένες περισσότερες μικρές, θα μπορούσαν να λειτουργήσουν αναερόβιοι χωνευτήρες για την παραγωγή Βιοαερίου και εφαρμογές συμπαραγωγής, με προφανή οφέλη την εξοικονόμηση συμβατικά παραγόμενης ενέργειας, την παραγωγή εμπορεύσιμων παραπροϊόντων (π.χ. βελτιωτικών εδάφους) και την μείωση του επιβαρυντικού για το περιβάλλον οργανικού φορτίου των απορριπτόμενων υλικών. Εδώ βέβαια έχει μεγάλη σημασία η προσοχή στην μελέτη και την κατασκευή της εγκατάστασης από εξειδικευμένο και έμπειρο εργολάβο και κατόπιν στην λειτουργία της από αναλόγων προσόντων προσωπικό.

β) Θα μπορούσε να ενταθεί η αξιοποίηση του Βιοαερίου που παράγεται από τα απορρίμματα δεκάδων μικρότερων δήμων από αποκεντρωμένες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής μικρής και μέσης κλίμακας. Υπό το φως της Οδηγίας 1999/31 για τον περιορισμό των βιοαποικοδομήσιμων υλικών που καταλήγουν στους ΧΥΤΑ, θα μπορούσαν τα διαχωρισμένα αυτά υλικά να αναδρομολογούνται σε μεγαλύτερους χωνευτήρες υποδοχής των απορριμμάτων ενός αριθμού κοντινών δήμων που μπορεί επιπλέον να αξιοποιούν συμπληρωματικά και οργανικά απόβλητα / υπολείμματα διαφόρων άλλων προελεύσεων, όπως γεωργικής ή αγροτοβιομηχανικής (εγκαταστάσεις CAD – Centralized Anaerobic Digestion).

γ) Τα απόβλητα και λύματα ορισμένων κλάδων της βιομηχανίας, όπως η βιομηχανία τροφίμων, η βιομηχανία χαρτιού, η φαρμακοβιομηχανία, κ.ά., προσφέρονται για βιολογική επεξεργασία με αναερόβια χώνευση. Μ' αυτόν τον τρόπο, μια πηγή προβλημάτων για όλους μπορεί να μετατραπεί σε πηγή κέρδους.

δ) Βιομηχανικές μονάδες που έχουν ανάγκη για θερμότητα με την μορφή ατμού ή ζεστού νερού σε κάποιο στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας τους και ταυτόχρονα παράγουν στερεά απόβλητα που χαρακτηρίζονται ως Βιομάζα, μπορούν να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες τους (ή μέρος αυτών) καίγοντας τα ίδια τους τα απόβλητα σε εφαρμογές ΣΗΘ. 14



### 2.7.1 Μονάδες παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού με βιομάζα

Παραγωγή θερμότητας με καύση (λέβητες ζεστού νερού/ ατμού)

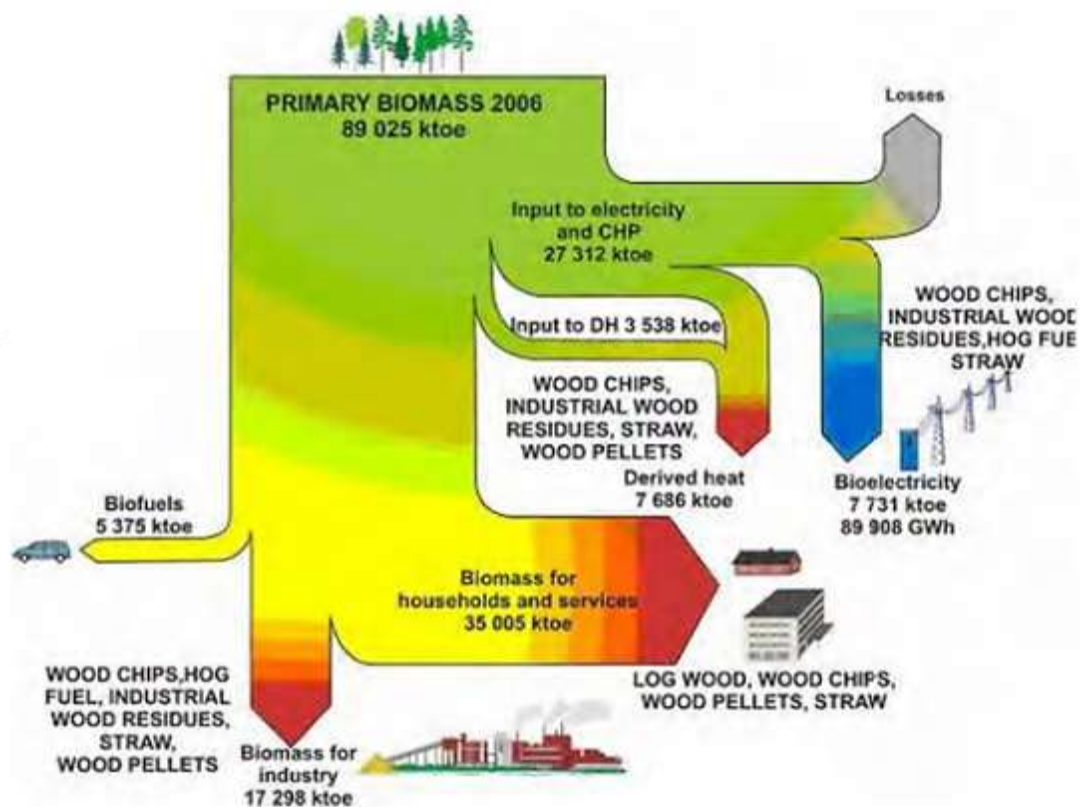
Συμπαράγωγή με αεριοποίηση

Συμπαράγωγή με αναερόβια χώνευση

Μεγάλες βιομηχανικές μονάδες (> 5 MWe)

Μονάδες αποκλειστικής καύσης βιομάζας

Μικτή καύση σε υφιστάμενες θερμικές εγκαταστάσεις (ηλεκτροπαραγωγή, τσιμεντοβιομηχανία) (Κακαράς Ε., 2010)



Εικόνα 2.18: Διάγραμμα Sankey για τις ροές ενέργειας και απώλειες από την πρωτογενή ύλη μέχρι την εκάστοτε τελική χρήση (Κακαράς Ε., 2010)



## 2.7.2 Παραδείγματα εγκαταστάσεων βιομάζας

### E.ON. – Steven's Croft

- Τοποθεσία: Lockerbie, Σκωτία (σε λειτουργία από το 2009)
- Επένδυση: 90m£
- Δυναμικότητα: 44 MWe,
- Στοιχεία μονάδας: λέβητας ρευστοποιημένης κλίνης (P.K.), ατμοστρόβιλος συμπύκνωσης
- Κατανάλωση βιομάζας: 480,000 tn/yr, το οποίο είναι 60% παράγωγα πριονιστηρίου και μικρής ξυλείας, 20% SRC και 20% Ανακυκλωμένες ίνες
- Τοπική πρώτη ύλη: 800 ha δάσους και 4000 ha SRC (Κακαράς Ε., 2010)



Εικόνα 2.19: Εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση βιομάζας στην Σκωτία (Κακαράς Ε., 2010)

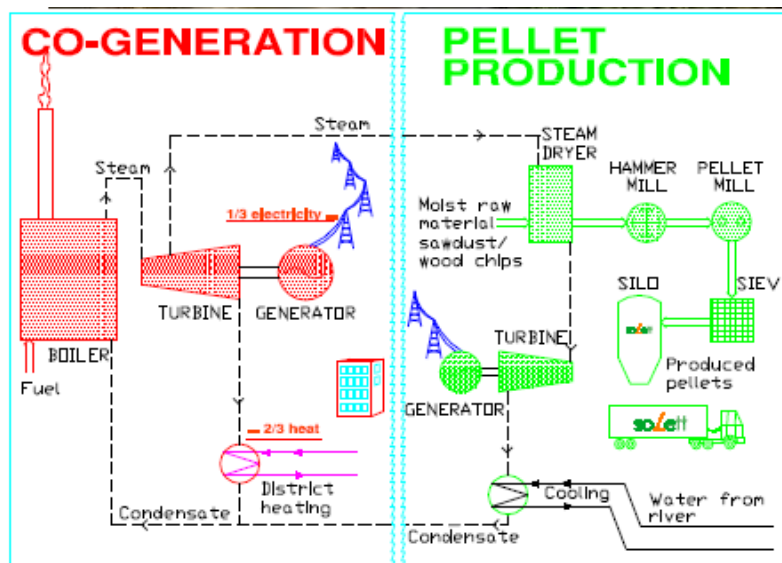
### Skelleftea Kraft – The Bioenergy Combine

- Τοποθεσία: Hedensbyn, Σουηδία (σε λειτουργία από 1996)
- Δυναμικότητα: 98 MW,
- Στοιχεία εγκατάστασης: Δύο λέβητες P.K., Ατμοστρόβιλος (34.4 + 4.9 MW), τηλεθέρμανση (48 MW)
- Κατανάλωση βιομάζας: 1350 GWh/yr από δασικά υπολείμματα και υπολείμματα πριονιστηρίου 150 GWh/yr τύρφης

- Μέση θερμογόνος ικανότητα ~ 17 MJ/kg
- Ειδικά στοιχεία: Ενσωμάτωση διεργασίας πελλετοποίησης με απομάστευση ατμού
- Παραγωγή: 260 GWh θερμότητας, 170 GWh ηλεκτρισμού, 130,000 tn βιοκαυσίμου/yr (Κακαράς Ε., 2010)



Εικόνα 2.20: Φωτογραφία της μονάδας Skelleftea Kraft στη Σουηδία (Κακαράς Ε., 2010)

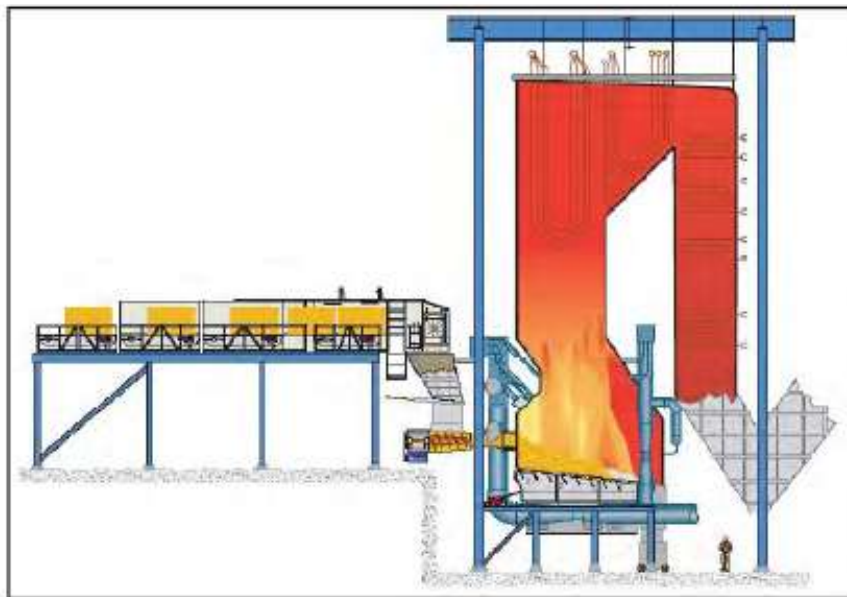


Εικόνα 2.21: Σχηματικό διάγραμμα της εγκατάστασης και των επιμέρους τμημάτων που την απαρτίζουν (Κακαράς Ε., 2010)

### Dong Energy – Avedore Unit 2

- Τοποθεσία: Κοπεγχάγη, Δανία (σε λειτουργία από 2002)
- Δυνατότητα ταυτόχρονης καύσης πολλών καυσίμων. Δύο υπερκρίσιμοι λέβητες για βιομάζα, φυσικό αέριο, πετρέλαιο, ξυλεία (535 MWe, 620 MW<sub>th</sub> για τηλεθέρμανση)

- Λέβητας βιομάζας: υδρόψυκτη κινούμενη εσχάρα
- Κατανάλωση βιομάζας: (10% συνολικής κατανάλωσης καυσίμου) 150,000 tn/yr άχυρο.
- Παραγωγή 35 MWe και 50 MW<sub>th</sub> (Κακαράς Ε., 2010)



Εικόνα 2.22: Φωτογραφία και εσωτερική άποψη της μονάδας Avedøre Unit στη Δανία (Κακαράς Ε., 2010)

## 2.8 Προοπτικές χρήσης βιομάζας

Η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε κοινότητες απομονωμένες από το εθνικό δίκτυο αποτελεί ζήτημα ιδιαίτερης σημασίας, κοινωνικής, οικονομικής και περιβαλλοντικής. Η ενέργεια είναι αγαθό πρώτης προτεραιότητας και πρέπει να παρέχεται σε όλους ανεξαιρέτως τους κατοίκους ώστε να διατηρείται η κοινωνική ισορροπία. Όταν το κόστος για τη μεταφορά ενέργειας από το δίκτυο προς την απομακρυσμένη κοινότητα κρίνεται απαγορευτικό, τότε αποτελεί αναπόφευκτη λύση η παραγωγή ενέργειας

τοπικά, σε μικρής ισχύος μονάδες. Η παραγωγή ενέργειας με συμβατικές μεθόδους ενέχει σοβαρούς περιβαλλοντικούς κινδύνους για την γύρω περιοχή. Ειδικά εάν η περιοχή εγκατάστασης είναι περιοχή ιδιαίτερης φυσικής σημασίας ή αποτελεί τουριστικό προορισμό, η εγκατάσταση μιας τέτοιας μονάδας παραγωγής ενέργειας πρέπει να εξετάζεται με ιδιαίτερη προσοχή και από περιβαλλοντική σκοπιά. Αντίστοιχο περιβαλλοντικό πρόβλημα που καλούνται να αντιμετωπίσουν περιοχές απομακρυσμένες και με συγκεκριμένες πληθυσμιακές αιχμές είναι η διαχείριση των απορριμμάτων τους. 18

Σύμφωνα με τα διάφορα σενάρια, τα αποθέματα των συμβατικών πηγών ενέργειας (πετρελαίου, άνθρακα κ.ά.) πλησιάζουν στην εξάντλησή τους, ενώ και οι διαθέσιμες ποσότητες των πυρηνικών καυσίμων είναι οπωσδήποτε περιορισμένες, πέραν του ότι η χρήση τους εγκυμονεί τεράστιους κινδύνους. Στο ενδιάμεσο διάστημα, μέχρι δηλαδή να εξαντληθούν τα γνωστά αποθέματα καυσίμων υλών, προβλέπεται ο διπλασιασμός των κατοίκων του πλανήτη και ο πολλαπλασιασμός των ενεργειακών τους αναγκών.

Τα κοιτάσματα ορυκτών καυσίμων, στερεών, υγρών και αέριων, που προήλθαν από το φυτικό κόσμο, ο οποίος χρειάστηκε πολλές χιλιετίες για να δημιουργηθεί με τη φωτοσύνθεση, εξορύσσονται με ξέφρενους ρυθμούς και καίγονται. Το αποτέλεσμα είναι, μέσα σε διάστημα δύο μόνο αιώνων, να κοντεύει να εξαντληθεί το προϊόν του μακροχρόνιου έργου της φύσης, καθώς επίσης να έχει ήδη επιβαρυνθεί σοβαρά το περιβάλλον. Το τελευταίο αυτό γεγονός εγκυμονεί τεράστιους οικολογικούς κινδύνους για τον πλανήτη (φαινόμενο θερμοκηπίου, όξινη βροχή κ.λπ.). Επιδίωξη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.) είναι οι εκπομπές CO<sub>2</sub> των χωρών μελών της να έχουν σταθεροποιηθεί το έτος 2000 στα επίπεδα του 1990, με περαιτέρω στόχο τη μείωσή τους μέχρι το 2010. Υπάρχει επιβολή φορολογίας CO<sub>2</sub>, η οποία θα είναι ανάλογη των εκπομπών ρύπων που προκαλεί η κατανάλωση ενέργειας από το βιομηχανικό τομέα.

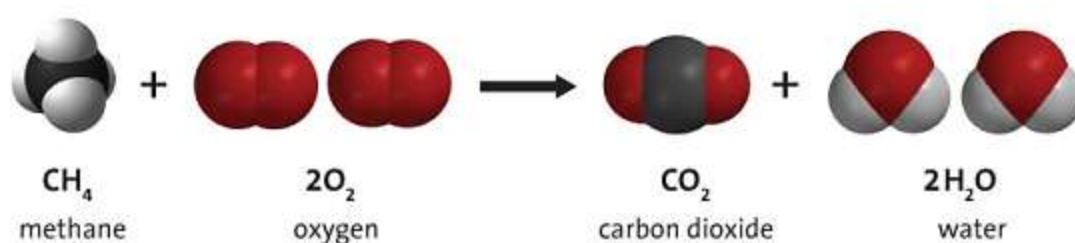
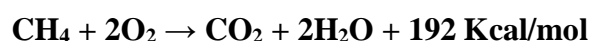
Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι οποίες δεν εμφανίζουν τον κίνδυνο εξάντλησής τους και είναι φιλικές προς το περιβάλλον, προβάλλουν σήμερα ως η μόνη ελπίδα, η οποία διαγράφεται στο ζοφερό ενεργειακό και περιβαλλοντικό ορίζοντα του πλανήτη. Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι, η συμφωνία της GATT και η από αυτήν απορρέουσα νέα Κοινή Αγροτική Πολιτική (Κ.Α.Π.) της Ε.Ε. θα δημιουργήσουν σοβαρότατα προβλήματα διάθεσης των αγροτικών προϊόντων που προορίζονται για διατροφή και παραγωγή βιομηχανικών πρώτων υλών. Σύμφωνα με τις προβλέψεις, 150 εκατομμύρια στρέμματα γόνιμων και άλλα τόσα στρέμματα περιθωριακών εκτάσεων είναι πιθανό να περιέλθουν σε αγρανάπαυση, εκτός εάν οι εκτάσεις αυτές χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας. Για το λόγο αυτό, η Ε.Ε. δαπανά τεράστια ποσά στην έρευνα για την αξιοποίηση της βιομάζας και την ανάπτυξη των βιοκαυσίμων στις περιθωριοποιούμενες εκτάσεις. 26

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Παραγωγή και Χρήση Βιοαερίου

### 3.1 Χημική Σύσταση

Το βιοαέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) 55-70% και διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) 30-45%. Επίσης περιέχει ελάχιστες ποσότητες άλλων αερίων, όπως άζωτο, υδρογόνο, αμμωνία και υδρόθειο. Το βιοαέριο είναι ένα αέριο καύσιμο μίγμα που έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί σε πολλές σημαντικές εφαρμογές για την παραγωγή ενέργειας. Μπορεί να τροφοδοτήσει μηχανές εσωτερικής καύσης (MEK), καυστήρες αερίου ή αεριοστρόβιλους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Επίσης είναι δυνατή η χρήση βιοαερίου σε μικρο- αεριοστρόβιλους (micro gas turbine) δυναμικότητας 25kW - 100kW για παραγωγή ενέργειας.

Όπως αναφέρθηκε, η βασική ένωση που περιέχεται στο μίγμα του βιοαερίου και του προσδίδει ιδιότητες καυσίμου είναι το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ). Το μεθάνιο καίγεται με μεγάλη ευκολία σύμφωνα με την γνωστή εξώθερμη αντίδραση καύσης (Εικόνα 3.1):



Εικόνα 3.1: Μοριακή δομή των αντιδρώντων και των προϊόντων της καύσης 17

Η τέλεια καύση 1  $\text{m}^3$  μεθανίου παράγει 8.570 kcal θερμότητας. Θεωρώντας ότι το βιοαέριο έχει 50% περιεχόμενο σε μεθάνιο, η μέση θερμαντική τιμή του είναι περίπου 21 MJ/Nm<sup>3</sup>, η μέση πυκνότητα 1,22 kg/Nm<sup>3</sup> και η μάζα του είναι παρόμοια με αυτή του αέρα (1,29 kg/Nm<sup>3</sup>). ([www.cres.gr](http://www.cres.gr)) Εκτός από μεθάνιο, το μίγμα του βιοαερίου περιέχει και σημαντικές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), το οποίο είναι μη καύσιμο αέριο, καθώς και μικρότερες ποσότητες και ίχνη από άλλες ενώσεις. Μια τυπική σύσταση του βιοαερίου δίνεται ακολούθως (Πίνακας 3.1):



**Πίνακας 3.1: Τυπική χημική σύσταση του βιοαερίου 12**

<i>Συστατικό</i>	<i>Χημικός Τύπος</i>	<i>Περιεκτικότητα (% κ.ο.)</i>
<b>Μεθάνιο</b>	CH <sub>4</sub>	55-70
<b>Διοξείδιο του άνθρακα</b>	CO <sub>2</sub>	30-45
<b>Άζωτο</b>	N <sub>2</sub>	0-5
<b>Οξυγόνο</b>	O <sub>2</sub>	<1
<b>Υδρογονάνθρακες</b>	C <sub>n</sub> H <sub>2n+2</sub>	<1
<b>Υδρόθειο</b>	H <sub>2</sub> S	0-0,5
<b>Αμμωνία</b>	NH <sub>3</sub>	0-0,05
<b>Υδρατμοί</b>	H <sub>2</sub> O	1-5
<b>Σιλοξάνες</b>	C <sub>n</sub> H <sub>2n+1</sub> SiO	0-50 mg/m <sup>3</sup>

Το διοξείδιο του άνθρακα απομακρύνεται μόνο στις μονάδες αναβάθμισης του βιοαερίου σε βιομεθάνιο (δηλαδή σε ισοδύναμο φυσικού αερίου). Στις συμβατικές μονάδες συμπαραγωγής με βιοαέριο δεν χρησιμοποιείται εξοπλισμός δέσμευσης του CO<sub>2</sub>. Το άζωτο και το οξυγόνο στο βιοαέριο βρίσκονται, συνήθως, σε αναλογία 4:1. Η παρουσία τους οφείλεται στην εσκεμμένη ανάμιξη του θερμού βιοαερίου με αέρα, για την απομάκρυνση του υδρόθειου. Η περιεκτικότητα της αμμωνίας στο βιοαέριο είναι στις περισσότερες περιπτώσεις πολύ μικρή και δεν υπερβαίνει τα 0,1 mg/m<sup>3</sup>. Η ύπαρξη αυξημένων συγκεντρώσεων αμμωνίας υποδηλώνει ότι έχει χρησιμοποιηθεί κατά την αναερόβια χώνευση υλικό με υψηλή συγκέντρωση σε άζωτο (π.χ. κοπριά πουλερικών).

Αντιθέτως, η συγκέντρωση του υδρόθειου στο βιοαέριο είναι καθοριστικός παράγοντας για την ποιότητα του βιοαερίου. Χωρίς να χρησιμοποιηθεί κάποιο στάδιο αποθείωσης του βιοαερίου η συγκέντρωση του μπορεί να ξεπεράσει τα 0,2% κ.ό., ποσότητα ικανή για να δημιουργήσει σημαντικές φθορές λόγω διάβρωσης στις μετέπειτα σωληνώσεις και στην μηχανή συμπαραγωγής. Πολλοί κατασκευαστές μηχανών, μάλιστα, θέτουν ως ανώτατο όριο στην συγκέντρωση υδρόθειου στο βιοαέριο την τιμή του 0,05 % κ.ό. Ένα επιπλέον θέμα που προκύπτει από την ύπαρξη υδρόθειου σε υψηλά επίπεδα είναι οι αυξημένες εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) από την μονάδα.

Η παρουσία του νερού, υπό την μορφή υδρατμών, είναι αναπόφευκτη λόγω των βιοχημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα κατά την αναερόβια χώνευση. Όπως και το υδρόθειο, έτσι και η παρουσία των υδρατμών είναι ανεπιθύμητη στο ρεύμα βιοαερίου που οδηγείται στη μηχανή συμπαραγωγής λόγω της διάβρωσης που μπορεί

να προκαλέσει στον μηχανολογικό εξοπλισμό. Υψηλές συγκεντρώσεις υδρατμών καθιστούν ακόμα και το διοξείδιο του άνθρακα επιβλαβές, λόγω του σχηματισμού μικρών ποσοτήτων ανθρακικού οξέος. Κατά συνέπεια, η απομάκρυνση της υγρασίας είναι ένα ακόμα βήμα για την προεπεξεργασία του βιοαερίου, πριν την εισαγωγή του σε μηχανή συμπαράγωγής.

Οι σιλοζάνες, τέλος, είναι ενώσεις του πυριτίου και προέρχονται ως επί το πλείστον από συγκεκριμένες κατηγορίες υλικών που συμμετέχουν στην αναερόβια χώνευση. Τέτοια υλικά είναι τα αστικά στερεά ή υγρά απόβλητα. Έτσι η παρουσία τους είναι έντονη στο βιοαέριο χωματερής ή εκείνο από βιολογικούς καθαρισμούς, ενώ δεν αποτελεί πρόβλημα για τις αγροτικές μονάδες βιοαερίου. Η παρουσία των σιλοζανών στο βιοαέριο είναι ιδιαίτερα ανεπιθύμητη, καθώς έχουν την τάση, σε υψηλές θερμοκρασίες, να αντιδρούν με το οξυγόνο και να σχηματίζουν διοξείδιο του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ) το οποίο επικάθεται σε διάφορα μέρη του μηχανολογικού εξοπλισμού δημιουργώντας τους σοβαρότατες φθορές.

### **3.2 Υποστρώματα και μονάδες για την παραγωγή βιοαερίου**

Η πρώτη ύλη σε μια μονάδα παραγωγής βιοαερίου είναι καθοριστική ως προς την ισχύ της μονάδας και την ενέργεια (ηλεκτρική και θερμική) που θα παράγει. Οι πιο κοινές κατηγορίες πρώτης ύλης που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή του βιοαερίου είναι:

- Ζωϊκά περιττώματα και πολτοί (Εικόνα 3.2)
- Γεωργικά υπολείμματα και υποπροϊόντα
- Οργανικά απόβλητα από τρόφιμα και αγροτοβιομηχανίες (φυτικής και ζωικής προέλευσης) που μπορούν να υποστούν χώνευση (Εικόνα 3.3)
- Το οργανικό μέρος των αστικών αποβλήτων και των αποβλήτων από επιχειρήσεις εστίασης (φυτικής και ζωικής προέλευσης)
- Λυματολάσπη
- Ειδικές ενεργειακές καλλιέργειες (π.χ. αραβόσιτος, μίσχανθος, σόργο)

Αναλόγως την προέλευση της βιομάζας που χρησιμοποιείται, διακρίνουμε δυο διαφορετικά είδη μονάδων αναερόβιας χώνευσης και παραγωγής βιοαερίου:

- τις *αγροτικές μονάδες* και
- τις *βιομηχανικές μονάδες*.

Στις πρώτες πραγματοποιείται ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας που προκύπτει από τις διάφορες αγροτο-κτηνοτροφικές δραστηριότητες. Η ζωική κοπριά και τα ενσιρώματα ενεργειακών καλλιεργειών (π.χ. καλαμπόκι, μηδική) αποτελούν τις δημοφιλέστερες πρώτες ύλες για την λειτουργία αγροτικών μονάδων παραγωγής βιοαερίου.



**Εικόνα 3.2:** Εγκατάσταση βιοαερίου κλίμακας αγροκτήματος στη Δανία, για συγχώνευση ζωικών πολτών και ενεργειακών καλλιεργειών (groengas.nl)



**Εικόνα 3.3:** Εγκατάσταση βιοαερίου στη Γερμανία, που επεξεργάζεται κοπριές από χοίρους, πουλερικά και σωρούς χόρτων ( 22)

Στις βιομηχανικές μονάδες αναερόβιας χώνευσης η πρώτη ύλη είναι οργανικά βιομηχανικά απόβλητα, είτε σε στερεή ή σε υγρή μορφή. Παραδείγματος χάριν, η χρησιμοποίηση των στερεών υπολειμμάτων τροφίμων, των απόβλητων σφαγείων ή των υγρών αποβλήτων των τυροκομείων, των ελαιοτριβείων και των χυμοποιείων, λαμβάνει χώρα σε βιομηχανικές μονάδες παραγωγής βιοαερίου.

Το είδος της οργανικής πρώτης ύλης που επεξεργάζεται μια μονάδα αναερόβιας χώνευσης καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την μορφή και τη λειτουργία της. Στις βιομηχανικές μονάδες παραγωγής βιοαερίου απαιτείται, πολλές φορές, η προεπεξεργασία της πρώτης ύλης σε υψηλές θερμοκρασίες (παστερίωση ή/και αποστείρωση) προτού εισέλθει στο χωνευτήρα. Για την αποφυγή περιβαλλοντικών οχλήσεων από την έκλυση δυσάρεστων οσμών, ο εξοπλισμός επεξεργασίας και



τροφοδοσίας των στερεών βιομηχανικών αποβλήτων βρίσκεται εγκατεστημένος σε κλειστό χώρο. Εξαιτίας της πολυπλοκότητας στο είδος και τη σύσταση των οργανικών βιομηχανικών αποβλήτων, η αναερόβια χώνευση τέτοιων υλικών είναι περισσότερο σύνθετη και απαιτεί μεγαλύτερη εμπειρία και εξειδίκευση από τον κατασκευαστή της μονάδας.

Αντίθετα, μια μονάδα παραγωγής βιοαερίου που χρησιμοποιεί αγροτική βιομάζα είναι σαφώς ευκολότερη στην κατασκευή και λειτουργία της. Η σύσταση τόσο της κοπριάς, όσο και των ενεργειακών καλλιιεργειών δεν παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις, ενώ δεν είναι υποχρεωτική η θερμική προεπεξεργασία της βιομάζας. (Agapitidis I. and Zafiris C. 2006, Al Seadi, T. 2001)

Για την επιλογή της κατάλληλης μονάδας παραγωγής βιοαερίου, ο επενδυτής θα πρέπει να καθοδηγηθεί από παράγοντες όπως είναι το είδος και η ποσότητα της πρώτης ύλης που διαθέτει. Επίσης, είναι βασικός ο κατάλληλος σχεδιασμός της μονάδας, ώστε να είναι εφικτή η χρήση της παραγόμενης θερμότητας από το σύστημα συμπαραγωγής όπου καταναλώνεται το βιοαέριο. Για να υπάρχει μια σχετική τάξη μεγέθους, μια μονάδα παραγωγής βιοαερίου με ηλεκτρική ισχύ 500 kW<sub>el</sub> μπορεί να παράγει περίπου 4.000.000 kWh ηλεκτρικής ενέργειας και 4.400.000 kWh θερμότητας. Η εγκατάσταση μιας τέτοιας μονάδας παραγωγής βιοαερίου προσφέρει καθαρή ηλεκτρική ενέργεια σε 900 σπίτια και, ταυτόχρονα, καλύπτει τις ανάγκες για θερμότητα σε περίπου άλλα 220. (Zafiris, Ch. 2009)

Η πιο πρόσφατη εξέλιξη είναι ο σχεδιασμός εγκαταστάσεων βιοαερίου βασιζόμενων στις ενεργειακές καλλιιεργειες. Το πλεονέκτημα τους είναι ότι το ενεργειακό περιεχόμενο των ενεργειακών καλλιιεργειών είναι πολύ υψηλότερο απ' ότι αυτό των περισσότερων οργανικών αποβλήτων. Εντούτοις, περιορισμοί και ανησυχίες προκύπτουν όσον αφορά τα κόστη λειτουργίας, καθώς και τη χρήση και τη διαθεσιμότητα του εδάφους. Μια τέτοια εγκατάσταση παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.4.



**Εικόνα 3.4:** Εγκατάσταση βιοαερίου στη Γερμανία που κατασκευάστηκε το 2005 για την χώνευση ενεργειακών καλλιιεργειών

### 3.3 Στάδια Παραγωγής Βιοαερίου

Τα κύρια στάδια για την αξιοποίηση της πρώτης ύλης του βιοαερίου ως την τελική παραγωγή του προϊόντος και τη διάθεσή του παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.5. (Σιούλας Κ. ΚΑΠΕ)

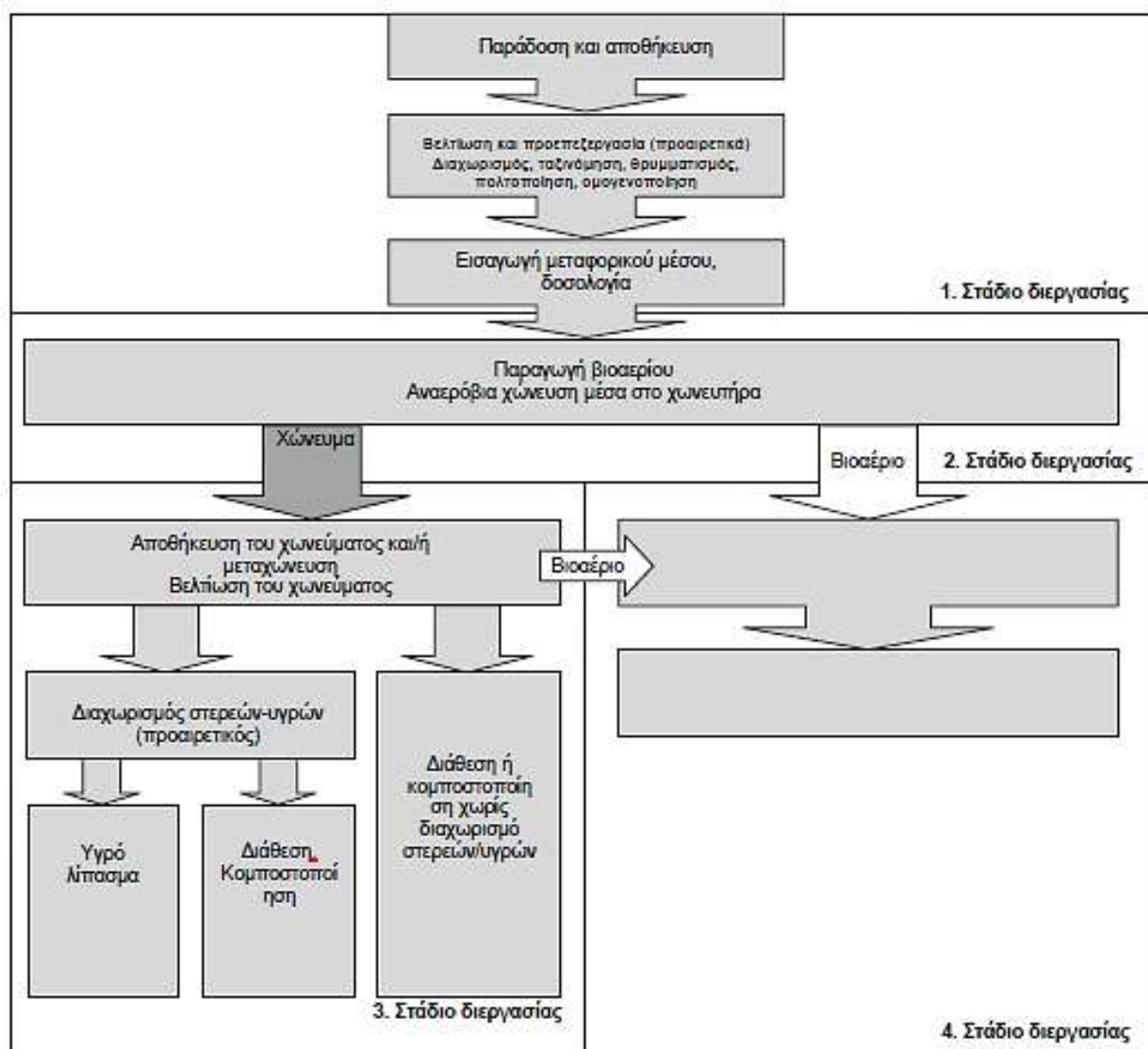


Εικόνα 3.5: Κύρια βήματα διεργασίας παραγωγής βιοαερίου (Σιούλας Κ. ΚΑΠΕ)

Τα βήματα της διεργασίας που περιγράφονται με πλάγιους χαρακτήρες δεν αποτελούν κοινές πρακτικές για τις γεωργικές εγκαταστάσεις βιοαερίου. Η διαφοροποίηση της υγρής και ξηρής ΑΧ είναι μόνο θεωρητική, δεδομένου ότι οι μικροβιολογικές διεργασίες πραγματοποιούνται πάντα σε ρευστά μέσα. Το όριο μεταξύ της υγρής και της ξηρής χώνευσης καθορίζεται από την «αντλησιμότητα» της πρώτης ύλης. Ένα περιεχόμενο ξηρής ουσίας (ΞΟ) άνω του 15% σημαίνει ότι το υλικό δεν είναι «αντλήσιμο» και η ΑΧ σε αυτήν την περίπτωση ορίζεται ως ξηρή χώνευση. Η άμεση τροφοδοσία σχετικά ξηρής πρώτης ύλης (όπως π.χ. η χορτονομή) στον χωνευτήρα αυξάνει την περιεκτικότητα σε ΞΟ του μίγματος πρώτης ύλης.

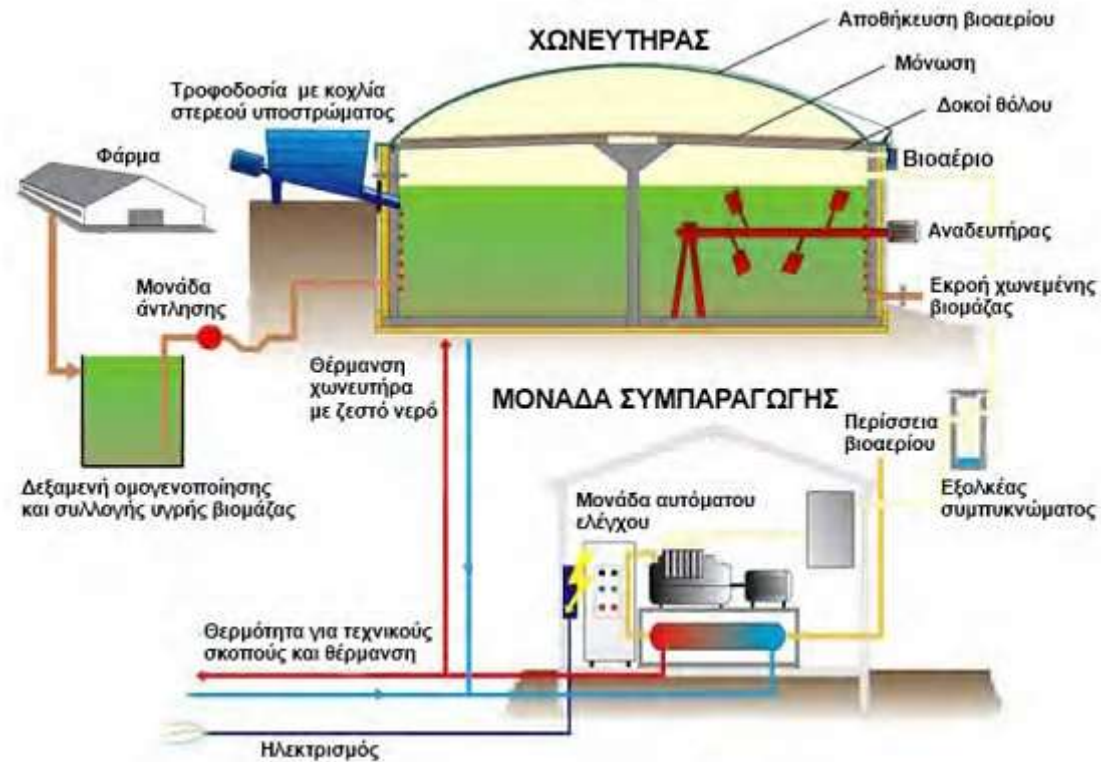
Τα περισσότερα είδη υποστρώματος (βιομάζας, πρώτων υλών) μπορούν να αναμιχθούν μεταξύ τους. Από τις δεξαμενές προ-επεξεργασίας τα υλικά μεταφέρονται στους χωνευτήρες, που αποτελούν και το κύριο μέρος της όλης εγκατάστασης. Οι χωνευτήρες θερμαίνονται με τη βοήθεια μέσων θερμότητας.

Όλη η διαδικασία χώνευσης εκτελείται από αναερόβιους μικροοργανισμούς, οι οποίοι εγχέονται μέσα στο χωνευτήρα, μόνο μία φορά κατά την εκκίνηση λειτουργίας (εκτός από τις περιπτώσεις που η βιομάζα εμπεριέχει ήδη τα κατάλληλα βακτήρια – π.χ. ζωικά απόβλητα). Ο χωνευτήρας είναι ερμητικά σφραγισμένος, διότι πρέπει να διατηρούνται συνθήκες πλήρους έλλειψης οξυγόνου. Στην Εικόνα 3.6 που ακολουθεί παρουσιάζεται ένα αναλυτικό διάγραμμα ροής των σταδίων της διεργασίας παραγωγής του βιοαερίου. (Zafiris Ch. 2007, Zafiris Ch. 2009)



Εικόνα 3.6: Γενικό διάγραμμα ροής της διεργασίας παραγωγής του βιοαερίου (Σιούλας Κ. ΚΑΠΕ)

Μια μονάδα βιοαερίου είναι μια σύνθετη μονάδα, αποτελούμενη από ένα μεγάλο αριθμό συνιστωσών. Η διάταξη μιας τέτοιας μονάδας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τους τύπους και τις ποσότητες της παρεχόμενης πρώτης ύλης. Έτσι στη συνέχεια, παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.7 η υλοποίηση μιας ολοκληρωμένης μονάδας παραγωγής βιοαερίου, όπου απεικονίζονται γραφικά τα κυριότερα επιμέρους τμήματά της, αλλά και η σύνδεση της με μια μονάδα συμπαραγωγής για την αξιοποίηση του βιοαερίου προς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



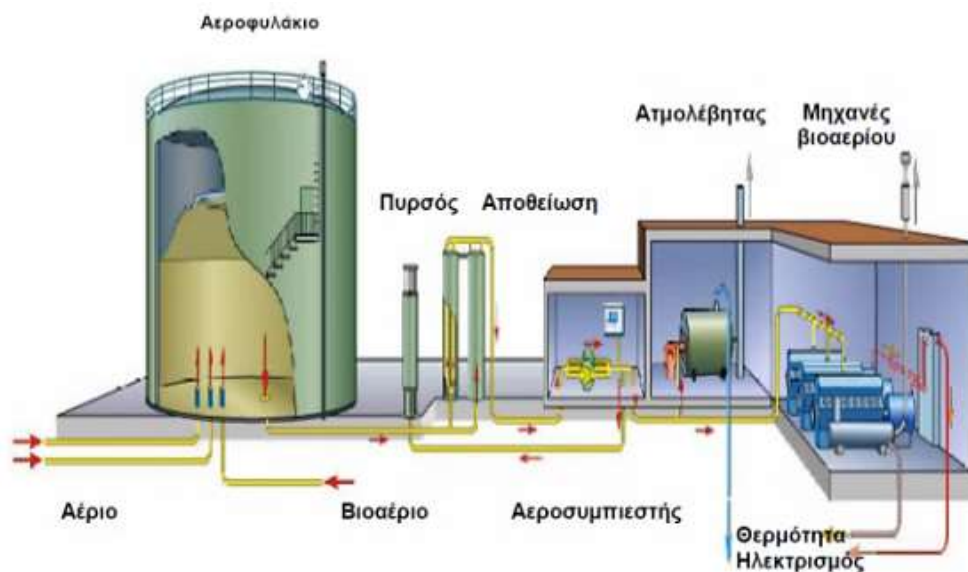
Εικόνα 3.7: Ολοκληρωμένη μονάδα βιοαερίου (Γιακουμέλος Α. 2012)

Ως προϊόντα της αναερόβιας χώνευσης λαμβάνουμε: βιοαέριο και οργανικό/βιολογικό λίπασμα (υγρό και στερεό), το οποίο αποθηκεύεται σε ειδικές εγκαταστάσεις που φαίνονται στην Εικόνα 3.8.



Εικόνα 3.8: Σύστημα αποθήκευσης βιοαερίου (Γιακουμέλος Α. 2012)

Το βιοαέριο μπορεί να τροφοδοτήσει μηχανές εσωτερικής καύσης, (ΜΕΚ), καυστήρες αερίου ή αεριοστρόβιλους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Η υλοποίηση μιας μονάδας και των επιμέρους μηχανημάτων της που θα εκμεταλλεύεται ενεργειακά του βιοαέριο παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.9.



Εικόνα 3.9: Ενεργειακή αξιοποίηση βιοαερίου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας (21)

Το χωνεμένο υπόλειμμα που βρίσκεται στον χωνευτή μετά την διαδικασία της ΑΧ είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί σαν αυτούσιο οργανικό λίπασμα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.10, ή με κατάλληλες τεχνικές, όπως διαχωρισμό, ιζηματογένεση, υπερδιήθηση, αντίστροφη όσμωση, να τροποποιηθεί σε υγρό και στερεό λίπασμα άριστης ποιότητας, και σε νερό άρδευσης. (Al Seadi et al., 2001)



Εικόνα 3.10: Σχηματική αναπαράσταση του κλειστού κύκλου της συγκεντρωμένης αναερόβιας χώνευσης (Al Seadi et al., 2001)

Στην Εικόνα 3.11 παρουσιάζεται μια εγκατάσταση βιοαερίου στη Δανία.

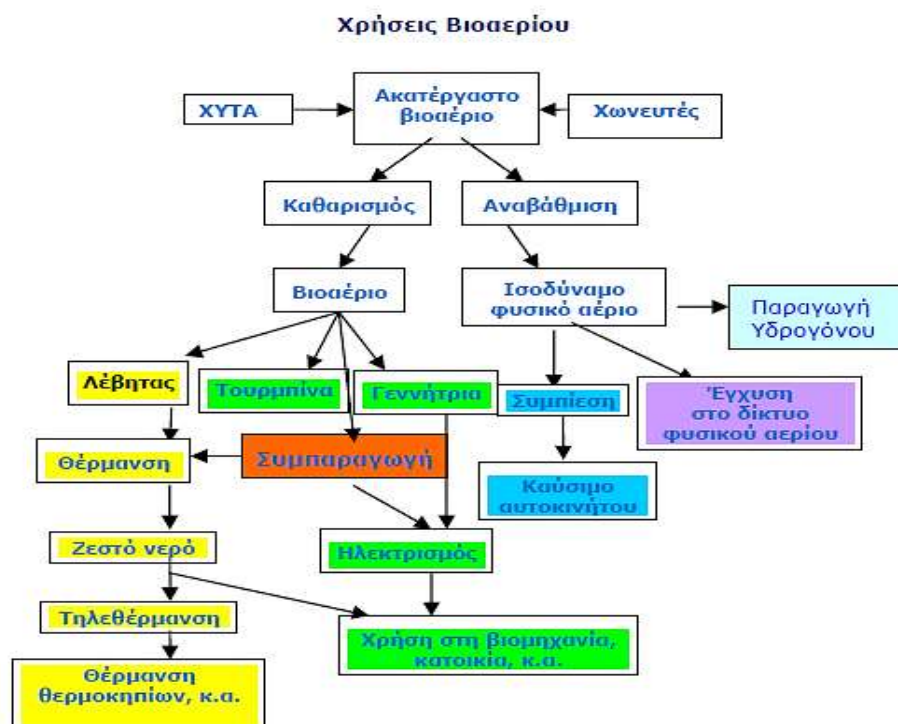




Εικόνα 3.11: Εγκατάσταση μονάδας βιοαερίου στη Δανία (23)

### 3.4 Χρήσεις βιοαερίου

Μια συνοπτική γραφική απεικόνιση των χρήσεων του βιοαερίου φαίνονται ακολούθως στην Εικόνα 3.12. Το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, καθώς και ως καύσιμο μεταφορών, μετά την διαδικασία του καθαρισμού, δηλαδή την απομάκρυνση των σωματιδίων,  $H_2S$ ,  $NH_3$ ,  $H_2O$  και την αναβάθμισή του, δηλαδή την απομάκρυνση του  $CO_2$  και προσθήκη προπανίου. Χρήση του βιοαερίου ως καύσιμο μεταφορών απαντάται στη Σουηδία, Ελβετία, Γαλλία και Γερμανία ενώ στη Σουηδία και στη Γερμανία, το βιοαέριο διοχετεύεται και στο δίκτυο του φυσικού αερίου (Zafiris, Ch. et.al. 2001).



Εικόνα 3.12: Χρήσεις βιοαερίου (Σισύλας Κ. ΚΑΠΕ)

### 3.4.1 Πλεονεκτήματα και οφέλη από τη χρήση του βιοαερίου

Το βιοαέριο εκτός από τα συνήθη οφέλη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η προστασία του περιβάλλοντος και η απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα, εμφανίζει και ορισμένα ξεχωριστά πλεονεκτήματα. (Ζαφείρης Χ., 2008, 18)

- ✓ Οι οικονομικές πιέσεις στις συνήθεις αγροτικές καλλιέργειες γίνονται διαρκώς εντονότερες. Πολλοί αγρότες αναγκάζονται να εγκαταλείψουν το επάγγελμά τους, καθώς η γη που διαθέτουν δεν είναι ικανή να συντηρήσει τους ίδιους και τις οικογένειές τους. Κατά συνέπεια, η επιδότηση που δίνεται για την κατασκευή μονάδας παραγωγής βιοαερίου και οι εγγυημένες τιμές πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί να προσφέρουν στους αγρότες μια επιπλέον πηγή εσόδων, η οποία αναλόγως των περιστάσεων μπορεί να είναι εξαιρετικά σημαντική. Έτσι, ενισχύεται η βιωσιμότητα του αγροτικού πληθυσμού με τρόπο, μάλιστα, που δεν τον αναγκάζει να αποπροσανατολιστεί επαγγελματικά από αυτό που γνωρίζει καλά.
- ✓ Η κατασκευή μονάδων παραγωγής βιοαερίου συνεισφέρει στην αποκεντρωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μια τάση που εδώ και αρκετά χρόνια είναι εξαιρετικά διαδεδομένη σε όλη την Ευρώπη.
- ✓ Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στις μονάδες παραγωγής βιοαερίου αποτελούν πολλές φορές υλικά που υποβαθμίζουν την ποιότητα της περιοχής όπου παράγονται (π.χ. ζωικές κοπριές, οργανικά υγρά απόβλητα κ.λπ.). Η συλλογή και η ενεργειακή αξιοποίηση τέτοιων υλικών, όχι μόνο προσφέρει πολύτιμη πράσινη ενέργεια στο δίκτυο ηλεκτροδότησης, αλλά περιορίζει τα φαινόμενα ρύπανσης, βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής της τοπικής κοινωνίας ενώ συμβάλλει, ταυτόχρονα, στην αναπτυξιακή προοπτική της.
- ✓ Με την χρήση τεχνολογιών αερόβιας επεξεργασίας (βιολογικοί καθαρισμοί), τα κύρια αέρια προϊόντα είναι το διοξείδιο του άνθρακα και οι υδρατμοί- ουσίες που δεν καίγονται και άρα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας. Παράλληλα, οι διεργασίες της αερόβιας χώνευσης καταναλώνουν πολύ μεγάλα ποσά ενέργειας. Αντιθέτως, η ενεργειακή κατανάλωση των μονάδων αναερόβια χώνευσης είναι μικρότερη, ενώ το παραγόμενο βιοαέριο έχει πολύ αξιόλογο ενεργειακό περιεχόμενο.
- ✓ Διευκολύνεται η διαχείριση και η τελική διάθεση των οργανικών αποβλήτων λόγω της μείωσης του όγκου τους που πραγματοποιείται στον αναερόβιο χωνευτήρα.
- ✓ Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται ενεργειακά φυτά (π.χ. καλαμπόκι) για την παραγωγή βιοαερίου και το υπόλειμμα της χώνευσης ανακυκλώνεται στα χωράφια, δεν απαιτείται η χρησιμοποίηση συνθετικών λιπασμάτων. Επιτυγχάνεται ένας κλειστός κύκλος των θρεπτικών συστατικών και των πολύτιμων ιχνοστοιχείων και μειώνονται τα φαινόμενα ρύπανσης των υπογείων υδάτων.

- ✓ Κατά την αποθήκευση του υγρού υπολείμματος της χώνευσης, εκλύονται σημαντικά λιγότερες οσμές από ό,τι κατά τη διάθεση ανεπεξέργαστων αποβλήτων στα χωράφια.
- ✓ Σημαντική είναι η ελάττωση ή και η πλήρης εξαφάνιση των παθογόνων μικροοργανισμών στο υγρό υπόλειμμα. Το γεγονός αυτό καθιστά δυνατή την απευθείας χρήση του υπολείμματος ως εδαφοβελτιωτικού στα χωράφια.
- ✓ Αποφεύγεται ο κίνδυνος επιβολής προστίμων, τόσο από την Ελλάδα όσο και από την Ευρωπαϊκή Ένωση, για ακατάλληλη διάθεση αποβλήτων. Η συχνότητα της επιβολής τέτοιων προστίμων καθώς και τα χρηματικά ποσά τα οποία καλούνται να πληρώσουν οι παραβάτες αυξάνονται διαρκώς.
- ✓ Η υγρή ζωική κοπριά είναι πιο αραιωμένη μετά την αναερόβια χώνευση από ό,τι ανεπεξέργαστη. Ως εκ τούτου εμφανίζει μεγαλύτερη δυνατότητα διείσδυσης στο έδαφος, οπότε παρέχεται καλύτερη λίπανση στο χωράφι με περισσότερο οικολογικό τρόπο.

### **3.5 Εγκαταστάσεις χρήσης βιοαερίου ανά τον κόσμο**

Κατά τα τελευταία έτη οι παγκόσμιες αγορές για το βιοαέριο αυξήθηκαν κατά 20% ως 30% το χρόνο, ενώ πολλές χώρες έχουν αναπτύξει σύγχρονες τεχνολογίες χρήσης βιοαερίου και έχουν πετύχει να καθιερώσουν ανταγωνιστικές εθνικές αγορές βιοαερίου, μετά από δεκαετίες εντατικής έρευνας και ανάπτυξης, λαμβάνοντας σημαντικές κυβερνητικές επιχορηγήσεις και δημόσια υποστήριξη. Ο Ευρωπαϊκός τομέας του βιοαερίου αριθμεί χιλιάδες εγκαταστάσεις. Χώρες όπως η Γερμανία, η Αυστρία, η Δανία και η Σουηδία είναι μεταξύ των τεχνικών προδρόμων, με τον μεγαλύτερο αριθμό σύγχρονων εγκαταστάσεων βιοαερίου.

Τα τελευταία χρόνια οι τάσεις ανάπτυξης του βιοαερίου στη Δανία κινούνται προς την κατεύθυνση δημιουργίας κεντρικών μονάδων συνδυασμένης χώνευσης αποβλήτων, ενώ στη Γερμανία προς την ανάπτυξη αγροτοκτηνοτροφικών μονάδων μικρής κλίμακας στην Γερμανία, ενώ σε πολλές χώρες αναπτύσσεται η χρήση του βιοαερίου ως καυσίμου για μεταφορές ή την διοχέτευση στο δίκτυο του φυσικού αερίου. (Agapitidis I. and Zafiris C. 2006, Al Seadi T. 2001, Rutz D. et al. 2008)

#### ***Η περίπτωση της Σουηδίας***

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση της Σουηδίας. Σύμφωνα με στοιχεία του Swedish Gas Center, το 2007 λειτουργούσαν 233 μονάδες, με συνολική παραγωγή βιοαερίου 1,3 TWh/y. Από τις ανωτέρω μονάδες 139 είναι βιολογικοί καθαρισμοί, 70 XYTA, 13 κεντρικές μονάδες συνδυασμένης χώνευσης, με συνολική παραγωγή βιοαερίου 0.56 TWh/y, 0.46 TWh/y και 0,16 TWh/y, αντιστοίχως. Επίσης υπάρχουν 31 μονάδες αναβάθμισης βιοαερίου σε βιομεθάνιο, 63 δημόσιοι σταθμοί διανομής βιοαερίου, 18 σταθμοί διανομής βιοαερίου ειδικά για λεωφορεία (slow filling bus), και 5298 οχήματα που κινούνται με μεθάνιο, εκ των οποίων 4519 επιβατικά, 225 φορτηγά και 554 λεωφορεία.



Το σύνολο των πωλήσεων αερίου στη Σουηδία ανέρχεται σε 45.000 kNm<sup>3</sup>, εκ των οποίων το 54% (24.300 kNm<sup>3</sup>) αφορά βιοαέριο και το υπόλοιπο αφορά το φυσικό αέριο. Το κόστος παραγωγής βιοαερίου στην Σουηδία είναι 0,17 - 0,50 €/m<sup>3</sup>. Η τιμή αγοράς του αναβαθμισμένου βιοαερίου και του φυσικού αερίου ανέρχεται σε 0,70 - 0,90 €/m<sup>3</sup>. Οι τιμές πετρελαίου και βενζίνης αντίστοιχα ανέρχονται σε 1,1 €/l και 1,2 €/l. Το κόστος αναβάθμισης του βιοαερίου σε μονάδες των 200 – 300 m<sup>3</sup>/h είναι 0,01 – 0,015 €/kWh αναβαθμισμένου βιοαερίου.

Τα οχήματα που κινούνται με βιοαέριο στη Σουηδία, έχουν δυνατότητα ελεύθερης στάθμευσης σε πολλές πόλεις, απαλλάσσονται των τελών κυκλοφορίας και των διοδίων στην πόλη της Στοκχόλμης, ακόμη έχουν ετήσια φοροαπαλλαγή 450 € αν είναι επαγγελματικά οχήματα, ενώ τα ταξί κινούνται σε ειδικές λωρίδες. Επίσης παρέχεται μείωση φόρου έως 40% σε εταιρείες που χρησιμοποιούν οχήματα που κινούνται με βιοαέριο. Τέλος δεν υπάρχει φορολογία στο βιοαέριο, παρά μόνο ΦΠΑ.

### ***Εγκαταστάσεις σε Ασία και Αμερική***

Ένας σημαντικός αριθμός εγκαταστάσεων βιοαερίου λειτουργούν επίσης σε άλλα μέρη του κόσμου. Στην Κίνα, εκτιμάται ότι το 2006 λειτουργούσαν πάνω από 18 εκατομμύρια αγροτικοί οικιακοί χωνευτήρες βιοαερίου, και το συνολικό δυναμικό βιοαερίου της Κίνας υπολογίζεται ότι είναι 145 δισεκατομμύρια m<sup>3</sup>. Στην Ινδία την περίοδο αυτή βρίσκονται σε λειτουργία περίπου 5 εκατομμύρια εγκαταστάσεις βιοαερίου μικρής κλίμακας. Άλλες χώρες, όπως το Νεπάλ και το Βιετνάμ, έχουν επίσης σημαντικούς αριθμούς οικιακών εγκαταστάσεων βιοαερίου πολύ μικρής κλίμακας.

Οι περισσότερες εγκαταστάσεις βιοαερίου στην Ασία χρησιμοποιούν απλές τεχνολογίες, και επομένως είναι εύκολο να σχεδιαστούν και να γίνει αναπαραγωγή τους. Στην άλλη πλευρά του Ατλαντικού, χώρες όπως οι Η.Π.Α., ο Καναδάς και πολλές χώρες της Λατινικής Αμερικής, έχουν ξεκινήσει την ανάπτυξη σύγχρονων τομέων βιοαερίου και παράλληλα εφαρμόζονται ευνοϊκά πολιτικά πλαίσια, για την υποστήριξη αυτής της ανάπτυξης. (Agaritidis I., Zafiris C. 2006)

## **3.6 Εγκαταστάσεις χρήσης βιοαερίου στην Ελλάδα**

Στην Ελλάδα την δεκαετία του '80 έγιναν πολλές προσπάθειες για την ενεργειακή αξιοποίηση του βιοαερίου παραγόμενου από επεξεργασία ζωικών αποβλήτων και οργανικών αποβλήτων γεωργικών βιομηχανιών - κυρίως αποβλήτων ελαιουργείων. Ένας αριθμός έργων βιοαερίου έχουν συμπεριληφθεί σε εθνικά προγράμματα για την ενέργεια. Στο ΧΥΤΑ Α. Λιοσίων έχει γίνει μια σημαντική επένδυση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με αξιοποίηση του παραγόμενου βιοαερίου σε ΜΕΚ, εγκατεστημένης ισχύος 23,5 MW<sub>e</sub>. (20)



**Εικόνα 3.13: Μονάδα βιοαερίου στα Α. Λιόσια δυναμικότητας 23,5 MW**

Επιπλέον, υπάρχει ήδη εγκατεστημένο αντίστοιχο έργο της ΕΥΔΑΠ στην Ψυτάλλεια για την ενεργειακή αξιοποίηση της παραγόμενης ιλύος από τη μονάδα επεξεργασίας λυμάτων, με συμπαραγωγή, εγκατεστημένης ισχύος 11,4 MWe. ([www.rae.gr](http://www.rae.gr))



**Εικόνα 3.14: Μονάδα βιοαερίου στη Ψυτάλλεια δυναμικότητας 11,4 MW (25)**

Τα έργα ενεργειακής αξιοποίησης βιοαερίου που βρίσκονται σε λειτουργία στον Ελληνικό χώρο έχουν συνολική εγκατεστημένη ισχύ 41 MW περίπου. Μια άλλη μικρότερη εγκατάσταση βιοαερίου μικρότερης δυναμικότητας 5 MWe βρίσκεται στους Ταγαράδες, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.15. (20)



Εικόνα 3.15: Μονάδα βιοαερίου στους Ταγαράδες δυναμικότητας 5 MW (20)

### 3.7 Δυναμικό παραγωγής βιοαερίου

Οι υπάρχουσες πηγές βιομάζας στον πλανήτη, παρέχουν μία ιδέα για το παγκόσμιο δυναμικό παραγωγής βιοαερίου. Το δυναμικό αυτό εκτιμήθηκε από διάφορους ειδήμονες και επιστήμονες, σύμφωνα με διάφορα σενάρια και υποθέσεις. Ανεξάρτητα από τα αποτελέσματα των εκτιμήσεων αυτών, το τελικό συμπέρασμα όλων ήταν ότι σήμερα χρησιμοποιείται μόνο ένα μικρό μέρος αυτού του δυναμικού, ενώ υπάρχει δυνατότητα σημαντικής αύξησης της πραγματικής παραγωγής του βιοαερίου.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση Βιομάζας (AEBIOM) υπολογίζει ότι η Ευρωπαϊκή παραγωγή ενέργειας που βασίζεται στην βιομάζα μπορεί να αυξηθεί από τα 72 Mtoe που ήταν το 2004 σε 220 Mtoe το 2020. Το μεγαλύτερο δυναμικό για αύξηση εμφανίζει η βιομάζα που προέρχεται από τη γεωργία όπου το βιοαέριο παίζει σημαντικό ρόλο. Σύμφωνα με την AEBIOM, 20 έως 40 εκατομμύρια εκτάρια (Mha) εδάφους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση, χωρίς καμία επίδραση στον ευρωπαϊκό ανεφοδιασμό με τρόφιμα. (Al Seadi, T. 2001, Rutz D. et al. 2008)

Το Γερμανικό Ινστιτούτο για την Ενέργεια και το Περιβάλλον δηλώνει ότι το δυναμικό του βιοαερίου στην Ευρώπη είναι πολύ υψηλό, τόσο που είναι δυνατό να αντικαταστήσει την συνολική κατανάλωση φυσικού αερίου, μέσω της έγχυσης αναβαθμισμένου βιοαερίου (βιομεθάνιο) στο δίκτυο του φυσικού αερίου (Εικόνα 3.16). Η εκτίμηση του δυναμικού του βιοαερίου στην Ευρώπη εξαρτάται από διαφορετικούς παράγοντες και υποθέσεις που περιλαμβάνονται στους υπολογισμούς, όπως για παράδειγμα η διαθεσιμότητα των γαιών για γεωργικές χρήσεις που δεν έχει επιπτώσεις στην παραγωγή τροφίμων, η παραγωγικότητα των ενεργειακών

καλλιιεργειών, η παραγωγή μεθανίου από τα υποστρώματα των πρώτων υλών και η ενεργειακή αποδοτικότητα της τελικής χρήσης του βιοαερίου. (Al Seadi, T. 2001, Rutz D. et al. 2008)



**Εικόνα 3.16: Ο ευρωπαϊκός χάρτης του φυσικού αερίου και πιθανοί διάδρομοι (κίτρινα) κατάλληλοι για την παραγωγή βιοαερίου και την έγχυση βιομεθανίου (Rutz D. et al. 2008)**

### 3.8 Προοπτικές βιοαερίου

Εκτός από την παραγωγή του βιοαερίου με τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης και την ενεργειακή του αξιοποίηση για παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, ως καυσίμου μεταφορών, ή τη διοχέτευσή του στο δίκτυο του φυσικού αερίου, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται έντονη κινητικότητα σε θέματα όπως (Ζαφείρης Χ. 2008, Γιακουμέλος Λευτέρης 2012):

- Ανάπτυξη εξειδικευμένης τεχνολογίας για την κατασκευή, εγκατάσταση και λειτουργία νέων χωνευτών (digesters)
- Αυτοματοποίηση της ολοκληρωμένης αλυσίδας παραγωγής ενέργειας από την πρώτη ύλη ως το τελικό προϊόν.
- Ανάπτυξη ολοκληρωμένων συστημάτων διανομής αερίου και θερμότητας.
- Βελτίωση των μεθόδων αναβάθμισης του βιοαερίου και ενίσχυση της διείσδυσής του στο δίκτυο του φυσικού αερίου και ως καυσίμου μεταφορών στις αστικές συγκοινωνίες και τα γεωργικά μηχανήματα.
- Παραγωγή υδρογόνου από αναβαθμισμένο βιοαέριο και χρήση του σε κυψέλη καυσίμου (fuel cell) και μικρο-αεριοστρόβιλους (micro gas turbine) για παραγωγή ενέργειας.
- Παραγωγή βιοαερίου από ενεργειακά φυτά με την διαδικασία της υγρής και ξηρής χώνευσης που γίνεται κυρίως στην Γερμανία.
- Βελτίωση των μεθόδων εκτίμησης του δείκτη επικινδυνότητας καρκίνου (cancer unit risk factors) από τις εκπομπές καυσαερίων οχημάτων (Εικόνα 3.17) που κινούνται με βιοαέριο. (Ζαφείρης Χ. 2008, Γιακουμέλος Λευτέρης 2012)

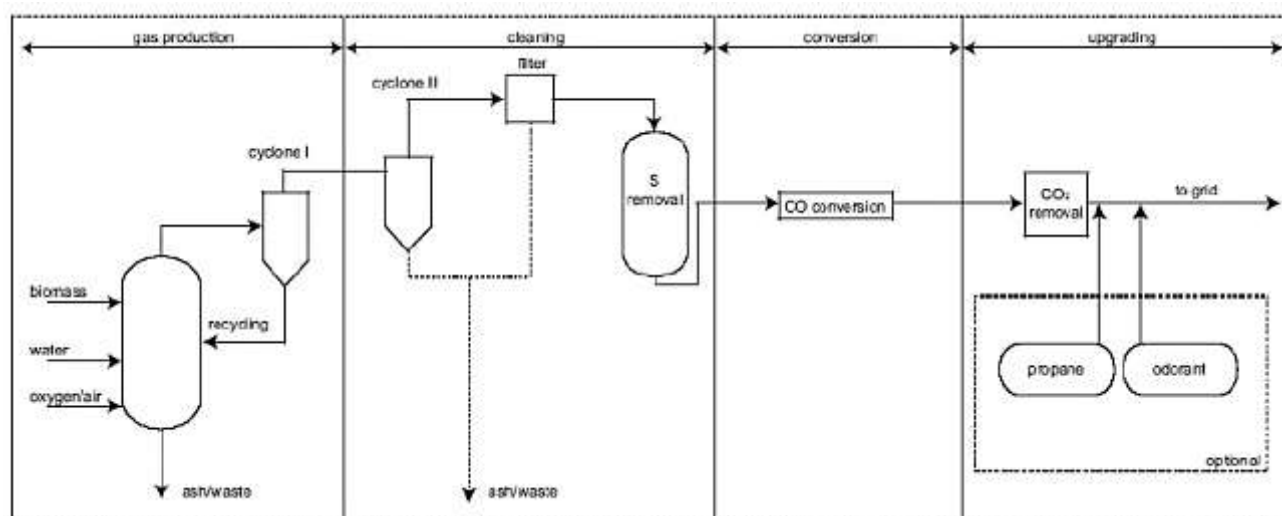




## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Παραγωγή και Χρήση Βιομεθανίου

### 4.1 Παραγωγή Βιομεθανίου

Το βιομεθάνιο μπορεί να παραχθεί είτε μέσω της τεχνολογίας της αναερόβιας χώνευσης, όπως έχει ήδη παρουσιαστεί, είτε με την τεχνολογία της αεριοποίησης βιομάζας, της θερμικής δηλ αποδόμησης οργανικού καυσίμου που αποτελείται από λιγνο-κυτταρινούχες πρώτες ύλες σε κατάλληλο διαμορφωμένο αεριοποιητή και της μετατροπής/αναμόρφωσης του σε αέριο σύνθεσης (Syngas), που αποτελείται συνήθως από 22%  $H_2$ , 44,4%  $CO$ , και 12,2%  $CO_2$ . Στην συνέχεια το παραγόμενο αέριο σύνθεσης ψύχεται, καθαρίζεται και με προσθήκη  $H_2$  και  $H_2O$  το αέριο σύνθεσης μετατρέπεται σε  $CH_4$  και  $CO_2$  (Εικόνα 4.1).



Εικόνα 4.1: Σχηματική αναπαράσταση παραγωγής βιοαερίου με αεριοποίηση (Swedish Gas Centre 2001)

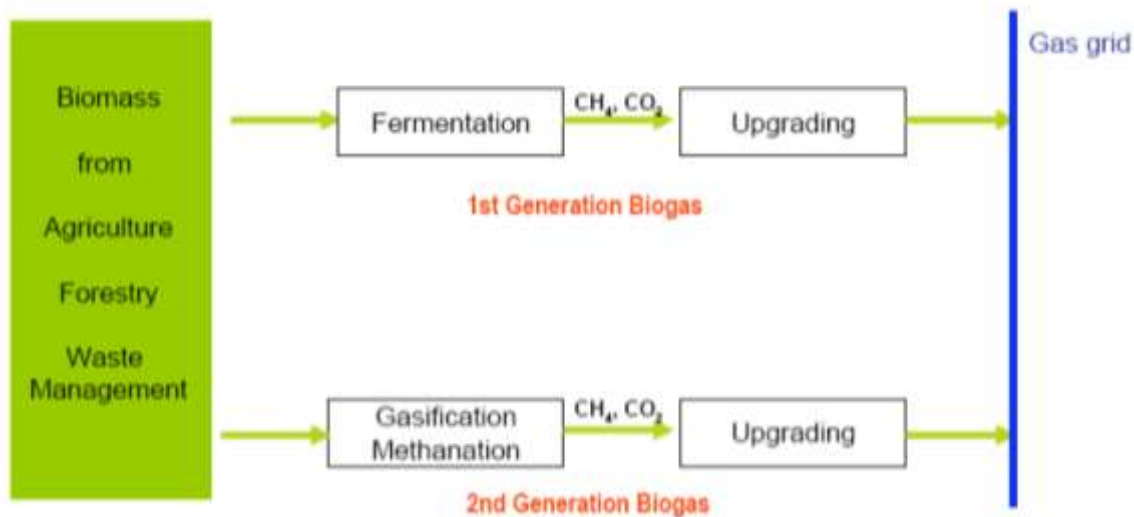
Η σύσταση και οι ελάχιστες ποιοτικές προδιαγραφές και απαιτήσεις που πρέπει να πληρεί το βιομεθάνιο για χρήση του σαν καύσιμο μεταφορών ή για έγχυση στο δίκτυο του ΦΑ παρουσιάζονται ακολούθως

Πίνακας 4.1

Πίνακας 4.1: Σύσταση βιοαερίου, βιομεθανίου και αερίου σύνθεσης (19)

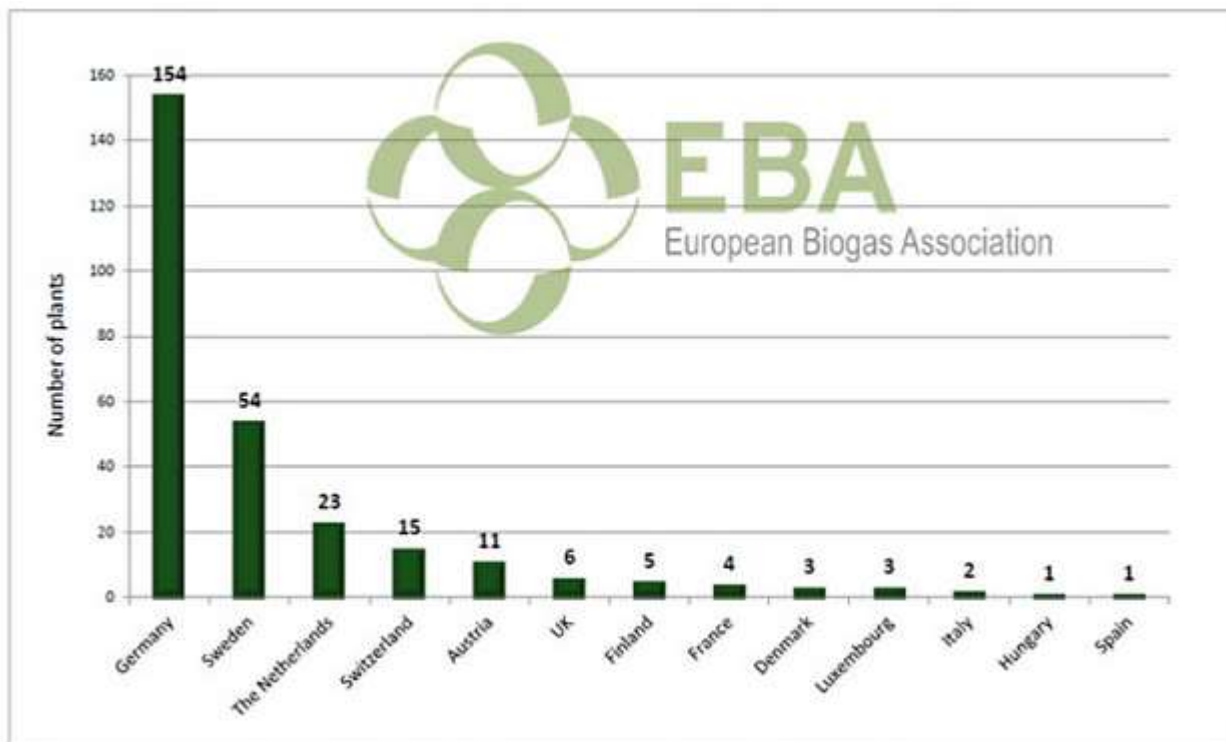
Συστατικό	Σύμβολο	Βιοαέριο	Βιομεθάνιο	Αέριο σύνθεσης
Μεθάνιο	$CH_4$	55-70%	>97%	15,6
Διοξείδιο άνθρακα	$CO_2$	30-45%	<1%	12,2
Αζωτο	$N_2$	<2%	<2%	2
Οξυγόνο	$O_2$	<0,5%	<0,5%	-
Υδρόθειο	$H_2S$	<500 ppm v	<0,5 mg/Nm <sup>3</sup>	
Υδρογονάνθρακες	$C_xH_y$	<100 ppm v	<10 ppm v	5,8
Νερό	$H_2O$	saturated	< 0,03 g/m <sup>3</sup>	
Θερμογόνος δύναμη	$H_{s,M}$	6-7,5 kWh/m <sup>3</sup>	max. 11 kWh/m <sup>3</sup>	4
Wobbe index	$H_{s,M}$	6-11 kWh/m <sup>3</sup>	max. 11 kWh/m <sup>3</sup>	8

Το βιομεθάνιο που προέρχεται από την τεχνολογία της ΑΧ ανήκει στα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς, ενώ αυτό που προέρχεται από την αεριοποίηση θεωρείται βιοκαύσιμο δεύτερης γενιάς (Εικόνα 4.2).



Εικόνα 4.2: Παραγωγή βιοκαυσίμων 1ης και 2ης γενιάς από βιοαέριο (23)

Η παραγωγή βιομεθανίου αυξάνεται στην Ευρώπη. Το 2013 υπήρχαν συνολικά 282 μονάδες με συνολική ετήσια παραγωγή 1,303 δισεκατομμύρια m<sup>3</sup>. Το πλήθος των σταθμών πλήρωσης με βιομεθάνιο διπλασιάστηκε το 2013, αφού το 10% του συνολικά παραγόμενου βιομεθανίου στην Ευρώπη χρησιμοποιείται στις μεταφορές (EBA, 2014)



## 4.2 Στάδια παραγωγής βιομεθανίου από βιοαέριο AX

Όταν το βιοαέριο φεύγει από το χωνευτήρα είναι κορεσμένο με υδρατμούς και περιέχει, εκτός από μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) και διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), διάφορα ποσά υδρόθειου ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Το υδρόθειο είναι τοξικό, με μία ιδιαίτερη, δυσάρεστη οσμή και δημιουργεί θειικό οξύ σε συνδυασμό με τους υδρατμούς στο βιοαέριο. Το θειικό οξύ είναι διαβρωτικό και μπορεί να προκαλέσει φθορές στις μηχανές ΣΗΘ, τις σωληνώσεις του αερίου, τις καμινάδες, κ.λπ. Για τον λόγο αυτό, είναι απαραίτητη η αποθείωση και η ξήρανση του βιοαερίου. Οι κατασκευαστές των μονάδων ΣΗΘ παρέχουν ελάχιστες προδιαγραφές για τις ιδιότητες του καύσιμου αερίου. Οι ιδιότητες της καύσης πρέπει να είναι εγγυημένες προκειμένου να αποτραπεί η ζημιά στις μηχανές. Αυτό ισχύει επίσης για τη χρήση του βιοαερίου. Ανάλογα με τη χρήση του βιομεθανίου (π.χ. καύσιμο οχημάτων, κυψέλες καυσίμων), είναι απαραίτητα περαιτέρω μέτρα βελτίωσης του αερίου. Είναι απαραίτητη η αποθείωση, η απομάκρυνση υδρατμών, καθώς και η απομάκρυνση του  $\text{CO}_2$  του βιοαερίου. (Rutz D. et al. 2008)

- **Απομάκρυνση υδρατμών**

Η σχετική υγρασία του βιοαερίου μέσα στο χωνευτήρα είναι 100%, οπότε το αέριο είναι κορεσμένο με υδρατμούς. Για να προστατευθούν οι μονάδες ΣΗΘ από την διάβρωση και από ενδεχόμενη βλάβη, πρέπει να αφαιρείται το νερό από το παραγόμενο βιοαέριο. Η ποσότητα του νερού που περιέχεται στο βιοαέριο εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Ένα μέρος των υδρατμών μπορεί να συμπυκνωθεί με την ψύξη του αερίου. Αυτό γίνεται συχνά στις σωληνώσεις που μεταφέρουν το βιοαέριο από το χωνευτήρα στη μονάδα ΣΗΘ. Το νερό συμπυκνώνεται στα τοιχώματα των κεκλιμένων σωλήνων και μπορεί να συλλεχθεί σε έναν διαχωριστή συμπύκνωσης, στο χαμηλότερο σημείο της σωλήνωσης.

Μια προϋπόθεση για την αποτελεσματική ψύξη του βιοαερίου στις σωληνώσεις είναι το ικανοποιητικό μήκος των αντίστοιχων σωλήνων. Εάν οι σωληνώσεις του αερίου είναι υπόγειες, το αποτέλεσμα της ψύξης είναι ακόμα καλύτερο. Οι υπόγειοι σωλήνες, είναι πολύ σημαντικό να τοποθετούνται σε μία σταθερή βάση, προκειμένου να είναι εγγυημένη η κλίση των σωλήνων, οι οποίοι μπορούν να επηρεαστούν από ένα βυθιζόμενο ή κινούμενο έδαφος. Ο διαχωριστής συμπύκνωσης πρέπει να διατηρείται χωρίς πάγο και να είναι εύκολα προσβάσιμος, προκειμένου να εκκενώνεται τακτικά. Εκτός από τους αφαιρούμενους υδρατμούς, η συμπύκνωση αφαιρεί επίσης μερικές από τις ανεπιθύμητες ουσίες, όπως υδροδιαλυτά αέρια και αερολύματα. (REnInvest Group 2012)



- **Αποθείωση**

Το βιοαέριο που παράγεται κατά την αναερόβια χώνευση μπορεί να περιέχει διάφορα επίπεδα  $H_2S$ . Όταν το βιοαέριο χρησιμοποιείται σε μηχανές αερίου για τη συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού (ΣΗΘ), το περιεχόμενο του υδρόθειου πρέπει να είναι κάτω από 700 ppm για τις περισσότερες από τις συμβατικές μηχανές αερίου, προκειμένου να αποφευχθεί η υπερβολική διάβρωση και η πάρα πολύ γρήγορη και δαπανηρή φθορά του λιπαντέλαιου. Η αφαίρεση του υδρόθειου ( $H_2S$ ) από το βιοαέριο (αποθείωση) μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους είτε βιολογικές είτε χημικές, λαμβάνοντας χώρα εσωτερικά ή εξωτερικά του χωνευτήρα. Η αποθείωση εξαρτάται από το περιεχόμενο σε  $H_2S$  και την τιμή ρυθμοαπόδοσης σε όλο τον εξοπλισμό αποθείωσης.

Για την αποθείωση εντός του χωνευτήρα, πρέπει να είναι παρόντα οξυγόνο και οξειδωτικά σουλφοβακτηρίων, για τη μετατροπή του υδρόθειου σε στοιχειακό θείο, παρουσία οξυγόνου. Τα οξειδωτικά σουλφοβακτήρια είναι παρόντα μέσα στο χωνευτήρα (δεν χρειάζεται να προστεθούν) δεδομένου ότι το υπόστρωμα της ΑΧ περιέχει τις απαραίτητες θρεπτικές ουσίες για το μεταβολισμό τους. Το οξυγόνο παρέχεται με έκχυση αέρα στο επάνω μέρος του χωνευτήρα. Αυτό μπορεί να γίνει με έναν πολύ μικρό συμπιεστή. Οι σωλήνες εκχύσεως αέρα μέσα στο χωνευτήρα πρέπει να τοποθετούνται στην αντίθετη πλευρά της εξαγωγής του βιοαερίου, προκειμένου να αποφευχθεί η παρεμπόδιση του σωλήνα εξαγωγής.

Η δεύτερη φάση της αποθείωσης γίνεται στο ξηρό βιοαέριο, το οποίο διέρχεται μέσω ενός φίλτρου ενεργού άνθρακα για την απομάκρυνση του υδρόθειου σε πίεση περίπου 5 bar. Δεσμεύεται από το φίλτρο άνθρακα ως στοιχειακό θείο, ενώ εκτιμάται ότι το φίλτρο του άνθρακα απαιτεί αντικατάσταση κάθε δύο χρόνια. Για να μεγιστοποιηθεί η απόδοση των φίλτρων, προστίθεται μικρή ποσότητα αέρα στο βιοαέριο. (REnInvest Group 2012, Rutz D. et al. 2008)

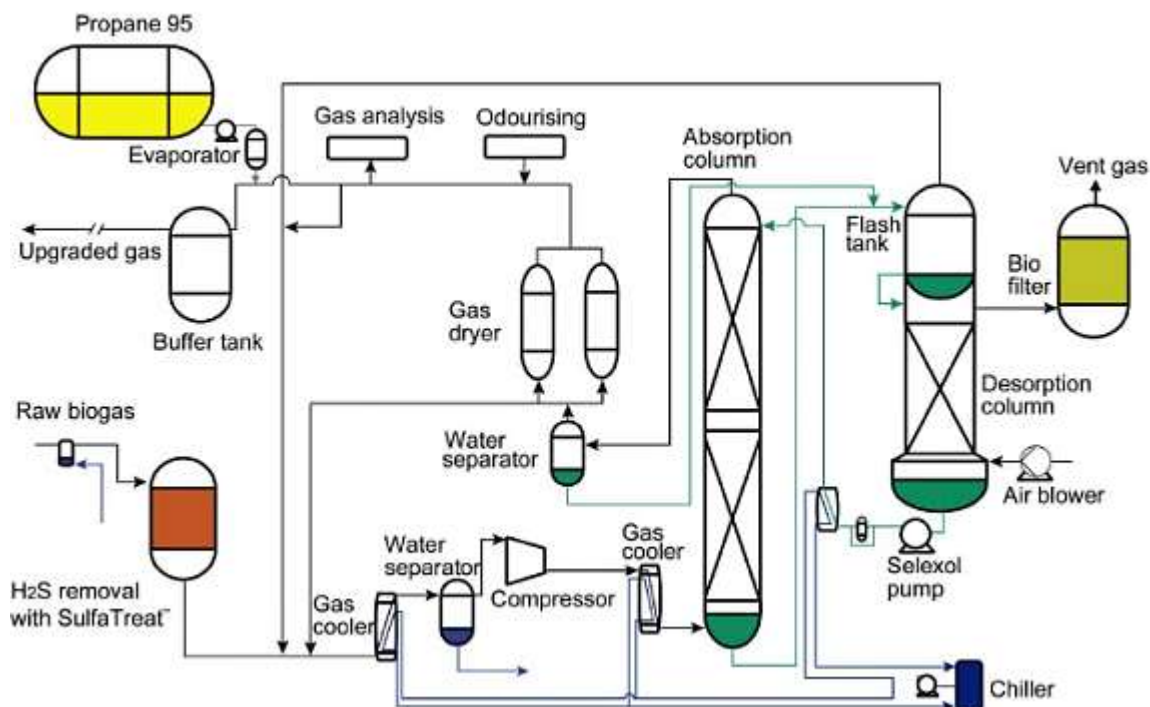
- **Απομάκρυνση  $CO_2$**

Ύστερα από την αποθείωση ακολουθεί η τεχνολογία διαχωρισμού  $CO_2$  /  $CH_4$ . Η αφαίρεση του διοξειδίου του άνθρακα πρέπει να γίνει προκειμένου να επιτευχθεί ο απαιτούμενος δείκτης Wobbe του αερίου. Κατά την αφαίρεση του διοξειδίου του άνθρακα από το βιοαέριο, αφαιρούνται επίσης και μικρές ποσότητες μεθανίου ( $CH_4$ ). Το μεθάνιο είναι ένα αέριο του θερμοκηπίου 21 φορές ισχυρότερο από το  $CO_2$ , δηλαδή ένα μόριο μεθανίου είναι 21 φορές πιο αποδοτικό ως προς τη δέσμευση της θερμότητας από τη γη από ένα μόριο  $CO_2$ . Είναι σημαντικό να κρατηθούν χαμηλές αυτές οι απώλειες μεθανίου, τόσο για οικονομικούς όσο και για περιβαλλοντικούς λόγους. (Persson M 2003, Zafiris Ch. 2009) Στην Εικόνα 4.4 παρουσιάζεται μονάδα διαχωρισμού  $CH_4/CO_2$  μέσω προσρόφησης με εναλλαγή πίεσης.



**Εικόνα 4.4:** Μονάδα διαχωρισμού  $\text{CH}_4$  /  $\text{CO}_2$  μέσω προσρόφησης με εναλλαγή πίεσης έξι δοχείων (Severn Wye Energy Agency)

Στην Εικόνα 4.5 παρουσιάζεται μια εγκατάσταση αναβάθμισης βιοαερίου, όπου φαίνονται οι διατάξεις απομάκρυνσης  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  και  $\text{CO}_2$ . Το παραγόμενο αέριο ονομάζεται βιομεθάνιο και διακρίνεται σε βιομεθάνιο ποιότητας L (89%  $\text{CH}_4$ ), ή ποιότητας H (96%  $\text{CH}_4$ ). (Jonsson, O. 2008)



**Εικόνα 4.5:** Αναβάθμιση βιοαερίου στο Laholm της Σουηδίας με παροχή – 250  $\text{m}^3/\text{h}$  (Jonsson O. 2008)

### 4.3 Τεχνολογίες καθαρισμού και αναβάθμισης βιοαερίου

Το βιομεθάνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο μεταφορών, όπως επίσης και να διοχετευτεί στο δίκτυο του φυσικού αερίου (injection). Επιπλέον, από το βιομεθάνιο με αναμόρφωση παράγεται βιο-υδρογόνο που χρησιμοποιείται σε κυψέλη καυσίμου (fuel cell) για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. (Persson M. 2003) Για να είναι εφικτές οι εφαρμογές αυτές, είναι απαραίτητος ο καθαρισμός του και η αναβάθμισή του σε ποιότητα φυσικού αερίου. Κατά τις διαδικασίες αυτές, αφαιρούνται όλοι οι μολυσματικοί παράγοντες και το διοξείδιο του άνθρακα και ενισχύεται το περιεχόμενό του σε μεθάνιο, από το συνηθισμένο 50-75% σε περισσότερο από 95%. Το αναβαθμισμένο βιοαέριο ονομάζεται βιομεθάνιο.

Μπορούν να εφαρμοστούν διάφορες τεχνολογίες για την αφαίρεση των μολυσματικών παραγόντων και για την αύξηση της περιεκτικότητας του βιοαερίου σε μεθάνιο. Οι τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί έως σήμερα για την αναβάθμιση του βιοαερίου βασίζονται στην απορρόφηση μέσω νερού ή οργανικών διαλυτών, στην προσρόφηση, στη χρήση μεμβρανών καθώς και σε κρυογονικές μεθόδους καθώς και είναι κυρίως οι εξής:

- απορρόφηση νερού (Water Scrubbing),
- προσρόφηση με εναλλαγή πίεσης (Pressure Swing Adsorption -PSA) (Εικόνα 4.6),
- χημική απορρόφηση (Chemical Scrubbing),
- απορρόφηση με διαλύτη διμεθυλαιθέρων πολυαιθυλενικής γλυκόλης (Selexol) (Εικόνα 4.7) και
- διαχωρισμός με μεμβράνες (Rutz D. et al. 2008)



Εικόνα 4.6: Εγκατάσταση συστήματος PSA μονάδας βιομεθανίου στο Pliening της Γερμανίας (Rutz et al. 2008)



**Εικόνα 4.7: Μονάδες αναβάθμισης βιοαερίου με απορρόφηση Selexol στη Σουηδία (Jonsson O. 2008)**

Σε στάδιο ανάπτυξης βρίσκεται η κρυογονική διαδικασία που λαμβάνει χώρα σε συνθήκες πίεσης 80 bar και ψύξης  $-45^{\circ}\text{C}$ . Στις συνθήκες αυτές το  $\text{CO}_2$  συμπυκνώνεται σε υγρή μορφή σε χαμηλότερη πίεση και υψηλότερη θερμοκρασία από ότι το  $\text{CH}_4$  και έτσι μπορεί να διαχωριστεί. (Jonsson O 2008)

#### **4.3.1 Κόστος τεχνολογιών καθαρισμού και αναβάθμισης σε βιομεθάνιο**

Το συνολικό κόστος για τον καθαρισμό και την αναβάθμιση του βιοαερίου προέρχεται:

- ❖ •από το κόστος της επένδυσης
- ❖ •από τη λειτουργία της μονάδας και
- ❖ •τη συντήρηση του εξοπλισμού

Στην περίπτωση των δαπανών επένδυσης, ένας σημαντικός παράγοντας είναι το μέγεθος της μονάδας. Οι συνολικές δαπάνες επένδυσης αυξάνονται με την αύξηση της δυναμικότητας, αλλά το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος είναι χαμηλότερο για τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις σε σχέση με τις μικρές, παρουσιάζεται δηλαδή οικονομία κλίμακας. Η εξάρτηση του κόστους της μονάδας αναβάθμισης του βιοαερίου από τη δυναμικότητα της μονάδας παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.8. Φαίνεται ότι όσο αυξάνεται η ροή βιοαερίου μειώνεται το μοναδιαίο κόστος της μονάδας. Το μέσο κόστος με βάση αυτά τα έργα για ροή βιοαερίου  $200\text{Nm}^3/\text{h}$ - $400\text{Nm}^3/\text{h}$  είναι  $17,13494 \text{ €/MWh}$ .



Εικόνα 4.8: Κόστος αναβάθμισης βιοαερίου σε βιομεθάνιο ανάλογα με τη δυναμικότητα της μονάδας (ELECTRIGAZ)

Στην περίπτωση των λειτουργικών δαπανών, το πιο δαπανηρό μέρος της επεξεργασίας είναι η αφαίρεση του CO<sub>2</sub>. (Γιακουμέλος Λευτέρης, 2012). Ενδεικτικές τιμές κόστους των μεθόδων καθαρισμού βιοαερίου παρουσιάζονται ακολούθως (Πίνακας 4.2).

Πίνακας 4.2: Ενδεικτικό κόστος μεθόδων καθαρισμού βιοαερίου (ELECTRIGAZ)

Μέθοδος καθαρισμού	Κόστος σε €/Nm <sup>3</sup>
Απορρόφηση νερού	0,14
Χημική απορρόφηση	0,17
Προσρόφηση με εναλλαγή πίεσης	0,40
Διαχωρισμός με μεμβράνες	0,12
Κρυογονικός διαχωρισμός	0,44

## 4.4 Χρήση Βιομεθανίου στην Ευρώπη και παγκοσμίως

### 4.4.1 Κίνηση οχημάτων

Σε ότι αφορά την αναβάθμιση βιοαερίου για παραγωγή βιομεθανίου, υπάρχουν 34 σταθμοί στη Σουηδία, 17 σταθμοί στη Γερμανία, 15 στην Ολλανδία, 4 στην Αυστρία, 3 στο Βέλγιο, κι από ένας σε Ισλανδία, Λουξεμβούργο και Ηνωμένο Βασίλειο (στοιχεία 2009).



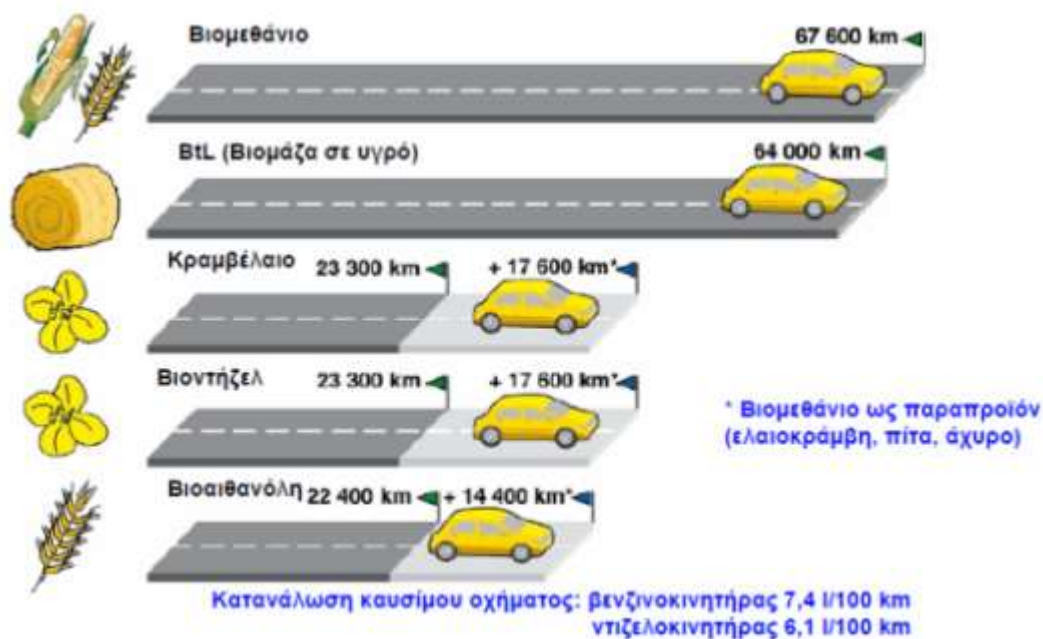
Η Σουηδία είναι η χώρα στην ΕΕ με τις μεγαλύτερες πωλήσεις βιομεθανίου για την κίνηση οχημάτων που κινούνται με βιομεθάνιο. Το σύνολο των πωλήσεων αερίου στη Σουηδία το 2008 εκτιμήθηκε σε 58.000 kNm<sup>3</sup>, εκ των οποίων το 58% (33.640 kNm<sup>3</sup>) αφορά βιομεθάνιο, και το υπόλοιπο αφορά το φυσικό αέριο. Το βιομεθάνιο που πωλείται στα πρατήρια καυσίμων στην Σουηδία ακολουθεί τις προδιαγραφές Swedish standard, SS 155438, που αναπτύχθηκαν από το STG Technical Group number 85, και διακρίνεται σε 'βιομεθάνιο τύπου Α' για οχήματα που δεν διαθέτουν αισθητήρα λ και 'βιομεθάνιο τύπου Β' για οχήματα που διαθέτουν αισθητήρα λ (Πίνακας 4.3). (Swedish Gas Centre 2001, Marcogaz 2006)

**Πίνακας 4.3: Χαρακτηριστικά βιομεθανίου κίνησης στη Σουηδία, βάσει προδιαγραφών SS 155438 (Swedish Gas Centre 2001)**

	Μονάδες	Βιομεθάνιο - Α	Βιομεθάνιο - Β	Μέθοδος
Δείκτης Wobbe	MJ/m <sup>3</sup>	44,7-46,4	43,9-47,3	SS-ISO 6976
CH <sub>4</sub> (273K, 101,3kPa)	%	97 ±1	97±2	ISO 6974
H <sub>2</sub> O	mg/m <sup>3</sup>	32	32	SS-EN ISO 10101-1
CO <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> + N <sub>2</sub>	%	4	5	ISO 6974
Ολικό S	mg/m <sup>3</sup>	23	23	ISO 6326-1-2-4
NH <sub>3</sub>	mg/m <sup>3</sup>	20	20	ISO 6974
Σημείο Δρόσου t = μέση ελάχιστη μηνιαία	°C	t-5	t-5	ISO 6327

Στη Φινλανδία 700.000 αυτοκίνητα και 50.000 λεωφορεία κινούνται με βιομεθάνιο που παράγεται από υλικά απόβλητα. Στην Ινδία έχουν χρησιμοποιηθεί τα μηχανοκίνητα οχήματα βιομεθανίου για μείωση του ποσοστού των προσμίξεων στον αέρα. Τα λεωφορεία της Εταιρείας Μεταφορών του Δελχί (Delhi Transport Corporation -DTC) σύντομα θα λειτουργούν με καύσιμο που θα προέρχεται από απορρίμματα φυτικής βιομάζας και από ιλύ επεξεργασίας λυμάτων. Η Εταιρεία έχει συνάψει συμφωνία με τη σουηδική κυβέρνηση για την κατασκευή μονάδας παραγωγής βιοκαυσίμου (βιοαερίου) στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων του Δελχί.

Στην Εικόνα 4.9 που ακολουθεί, δίνεται μια σύγκριση των βιοκαυσίμων μεταφορών σε σχέση με την απόσταση που καλύπτεται από ένα αυτοκίνητο (εμβέλεια) κινούμενο με το αντίστοιχο βιοκαύσιμο, το οποίο παράγεται από πρώτη ύλη βιομάζας προερχόμενης από 1 εκτάριο (= 10 στρέμματα) καλλιεργήσιμης γης. (17)



Εικόνα 4.9: Σύγκριση των βιοκαυσίμων μεταφορών σε σχέση με την απόσταση που καλύπτεται από ένα αυτοκίνητο

#### 4.4.2 Έγχυση Βιομεθανίου στο Δίκτυο Φ.Α.

Το αναβαθμισμένο βιοαέριο (βιομεθάνιο) μπορεί να εγχυθεί και να διανεμηθεί μέσω του δικτύου του φυσικού αερίου, αφού έχει συμπιεστεί στην πίεση των αγωγών. Σύμφωνα με τον κανονισμό της ΕΕ, η πρόσβαση στο δίκτυο του φυσικού αερίου είναι εγγυημένη για όλους τους προμηθευτές βιοαερίου (Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, 2001).

Η Γερμανία, η Σουηδία, η Ολλανδία, η Αυστρία και η Ελβετία έχουν ήδη υποστηρίξει την παραγωγή και αναβάθμιση του βιοαερίου και την έγχυσή του στο δίκτυο του ΦΑ βάση της Οδηγίας 2003/55/ΕΚ της 26/6/2003 σχετικά με τους κοινούς κανόνες για την εσωτερική αγορά φυσικού αερίου. Σύμφωνα με αυτή, τα κράτη-μέλη θα πρέπει να μεριμνούν ώστε, λαμβάνοντας υπόψη τις απαραίτητες απαιτήσεις ποιότητας, το βιοαέριο και το αέριο που παράγεται από βιομάζα ή σε άλλα είδη να συμβιβάζεται συνεχώς με τους συναφείς τεχνικούς κανόνες και προδιαγραφές ασφαλείας. Οι εν λόγω κανόνες και προδιαγραφές θα πρέπει να εξασφαλίζουν ότι είναι τεχνικώς δυνατή η ασφαλής διοχέτευση των αερίων αυτών στο δίκτυο του φυσικού αερίου καθώς και η μεταφορά τους μέσω αυτού και θα πρέπει επίσης να διέπουν και τα χημικά χαρακτηριστικά των αερίων αυτών. (Swedish Gas Centre 2001, Marcogaz 2006) Σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Αυστρίας, της Γερμανίας, της Σουηδίας, της Ελβετίας, της Γαλλίας, των Ολλανδικών εταιρειών ΦΑ και της ΔΕΠΑ οι ειδικές απαιτήσεις των κρατών για έγχυση στο δίκτυο (Marcogaz, 2006) είναι οι ακόλουθες, όπως τις παρουσιάζει ο Πίνακας 4.4.

**Πίνακας 4.4: Ποιοτικές απαιτήσεις για την έγχυση του βιοαερίου στο δίκτυο του φυσικού αερίου της ΕΕ (Marcogaz, 2006)**

Συστατικό	Αυστρία	Γαλλία	Γερμανία	Ολλανδία	Σουηδία	Ελβετία	Ελλάδα
CH <sub>4</sub>	>96%	/	-	85%	>97%	>96%	75%
CO <sub>2</sub>	<3%	<2,5%	6%	/	<3%	<4%	3%
Co		<2%	/	/	/	/	
Ολικό S	<10mg/m <sup>3</sup>	<30mg/m <sup>3</sup>	30mg/m <sup>3</sup>	<45mg/m <sup>3</sup>	<23mg/m <sup>3</sup>	<30mg/m <sup>3</sup>	80mg/m <sup>3</sup>
H <sub>2</sub> S	<5mg/m <sup>3</sup>	<5mg/m <sup>3</sup>	5mg/m <sup>3</sup>	<5mg/m <sup>3</sup>	10ppm	<5mg/m <sup>3</sup>	5mg/m <sup>3</sup>
Μερκαπτάνες	<6mg/m <sup>3</sup>	<6mg/m <sup>3</sup>	15mg/m <sup>3</sup>	/	/	/	
O <sub>2</sub>	<0,5%	<0,01%	<0,5%	<0,5%	<1%	<0,5%	0,2
H <sub>2</sub>	<4%	<6%	5%	/	<0,5%	<5%	
H <sub>2</sub> O	-8°C/40bar	-5°C/40bar	0°C	<32mg/m <sup>3</sup>	<32mg/m <sup>3</sup>	60%	
Wobbe index	13,3-15,7 kWh/m <sup>3</sup>	13,64-15,7 kWh/m <sup>3</sup> H	10,5-15,7 kWh/m <sup>3</sup>	43,6-44,41 MJ/m <sup>3</sup>	45,5-48,5 MJ/m <sup>3</sup>	13,3-15,7 kWh/m <sup>3</sup>	46,80-58,46 MJ/m <sup>3</sup>
Θερμογόνος δύναμη	10,7-12,8 kWh/m <sup>3</sup>	10,7-12,8 kWh/m <sup>3</sup> H	/	35,1 MJ/m <sup>3</sup>	/	10,7-13,1 kWh/m <sup>3</sup>	36,45-48,97 MJ/m <sup>3</sup>
Σχετική Πυκνότητα	0,55-0,65	0,55-0,70	/	/	/	0,55-0,70	0,56-0,71
Απόσμιση	Απόσμιση στον καταναλωτή	15-40mg THT/m <sup>3</sup>	Απόσμιση στον καταναλωτή	Απόσμιση στον καταναλωτή	/	15-25mg THT/m <sup>3</sup>	

Τα πρότυπα, που προκαθορίζουν τα όρια για συστατικά όπως το θείο, το οξυγόνο, τα σωματίδια και το σημείο δρόσου του ύδατος, έχουν ως στόχο την αποφυγή της μόλυνσης του δικτύου του αερίου ή της τελικής χρήσης. Έχει εισαχθεί ο δείκτης Wobbe, για την αποφυγή επίδρασης στις μετρήσεις του αερίου και την τελική χρήση. Τα πρότυπα στις περισσότερες περιπτώσεις είναι εύκολα επιτεύξιμα μέσω των υφιστάμενων διεργασιών αναβάθμισης. Σε τέτοιου είδους εφαρμογή, το αέριο που προέρχεται από χωματερές μπορεί να είναι δύσκολο να αναβαθμιστεί σε αποδεκτή ποιότητα λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε άζωτο.

Υπάρχουν διάφορα πλεονεκτήματα χρήσης του δικτύου αερίου για τη διανομή του βιομεθανίου. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι το δίκτυο συνδέει την περιοχή παραγωγής του βιομεθανίου, η οποία συνήθως είναι σε αγροτικές περιοχές, με τις πιο πυκνοκατοικημένες περιοχές. Αυτό επιτρέπει στο βιομεθάνιο να φθάσει στους νέους πελάτες. Είναι επίσης δυνατό να αυξηθεί η παραγωγή του βιοαερίου σε μια απομακρυσμένη περιοχή, χωρίς ανησυχίες για τη χρήση της περίσσειας θερμότητας. Η έγχυση στο δίκτυο σημαίνει ότι η εγκατάσταση βιοαερίου χρειάζεται μόνο μία μικρή μονάδα ΣΗΘ για την παραγωγή της ενέργειας διεργασίας ή έναν καυστήρα βιοαερίου. (Agaritis I. and Zafiris C., 2006)

Σήμερα παρατηρείται μια δραστηριότητα για την παραγωγή υγροποιημένου βιοαερίου LBG, που προέρχεται από τους ΧΥΤΑ, χρησιμοποιώντας την κρυογονική διαδικασία, σε θερμοκρασία -80°C, όπου αναβαθμίζεται το βιοαέριο και στην συνέχεια ψύχεται περαιτέρω στους -162°C αποκτώντας σημαντικά πλεονεκτήματα κυρίως για την μεταφορά του σε απομακρυσμένες περιοχές. (19)



## 4.5 Τεχνικές απαιτήσεις για την έγχυση στο δίκτυο

### *Γραμμές σύνδεσης*

Το δίκτυο του φυσικού αερίου είναι ένα σύνολο σωληνώσεων. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι χυτοσίδηρος, ατσάλι και πλαστικό. Οι γραμμές σύνδεσης θα πρέπει να είναι επέκταση του δικτύου σωληνώσεων ΦΑ, το οποίο σημαίνει ότι οι ιδιότητες του τοπικού δικτύου πρέπει να έχουν ως αναφορά το υλικό, τη διάμετρο και το επίπεδο της πίεσης του αερίου που είναι πολύ σημαντικό για τη μίξη των αερίων. Η γραμμή σύνδεσης θα πρέπει να είναι πάντα λίγο μικρότερη από τη γραμμή που θα εισέλθει. Οι απώλειες αερίου στον τομέα της μεταφοράς και τους συστήματος διανομής μπορούν να αναχθούν σε σημαντικό βαθμό στις παλιές συνδέσεις και μπορούν να ισορροπηθούν από προσπάθειες συνεχούς ανακαίνισης του δικτύου.



Εικόνα 4.10: Σύνδεση αγωγού με το δίκτυο του φυσικού αερίου

### *Συμπίεση αερίου*

Οι σταθμοί συμπίεσης απαιτούνται για να ξεπεραστεί η απώλεια πίεσης λόγω τριβής κατά τη διάρκεια μεταφοράς σε μεγάλες αποστάσεις καθώς και για να δημιουργηθεί μία σχετικά υψηλή πίεση για την υπόγεια αποθήκευση του αερίου. Στο δίκτυο διανομής ΦΑ υπάρχουν ουσιαστικά τρία διαφορετικά επίπεδα πίεσης: υψηλής πίεσης (HP), μέσης πίεσης (MP), χαμηλής πίεσης (LP). Στους βασικούς αγωγούς μεταφοράς που λειτουργούν από τους αρχικούς προμηθευτές, το ΦΑ μεταφέρεται υπό υψηλή πίεση στους πραγματικούς προμηθευτές αερίου. Στη συνέχεια για να φτάσει στις τοπικές επιχειρήσεις προμήθειας μεταφέρεται μέσω γραμμών μεσαίας-χαμηλής πίεσης και καταλήγει στους τελικούς καταναλωτές.

### *Αποθήκευση αερίου*

Δεδομένου ότι η παραγωγή βιοαερίου δεν είναι πάντοτε συνεχής και υπόκειται σε συνεχείς διακυμάνσεις, πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης του βιομεθανίου, προκειμένου να εξασφαλιστεί η συνεχής χρήση του. Η συνεχής

παραγωγή αερίου θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε η προσφορά και η ζήτηση να είναι σε ισορροπία. Κάτι τέτοιο οδηγεί σε μικρότερες και επομένως πιο λογικές τιμές αποθήκευσης. Υπάρχουν 3 φάσεις όπου η αποθήκευση κρίνεται απαραίτητη:

- Αποθήκευση πριν την αναβάθμιση
- Αποθήκευση για υγροποιημένο αέριο
- Προσωρινή αποθήκευση για έγχυση

#### ***Εξοπλισμός μέτρησης ιδιοτήτων αερίου***

Ο εξοπλισμός μέτρησης ιδιοτήτων του αερίου διαφέρει από τον εξοπλισμό μέτρησης της πίεσης. Αναφέροντας τον όρο «ιδιότητες αερίου», γίνεται λόγος για την αξία του καυσίμου, τη θερμική αξία, την πυκνότητα, το δείκτη Wobbe ως προδιαγραφές καύσης. Αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη κυρίως για αέρια με ελάχιστο εύρος διακύμανσης, όπου μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν υπάρχουν προσμίξεις αερίου οι οποίες δεν επιτρέπεται να εισέλθουν στο δίκτυο. Η παρακολούθηση των ιδιοτήτων του αερίου απαιτούνται, όσον αφορά την υπόσταση του αερίου.

#### ***Εξοπλισμός προσθήκης μερκαπτανών***

Το φυσικό αέριο είναι άοσμο. Η χαρακτηριστική του οσμή δίνεται με την προσθήκη μερκαπτανών, για λόγους ανίχνευσης σε περίπτωση διαρροής. Η προθήκη μερκαπτανών δεν πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια της τροφοδοσίας σε αγωγούς μεταφοράς, δεδομένου ότι αυτό δεν διανέμεται απευθείας στους τελικούς πελάτες.

#### ***Εξοπλισμός προετοιμασίας και μίξης αερίου***

Μεγάλες διακυμάνσεις στις ιδιότητες φυσικού αερίου προκαλούν ανάγκη για ρύθμιση. Ο εξοπλισμός ανάμιξης αποτελείται από εγχυτήρες όπου η υψηλή πίεση φυσικού αερίου, αναρροφά το αέριο μεταφοράς (αέρας) και το συμπιέζει.

### **4.5.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα έγχυσης βιομεθανίου στο δίκτυο**

Η έγχυση βιομεθανίου στο δίκτυο έχει πολλά πλεονεκτήματα:

- υποστηρίζεται στο πλαίσιο του Renewable Heat Incentive (RHI)
- αποτελεί ένα πολύ πιο ευέλικτο καύσιμο από το βιοαέριο
- έχει υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα από βιοαέριο
- εξασφαλίζει ότι η ενέργεια που συλλαμβάνεται στο βιοαέριο χρησιμοποιείται αποτελεσματικά

- μπορεί να είναι φθηνότερη λύση για το διαχειριστή της εγκατάστασης αναερόβιας χώνευσης να εγκαταστήσει μια σύνδεση στο δίκτυο φυσικού αερίου από ότι μία σύνδεση στο δίκτυο ηλεκτρισμού.

Προβλήματα όμως προς την πορεία αυτή μπορούν να θεωρηθούν:

- οι υψηλές τιμές αναβάθμισης βιοαερίου σε σχέση με τις τιμές του ΦΑ
- η απροθυμία των αγροτών να συνάψουν μακροχρόνια συμβόλαια για παράδοση φυτικού υλικού
- η μεγάλη γραφειοκρατία κατά τη διαδικασία έκδοσης αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας των μονάδων (Persson M. 2003, Zafiris, Ch. et.al. 2001)

#### **4.6 Παραγωγή Βιομεθανίου στην Ελλάδα**

Σε τρεις περιοχές με υψηλό δυναμικό οργανικών αποβλήτων όπως η Θεσσαλονίκη, η Λάρισα και η Βοιωτία είναι δυνατό να κατασκευασθούν κεντρικές μονάδες συνδυασμένης χώνευσης για παραγωγή βιοαερίου καθώς και κατάλληλες μονάδες αναβάθμισης βιοαερίου για παραγωγή βιομεθανίου και έγχυση στο δίκτυο του ΦΑ. Οι περιοχές αυτές εντοπίζονται σε τρία σημεία του δικτύου στα Οινόφυτα, στη Β. Θεσσαλονίκη, στη Β. Λάρισα.(20 )

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Σενάρια ηλεκτροπαραγωγής με βιοαέριο και έγχυσης στο δίκτυο φυσικού αερίου

### 5.1 Εισαγωγή

Η εγκατάσταση που επιλέχθηκε βρίσκεται στο χώρο υγειονομικής ταφής (ΧΥΤΑ) στα Άνω Λιόσια και είναι μια μονάδα ενεργειακής αξιοποίησης βιοαερίου που ήδη υπάρχει.

Ενδεικτικά, μόνο για να παραχθεί η θερμότητα που εξασφαλίζουν οι καυστήρες θα χρειάζονταν κάθε χρόνο 3.500 τόνοι πετρελαίου θέρμανσης.

Θεωρείται σήμερα από τις μεγαλύτερες εγκαταστάσεις στην Ευρώπη, αφού μπορεί να κατεργάζεται 10.000m<sup>3</sup> βιοαερίου την ώρα και να παράγει 23,5 MW μετά την επέκταση καθιστώντας την επιχείρηση ως έναν από τους μεγαλύτερους σταθμούς παραγωγής με καύσιμο βιοαέριο από ΧΥΤΑ παγκοσμίως.

Εκτός από την παροχή ενέργειας, αξιοποιώντας το αέριο υγειονομικής ταφής βοηθά στη μείωση της ρύπανσης που συνδέεται με τη διαφυγή αερίου μεθανίου και αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα για την υγεία.

Στο συγκεκριμένο χώρο υπάρχουν μηχανές εσωτερικής καύσης Μ.Ε.Κ που αποτελούν τη μονάδα παραγωγής. Αν δεν υπήρχε διαθέσιμο το βιοαέριο θα χρησιμοποιούσαμε και θα βάζαμε περισσότερο φυσικό αέριο. Το οποίο είναι λιγότερο ρυπογόνο από το λιγνίτη.

Γι' αυτό και πλέον το βιοαέριο έχει ξεκινήσει να αξιοποιείται όχι μόνο σε αρκετούς ΧΥΤΑ άλλων πόλεων της Ελλάδας, αλλά και σε μεγάλες μονάδες βιολογικών καθαρισμών, αντί απλώς να φλέγεται σε πυρσούς καύσης. Η ισχύς που βγάζουν οι ΜΕΚ προσαρμόζεται αναλόγως τον τύπο της μηχανής.

Με βάση αυτά τα στοιχεία, στην Εικόνα 5.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται εποπτικά οι 4 βασικές επιλογές που θα εξεταστούν στο πλαίσιο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας και αφορούν την εφαρμογή που θα χρησιμοποιηθεί και την τελική χρήση που θα επιλεγεί.



Εικόνα 5.1: Σχηματική αναπαράσταση όλων των εναλλακτικών διαδρομών του βιοαερίου που θα εξεταστούν στην παρούσα εργασία

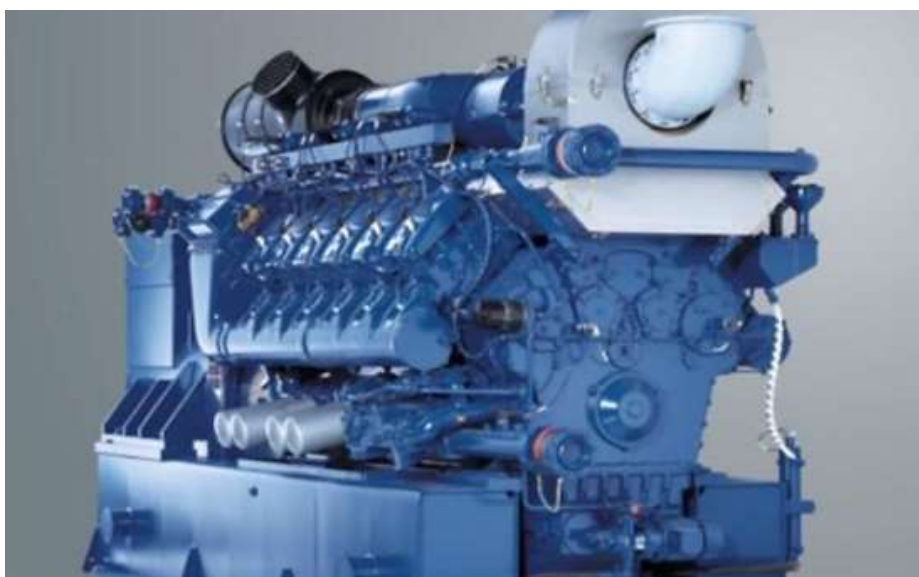
### ***Περιγραφή ηλεκτρομηχανολογικών χαρακτηριστικών εγκατάστασης***

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη γεννήτρια κάθε ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους γίνεται στα 400V ( ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη αρχικής εγκατάστασης) ή στα 6kV (ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη επέκτασης). Ο σταθμός θα περιλαμβάνει τους απαραίτητους μετασχηματιστές για ανύψωση τάσης από την τάση παραγωγής στα 20kV. Επίσης οι μετασχηματιστές τοποθετούνται σε εσωτερικό χώρο, να υπάρχει επαρκής αερισμός του χώρου αυτού προς απομάκρυνση της θερμότητας που αναπτύσσεται κατά τη λειτουργία.

Ο σταθμός αυτός, ξεκίνησε με εγκατεστημένη ισχύ 13.9 MW, από το 2001 σε λειτουργία και αποτελείται από 11 μονάδες γεννήτριας, ηλεκτρικής ισχύος 1262 kW και θερμικής ισχύος 1650kW η κάθε μία οι οποίες βασίζονται στο ηλεκτροπαραγωγικό ζεύγος DEUTZ TBG 620V16K. Οι μονάδες είναι πλήρως αυτόνομες, τοποθετημένες σε container και λειτουργούν -όπως όλος ο σταθμός- αδιάλειπτα 365 μέρες τον χρόνο.

Η επέκταση ισχύς στο σταθμό συμπαραγωγής που πραγματοποιήθηκε το 2006 αύξησε την συνολική εγκατεστημένη ισχύ κατά 10MW περίπου και κόστισε 15.5 εκ.ευρώ.10

Προστέθηκαν 4 μηχανές ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη General Electric Jenbacher JMS 620-L.L. Οι 3 από αυτές με ηλεκτρική ισχύ 2,433MW<sub>el</sub> και 1,371MW<sub>th</sub>. Η μία μονάδα έχει την ίδια θερμική ισχύ 1,371MW και 2,737 MW<sub>el</sub>. Οι μονάδες αυτές εγκαταστάθηκαν σε κτίριο αλλάζοντας τη φιλοσοφία της αυτονομίας των container. Η θερμότητα αξιοποιείται για τη λειτουργία τεσσάρων εξατμιστών, εγκατεστημένων στο σταθμό επεξεργασίας στραγγισμάτων δίπλα στο σταθμό ηλεκτροπαραγωγής. Οδηγείται, μέσω ζεστού νερού, στο βιολογικό σταθμό και κάνει εξάτμιση στα στραγγίσματα, οπότε επιτυγχάνεται αυτό το διπλό περιβαλλοντικό κι ενεργειακό όφελος.



**Εικόνα 5.2 MEK τύπου Deutz TBG 620K**



Εικόνα 5.3: MEK τύπου Jenbacher JMS 620-L.L

#### **Μηχανή Deutz TBG 620K με βιοαέριο**

**Κατάσταση ON:** Η μηχανή είναι σε λειτουργία και αυτό σημαίνει ότι με τη ποσότητα βιοαερίου που εισέρχεται παράγεται ηλεκτρική ενέργεια σύμφωνα με την αντιστοιχία που έχουμε αναλύσει παραπάνω και διοχετεύεται στο δίκτυο ηλεκτρισμού. Σε αυτήν την κατάσταση έρχεται όταν η τιμή αποζημίωσης του ηλεκτρισμού είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη αποζημίωση διοχέτευσης Φυσικού Αερίου. Στην περίπτωση λοιπόν αυτή, η εφαρμογή ορίζει ότι είναι προτιμότερο να διοχετεύσουμε ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο από το να ασχοληθούμε με την αναβάθμιση του βιοαερίου σε φυσικό αέριο.

**Κατάσταση OFF:** Η μηχανή είναι ανενεργή, οπότε δεν παράγεται ηλεκτρισμός και η ποσότητα βιοαερίου που εισέρχεται θα οδηγηθεί προς το δίκτυο φυσικού αερίου. Σε αυτήν την κατάσταση έρχεται όταν η τιμή αποζημίωσης του ηλεκτρισμού είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη αποζημίωση διοχέτευσης Φυσικού Αερίου. Στην περίπτωση λοιπόν αυτή, η εφαρμογή ορίζει ότι είναι προτιμότερο να γίνει αναβάθμιση του βιοαερίου σε φυσικό αέριο και να διοχετευτεί στο δίκτυο Φ.Α.. Ο καθαρισμός του βιοαερίου που απαιτείται θα γίνει μέσω ενός συστήματος αναβάθμισης (purification system) μέσω των τεχνολογιών που αναλύθηκαν παραπάνω. Ο Έτσι θα μας μείνει μία ποσότητα βιομεθανίου, ποιότητας φυσικού αερίου. Στη συνέχεια λοιπόν αυτό θα διοχετευτεί στο δίκτυο του φυσικού αερίου.

Στην κατάσταση OFF της πρώτης μηχανής μπορούμε να πούμε ότι μπορούμε να έχουμε αλληλεπίδραση και με τη δεύτερη μηχανή DEUTZ.



## **Μηχανή Deutz TBG 620K με φυσικό αέριο**

**Κατάσταση ON:** Η μηχανή τίθεται σε λειτουργία στην περίπτωση που θέλουμε να ενισχύσουμε τον ηλεκτρισμό που μπορούμε να δώσουμε στο δίκτυο και μας συμφέρει τη συγκεκριμένη στιγμή να εκκινήσουμε την μονάδα. Αυτό σημαίνει ότι με τη ποσότητα Φ.Α. που εισέρχεται παράγεται ηλεκτρική ενέργεια σύμφωνα με την αντιστοιχία που έχουμε αναλύσει παραπάνω και διοχετεύεται στο δίκτυο ηλεκτρισμού. Σε αυτήν την κατάσταση έρχεται όταν η οριακή τιμή συστήματος είναι μικρότερη από την τιμή διάθεσης της παραγόμενης ενέργειας βάσει του τρέχοντος καθεστώτος αλλά επίσης δε μας συμφέρει να προβούμε στη διαδικασία αναβάθμισης του βιοαερίου σε φυσικό αέριο και να το διοχετεύσουμε. Έτσι λοιπόν αγοράζουμε φυσικό αέριο και παράγουμε ηλεκτρισμό ώστε να μπορέσουμε να πουλήσουμε ενέργεια στο δίκτυο και να εξισορροπήσουμε ανωμαλίες της παραγωγής.

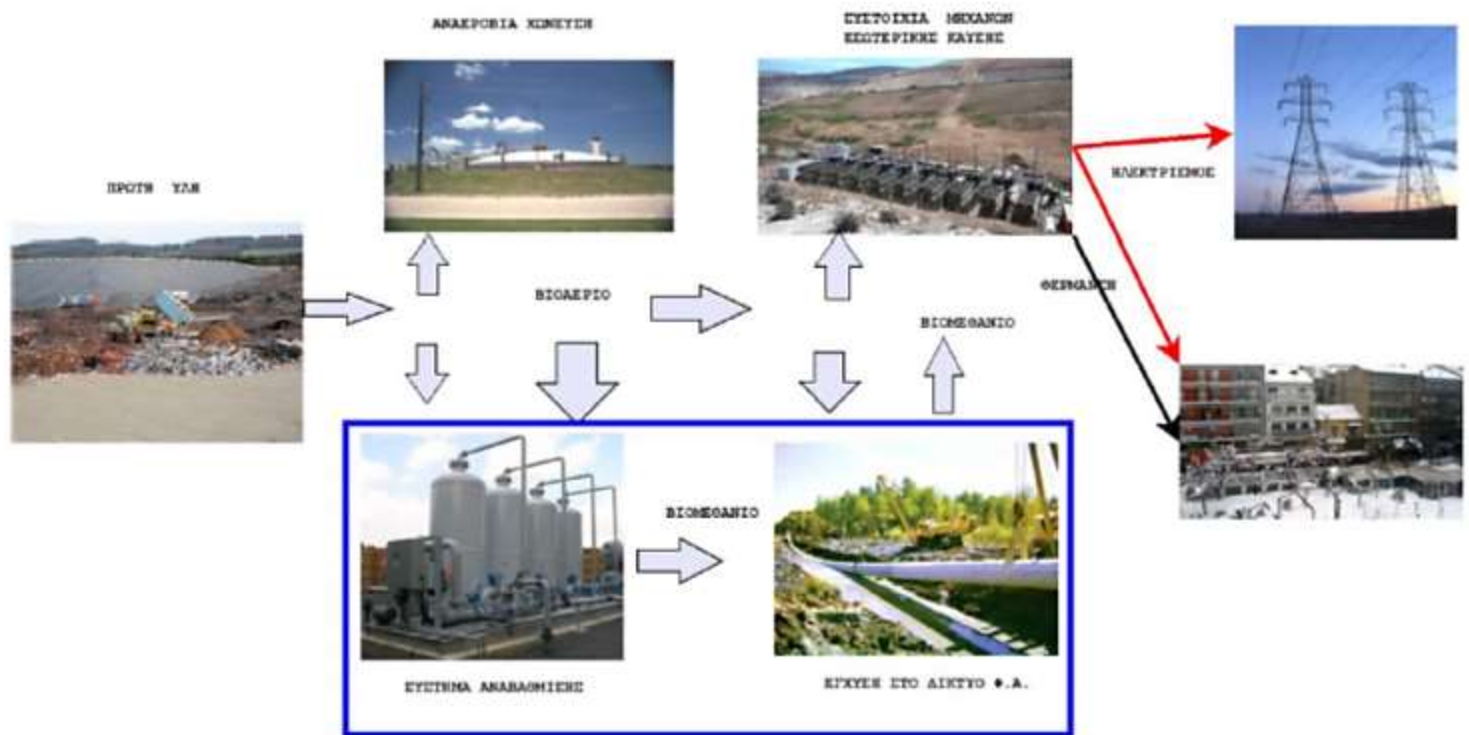
**Κατάσταση OFF:** Η μηχανή είναι ανενεργή ,οπότε δεν παράγεται ενέργεια. Σε αυτήν την κατάσταση έρχεται όταν βάσει της λειτουργίας της πρώτης μηχανής έχουμε οδηγηθεί στο να διοχετεύουμε βιομεθάνιο στο δίκτυο Φ.Α. Όταν λοιπόν βρίσκεται σε OFF δεν κάνει τίποτα.

## **5.2 Σχηματικό διάγραμμα εγκατάστασης αξιοποίησης βιοαερίου**

Για να γίνει κατανοητή η υλοποίηση που έγινε δημιουργήθηκε ένα σχήμα που δείχνει τον τρόπο λειτουργίας της εγκατάστασής μας, το οποίο παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.4. Υπάρχουν δύο μηχανές DEUTZ TBG 620K όμοιες με ισχύ 1,262MW και ένα σύστημα αναβάθμισης βιοαερίου σε βιομεθάνιο, δηλαδή σε ποιότητα φυσικού αερίου. Η μία μηχανή τροφοδοτείται και λειτουργεί με βιοαέριο το οποίο στη συγκεκριμένη εγκατάσταση που μελετάμε εκλύεται από το Χώρο Υγειονομικής Ταφής και η άλλη μηχανή λειτουργεί με φυσικό αέριο που προμηθεύεται από το δίκτυο Φ.Α.

Έχοντας ως λογική μεταβλητή για τη λειτουργία τους ON/OFF η κάθε μία, προσαρμόζεται η διαδικασία που εκτελούν.





Εικόνα 5.4: Σχηματικό διάγραμμα εγκατάστασης αξιοποίησης βιοαερίου και των αντίστοιχων επιλογών παραγωγής ηλεκτρισμού ή έγχυσης βιομεθανίου στο δίκτυο Φ.Α.

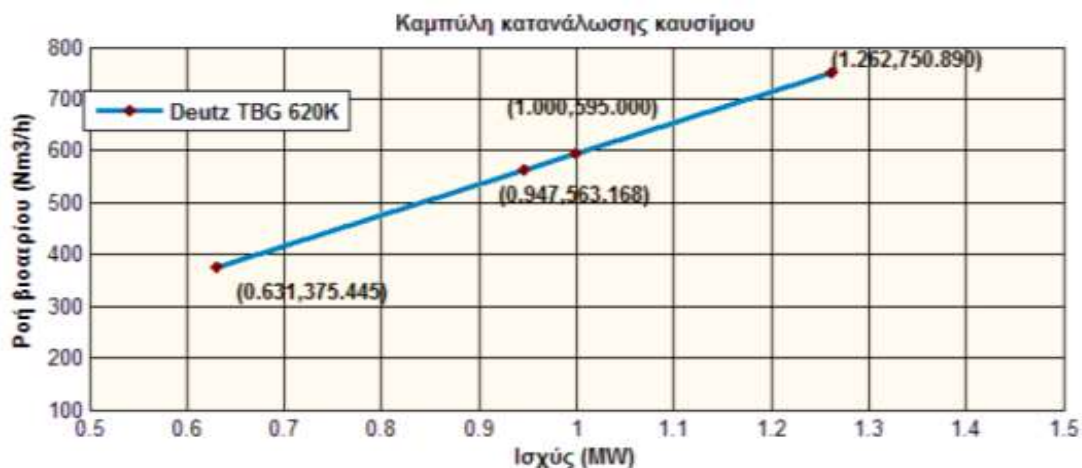
### 5.3 Καμπύλες κατανάλωσης καυσίμου

Προκειμένου να εξάγουμε την ωριαία καμπύλη κατανάλωσης καυσίμου χρειαστήκαμε κάποια στοιχεία που μας δόθηκαν από το εργοστάσιο παραγωγής. Απαιτούμενα δεδομένα ήταν η κατανάλωση βιοαερίου για 1 MW και στοιχεία για τα επίπεδα φόρτισης της μονάδας. Έπρεπε επίσης να γνωρίζουμε στοιχεία για το τεχνικό ελάχιστο των μονάδων στα Άνω Λιόσια.

#### 5.3.1 Βιοαέριο

Η κατανάλωση βιοαερίου που απαιτείται για κάθε 1 MW είναι περίπου στα 595Nm<sup>3</sup>/h. Επειδή η παραγωγή είναι τελείως αναλογική, με βάση τον αριθμό αυτών και την ονομαστική ισχύ του σταθμού μπορείς να υπολογίσεις την ωριαία καμπύλη κατανάλωσης καυσίμου.

Παρακάτω στην Εικόνα 5.5 παρουσιάζονται οι ωριαίες καμπύλες κατανάλωσης καυσίμου για υψηλή φόρτιση δηλαδή 100% της ισχύος, για μεσαία φόρτιση 75% και για χαμηλή φόρτιση 50%.

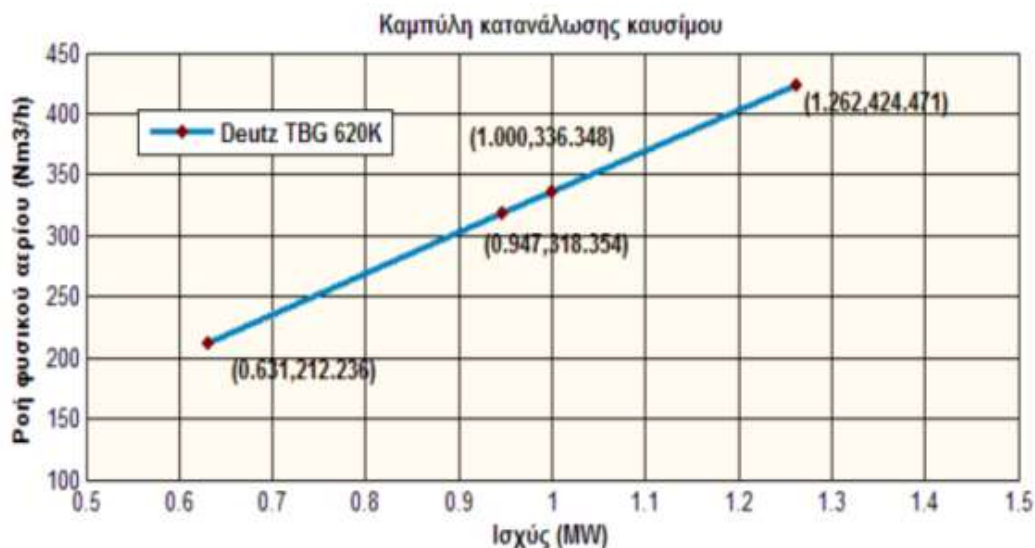


Εικόνα 5.5: Καμπύλη κατανάλωσης καυσίμου βιοαερίου για μία μηχανή Deutz

### 5.3.2 Φυσικό αέριο

Η κατανάλωση βιοαερίου που απαιτείται για κάθε 1 MW είναι περίπου στα 336,3482Nm<sup>3</sup>/h, υπολογισμένα με βάση το λόγο των θερμογόνων δυνάμεων βιοαερίου και φυσικού αερίου. Από τον αριθμό αυτόν και την ισχύ μιας μηχανής Deutz TBG 620K του σταθμού δίνεται μία συσχέτιση για την κατανάλωση του καυσίμου. Πρόκειται για τη δεύτερη μηχανή Deutz που μιλήσαμε παραπάνω στο σχήμα.

Όπως φαίνεται και από το γράφημα στην Εικόνα 5.6 ο αριθμός 0,631 αναφέρεται στο 50% της ισχύος της μηχανής, 0,9465 στο 75% της ισχύος, 1,262 στο 100% της ισχύος της μηχανής.



Εικόνα 5.6: Καμπύλη κατανάλωσης καυσίμου φυσικού αερίου για μία μηχανή Deutz

### 5.3.3 Μέγιστη και ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα βιοαερίου

Το ελάχιστο απαιτούμενο καύσιμο για τη λειτουργία κάθε μηχανής Deutz είναι  $375\text{Nm}^3/\text{h}$  ενώ για κάθε μηχανή GE Jenbacher  $750\text{Nm}^3/\text{h}$ . Αντίστοιχα το μέγιστο είναι  $750\text{Nm}^3/\text{h}$  και  $1500\text{Nm}^3/\text{h}$ . Η ελάχιστη λειτουργία της μονάδος θα απαιτούσε τη λειτουργία τουλάχιστον 1 μηχανής Deutz στο 50% του φορτίου της ώστε να καλύπτει τις ιδιοκαταναλώσεις του σταθμού, και 1 μηχανής GE Jenbacher επίσης στο 50%. Συνολικά αυτό μεταφράζεται σε  $1,85\text{MW}$  με απαίτηση σε καύσιμο  $1100\text{Nm}^3/\text{h}$ . Αντίστοιχα, το μέγιστο θεωρητικό ταυτίζεται με την ονομαστική ισχύ του σταθμού δηλαδή  $23,5\text{MW}$  που θα απαιτούσαν περίπου  $14500\text{Nm}^3/\text{h}$ .

#### *Τεχνικό ελάχιστο μηχανών της εγκατάστασης*

Ο σταθμός παραγωγής των Άνω Λιοσίων έχει εγκαταστημένη ισχύ  $23,5\text{MW}$ . Αποτελείται από 11 μονάδες Deutz TBG62016V δυναμικότητας  $1262\text{kW}$  και 4 μονάδες GE Jenbacher δυναμικότητας  $2433\text{kW}$ . Το τεχνικό ελάχιστο των μονάδων είναι στο 50% της ονομαστικής τους ισχύος.

## 5.4 Κοστολόγηση φυσικού αερίου

Η τιμή του φυσικού αερίου είναι διαφορετική για το προμηθευτή από διεθνές δίκτυο στην Ελλάδα (*ΔΕΠΑ*), για τον προμηθευτή που λαμβάνει το φυσικό αέριο από τη ΔΕΠΑ (ΕΠΑ) και είναι αρμόδιος για τη διανομή στους τελικούς καταναλωτές και εν τέλει διαφορετική για τον τελικό καταναλωτή.

Η τιμολογιακή πολιτική που εφαρμόζεται στον καταναλωτή ορίζεται από την εξίσωση:

$$\text{Τιμή Πώλησης Φυσικού Αερίου} = \text{Κόστος προμήθειας Φ.Α.} + \text{Περιθώριο Διανομής ΕΠΑ Αττικής} + \text{Φόροι}$$

Η μέση τιμή προμήθειας φυσικού αερίου (ΜΤΦΑ) είναι  $45,633 \text{ €/MWh}$  (Ιανουάριος 2014).

## 5.5 Τιμές αγοράς Ηλεκτρισμού

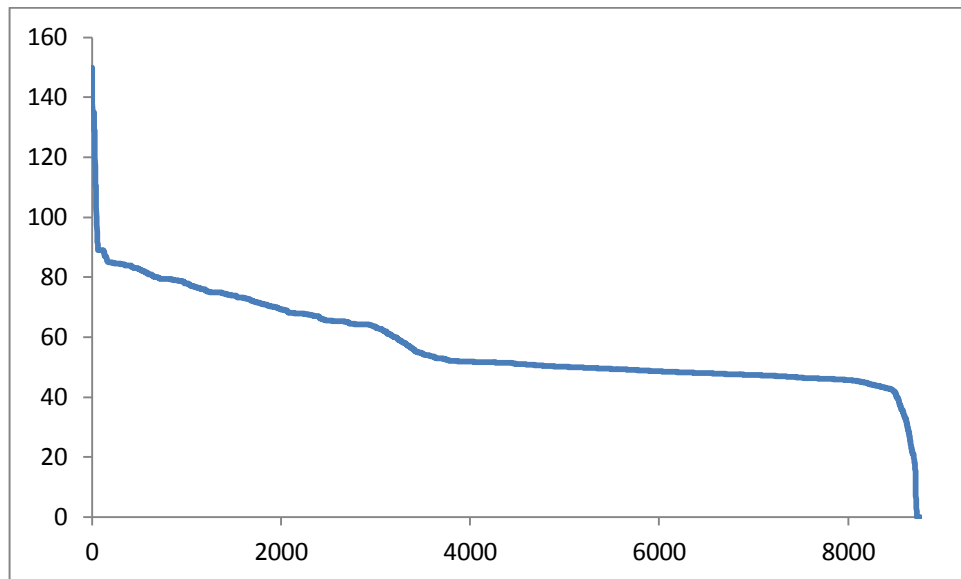
### ➤ Ελληνική Αγορά

Η Οριακή Τιμή του Συστήματος είναι η τιμή στην οποία εκκαθαρίζεται η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και είναι η τιμή που εισπράττουν όλοι οι όσοι εγχέουν ενέργεια στο Σύστημα και πληρώνουν όλοι όσοι ζητούν ενέργεια από το Σύστημα. Συγκεκριμένα, η Οριακή Τιμή του Συστήματος διαμορφώνεται από το συνδυασμό των προσφορών τιμών και ποσοτήτων που υποβάλλουν κάθε μέρα οι διαθέσιμες

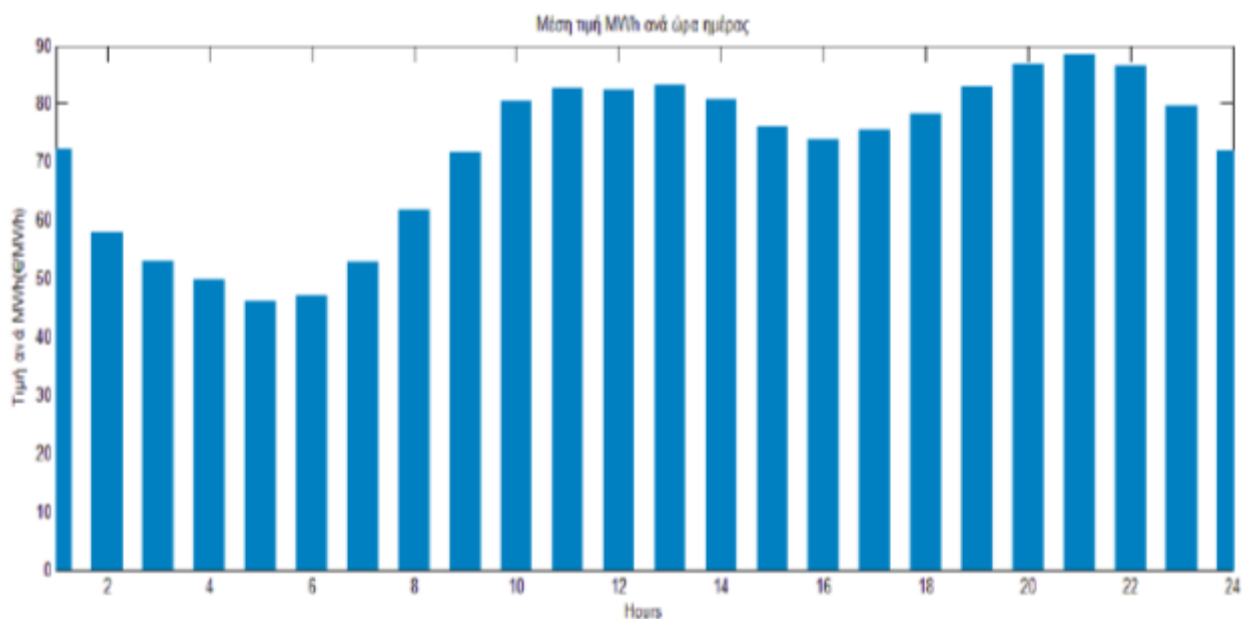
μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και του ωριαίου φορτίου ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας που διαμορφώνεται σε καθημερινή βάση από τους καταναλωτές.

Η Οριακή τιμή συστήματος (ΟΤΣ) για ολόκληρο το έτος 2014 σε μορφή excel από το site του ΑΔΜΗΕ (27).

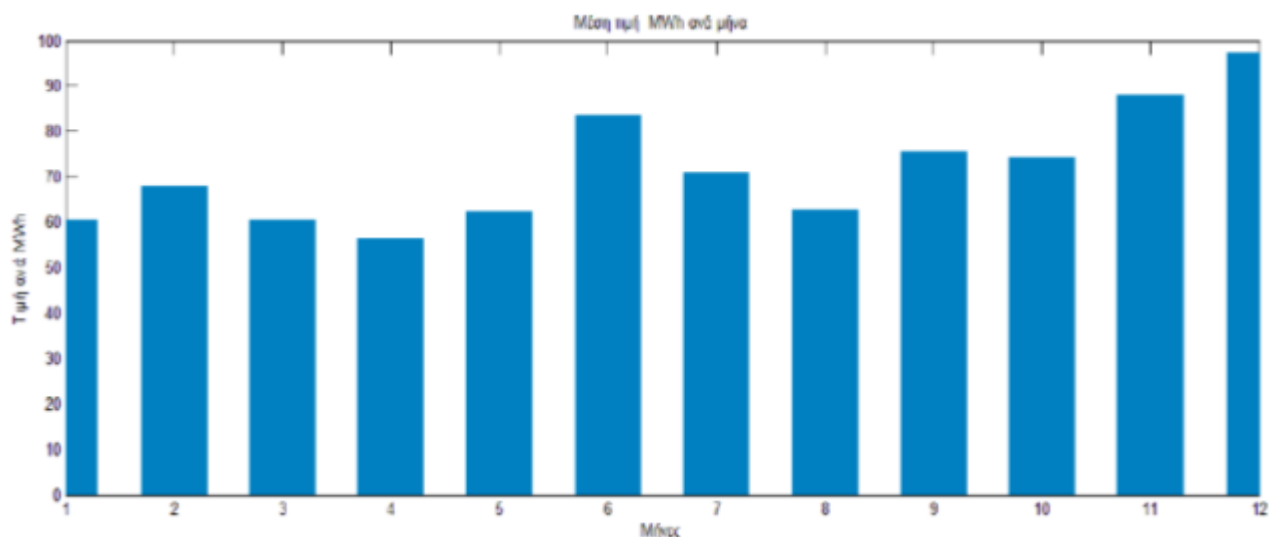
Η μέση τιμή της αγοράς με βάση αυτόν τον πίνακα για το 2014 είναι 69,6 €/MWh, η μέγιστη 150€/MWh και η ελάχιστη τιμή 0 €/MWh



Εικόνα 5.7: Καμπύλη διάρκειας ΟΤΣ



Εικόνα 5.8: Διακύμανση της μέσης τιμής MWh για κάθε ώρα της ημέρας



Εικόνα 5.9: Διακύμανση της μέσης τιμής MWh για μήνα του έτους

#### Σχολιασμός γραφημάτων

Από τα γραφήματα αυτά φαίνεται η τάση διακύμανσης που έχει η τιμή μέσα στην ημέρα με τις βραδινές ώρες (20:00-21:00) να έχουνε τη μεγαλύτερη τιμή, καθώς εκείνες τις ώρες υπάρχει αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας. Επίσης στο επόμενο γράφημα φαίνεται ότι για το μήνα Δεκέμβριο και Ιούνιο είχαμε αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας οπότε η τιμή ΟΤΣ είχε εκτιναχτεί σε πολύ υψηλές τιμές.

## 5.6 Έγχυση στο δίκτυο

#### Κόστος αναβάθμισης βιοαερίου σε βιομεθάνιο

Σύμφωνα με την έρευνα της CALSTART (έτος 2014) για 100.000-1.000.000 ft<sup>3</sup> ανά ημέρα δηλαδή 2831,6846-28316,846 Nm<sup>3</sup> την ημέρα, και κόστος 3,92 \$ ανά 1.000 ft<sup>3</sup>, συνεπώς 0,1384 \$ το Nm<sup>3</sup> και με αντιστοιχία δολαρίου στα 0,668 ευρώ έχουμε κόστος αναβάθμισης ίσο με **0,106125€/Nm<sup>3</sup>**.

#### Κόστος μεταφοράς

Το κόστος μεταφοράς του βιοαερίου εξαρτάται από το μήκος της διαδρομής που θα διανύσει καθώς και από τη ροή της ποσότητας βιοαερίου που μεταφέρεται.

Πρέπει να τονιστεί ότι η μεταφορά ποσοτήτων αναβαθμισμένου βιοαερίου στο δίκτυο φυσικού αερίου είναι δυνατή, σε αντίθεση με την αντίστροφη διαδικασία όπου δεν δύναται να ικανοποιηθεί.



Από τις προδιαγραφές λειτουργίας της συγκεκριμένης μονάδας παραγωγής ισχύει ότι για κάθε 1 MWh απαιτείται κατανάλωση βιοαερίου περίπου στα 595 Nm<sup>3</sup>. Θα βρούμε με βάση αυτή τη ποσότητα και τη θερμογόνο δύναμη του βιοαερίου που είναι 6.5 kWh ανά m<sup>3</sup>, υπολογίζουμε ότι υπό τέλεια καύση θα έβγαιναν 3,8675 MWh.

Βάσει του λόγου των θερμογόνων δυνάμεων έπειτα, χρειάστηκε να βρούμε την αντιστοιχία ποσότητας βιοαερίου και φυσικού αερίου. Μία μηχανή Deutz που απαιτεί 750,89Nm<sup>3</sup>, απαιτεί αντίστοιχα 424,47Nm<sup>3</sup>. Αυτό επιβεβαιώνεται βάσει των σχέσεων

$$595 \text{ Nm}^3/\text{h} \times 6.5 \text{ kWh/Nm}^3 = 3867,5 \text{ kWh} = 3,8675 \text{ MWh}$$

### Υπολογισμός MWh θερμότητας υπό τέλεια καύση βάσει της ροής βιοαερίου

Η μέγιστη ισχύς μιας μηχανής Deutz είναι 1,262MW. Με βάση την αντιστοιχία των προδιαγραφών για 1 MWh, αν είχαμε 100% φόρτιση θα απαιτούνταν 750,89Nm<sup>3</sup> για μία ώρα λειτουργίας. Αν είχαμε τέλεια καύση μία τέτοια μηχανή θα απαιτούσε μόνο 194,154 Nm<sup>3</sup>.

Υπό τέλεια καύση

<b>3,8675 MWh</b>	<b>595 Nm<sup>3</sup></b>
<b>1,262 MWh</b>	<b>194,154 Nm<sup>3</sup></b>

Υπό καύση προδιαγραφών

<b>1 MWh</b>	<b>595 Nm<sup>3</sup></b>
<b>1,262 MWh</b>	<b>750,89 Nm<sup>3</sup></b>

Στη συνέχεια λοιπόν βλέποντας την διαφορά στην απαίτηση καυσίμου υπολογίσαμε την απόδοση ηλεκτρισμού της μονάδας μέσω της παρακάτω σχέσης και βρήκαμε 25,85%.

$$n_{Deutz} = 194,15 / 750,89 \text{ Nm}^3 / \text{Nm}^3 = 0,2585 = 25,85\%$$

Βάσει του λόγου των θερμογόνων δυνάμεων έπειτα, χρειάστηκε να βρούμε την αντιστοιχία ποσότητας βιοαερίου και φυσικού αερίου. Μία μηχανή Deutz που απαιτεί 750,89Nm<sup>3</sup>, απαιτεί αντίστοιχα 424,47Nm<sup>3</sup>. Αυτό επιβεβαιώνεται βάσει των σχέσεων:

$$\text{Λόγος θερμογόνων δυνάμεων: } \text{θερμογόνο} \text{ δύναμη } \Phi A / \text{θερμογόνο} \text{ δύναμη } \text{βιοαερίου} = 11,5 (\text{kWh/Nm}^3) / 6,5 (\text{kWh/Nm}^3) = 1,769$$

$$\text{Φυσικό αέριο: } 750,89 \text{ Nm}^3 / 1,769 = 424,47 \text{ Nm}^3$$

Θέλαμε να έχουμε την τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας που ανήκει στην περίπτωση μας. Σύμφωνα με το ν.3851/2010 (ΦΕΚ 85 Α 040620120) η κατηγορία που μας καλύπτει είναι η ιγ', ως αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής και από βιοαέριο από βιομάζα (συμπεριλαμβανομένου και του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αποβλήτων), με εγκατεστημένη ισχύ >2MW με τιμή πώλησης στα **99,45 €/MWh** (Τιμή Πώλησης ενέργειας από ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ (νόμος 3851/2010)).

Βάσει λοιπόν αυτής της τιμής υπολογίσαμε την ελάχιστη απαιτούμενη τιμή αποζημίωσης του παραγόμενου φυσικού αερίου μετά την αναβάθμιση, ώστε να είναι προσφορότερη η διοχέτευση φυσικού αερίου έναντι της παραγωγής ηλεκτρισμού.

## 5.7 Επιμέρους Βήματα και Αποτελέσματα

### 5.7.1 Ελάχιστη τιμή έγχυσης βιοαερίου για να προτιμηθεί έναντι της παραγωγής ηλεκτρισμού

Η ελάχιστη τιμή στην οποία πρέπει να εγχύεται το αναβαθμισμένο βιοαέριο για να προτιμηθεί έναντι της παραγωγής ηλεκτρισμού προκύπτει ως εξής:

Βάσει νόμου όπως προαναφέρθηκε **99,45 €** πωλείται 1MWh από βιοαέριο η οποία είναι γνωστό επίσης ότι στη συγκεκριμένη εγκατάσταση απαιτεί κατανάλωση  $595 \text{ Nm}^3$ .

<b>1 MWh</b>	<b>595 Nm<sup>3</sup></b>
<b>0,001681MWh</b>	<b>1 Nm<sup>3</sup></b>

Από τον παραπάνω πίνακα καθώς και την τιμή διάθεσης της ενέργειας υπολογίσαμε την ελάχιστη τιμή που θα προτιμήσουμε να διοχετεύσουμε στο δίκτυο του Φ.Α και όχι στο δίκτυο του ηλεκτρισμού.

Η τιμή αυτή είναι:

$$0,001681 \times 99,45 = 0,16717 \text{ € /Nm}^3 \text{ βιοαερίου}$$

### 5.7.2 Επιπρόσθετα κόστη Φ.Α.

Η τιμή  $0,16717 \text{ € /Nm}^3$  το οποίο υπολογίστηκε παραπάνω αναφέρεται σε βιοαέριο χωρίς προσαύξηση του κόστους εγκατάστασης ανά  $\text{m}^3$ . Σε αυτή την τιμή κόστους που έχουμε υπολογίσει πρέπει να ληφθεί υπόψη το κόστος εγκατάστασης που περιλαμβάνει:



- Κόστος συστήματος αναβάθμισης του βιοαερίου σε ποιότητα φυσικού αερίου
- Κόστος σύνδεσης στο δίκτυο του φυσικού αερίου

Για να μπορέσουμε να εκτιμήσουμε ποιες τιμές αφορούν στην παρούσα εγκατάσταση πρέπει να δούμε σε τι κατηγορία ανήκει, διότι οι τιμές εξαρτώνται από το μέγεθος της εγκατάστασης. Η ποσότητα καυσίμου σε  $\text{Nm}^3/\text{h}$  που παράγει η εγκατάσταση καθορίζει το μέγεθος της.

Στη συνέχεια αν προσθέσουμε την τιμή που έχουμε βρει παραπάνω  $0.16717 \text{ €/Nm}^3$  που είναι η ελάχιστη τιμή διοχέτευσης βιοαερίου με το κόστος αναβάθμισης του σε βιομεθάνιο, βρίσκουμε το συνολικό κόστος παραγωγής και αναβάθμισης του  $1 \text{ Nm}^3$ .

Οπότε έχουμε κόστος παραγωγής και αναβάθμισης ( $\text{€/Nm}^3$ ) :

$$0.106125 \text{ €/Nm}^3 + 0.16717 \text{ €/Nm}^3 = 0.273297 \approx 0.2733 \text{ €/Nm}^3$$

Μία μέση τιμή για τη μεταφορά του βιοαερίου είναι  $3 \text{ €/MWh}$ , δηλαδή για τη συγκεκριμένη εγκατάσταση  $0.008919 \text{ €/Nm}^3$  φυσικού αερίου.

Το συνολικό κόστος διοχέτευσης και έγχυσης στο δίκτυο καταλήξαμε ότι είναι  $0.008919 \text{ €/Nm}^3$ , προστιθέμενο στο κόστος  $0.2733 \text{ €/Nm}^3$ . Οπότε το τελικό κόστος είναι  $0.282219 \text{ €/Nm}^3$ .

Συμπερασματικά λοιπόν για να μας συμφέρει θα πρέπει να πληρώνεται ο κάτοχος της εγκατάστασης με  **$0.282219 \text{ €/Nm}^3$  βιοαερίου**.

### 5.7.3 Πωλούμενη ποσότητα στο Δίκτυο Φυσικού Αερίου

Έπειτα μας ενδιαφέρει να δούμε την κατάσταση όσον αφορά το φυσικό αέριο, δηλαδή πόση είναι η ποσότητα τελικά του Φ.Α που καταφέρνουμε να δώσουμε στο δίκτυο Φυσ. Αερίου βάσει του βιοαερίου που υπολογίσαμε. Μέσω αυτής της διαδικασίας προκύπτει η τιμή του Φ.Α και μπορούμε να συμπεράνουμε αν συμφέρει την ΕΠΑ να αγοράζει τελικά από αυτήν την εγκατάσταση.

Θα πρέπει να υπολογίσουμε τη ποσότητα του Φ.Α που αντιστοιχεί στην ποσότητα του βιοαερίου που αναλύσαμε. Χρησιμοποιήσαμε το λόγο των θερμογόνων δυνάμεων των δύο αερίων για να κάνουμε την αντιστοίχιση ο οποίος υπολογίστηκε ίσος με  $1.769$ . Οπότε για  $1 \text{ MWh}$  που απαιτεί  $595 \text{ Nm}^3$  βάσει των προδιαγραφών, για το Φ.Α έχουμε:

$$\text{Φυσικό αέριο: } 595 \text{ Nm}^3 / 1.769 = 336,3482 \text{ Nm}^3$$

Άρα από τα  $595 \text{ Nm}^3$  βιοαερίου μένουν  $336,3482 \text{ Nm}^3$  φυσικού αερίου προς εκμετάλλευση.

Διαθέτοντας το  $1 \text{ Nm}^3$  με  $0,282219 \text{ €}$  , για τα  $595 \text{ Nm}^3$  θα εισπράξουμε :

$$0,282219 \text{ €/Nm}^3 \times 595 \text{ Nm}^3 / \text{h} = 167,92 \text{ €/h}$$

Για να με συμφέρει λοιπόν να οδηγηθώ στο δίκτυο φυσικού αερίου αντί στο δίκτυο ηλεκτρισμού πρέπει να εισπραχθούν  $167,92 \text{ €/h}$  τουλάχιστον.

Μέσω της ελάχιστης τιμής για το φυσικό αέριο που επιθυμούμε, υπολογίζουμε και την τιμή ανά κυβικό φυσικού αερίου ( $\text{Nm}^3$ ):

$$\text{Για } 1 \text{ MW} \rightarrow 1/336.3482 \text{ Nm}^3 \times 167,92 \text{ €/h} = 0,49924 \text{ €/Nm}^3$$

Στη συνέχεια με βάση τη μέση τιμή θερμογόνου δύναμης του φυσικού αερίου που γνωρίζουμε ότι είναι  $11,5 \text{ kWh/Nm}^3$  θα βρούμε την τιμή που αντιστοιχεί σε  $1 \text{ MWh}$  θερμότητας φυσικού αερίου πλέον .

$$0,49924 \text{ €/Nm}^3 \times 1/11,5 \text{ Nm}^3 / \text{kWh} = 0.04341 \text{ €/kWh}$$

Συνεπώς η τιμή αυτή ανάγεται σε **43,41€/MWh** και πρόκειται για τα χρήματα που  $1 \text{ MWh}$  δίνεται στην ΕΠΑ.

Αν αυτά τα χρήματα δοθούν στην επιχείρηση καλύπτει καταρχάς το συνολικό κόστος επεξεργασίας του βιοαερίου σε φυσικό αέριο, αλλά και έχει κέρδος που προτίμησε το δίκτυο ΦΑ από το εθνικό δίκτυο ηλεκτρισμού.

### **Συνολική ποσότητα διοχέτευσης στο δίκτυο από μία μηχανή Deutz TBG 620K**

Εφόσον έχουμε βρει την ποσότητα που θα διοχετευόταν για  $1 \text{ MW}$  ισχύ την ώρα, θα κάνουμε αναγωγή στην ισχύ της μονάδας Deutz  $1,262 \text{ MW}$ .

Μελετάμε την έγχυση στο δίκτυο Φ.Α καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, συνεπώς αναφερόμαστε σε  $8760$  ώρες.

Αν τελικά επιλέξουμε το δίκτυο φυσικού αερίου, η συνολική ετήσια ποσότητα από μία μηχανή Deutz είναι:

$$8760 \times 424,47 \text{ Nm}^3 = 3718357,2 \text{ Nm}^3$$

#### 5.7.4 Σύγκριση τιμών φυσικού αερίου

Σύμφωνα με την παραπάνω παράγραφο η τιμή που μπορεί να διατεθεί 1 MWh φυσικού αερίου βάσει των συνθηκών που έχει γίνει η ανάλυση είναι **43,41 €/MWh**. Η μέση τιμή κόστους προμήθειας φυσικού αερίου της ΕΠΑ Αττικής από τη ΔΕΠΑ (Ιανουάριος 2014) είναι **45,633 € / MWh**.

Η διαφορά των δύο αυτών τιμών δεν έχει συμπεριλάβει καμία προσπάθεια διαδικασίας βελτιστοποίησης προς το συμφέρον του κατόχου της εγκατάστασης του ΧΥΤΑ και της μονάδας παραγωγής βιοαερίου. Αυτό είναι αρμοδιότητα ίσως κάποιου χημικού μηχανικού που αναλαμβάνει την επίβλεψη της διεργασίας των αποβλήτων. Υπό διαφορετικές συνθήκες, υγρασίας, θερμοκρασίας, διαφορετικού χρόνου παραμονής η παραγωγή του βιοαερίου αλλάζει, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται και η τιμή τελικής διάθεσης του.

Βάσει της ανάλυσης γίνεται κατανοητό ότι το διαχειριστή της επιχείρησης τον συμφέρει μία τέτοια κίνηση, εφόσον η ΕΠΑ μπορεί να προμηθεύεται ποσότητα φυσικού αερίου σε πιο χαμηλή τιμή από τη ΔΕΠΑ .

#### 5.7.5 Μεταβολή εσόδων λόγω της υιοθέτησης ΟΤΣ σε σχέση με τη FIT (Feed-in-Tariff)

Σε περίπτωση που όλη τη χρονιά ο κάτοχος της εγκατάστασης αποζημιωθεί με βάση την ΟΤΣ τα έσοδα του θα είναι 628.150 €.

Στην περίπτωση όπου αποζημιώνεται όλη τη χρονιά βάσει της FIT που είναι 99.45 €, τα έσοδα του είναι :

$$8.760MWh \times 99.45 \text{ €/MWh} = 871.182\text{€}$$

Παρατηρούμε από τις δύο τιμές την μεγάλη διαφορά στο κέρδος ανάμεσα στις 2 πολιτικές πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας στο εθνικό δίκτυο . Προκειμένου λοιπόν να μη χάσει ο κάτοχος σημαντικό βαθμό κέρδους που θα μπορούσε να έχει, θα εξετάσουμε την απόφαση διοχέτευσης στο δίκτυο φυσικού αερίου.

**Πίνακας 5.1: Συγκεντρωτικός πίνακας σύγκρισης κερδών ηλεκτρισμού FIT-ΟΤΣ**

Τρόπος αποζημίωσης	Ετήσια Τιμή Αποζημίωσης	Ποσοστό μείωσης των κερδών
Feed-In-Tariff	871.182€	-29,9%
Τιμές αγοράς-ΟΤΣ	609.854€	

## **Υπολογισμός εσόδων της επιχείρησης από τη πώληση ηλεκτρισμού και από την έγχυση στο δίκτυο**

Λαμβάνοντας υπόψη την ΟΤΣ θα κάνουμε σύγκριση με τη τιμή που διαθέτουμε την ενέργεια. Αυτό που προκύπτει είναι ότι 47 ώρες μέσα στο έτος του 2014, η ΟΤΣ είναι μεγαλύτερη από 99,45 €/MWh που είναι η τιμή διάθεσης. Αν ο κάτοχος αποζημιωνόταν με την τιμή της αγοράς, δε θα εισέπραττε τόσα χρήματα. Για να γίνει αντιληπτό το μέγεθος υπολογίζουμε τη σχετική διαφορά χρημάτων και πόσο θα επωφελούνταν μέσω της αποζημίωσης με την ΟΤΣ.

Για αυτές τις 47 ώρες, αν αποζημιωνόταν με την εγγυημένη τιμή, δηλαδή 99,45 €/MWh, τα έσοδα του θα ήταν:

$$99,45 \text{ €/MWh} \times 47 \text{ h} = 4.674 \text{ €}$$

Αν εκείνες τις ώρες που τον συμφέρει αποζημιωνόταν με την ΟΤΣ, τα έσοδα του κατόχου της εγκατάστασης θα ήταν 5.951€.

Βάσει των τιμών που υπολογίστηκαν ο κάτοχος του εργοστασίου στην περίπτωση που αποζημιωθεί με την ΟΤΣ εκείνες τις ώρες έχει κέρδος:

$$5.951 \text{ €} - 4.674 \text{ €} = 1.277 \text{ €}$$

### **Κατάσταση ιδιοκτήτη σε θέμα εισπραξίας-Τελικά έσοδα**

Υπολογίζουμε τα χρήματα που εισπράττει ο ιδιοκτήτης από τις ώρες ηλεκτρισμού και από τις ώρες διοχέτευσης στο δίκτυο Φ.Α. Η τιμή πώλησης 1 Nm<sup>3</sup> βιοαερίου είναι συνολικά 0,28221€/Nm<sup>3</sup>.

Η ποσότητα του φυσικού αερίου που διοχετεύεται στις 8713 ώρες διοχέτευσης στο δίκτυο Φ.Α και τα αντίστοιχα έσοδα είναι:

$$8713 \times 336,3482 \text{ Nm}^3 = 2.930.600,12 \text{ Nm}^3$$
$$0,4924 \text{ €/Nm}^3 \times 2.930.600,12 \text{ Nm}^3 = \mathbf{1.443.027,5\text{€}}$$

Για τις 47 ώρες διοχέτευσης στο δίκτυο ηλεκτρισμού τα έσοδα είναι 5.951 €.

Για να υπολογιστεί το καθαρό κέρδος της επιχείρησης πρέπει από τα έσοδα της διοχέτευσης, το κόστος της επεξεργασίας, το οποίο για 1 Nm<sup>3</sup> είναι 0,115044€/Nm<sup>3</sup>, όπως έχει προαναφερθεί. Συνεπώς για την ποσότητα διοχέτευσης θα πρέπει να βρούμε το συνολικό κόστος είναι:

$$0,115044 \text{ €/Nm}^3 \times 5.184.234,99 \text{ Nm}^3 = 596.415,13 \text{ €}$$

Αφαιρούμε λοιπόν και έχουμε το κέρδος μόνο από τη διοχέτευση:

$$1.443.027,5 \text{ €} - 596.415,13 \text{ €} = \mathbf{846.612,4 \text{ €}}$$

Το συνολικό κέρδος σε αυτήν την περίπτωση λοιπόν για τον ιδιοκτήτη είναι:

$$5.951 \text{ €} + 846.612,4 \text{ €} = \mathbf{852.563,4 \text{ €}}$$

Σε σχέση με πριν λοιπόν, με την ετήσια αποζημίωση σε ΟΤΣ έχει ένα όφελος **28.47 %** :

$$852.563,4 \text{ €} - 609.854 \text{ €} = \mathbf{242.709,4 \text{ €}}$$

Σε σχέση με την ετήσια αποζημίωση σε FIT έχει ζημία **2,1 %** :

$$871182 \text{ €} - 852.563,4 \text{ €} = \mathbf{18.618,6 \text{ €}}$$

Συμπερασματικά προκύπτει ότι η καλύτερη περίπτωση από πλευράς κέρδους για την εταιρία είναι η αποζημίωση στην FIT. Σε σύγκριση με την αποζημίωση στην ΟΤΣ, αν η εταιρία επιτύχει την απαιτούμενη τιμή πώλησης του φυσικού αερίου στην ΕΠΑ, θα έχει όφελος να παράγει φυσικό αέριο και να το διοχετεύει στο δίκτυο για 8.713 h και τις υπόλοιπες να αποζημιώνεται με βάση την ΟΤΣ.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Σενάρια χρήσης αναβαθμισμένου βιομεθανίου σε ΣΗΘΥΑ

### 6.1 Σενάριο Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ) με νέα Feed-in Tariff (FIT)

Στο σενάριο αυτό εξετάζεται η καύση του αναβαθμισμένου βιοαερίου σε μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής απόδοσης (ΣΗΘΥΑ). Με τον όρο Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ) εννοούμε την ταυτόχρονη παραγωγή χρήσιμης θερμικής και ηλεκτρικής ή/και μηχανικής ενέργειας από την ίδια αρχική πηγή ενέργειας, στο πλαίσιο μόνο μίας διεργασίας. Η ιδέα πίσω από την συμπαραγωγή είναι η εξής: καταναλώνοντας κάποιο καύσιμο όπως π.χ. φυσικό αέριο ή βιοαέριο, κινούμε μία ηλεκτρική γεννήτρια, η οποία παράγει ηλεκτρική ενέργεια, ενώ η θερμότητα που απάγεται από την μηχανή συλλέγεται και χρησιμοποιείται για θέρμανση νερού, αέρα κ.λπ. Στο συγκεκριμένο αρχικό σενάριο που εξετάζουμε, η παραγόμενη θερμότητα θα χρησιμοποιείται για τηλεθέρμανση.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται για τον υπολογισμό του κέρδους από τη μονάδα ΣΗΘΥΑ είναι η ακόλουθη:

- Εύρεση τιμής τιμολόγησης ενέργειας για ΣΗΘΥΑ
- Αναγωγή της τιμής σε €/m<sup>3</sup> βιοαερίου
- Αναγωγή της τιμής σε €/m<sup>3</sup> βιομεθανίου
- Υπολογισμός της καθαρής τιμής αποζημίωσης, αφαιρώντας το κόστος αναβάθμισης
- Αναγωγή της καθαρής τιμής αποζημίωσης σε €/MWh<sub>el</sub>
- Υπολογισμός ετήσιου κέρδους από ΣΗΘΥΑ

Στην περίπτωση αυτή, σύμφωνα με τον νόμο 3851/2010, η ενέργεια τιμολογείται ίση με 87,85\*ΣΡ, όπου:

$$\Sigma P = 1 + (M.T.\Phi.A. - 26) / (100 \times \eta_{el})$$

όπου: Μ.Τ.Φ.Α.: η ανά τρίμηνο μέση μοναδιαία τιμή πώλησης φυσικού αερίου για συμπαραγωγή σε €/MWh ανωτέρας θερμογόνου δύναμης (Α.Θ.Δ.) στους χρήστες Φ.Α. στην Ελλάδα, εξαιρουμένων των πελατών ηλεκτροπαραγωγής. Η τιμή αυτή ορίζεται με μέριμνα της Δ.Ε.Π.Α. Α.Ε. και κοινοποιείται ανά τρίμηνο στον Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε..

$\eta_{el}$  : ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης της διάταξης Σ.Η.Θ.Υ.Α. επί ανωτέρας θερμογόνου δύναμης (Α.Θ.Δ.) φυσικού αερίου, η οποία ορίζεται σε 0,33 για μονάδες Σ.Η.Θ.Υ.Α.  $\leq 1\text{MWe}$ , και σε 0,35 για μονάδες Σ.Η.Θ.Υ.Α.  $> 1\text{MWe}$ . Η τιμή του ΣΡ δεν μπορεί να είναι μικρότερη της μονάδας.

Η Μ.Τ.Φ.Α. για συμπαραγωγή είναι 45,975 €/Μ<sup>9</sup>. Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης της μονάδας, σύμφωνα με τη νομοθεσία, λαμβάνεται ίσος με 0,35, μιας και πρόκειται για μονάδα με ισχύ μεγαλύτερη από 1 ΜWe. Άρα ο συντελεστής ΣΡ ισούται με:

$$1+(45,975-26)/(100*0,35)) \rightarrow \Sigma P=1,57$$

Άρα η τελική Feed-in Tariff (FIT) που διαμορφώνεται σύμφωνα με τη νομοθεσία για τη ΣΗΘΥΑ είναι ίση με:

$$87,85 \cdot \Sigma P = 137,99 \text{ €/MWh}_{el}$$

Η τιμή αυτή αν αναχθεί στην ποσότητα του παραγόμενου βιοαερίου ισούται με:

$$\frac{137,99 \text{ €/MWh}_{el}}{595 \text{ Nm}^3 / \text{MWh}_{el}} = 0,23192 \text{ €/Nm}^3_{\text{βιοαερίου}}$$

Επειδή όμως η μονάδα ΣΗΘΥΑ καταναλώνει βιομεθάνιο, πρέπει από την τιμή αυτή να αφαιρεθεί το μοναδιαίο κόστος αναβάθμισης του βιοαερίου σε βιομεθάνιο. Η αρχική τιμή του κόστους αναβάθμισης έχει θεωρηθεί ίση με: 0,106125 €/Nm<sup>3</sup><sub>βιοαερίου</sub>.<sup>13</sup>

Αφαιρώντας το κόστος αναβάθμισης από την τιμή αποζημίωσης ανηγμένη ανά Nm<sup>3</sup> βιοαερίου προκύπτει το ανηγμένο καθαρό κέρδος από την καύση του βιομεθανίου στη μονάδα ΣΗΘΥΑ.

Συνεπώς:

$$0,23192 \text{ €/Nm}^3_{\text{βιοαερίου}} - 0,106125 \text{ €/Nm}^3_{\text{βιοαερίου}} = 0,125795 \text{ €/Nm}^3_{\text{βιοαερίου}}$$

Ο Πίνακας 6.1 παρουσιάζει συγκεντρωτικά την Feed-in Tariff για ΣΗΘΥΑ, το κόστος αναβάθμισης σε βιομεθάνιο και την καθαρή τιμή αποζημίωσης, υπολογισμένα σε €/MWh<sub>el</sub>, αλλά και σε €/Nm<sup>3</sup> βιομεθανίου και €/Nm<sup>3</sup> βιοαερίου. Οι αναγωγές έγιναν με βάση το ότι 1 MWh<sub>el</sub> παράγεται είτε από 595 Nm<sup>3</sup> βιοαερίου είτε από 336 Nm<sup>3</sup> βιομεθανίου, λαμβάνοντας υπόψη τη θερμογόνο δύναμη κάθε καυσίμου.

**Πίνακας 6.1: Feed-in Tariff για ΣΗΘΥΑ, κόστος αναβάθμισης βιοαερίου και καθαρή τιμή αποζημίωσης**

	€/MWh <sub>el</sub>	€/Nm <sup>3</sup> (βιομεθανίου)	€/Nm <sup>3</sup> (βιοαερίου)
<b>Τιμή FIT ΣΗΘΥΑ</b>	137,99	0,410257	0,231916
<b>Κόστος αναβάθμισης σε βιομεθάνιο</b>	63,14	0,1879	0,106125
<b>Καθαρή τιμή αποζημίωσης</b>	74,85	0,22236	0,125791

Με βάση τα παραπάνω θα υπολογίσουμε το ετήσιο κέρδος της επιχείρησης από τη ΣΗΘΥΑ, αφαιρώντας από τα ετήσια έσοδα της ΣΗΘΥΑ το κόστος αναβάθμισης της συνολικής ποσότητας του βιοαερίου σε βιομεθάνιο (Πίνακας 6.2).

**Πίνακας 6.2: Υπολογισμός κέρδους της επιχείρησης από ΣΗΘΥΑ με αποζημίωση στην FIT**

<i>Ετήσια Έσοδα από ΣΗΘΥΑ με FIT</i>	137,99*8760=1.208.792 €
<i>Ετήσια Κόστος για αναβάθμιση</i>	63,14*8760=553.106,4 €
<b>Ετήσιο Κέρδος από ΣΗΘΥΑ</b>	<b>655.686 €</b>

Στη συνέχεια θα συγκρίνουμε το κέρδος που προκύπτει με βάση την επιλογή αυτή με το κέρδος που έχει υπολογιστεί από την καύση του βιοαερίου και την αποζημίωση της επιχείρησης με βάση την FIT (99,45 €) και με βάση την αποζημίωση στην ΟΤΣ, ώστε να δούμε κατά πόσο συμφέρει την επιχείρηση η επιλογή της μονάδας ΣΗΘΥΑ. Αν προκύψει ότι συμφέρει η αποζημίωση στην παλιά FIT, θα εξετάσουμε και την περίπτωση συνδυασμού της αποζημίωσης στη νέα FIT της ΣΗΘΥΑ με τις συμφέρουσες ΟΤΣ για παραγωγή ηλεκτρισμού από βιοαέριο, ώστε να προκύψει αυξημένο κέρδος. Συνοπτικά, όσον αφορά τον υπολογισμό του κέρδους σε κάθε περίπτωση εξετάζονται τα ακόλουθα:

- ❖ Υπολογισμός κέρδους από ΣΗΘΥΑ
- ❖ Σύγκριση κέρδους από ΣΗΘΥΑ με κέρδος από την καύση βιοαερίου για παραγωγή μόνο ηλεκτρισμού και αποζημίωση στην ΟΤΣ
- ❖ Σύγκριση κέρδους από ΣΗΘΥΑ με κέρδος από την καύση του βιοαερίου για παραγωγή μόνο ηλεκτρισμού και αποζημίωση με παλιά FIT
- ❖ Αν υπερσχύει το κέρδος από την αποζημίωση στην παλιά FIT για παραγωγή ηλεκτρισμού από βιοαέριο, σύγκριση με κέρδος από ΣΗΘΥΑ σε συνδυασμό με τις συμφέρουσες ΟΤΣ

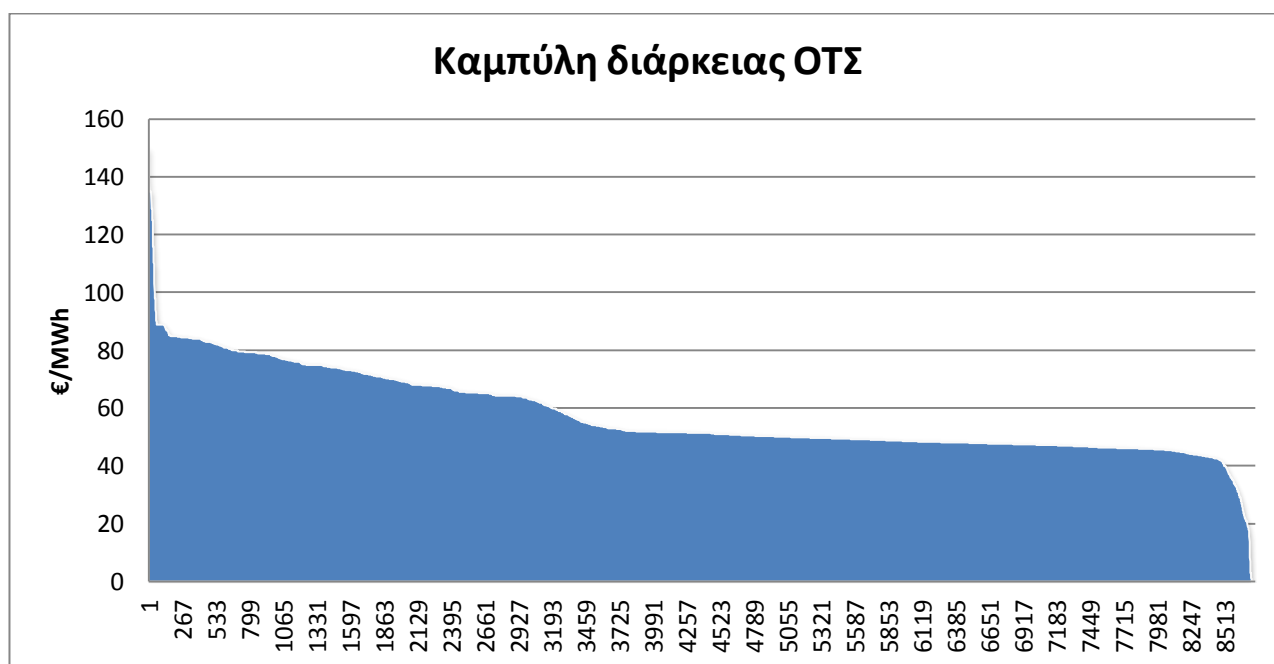


- *Σύγκριση κέρδους από ΣΗΘΥΑ με κέρδος από την καύση του βιοαερίου για παραγωγή μόνο ηλεκτρισμού και αποζημίωση με την ΟΤΣ*

Στην Εικόνα 6.1 παρουσιάζεται η καμπύλη διάρκειας της Οριακής Τιμής του Συστήματος για το 2014. Τα έσοδα της επιχείρησης στην περίπτωση που όλο το βιοαέριο οδηγηθεί προς παραγωγή ηλεκτρισμού καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, 8670 h, και αποζημιώνεται με την εκάστοτε ΟΤΣ προκύπτουν από τη σχέση:

$$\text{ΟΤΣ (της εκάστοτε ώρας του έτους)} \times 8.760$$

Ο υπολογισμός αυτός ισούται με: **609.854 €**. Στην περίπτωση αυτή τα έσοδα της επιχείρησης ισούνται και με το κέρδος της, διότι κατά τη διαδικασία αυτή καταναλώνεται απευθείας το βιοαέριο και άρα δεν υπάρχει κόστος αναβάθμισης του βιοαερίου σε βιομεθάνιο.



**Εικόνα 6.1: Καμπύλη διάρκειας Οριακής Τιμής Συστήματος (Ο.Τ.Σ.) για το 2014**

Ο Πίνακας 6.3 παρουσιάζει εποπτικά το κέρδος της επιχείρησης για τις δύο αυτές περιπτώσεις. Συνεπώς προκύπτει ότι η επιχείρηση έχει κέρδος 7,50 % από την εγκατάσταση της μονάδας ΣΗΘΥΑ.

**Πίνακας 6.3: Σύγκριση κέρδους από τη ΣΗΘΥΑ με αποζημίωση στην FIT με κέρδος από παραγωγή ηλεκτρισμού και αποζημίωση στην ΟΤΣ**

<b>Κέρδος από ΣΗΘΥΑ με αποζημίωση στην FIT</b>	655.686 €
<b>Κέρδος από ηλεκτρισμό με αποζημίωση στην ΟΤΣ</b>	609.854 €
<b>Αύξηση κέρδους από ΣΗΘΥΑ</b>	<b>+7,50%</b>

➤ **Σύγκριση κέρδους από ΣΗΘΥΑ με κέρδος από την καύση του βιοαερίου για παραγωγή μόνο ηλεκτρισμού και αποζημίωση με παλιά FIT**

Τα έσοδα της επιχείρησης στην περίπτωση που οδηγεί όλο το βιοαέριο προς παραγωγή ηλεκτρισμού καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, 8670 h, και αποζημιώνεται με την FIT (99,45€) για την κάθε ώρα προκύπτουν από τη σχέση:

$$99,45 \times 8.760 = 871.182€$$

Στην περίπτωση αυτή τα έσοδα της επιχείρησης ισούνται και με το κέρδος της, διότι κατά τη διαδικασία αυτή δεν υπάρχει κόστος αναβάθμισης του βιοαερίου.

Ο Πίνακας 6.4 παρουσιάζει εποπτικά το κέρδος της επιχείρησης στις δύο περιπτώσεις. Παρατηρούμε ότι στην περίπτωση αυτή, η ΣΗΘΥΑ οδηγεί σε σημαντική μείωση του κέρδους, διότι η αυξημένη FIT της ΣΗΘΥΑ σε σχέση με την απλή ηλεκτροπαραγωγή δεν επαρκεί για να αντισταθμίσει το κόστος αναβάθμισης.

**Πίνακας 6.4: Σύγκριση κέρδους από τη ΣΗΘΥΑ με αποζημίωση στην FIT με κέρδος από παραγωγή ηλεκτρισμού και αποζημίωση στην προηγούμενη FIT**

<b>Κέρδος από ΣΗΘΥΑ με αποζημίωση στην FIT</b>	655.686 €
<b>Κέρδος από ηλεκτρισμό με αποζημίωση στην FIT</b>	871.182€
<b>Μείωση κέρδους από ΣΗΘΥΑ</b>	<b>-24,7%</b>

➤ **Υπολογισμός κέρδους από ΣΗΘΥΑ και συμφέρουσες ΟΤΣ**

Από την καμπύλη διάρκειας των ΟΤΣ (Εικόνα 6.1) παρατηρούμε ότι κατά τη διάρκεια του έτους υπάρχουν ορισμένες ώρες όπου η ΟΤΣ είναι υψηλότερη από την τιμή FIT αποζημίωσης της ΣΗΘΥΑ. Αν κατά τις ώρες αυτές η επιχείρηση δεν επιλέγει την καύση του βιομεθανίου στη ΣΗΘΥΑ, αλλά επιλέγει για τις συγκεκριμένες ώρες, την καύση του βιοαερίου (πριν την αναβάθμιση) για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, προκύπτει αυξημένο κέρδος. Θέλουμε να εξετάσουμε αν στην περίπτωση αυτή το κέρδος υπερβαίνει το κέρδος της καύσης βιοαερίου και αποζημίωσης στην προηγούμενη FIT (99,45€).

Το αυξημένο κέρδος από τη ΣΗΘΥΑ προκύπτει εξετάζοντας ποιες ώρες του έτους συμφέρει η αποζημίωση με την ΟΤΣ και ποιες ώρες του έτους η αποζημίωση στην FIT της ΣΗΘΥΑ. Πρέπει βέβαια να επισημανθεί ότι η σύγκριση θα γίνει με βάση την καθαρή τιμή αποζημίωσης, αφού έχει γίνει η αναγωγή, μέσω της αφαίρεσης του κόστους αναβάθμισης του βιομεθανίου. Σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση μας ενδιαφέρει πόσες ώρες του έτους η ΟΤΣ είναι μεγαλύτερη από 74,85 €/MWh<sub>el</sub> (Πίνακας 6.1). Με βάση τις τιμές του 2014, προκύπτει ότι 1.377 h του έτους η ΟΤΣ είναι μεγαλύτερη από 74,85 €/MWh<sub>el</sub>. Συνεπώς για τις ώρες αυτές συμφέρει η καύση του βιοαερίου μόνο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ τις υπόλοιπες 7.383 h συμφέρει η λειτουργία της μηχανής ΣΗΘΥΑ για την καύση του αναβαθμισμένου βιομεθανίου. Στην περίπτωση αυτή, το κέρδος ισούται με **665.835 €**.

**Πίνακας 6.5: Κέρδος από ΣΗΘΥΑ σε συνδυασμό με συμφέρουσες ΟΤΣ ηλεκτρικής ενέργειας**

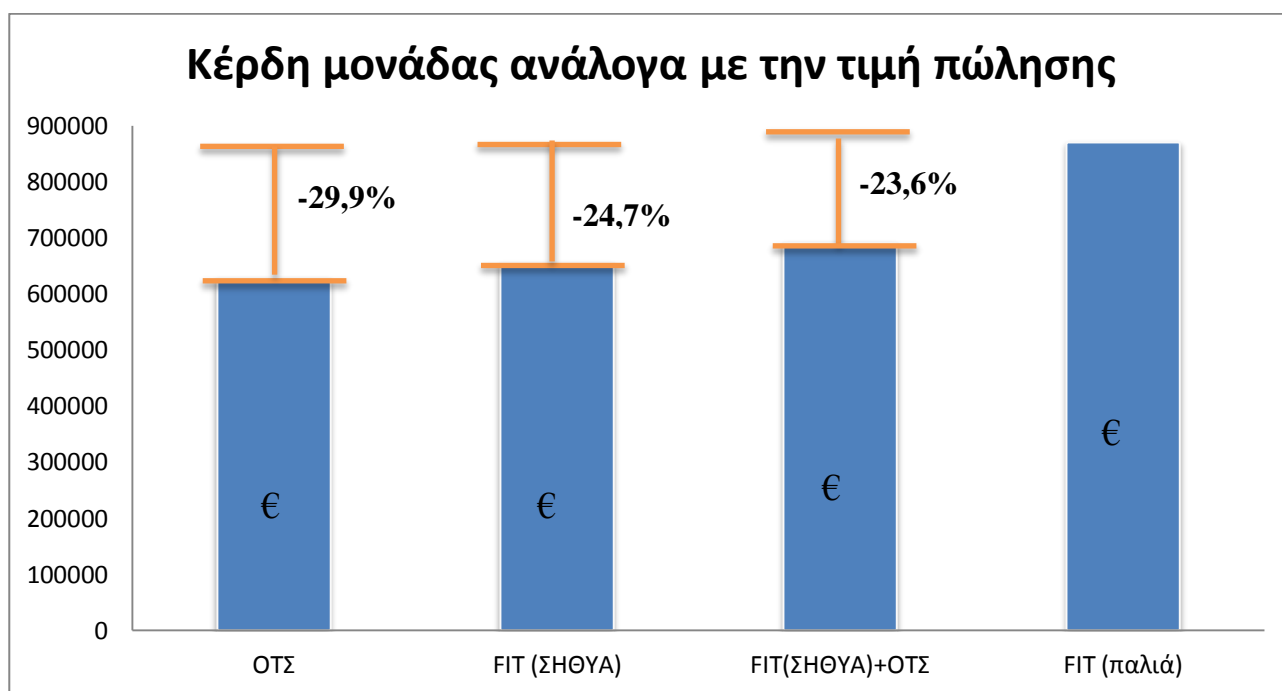
<b>Κέρδος από ΣΗΘΥΑ με αποζημίωση στην FIT</b>	<b>7.383 h*74,85 €/MWh=552.654 €</b>
<b>Κέρδος από ηλεκτρισμό με αποζημίωση στην ΟΤΣ</b>	<b>1.377 h*ΟΤΣ (εκάστοτε ώρας)=113.270 €</b>
<b>Σύνολο</b>	<b>665.835 €</b>

Ο Πίνακας 6.6 παρουσιάζει εποπτικά το κέρδος που προκύπτει για κάθε μια από τις τέσσερις περιπτώσεις που εξετάστηκαν. Παρατηρούμε ότι η περίπτωση συνδυασμού της ΣΗΘΥΑ με τις συμφέρουσες ΟΤΣ δεν οδηγεί σε υψηλότερο κέρδος σε σύγκριση με την περίπτωση αποζημίωσης στην προηγούμενη FIT για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο. Όλες όμως οι περιπτώσεις υπερσχύουν σε σχέση με την αποζημίωση σε ΟΤΣ για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Πίνακας 6.6: Σύγκριση κέρδους για τις τέσσερις περιπτώσεις που εξετάστηκαν

<b>Κέρδος από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στην προηγούμενη FIT (99,45€)</b>	871.182€
<b>Κέρδος από FIT ΣΗΘΥΑ + συμφέρουσες ΟΤΣ</b>	665.835 €
<b>Κέρδος από ΣΗΘΥΑ με αποζημίωση στην FIT</b>	655.686 €
<b>Κέρδος από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας σε ΟΤΣ</b>	609.854 €

Στην Εικόνα 6.2 παρουσιάζεται το κέρδος της επιχείρησης σε κάθε περίπτωση, καθώς και η ποσοστιαία μείωση σε σχέση με την περίπτωση αποζημίωσης στην FIT παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο.



Εικόνα 6.2: Σύγκριση κέρδους επιχείρησης σε κάθε περίπτωση τιμής πώλησης ως προς το κέρδος από την FIT της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο

Στα σενάρια που εξετάστηκαν ως τώρα έχει θεωρηθεί ότι η παραγόμενη θερμότητα χρησιμοποιείται για τηλεθέρμανση. Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα εξεταστούν δύο συγκεκριμένες περιπτώσεις χρήσης της παραγόμενης θερμότητας από τη ΣΗΘΥΑ, οι οποίες είναι επιλεγμένες ώστε να αποφέρουν περαιτέρω έσοδα στην επιχείρηση.

### 6.1.1 1<sup>ο</sup> Υποσενάριο: Εκμετάλλευση της παραγόμενης θερμότητας για γεωργικούς σκοπούς

Στην περίπτωση που η παραγόμενη θερμότητα χρησιμοποιείται για γεωργικούς σκοπούς, σύμφωνα με τη νομοθεσία (3851/2010), ο συντελεστής ΣΡ μπορεί να προσαυξηθεί ως 20%. Συνεπώς ο νέος ΣΡ ισούται με:

$$\Sigma P = 1,20 \cdot 1,57 = 1,884$$

Η μεθοδολογία που ακολουθείται για τον υπολογισμό του κέρδους από τη μονάδα ΣΗΘΥΑ είναι η ακόλουθη:

- Εύρεση τιμής τιμολόγησης ενέργειας για χρήση της θερμότητας για γεωργικούς σκοπούς
- Αναγωγή της τιμής σε €/m<sup>3</sup> βιοαερίου
- Αναγωγή της τιμής σε €/m<sup>3</sup> βιομεθανίου
- Υπολογισμός της καθαρής τιμής αποζημίωσης, αφαιρώντας το κόστος αναβάθμισης
- Αναγωγή της καθαρής τιμής αποζημίωσης σε €/MWh<sub>el</sub>
- Υπολογισμός ετήσιου κέρδους από ΣΗΘΥΑ με χρήση της θερμότητας για γεωργικούς σκοπούς

Άρα η τελική Feed-in Tariff (FIT) που διαμορφώνεται σύμφωνα με τη νομοθεσία για τη ΣΗΘΥΑ είναι ίση με:

$$87,85 \cdot \Sigma P = 165,5094 \text{ €/MWh}_{el}$$

Η τιμή αυτή αν αναχθεί στην ποσότητα του παραγόμενου βιοαερίου ισούται με:

$$\frac{165,5094 \text{ €/MWh}_{el}}{595 \text{ Nm}^3 / \text{MWh}_{el}} = 0,278167 \text{ €/Nm}^3_{\text{βιοαερίου}}$$

Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, επειδή η μονάδα ΣΗΘΥΑ καταναλώνει βιομεθάνιο, πρέπει από την τιμή αυτή να αφαιρεθεί το μοναδιαίο κόστος

αναβάθμισης του βιοαερίου σε βιομεθάνιο, το οποίο έχει θεωρηθεί ίσο με  $0,16717 \text{ €/Nm}^3_{\text{βιοαερίου}}$ .

Αφαιρώντας το κόστος αναβάθμισης από την τιμή αποζημίωσης ανηγμένη ανά  $\text{Nm}^3$  βιοαερίου, προκύπτει το ανηγμένο καθαρό κέρδος από την καύση του βιομεθανίου στη μονάδα ΣΗΘΥΑ με την αυξημένη FIT λόγω χρήσης της παραγόμενης θερμότητας για γεωργικούς σκοπούς.

Συνεπώς:

$$0,278167 \text{ €/Nm}^3_{\text{βιοαερίου}} - 0,106125 \text{ €/Nm}^3_{\text{βιοαερίου}} = 0,172042 \text{ €/Nm}^3_{\text{βιοαερίου}}$$

Ο Πίνακας 6.7 παρουσιάζει συγκεντρωτικά την Feed-in Tariff για ΣΗΘΥΑ με χρήση της παραγόμενης θερμότητας για γεωργικούς σκοπούς, το κόστος αναβάθμισης σε βιομεθάνιο και την καθαρή τιμή αποζημίωσης, υπολογισμένα σε €/MWh<sub>el</sub>, αλλά και σε €/Nm<sup>3</sup> βιομεθανίου και €/Nm<sup>3</sup> βιοαερίου. Οι αναγωγές έγιναν με βάση το ότι 1 MWh<sub>el</sub> παράγεται είτε από 595 Nm<sup>3</sup> βιοαερίου είτε από 336 Nm<sup>3</sup> βιομεθανίου, λαμβάνοντας υπόψη τη θερμογόνου δύναμη κάθε καυσίμου.

**Πίνακας 6.7: Feed-in Tariff για ΣΗΘΥΑ με γεωργικά, κόστος αναβάθμισης βιοαερίου και καθαρή τιμή αποζημίωσης**

	€/MWh <sub>el</sub>	€/Nm <sup>3</sup> (βιομεθανίου)	€/Nm <sup>3</sup> (βιοαερίου)
<b>Τιμή FIT ΣΗΘΥΑ με θερμότητα για γεωργικά</b>	165,5094	0,492078	0,278167
<b>Κόστος αναβάθμισης σε βιομεθάνιο</b>	63,14	0,1879	0,106125
<b>Καθαρή τιμή αποζημίωσης</b>	102,365	0,304343	0,172042

Με βάση τα παραπάνω θα υπολογίσουμε το ετήσιο κέρδος της επιχείρησης από τη ΣΗΘΥΑ με χρήση της παραγόμενης θερμότητας για γεωργικούς σκοπούς, αφαιρώντας από τα ετήσια έσοδα της ΣΗΘΥΑ το κόστος αναβάθμισης της συνολικής ποσότητας του βιοαερίου σε βιομεθάνιο.

**Πίνακας 6.8: Υπολογισμός κέρδους της επιχείρησης από ΣΗΘΥΑ με γεωργικά με αποζημίωση στην αυξημένη FIT**

<i><b>Ετήσια Έσοδα από ΣΗΘΥΑ με θερμότητα για γεωργικά</b></i>	<b>165,5094*8760=1.449.862 €</b>
<i><b>Ετήσια Κόστος για αναβάθμιση</b></i>	<b>63,14*8760=553.106,4 €</b>
<i><b>Ετήσιο Κέρδος από ΣΗΘΥΑ με θερμότητα για γεωργικά</b></i>	<b>896.717,6 €</b>

Στη συνέχεια θα συγκρίνουμε το κέρδος που προκύπτει με βάση την επιλογή αυτή με τις περιπτώσεις που έχουμε ήδη αναφέρει.

- ❖ Υπολογισμός κέρδους από ΣΗΘΥΑ με γεωργικά
  - ❖ Σύγκριση κέρδους από ΣΗΘΥΑ με γεωργικά με κέρδος από την καύση βιοαερίου για παραγωγή μόνο ηλεκτρισμού και αποζημίωση στην ΟΤΣ
  - ❖ Σύγκριση κέρδους από ΣΗΘΥΑ με γεωργικά με κέρδος από την καύση του βιοαερίου για παραγωγή μόνο ηλεκτρισμού και αποζημίωση με παλιά FIT
  - ❖ Αν υπερσχύει το κέρδος από την αποζημίωση στην παλιά FIT για παραγωγή ηλεκτρισμού από βιοαέριο, σύγκριση με κέρδος από ΣΗΘΥΑ με γεωργικά σε συνδυασμό με τις συμφέρουσες ΟΤΣ
- **Σύγκριση κέρδους από ΣΗΘΥΑ με θερμότητα για γεωργικούς σκοπούς με κέρδος από την καύση του βιοαερίου και αποζημίωση με ΟΤΣ**

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα έσοδα της επιχείρησης στην περίπτωση που οδηγεί όλο το βιοαέριο προς παραγωγή ηλεκτρισμού καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, 8670 h, και αποζημιώνεται στην ΟΤΣ ισούνται με: 609.854 €. Στην περίπτωση αυτή τα έσοδα της επιχείρησης ισούνται και με το κέρδος της διότι κατά τη διαδικασία αυτή δεν υπάρχει κόστος αναβάθμισης του βιοαερίου.

Ο Πίνακας 6.9 παρουσιάζει εποπτικά το κέρδος της επιχείρησης για τις δύο αυτές περιπτώσεις. Συνεπώς προκύπτει ότι η επιχείρηση έχει κέρδος 32,04% από την εγκατάσταση της μονάδας ΣΗΘΥΑ με χρήση της θερμότητας για γεωργικούς σκοπούς ως προς την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και αποζημίωσης στην ΟΤΣ. Φυσικά, όπως παρουσιάστηκε ήδη, η συγκεκριμένη περίπτωση υπερτερούσε της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με αποζημίωση στην ΟΤΣ ακόμη και χωρίς τη χρήση της θερμότητας για γεωργικούς σκοπούς.



**Πίνακας 6.9: Σύγκριση κέρδους από ΣΗΘΥΑ για γεωργικές δραστηριότητες με αποζημίωση στην αυξημένη FIT με κέρδος από παραγωγή ηλεκτρισμού και αποζημίωση στην ΟΤΣ**

<b>Κέρδος από ΣΗΘΥΑ με θερμότητα για γεωργικά με αποζημίωση στην FIT</b>	<b>896.717,6 €</b>
<b>Κέρδος από ηλεκτρισμό με αποζημίωση στην ΟΤΣ</b>	<b>609.854 €</b>
<b>Αύξηση κέρδους από ΣΗΘΥΑ με γεωργικά</b>	<b>+32,04%</b>

- **Σύγκριση κέρδους από ΣΗΘΥΑ με θερμότητα για γεωργικούς σκοπούς με κέρδος από την καύση του βιοαερίου και αποζημίωση στην προηγούμενη FIT**

Τα έσοδα της επιχείρησης στην περίπτωση που οδηγεί όλο το βιοαέριο προς παραγωγή ηλεκτρισμού καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, 8670 h, και αποζημιώνεται με την FIT (99,45€) έχουν υπολογιστεί ίσα με: **871.182€**. Στην περίπτωση αυτή τα έσοδα της επιχείρησης ισούνται και με το κέρδος της διότι κατά τη διαδικασία αυτή δεν υπάρχει κόστος αναβάθμισης του βιοαερίου.

Ο Πίνακας 6.10 παρουσιάζει το κέρδος που προκύπτει από τη ΣΗΘΥΑ με χρήση της παραγόμενης θερμότητας για γεωργικούς σκοπούς σε σχέση με την παραγωγή μόνο ηλεκτρικής ενέργειας και αποζημίωσης στην προηγούμενη FIT (99,45 €). Παρατηρούμε ότι το κέρδος από τη ΣΗΘΥΑ στην περίπτωση αυτή είναι μεγαλύτερο κατά 2,9% σε σχέση με την αποζημίωση στην προηγούμενη FIT. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι χωρίς την αυξημένη τιμή της ΣΗΘΥΑ λόγω των γεωργικών, το κέρδος της ΣΗΘΥΑ ήταν χαμηλότερο σε σχέση με το κέρδος από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

**Πίνακας 6.10: Σύγκριση κέρδους από τη ΣΗΘΥΑ για γεωργικές δραστηριότητες με αποζημίωση στην αυξημένη FIT με κέρδος από παραγωγή ηλεκτρισμού και αποζημίωση στην προηγούμενη FIT**

<b>Κέρδος από ΣΗΘΥΑ με θερμότητα για γεωργικά με αποζημίωση στην FIT</b>	<b>896.717,6 €</b>
<b>Κέρδος από ηλεκτρισμό με αποζημίωση στην FIT</b>	<b>871.182€</b>
<b>Αύξηση κέρδους από ΣΗΘΥΑ με γεωργικά</b>	<b>+2,9%</b>

➤ **Υπολογισμός κέρδους από ΣΗΘΥΑ με χρήση θερμότητας για γεωργικούς σκοπούς και συμφέρουσες ΟΤΣ**

Το μέγιστο κέρδος από τη ΣΗΘΥΑ προκύπτει στην περίπτωση όπου θα εξεταστεί ποιες ώρες του έτους συμφέρει η αποζημίωση με την ΟΤΣ και ποιες ώρες του έτους η αποζημίωση στην αυξημένη FIT της ΣΗΘΥΑ για γεωργικούς σκοπούς. Πρέπει βέβαια να επισημανθεί ότι η σύγκριση θα γίνει με βάση την καθαρή τιμή αποζημίωσης, αφού έχει γίνει η αναγωγή λόγω της αφαίρεσης του κόστους αναβάθμισης του βιοαερίου σε βιομεθάνιο. Σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση μας ενδιαφέρει πόσες ώρες του έτους η ΟΤΣ είναι μεγαλύτερη από 102,365 €/MWh<sub>el</sub>. Με βάση τις τιμές του 2014, προκύπτει ότι μόλις 46 h του έτους η ΟΤΣ είναι μεγαλύτερη από την τιμή αυτή. Συνεπώς για τις ώρες αυτές συμφέρει η καύση του βιοαερίου μόνο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ τις υπόλοιπες 8.714 h συμφέρει η λειτουργία της μηχανής ΣΗΘΥΑ για την καύση του αναβαθμισμένου βιοαερίου και την εκμετάλλευση της θερμότητας για γεωργικούς σκοπούς. Στην περίπτωση αυτή, το κέρδος ισούται με **898.515,4 €** (Πίνακας 6.11).

**Πίνακας 6.11: Κέρδος από ΣΗΘΥΑ για γεωργικά σε συνδυασμό με συμφέρουσες ΟΤΣ ηλεκτρικής ενέργειας**

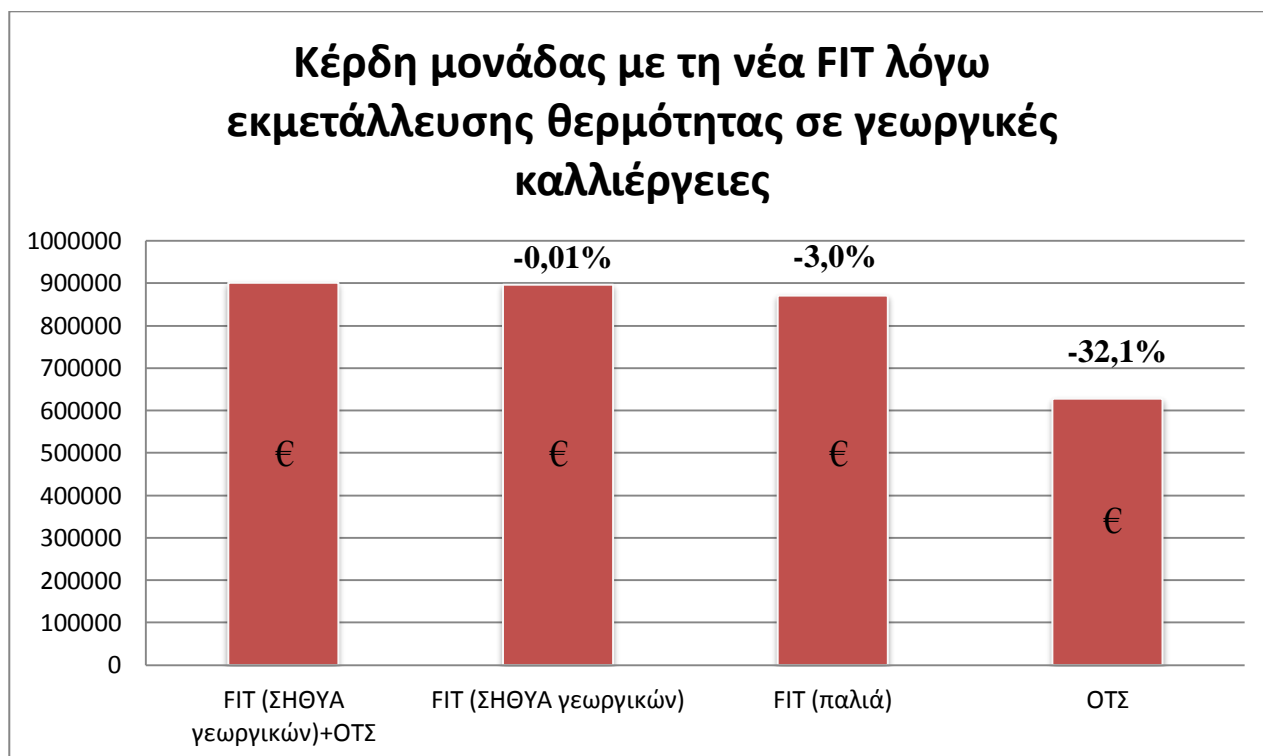
<b>Κέρδος από ΣΗΘΥΑ με θερμότητα για γεωργικά με αποζημίωση στην FIT</b>	8.714 h*102,365 €/MWh=892.664,6€
<b>Κέρδος από ηλεκτρισμό με αποζημίωση στην ΟΤΣ</b>	46 h*ΟΤΣ (εκάστοτε ώρας)=5.850,8 €
<b>Σύνολο</b>	<b>898.515,4 €</b>

Ο Πίνακας 6.12 παρουσιάζει εποπτικά το κέρδος που προκύπτει για κάθε μια από τις τέσσερις περιπτώσεις που εξετάστηκαν. Παρατηρούμε ότι η περίπτωση συνδυασμού της ΣΗΘΥΑ για γεωργικούς σκοπούς με τις συμφέρουσες ΟΤΣ οδηγεί σε υψηλότερο κέρδος σε σύγκριση με τις υπόλοιπες περιπτώσεις. Παρατηρούμε ότι η αυξημένη τιμή FIT με την οποία αποζημιώνεται ο παραγωγός ΣΗΘΥΑ με χρήση της θερμότητας για γεωργικούς σκοπούς είναι επαρκής για να οδηγήσει σε μεγαλύτερο κέρδος σε σχέση με την αποζημίωση ηλεκτρικής ενέργειας στην προηγούμενη FIT (99,45€), ενώ η ΣΗΘΥΑ χωρίς την «ευνοϊκή» χρήση της θερμότητας έχει χαμηλότερο κέρδος. Όλες όμως οι περιπτώσεις υπερσχύουν σε σχέση με την αποζημίωση σε ΟΤΣ για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Πίνακας 6.12: Σύγκριση κέρδους για τις τέσσερις περιπτώσεις που εξετάστηκαν

Κέρδος από ΣΗΘΥΑ με θερμότητα για γεωργικά + συμφέρουσες ΟΤΣ	898.515,4 €
Κέρδος από ΣΗΘΥΑ με θερμότητα για γεωργικά	897.376,8 €
Κέρδος από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στην προηγούμενη FIT	871.182€
Κέρδος από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας σε ΟΤΣ	609.854 €

Στην Εικόνα 6.3 παρουσιάζεται το κέρδος της επιχείρησης σε κάθε περίπτωση, καθώς και η ποσοστιαία μείωση σε σχέση με την περίπτωση της ΣΗΘΥΑ για γεωργικούς σκοπούς σε συνδυασμό με τις συμφέρουσες ΟΤΣ, η οποία έχει το μεγαλύτερο κέρδος κατά 0,13%.



Εικόνα 6.3: Σύγκριση κέρδους επιχείρησης σε κάθε περίπτωση τιμής πώλησης ως προς το κέρδος ΣΗΘΥΑ για γεωργικά σε συνδυασμό με συμφέρουσες ΟΤΣ

### 6.1.2 2<sup>ο</sup> Υποσενάριο: Εκμετάλλευση της παραγόμενης θερμότητας για εξοικονόμηση καυσίμου

Η θερμότητα που παράγεται από τη ΣΗΘΥΑ θα χρησιμοποιηθεί για εξοικονόμηση καυσίμου από τη μηχανή, μέσω της προθέρμανσης του αέρα που εισέρχεται στο θάλαμο καύσης της μηχανής συμπαραγωγής. Αυτό επιτυγχάνεται μιας και η θερμότητα που θα πρέπει να δοθεί από το καύσιμο για να αυξήσει τη θερμοκρασία των καυσαερίων πριν το στρόβιλο είναι λιγότερη, και άρα απαιτείται μικρότερη κατανάλωση καυσίμου. Για το καύσιμο που θα εξοικονομηθεί, θα εξεταστούν δύο εναλλακτικά σενάρια χρήσης του, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω.

Η μεθοδολογία υπολογισμού της εξοικονόμησης καυσίμου που επιτυγχάνεται είναι η ακόλουθη:

- Υπολογισμός της παρεχόμενης από το καύσιμο θερμικής ισχύος
- Ισολογισμός ενέργειας στο θάλαμο καύσης της μηχανής συμπαραγωγής για εύρεση της παροχής καυσαερίων
- Εύρεση της θερμικής ισχύος του ρεύματος καυσαερίων
- Υπολογισμός της θερμικής ισχύος που παραλαμβάνει το ρεύμα αέρα καύσης, θεωρώντας βαθμό απόδοσης εναλλαγής 0,9.
- Υπολογισμός μέγιστης εξοικονόμησης καυσίμου που μπορεί να επιτευχθεί.
- Αντιστοίχιση εξοικονόμησης σε επιπλέον ηλεκτροπαραγωγή ή ποσότητα εξοικονομούμενου βιοαερίου.

Η θερμότητα που παρέχεται από το καύσιμο ανά ώρα, θεωρώντας τη θερμογόνο δύναμη του φυσικού αερίου ίση με 11,5 kWh/m<sup>3</sup> και την πυκνότητά του είναι ίση με 1 kg/m<sup>3</sup>, ισούται με:<sup>13</sup>

$$336,348 \text{ kg/h} * 1 \text{ kg/m}^3 * 11,5 \text{ kWh/m}^3 = 3868 \text{ kW}$$

Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της μηχανής η θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων από το στρόβιλο είναι 482°C. Η παροχή του αέρα είναι 6.025 kg/h και η παροχή του καυσίμου είναι 336,348 kg/h. (Deutz, TBG620 manual). Συνεπώς η μάζα των καυσαερίων είναι:

$$6.025 \text{ kg/h} + 336,348 \text{ kg/h} = 6.361,348 \text{ kg/h}$$

Η ειδική θερμοχωρητικότητα των καυσαερίων θα υπολογιστεί με βάση τη σύστασή τους και τη θερμοκρασία τους. Τα καυσαέρια προκύπτουν από την καύση του βιομεθανίου και αποτελούνται από CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> σε ποσοστά 95%, 3,5%, 1% και 0,5%, αντίστοιχα (Πίνακας 6.13).

**Πίνακας 6.13: Υπολογισμός ειδικής θερμοχωρητικότητας καυσαερίων**

Σύσταση	Ειδική θερμοχωρητικότητα kJ/KgK	Ποσοστό (%)
CO <sub>2</sub>	1,148	95
H <sub>2</sub> O	1,93	3,5
O <sub>2</sub>	0,919	1
NO <sub>2</sub>	0,88	0,5
<b>Σύσταση καυσαερίων</b>	<b>0,95*1,148+0,035*1,93+0,01*0,919+0,05*0,88=1,17 kJ/KgK</b>	

Συνεπώς η θερμότητα του ρεύματος των καυσαερίων είναι:

$$(6.361,348 \text{ kg/h} / 3600) * 1,17 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} * 482^\circ\text{C} = 996,505 \text{ kW}$$

Θεωρώντας ότι όλη η θερμότητα αυτή χρησιμοποιείται για προθέρμανση του αέρα καύσης, λαμβάνοντας υπόψη βαθμό απόδοσης 0,9, η θερμότητα που παρέχεται στον αέρα καύσης και άρα προκύπτει ως εξοικονόμηση καυσίμου είναι:  $0,9 * 996,505 \text{ kW} = 896,85 \text{ kW}$ .

Άρα η μέγιστη εξοικονόμηση καυσίμου που μπορεί να προκύψει είναι:

$$\frac{896,85}{3868} = 0,232 \text{ ή } 23,2\%$$

Η εξοικονόμηση καυσίμου που προκύπτει είναι:  $0,232 * 336,348 \text{ kg/h} = 77,987 \text{ kg/h}$

και άρα η νέα κατανάλωση καυσίμου είναι: **258,361 kg/h**.

Η ποσότητα βιομεθανίου που εξοικονομείται (**77,987 Nm<sup>3</sup>/h**) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή επιπλέον **0,2319 MWh<sub>el</sub>**. Η ηλεκτρική ενέργεια αυτή για να παραχθεί από βιοαέριο αντιστοιχεί σε **137,9597 Nm<sup>3</sup>/h**.

Το καύσιμο που εξοικονομείται μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για την παραγωγή επιπλέον ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από ΣΗΘΥΑ, είτε να χρησιμοποιηθεί ως βιοαέριο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στη συνέχεια θα συγκρίνουμε το κέρδος που προκύπτει με τις περιπτώσεις που έχουμε ήδη αναφέρει.

- ❖ Υπολογισμός κέρδους από ΣΗΘΥΑ με εξοικονόμηση καυσίμου για επιπλέον παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από ΣΗΘΥΑ
- ❖ Υπολογισμός κέρδους από ΣΗΘΥΑ με εξοικονόμηση καυσίμου για επιπλέον παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο
- ❖ Υπολογισμός κέρδους από ΣΗΘΥΑ με εξοικονόμηση καυσίμου για επιπλέον παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από ΣΗΘΥΑ σε συνδυασμό με τις συμφέρουσες ΟΤΣ
- ❖ Υπολογισμός κέρδους από ΣΗΘΥΑ με εξοικονόμηση καυσίμου για επιπλέον παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο σε συνδυασμό με συμφέρουσες ΟΤΣ

**Κέρδη με χρήση εξοικονόμησης καυσίμου για παραγωγή επιπλέον ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από ΣΗΘΥΑ**

Κέρδη με επιπλέον παραγωγή από:

$$\text{ΣΗΘΥΑ} = 1,232 * 8760 * 137,99 - 336,348 * 0,1879 * 8760 = \mathbf{935.894 \text{ €}}$$

**Κέρδη με χρήση εξοικονόμησης καυσίμου για παραγωγή επιπλέον ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο**

Στην περίπτωση αυτή αναβαθμίζεται σε βιομεθάνιο μόνο η ποσότητα του βιοαερίου που οδηγείται στη ΣΗΘΥΑ, ενώ το καύσιμο που εξοικονομείται καίγεται ως βιοαέριο για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με αποζημίωση στην ΟΤΣ.

$$\text{Κέρδη με επιπλέον παραγωγή από βιοαέριο} = 8760 * 137,99 - 0,1879 * (336,348 - 77,99) * 8760 + 0,232 * 609.854 = \mathbf{925.282 \text{ €}}$$

- **Κέρδος από ΣΗΘΥΑ με εξοικονόμηση και πώληση επιπλέον παραγωγής με FIT ΣΗΘΥΑ και συμφέρουσες ΟΤΣ**

$$\text{Κέρδη με επιπλέον παραγωγή από ΣΗΘΥΑ και συμφέρουσες ΟΤΣ} = 1,232 * 7.383 * 137,99 - 7.383 * 336,348 * 0,1879 + 113.270 = \mathbf{902.049 \text{ €}}$$

- **Κέρδος από ΣΗΘΥΑ με εξοικονόμηση και πώληση επιπλέον παραγωγής με ΟΤΣ και συμφέρουσες ΟΤΣ**

$$\text{Κέρδη με επιπλέον παραγωγή σε ΟΤΣ και συμφέρουσες ΟΤΣ} = 7.383 * 137,99 \text{ €/MWh} - 7.383 * 258,36 * 0,1879 + 0,232 * (7.383 * \text{ΟΤΣ}) + 113.270 = \mathbf{889.069 \text{ €}}$$

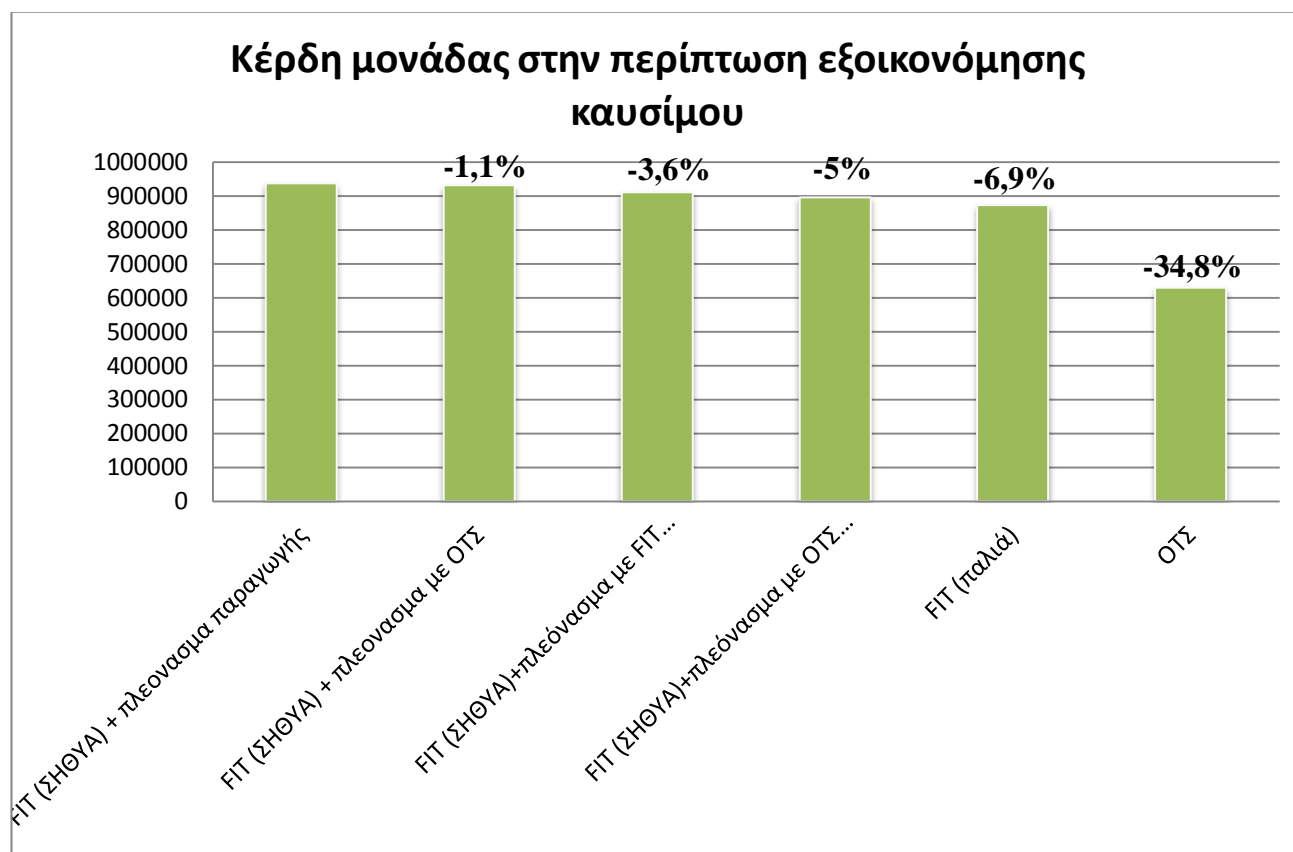
Παρατηρούμε ότι στην περίπτωση που προσθέτουμε και το κέρδος από τις συμφέρουσες ΟΤΣ, το κέρδος της επιχείρησης μειώνεται. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η παραγωγή που προκύπτει μέσω της εξοικονόμησης κατ' ουσίαν οδηγεί σε μια «εικονική» αυξημένη τιμή αποζημίωσης, ίση με  $1,232 \cdot 137,99 = 169,99$  €, η οποία δεν έχει ληφθεί υπόψη για τη σύγκριση με τις ΟΤΣ. Με βάση την τιμή αυτή είναι λογικό να οδηγούμαστε σε μείωση του κέρδους, διότι δεν υπάρχουν τιμές της ΟΤΣ που να υπερβαίνουν την τιμή αυτή.

Ο Πίνακας 6.14 παρουσιάζει το κέρδος που προκύπτει από την κάθε επιλογή που εξετάζεται. Παρατηρούμε ότι το σενάριο της χρήσης της παραγόμενης θερμότητας για εξοικονόμηση καυσίμου οδηγεί σε μεγαλύτερο κέρδος σε σχέση με τη ΣΗΘΥΑ με χρήση της θερμότητας για γεωργικούς σκοπούς, ακόμη και σε συνδυασμό με τις συμφέρουσες ΟΤΣ. Μεταξύ των δύο εναλλακτικών ως προς το καύσιμο που εξοικονομείται είναι προτιμότερη η χρήση του για επιπλέον παραγωγή από τη ΣΗΘΥΑ.

**Πίνακας 6.14: Σύγκριση κέρδους για όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν**

<b>Κέρδος από ΣΗΘΥΑ με εξοικονόμηση + πλεόνασμα από ΣΗΘΥΑ</b>	<b>935.894 €</b>
<b>Κέρδος από ΣΗΘΥΑ με εξοικονόμηση + πλεόνασμα από ΟΤΣ</b>	<b>925.282 €</b>
<b>Κέρδος από ΣΗΘΥΑ με εξοικονόμηση και πλεόνασμα με FIT+ συμφέρουσες ΟΤΣ</b>	<b>902.049 €</b>
<b>Κέρδος από ΣΗΘΥΑ με θερμότητα για γεωργικά + συμφέρουσες ΟΤΣ</b>	<b>898.515 €</b>
<b>Κέρδος από ΣΗΘΥΑ με θερμότητα για γεωργικά</b>	<b>896.717,6 €</b>
<b>Κέρδος από ΣΗΘΥΑ με εξοικονόμηση και πλεόνασμα σε ΟΤΣ+ συμφέρουσες ΟΤΣ</b>	<b>889.069 €</b>
<b>Κέρδος από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στην FIT ηλεκτροπαραγωγής</b>	<b>871.182 €</b>
<b>Κέρδος από ΣΗΘΥΑ και συμφέρουσες ΟΤΣ</b>	<b>665.835 €</b>
<b>Κέρδος ΣΗΘΥΑ (θερμότητα για τηλεθέρμανση)</b>	<b>655.623 €</b>
<b>Κέρδος από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας σε ΟΤΣ</b>	<b>609.854 €</b>

Στην Εικόνα 6.4 παρουσιάζεται το κέρδος της επιχείρησης σε κάθε περίπτωση, καθώς και η ποσοστιαία μείωση σε σχέση με την περίπτωση της ΣΗΘΥΑ με χρήση του καυσίμου που χρησιμοποιείται για επιπλέον παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από τη ΣΗΘΥΑ.



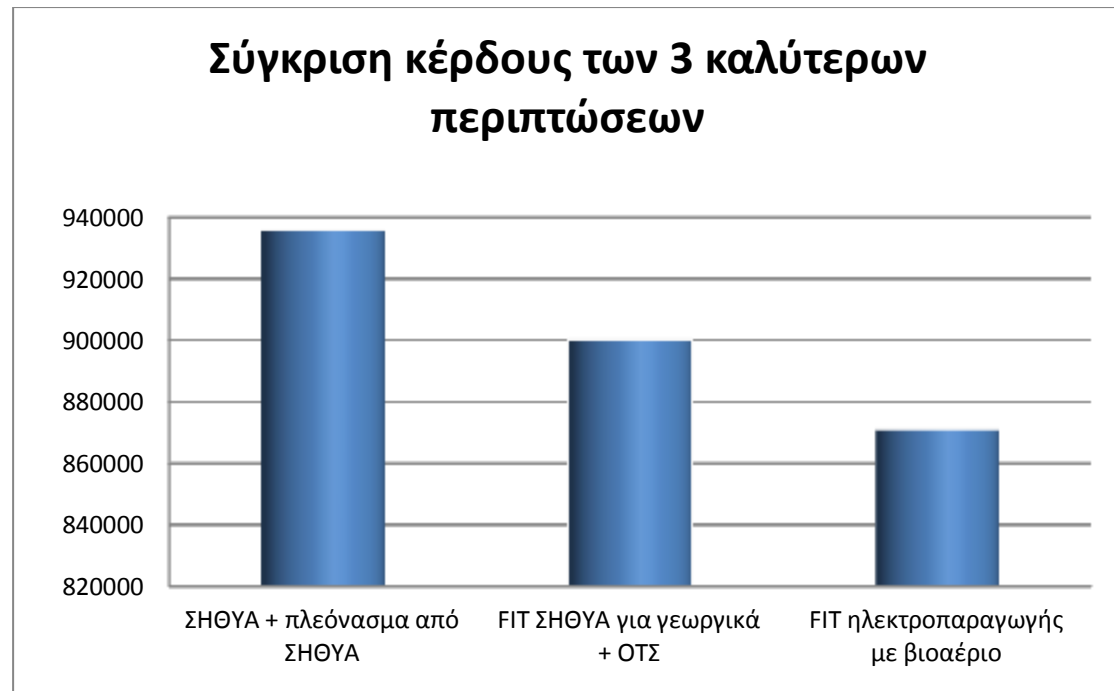
**Εικόνα 6.4: Σύγκριση κέρδους επιχείρησης σε κάθε περίπτωση τιμής πώλησης ως προς το κέρδος ΣΗΘΥΑ με πλεόνασμα παραγωγής από ΣΗΘΥΑ**

Στην Εικόνα 6.5 παρουσιάζεται η καλύτερη περίπτωση από κάθε σενάριο που εξετάστηκε. Από όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν προέκυψε αρχικά ότι η επιλογή της ΣΗΘΥΑ οδηγούσε σε μεγαλύτερο κέρδος από την ηλεκτροπαραγωγή με βιοαέριο και αποζημίωση στην ΟΤΣ, ενώ η αποζημίωση στην FIT της ηλεκτροπαραγωγής από βιοαέριο οδηγούσε σε μεγαλύτερο κέρδος από τη ΣΗΘΥΑ. Στην περίπτωση αυτή, η θερμότητα της ΣΗΘΥΑ χρησιμοποιείται για τηλεθέρμανση, η οποία δεν αποφέρει κάποιο επιπλέον κέρδος για την επιχείρηση, και για το λόγο αυτό είναι ασύμφορη.

Για να προκριθεί η μονάδα ΣΗΘΥΑ έναντι της ηλεκτροπαραγωγής με αποζημίωση στη FIT, απαιτείται κάποια κερδοφόρα χρήση της παραγόμενης θερμότητας. Προέκυψε λοιπόν ότι με χρήση της παραγόμενης θερμότητας για γεωργικούς σκοπούς, το κέρδος της ΣΗΘΥΑ είναι μεγαλύτερο από την ηλεκτροπαραγωγή με αποζημίωση στη FIT. Το μεγαλύτερο κέρδος για την περίπτωση της ΣΗΘΥΑ με χρήση για γεωργικούς σκοπούς προκύπτει όταν συνδυαστεί και με τις συμφέρουσες ΟΤΣ.



Ακόμη μεγαλύτερο κέρδος προέκυψε στην περίπτωση όπου η παραγόμενη θερμότητα της ΣΗΘΥΑ χρησιμοποιείται για εξοικονόμηση καυσίμου. Μεταξύ των δύο εναλλακτικών για τη χρήση του καυσίμου που εξοικονομείται, προέκυψε μέγιστο κέρδος όταν το καύσιμο χρησιμοποιείται για επιπλέον παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από ΣΗΘΥΑ.



**Εικόνα 6.5: Σύγκριση κέρδους της επιχείρησης για την καλύτερη περίπτωση κάθε σεναρίου που εξετάστηκε**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Μεταβολή του κόστους αναβάθμισης

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει μια διερεύνηση της επίδρασης της μεταβολής του κόστους αναβάθμισης στο κέρδος της επιχείρησης, για κάθε περίπτωση που έχει εξεταστεί. Όπως είδαμε στην ενότητα 6.1, το κόστος αναβάθμισης πρέπει να αφαιρείται από τα έσοδα της επιχείρησης ώστε να προκύψει το κέρδος της. Το κόστος αναβάθμισης εξαρτάται από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται, γι' αυτό και μελετώνται διαφορετικά κόστη αναβάθμισης, ώστε να διερευνηθούν τα όρια κέρδους κάθε επιλογής, έτσι ώστε αν δεν είναι διαθέσιμη μια τεχνολογία αναβάθμισης, η επιχείρηση να γνωρίζει ποια επιλογή τη συμφέρει σε κάθε περίπτωση. Εξετάζεται επίσης η επίδραση της μεταβολής του κόστους αναβάθμισης στη δυνατότητα έγχυσης- από οικονομικής άποψης- του αναβαθμισμένου βιοαερίου στο δίκτυο φυσικού αερίου. Θα εξετάσουμε δηλαδή αν συμφέρει την εταιρία να διοχετεύει το φυσικό αέριο στο δίκτυο σε σχέση με το να έχει εξασφαλίσει μια FIT είτε για ηλεκτροπαραγωγή είτε για συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Εξετάζονται επίσης ορισμένα υποσενάρια αύξησης του κέρδους για την κάθε επιλογή.

### 7.1.1 1<sup>ο</sup> υποσενάριο: Σύγκριση κέρδους από ΣΗΘΥΑ σε κάθε περίπτωση

Ο Πίνακας 7.1 παρουσιάζει το κόστος κάθε μεθόδου αναβάθμισης και την καθαρή τιμή αποζημίωσης που προκύπτει. Παρατηρούμε ότι το κόστος της μεθόδου απορρόφησης με εναλλαγή πίεσης και του κρυογονικού διαχωρισμού, υπερβαίνει τα έσοδα, και συνεπώς δεν έχει νόημα να εξεταστούν οι τεχνολογίες αυτές.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται για τον υπολογισμό του κέρδους από τη μονάδα ΣΗΘΥΑ για κάθε μέθοδο αναβάθμισης είναι η ακόλουθη:

- Αναγωγή του κόστους αναβάθμισης κάθε μεθόδου σε €/m<sup>3</sup> βιοαερίου
- Αναγωγή του κόστους αναβάθμισης κάθε μεθόδου σε €/m<sup>3</sup> βιομεθανίου
- Αναγωγή του κόστους αναβάθμισης κάθε μεθόδου σε €/MWh<sub>el</sub>
- Υπολογισμός της καθαρής τιμής αποζημίωσης σε €/MWh<sub>el</sub> αφαιρώντας το κόστος αναβάθμισης κάθε μεθόδου από τη FIT ΣΗΘΥΑ
- Αναγωγή της καθαρής τιμής αποζημίωσης σε €/m<sup>3</sup> βιομεθανίου
- Αναγωγή της καθαρής τιμής αποζημίωσης σε €/m<sup>3</sup> βιοαερίου
- Υπολογισμός ετήσιου κέρδους από ΣΗΘΥΑ για κάθε μέθοδο αναβάθμισης

Πίνακας 7.1: Κόστος αναβάθμισης και καθαρή τιμή αποζημίωσης ΣΗΘΥΑ για κάθε μέθοδο αναβάθμισης

Μέθοδος αναβάθμισης	Κόστος αναβάθμισης			FIT ΣΗΘΥΑ (€/MWh <sub>el</sub> )	Καθαρή τιμή αποζημίωσης		
	€/Nm <sup>3</sup> βιοαερίου	€/Nm <sup>3</sup> βιομεθανίου	€/MWh <sub>el</sub>		€/MWh <sub>el</sub>	€/Nm <sup>3</sup> βιομεθανίου	€/Nm <sup>3</sup> βιοαερίου
Διαχωρισμός με μεμβράνες	0,12	0,21228	71,4	137,99	66,587	0,19797	0,11191
Απορρόφηση νερού	0,14	0,24766	83,3		54,687	0,16259	0,09191
Χημική απορρόφηση	0,17	0,30073	101,15		36,837	0,10952	0,06191
Απορρόφηση με εναλλαγή πίεσης	0,4	0,7076	238		αρνητική	αρνητική	αρνητική
Κρυογονικός διαχωρισμός	0,44	0,77836	261,8		αρνητική	αρνητική	αρνητική

Με βάση τα προηγούμενα θα υπολογίσουμε το ετήσιο κέρδος της επιχείρησης από τη ΣΗΘΥΑ, αφαιρώντας από τα ετήσια έσοδα της ΣΗΘΥΑ το κόστος αναβάθμισης της συνολικής ποσότητας του βιοαερίου σε βιομεθάνιο (

Πίνακας 7.2). Σε σύγκριση με την ηλεκτροπαραγωγή, παρατηρούμε ότι το κέρδος της επιχείρησης είναι αρκετά χαμηλότερο για όλες τις περιπτώσεις, διότι το κόστος αναβάθμισης δεν καλύπτεται από την υψηλότερη τιμή της ΣΗΘΥΑ σε σχέση με την ηλεκτροπαραγωγή με βιοαέριο.

Στη συνέχεια θα συγκρίνουμε το κέρδος που προκύπτει με βάση την επιλογή αυτή με τις ακόλουθες περιπτώσεις.

- ❖ *Υπολογισμός κέρδους από ΣΗΘΥΑ σε συνδυασμό με τις συμφέρουσες ΟΤΣ.*
- ❖ *Υπολογισμός κέρδους από ΣΗΘΥΑ με γεωργικά*
- ❖ *Σύγκριση κέρδους από ΣΗΘΥΑ με γεωργικά σε συνδυασμό με τις συμφέρουσες ΟΤΣ.*
- ❖ *Υπολογισμός κέρδους από ΣΗΘΥΑ με εξοικονόμηση καυσίμου για επιπλέον παραγωγή από τη ΣΗΘΥΑ*
- ❖ *Υπολογισμός κέρδους από τη ΣΗΘΥΑ με εξοικονόμηση καυσίμου για επιπλέον ηλεκτροπαραγωγή με αποζημίωση στην ΟΤΣ*

Πίνακας 7.2: Ετήσιο κέρδος από ΣΗΘΥΑ ανάλογα με τη μέθοδο αναβάθμισης

Μέθοδος αναβάθμισης	Ετήσια έσοδα από ΣΗΘΥΑ	Ετήσιο κόστος αναβάθμισης	Ετήσιο κέρδος από ΣΗΘΥΑ	Αύξηση/ μείωση κέρδους σε σχέση με ΟΤΣ ηλεκτροπαραγωγής (609.854 €)	Αύξηση μείωση κέρδους σε σχέση με ηλεκτροπαραγωγή σε FIT (871.182 €)
Διαχωρισμός με μεμβράνες		625.464 €	<b>583.304 €</b>	-4,35%	-33,04%
Απορρόφηση νερού	1.208.792 €	729.708 €	<b>479.084 €</b>	-21,4%	-45%
Χημική απορρόφηση		886.074 €	<b>322.718 €</b>	-47,1%	-62,96%

➤ **Υπολογισμός κέρδους από ΣΗΘΥΑ και συμφέρουσες ΟΤΣ**

Μας ενδιαφέρει πόσες ώρες του έτους η ΟΤΣ είναι μεγαλύτερη από την τιμή αποζημίωσης της ΣΗΘΥΑ, αφού έχει πρώτα αφαιρεθεί το εκάστοτε κόστος αναβάθμισης. Συνεπώς για τις ώρες που είναι μεγαλύτερη η ΟΤΣ, συμφέρει η καύση του βιοαερίου μόνο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ τις υπόλοιπες συμφέρει η λειτουργία της μηχανής ΣΗΘΥΑ για την καύση του αναβαθμισμένου βιομεθανίου.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται για τον υπολογισμού του κέρδους από τη μονάδα ΣΗΘΥΑ για κάθε μέθοδο αναβάθμισης είναι η ακόλουθη:

- *Σύγκριση καθαρής τιμής αποζημίωσης για κάθε μέθοδο αναβάθμισης με ΟΤΣ*
- *Εύρεση πλήθους ωρών όπου ισχύει ΟΤΣ> καθαρή τιμή αποζημίωσης για κάθε μέθοδο αναβάθμισης*
- *Υπολογισμός κέρδους από τις ώρες που επιλέγεται η αποζημίωση στην ΟΤΣ*
- *Εύρεση πλήθους ωρών που επιλέγεται η αποζημίωση από τη ΣΗΘΥΑ*
- *Υπολογισμός κέρδους από τις ώρες που επιλέγεται η ΣΗΘΥΑ*
- *Εύρεση συνολικού κέρδους για κάθε μέθοδο αναβάθμισης*

Πίνακας 7.3: Υπολογισμός κέρδους από ΣΗΘΥΑ σε συνδυασμό με συμφέρουσες ΟΤΣ

Μέθοδος αναβάθμισης	Τιμή σύγκρισης με ΟΤΣ (€/MWh <sub>el</sub> )	Πλήθος ωρών όπου ΟΤΣ>FIT €/MWh	Κέρδος από ΟΤΣ	Πλήθος ωρών επιλογής ΣΗΘΥΑ	Κέρδος από ΣΗΘΥΑ	Συνολικό κέρδος
Διαχωρισμός με μεμβράνες	66,59	2.406 h	185.828 €	6.354 h	423.095,1 €	<b>608.923,1 €</b>
Απορρόφηση νερού	54,69	3.485 h	253.062,2 €	5.275 h	288.475 €	<b>541.537,2 €</b>
Χημική απορρόφηση	36,84	8.559 h	501.798 €	201 h	7.404 €	<b>509.202,3 €</b>

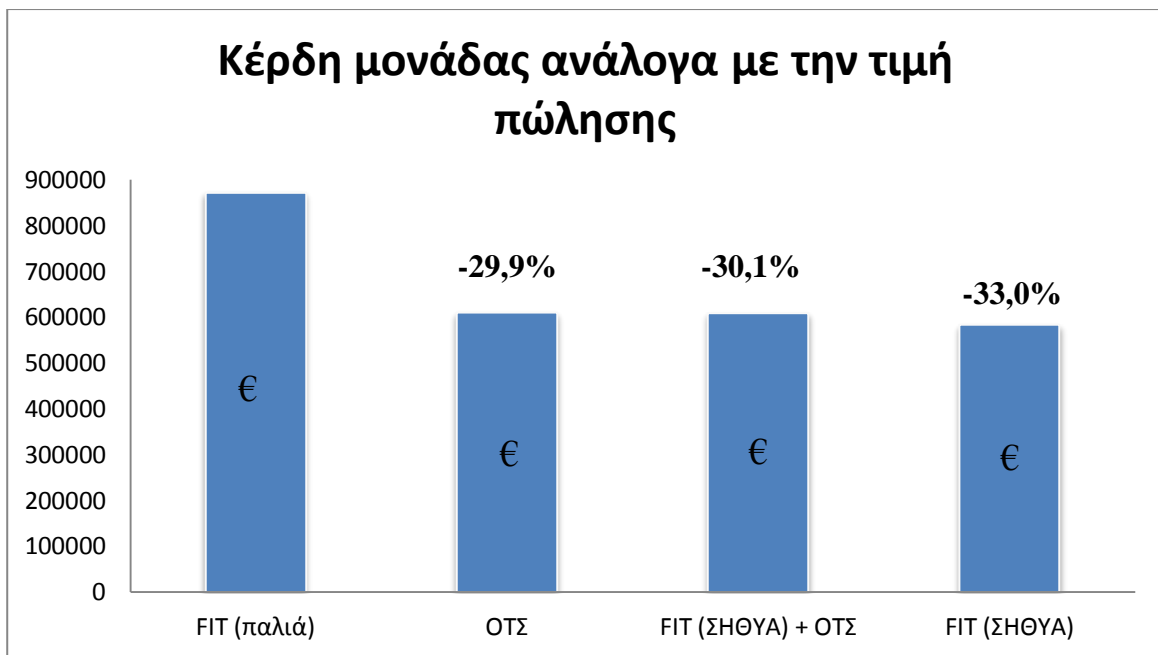
Ο Πίνακας 7.4 παρουσιάζει εποπτικά το κέρδος που προκύπτει για κάθε μια από τις τέσσερις περιπτώσεις που εξετάστηκαν. Παρατηρούμε ότι η ΣΗΘΥΑ με αποζημίωση στη FIT οδηγεί σε μικρότερο κέρδος σε σχέση με την αποζημίωση της ηλεκτροπαραγωγής με ΟΤΣ. Ακόμη και η περίπτωση του συνδυασμού της ΣΗΘΥΑ με τις συμφέρουσες ΟΤΣ, δεν οδηγεί σε υψηλότερο κέρδος από την αποζημίωση της ηλεκτροπαραγωγής με ΟΤΣ, για καμία μέθοδο αναβάθμισης. Επίσης, καμία από τις περιπτώσεις δεν οδηγεί σε υψηλότερο κέρδος σε σύγκριση με την περίπτωση αποζημίωσης στην προηγούμενη FIT για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο, πράγμα αναμενόμενο αφού η περίπτωση αυτή υπερίσχυε και στην περίπτωση που το κόστος αναβάθμισης για τη ΣΗΘΥΑ ήταν χαμηλότερο (ενότητα 6.1).

**Πίνακας 7.4: Σύγκριση κέρδους για τις τέσσερις περιπτώσεις που εξετάστηκαν ανάλογα με τη μέθοδο αναβάθμισης**

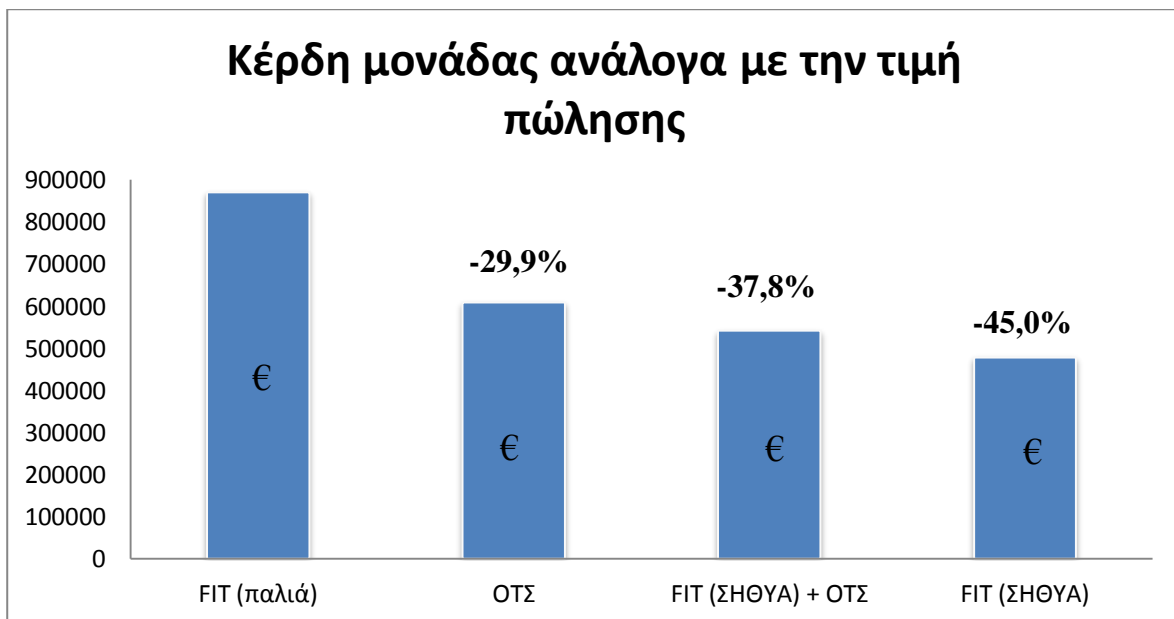
	Διαχωρισμός με μεμβράνες	Απορρόφηση νερού	Χημική απορρόφηση
<b>Κέρδος από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στην προηγούμενη FIT (99,45€)</b>		<b>871.182€</b>	
<b>Κέρδος από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας σε ΟΤΣ</b>		<b>609.854 €</b>	
<b>Κέρδος από FIT ΣΗΘΥΑ + συμφέρουσες ΟΤΣ</b>	<b>608.923,1 €</b>	<b>541.537,2 €</b>	<b>509.202,3 €</b>
<b>Κέρδος από ΣΗΘΥΑ με αποζημίωση στην FIT</b>	<b>583.304 €</b>	<b>479.084 €</b>	<b>322.718 €</b>

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται το κέρδος της επιχείρησης σε κάθε περίπτωση, καθώς και η ποσοστιαία μείωση σε σχέση με την περίπτωση αποζημίωσης στην FIT παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο. Η αποζημίωση στην ΟΤΣ αποτελεί συμφέρουσα επιλογή σε σύγκριση με το συνδυασμό ΣΗΘΥΑ-συμφέρουσες ΟΤΣ, για κάθε κόστος αναβάθμισης που εξετάζεται.

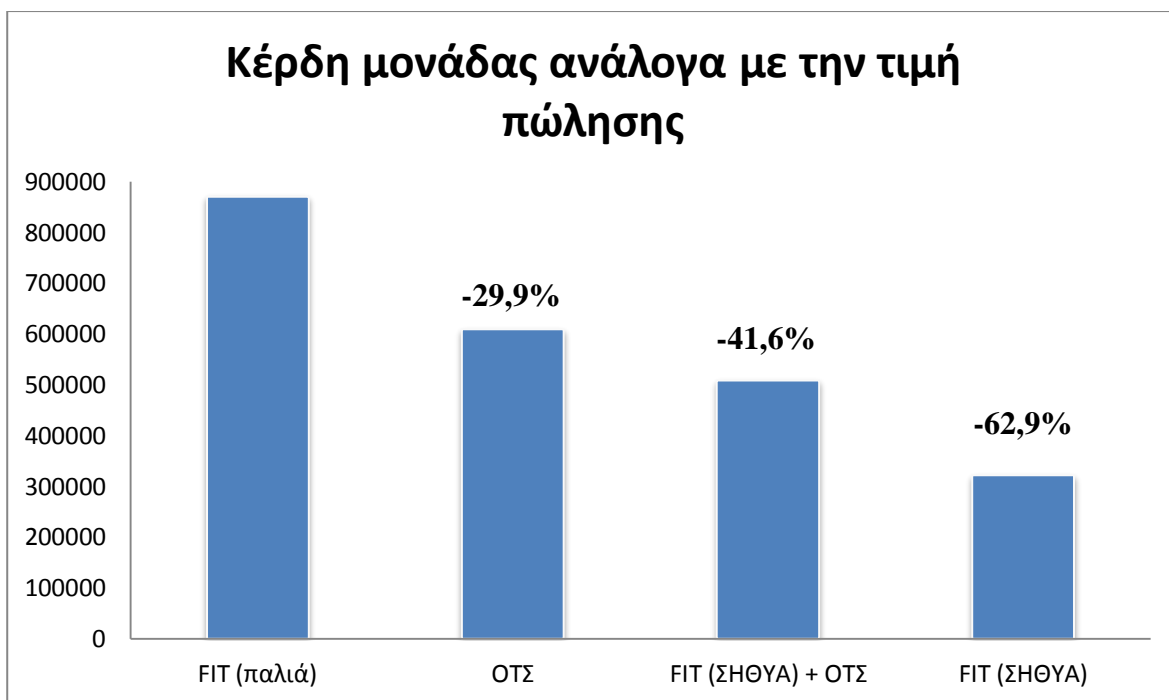




**Εικόνα 7.1:** Σύγκριση κέρδους επιχείρησης για διαχωρισμό με μεμβράνες σε κάθε περίπτωση τιμής πώλησης ως προς το κέρδος από την FIT της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο



**Εικόνα 7.2:** Σύγκριση κέρδους επιχείρησης για απορρόφηση νερού σε κάθε περίπτωση τιμής πώλησης ως προς το κέρδος από την FIT της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο



**Εικόνα 7.3: Σύγκριση κέρδους επιχείρησης για χημική απορρόφηση σε κάθε περίπτωση τιμής πώλησης ως προς το κέρδος από την FIT της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο**

### **7.1.2 Εκμετάλλευση της παραγόμενης θερμότητας για γεωργικούς σκοπούς**

Αφαιρώντας το κόστος αναβάθμισης από την τιμή αποζημίωσης ανηγμένη ανά  $\text{Nm}^3$  βιοαερίου, προκύπτει το ανηγμένο καθαρό κέρδος από την καύση του βιομεθανίου στη μονάδα ΣΗΘΥΑ με την αυξημένη FIT λόγω χρήσης της παραγόμενης θερμότητας για γεωργικούς σκοπούς.

Ο Πίνακας 7.5 παρουσιάζει συγκεντρωτικά την Feed-in Tariff για ΣΗΘΥΑ με χρήση της παραγόμενης θερμότητας για γεωργικούς σκοπούς, το κόστος αναβάθμισης σε βιομεθάνιο και την καθαρή τιμή αποζημίωσης, υπολογισμένα σε €/MWh<sub>el</sub>, αλλά και σε €/Nm<sup>3</sup> βιομεθανίου και €/Nm<sup>3</sup> βιοαερίου. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι ίδια με την προηγούμενη περίπτωση, μόνο που στην περίπτωση αυτή το καθαρό κέρδος υπολογίζεται αφαιρώντας το κόστος αναβάθμισης από την τιμή αποζημίωσης της ΣΗΘΥΑ με χρήση της θερμότητας για γεωργικούς σκοπούς.

Πίνακας 7.5: Κόστος αναβάθμισης και καθαρή τιμή αποζημίωσης ΣΗΘΥΑ για κάθε μέθοδο αναβάθμισης

Μέθοδος αναβάθμισης	Κόστος αναβάθμισης			FIT ΣΗΘΥΑ για γεωργικά (€/MWh <sub>el</sub> )	Καθαρή τιμή αποζημίωσης		
	€/Nm <sup>3</sup> βιοαερίου	€/Nm <sup>3</sup> βιομεθανίου	€/MWh <sub>el</sub>		€/MWh <sub>el</sub>	€/Nm <sup>3</sup> βιομεθανίου	€/Nm <sup>3</sup> βιοαερίου
Διαχωρισμός με μεμβράνες	0,12	0,21228	71,4	165,5094	94,109	0,27979	0,1582
Απορρόφηση νερού	0,14	0,24766	83,3		82,209	0,2444	0,1382
Χημική απορρόφηση	0,17	0,30073	101,15		64,359	0,1913	0,1082
Απορρόφηση με εναλλαγή πίεσης	0,4	0,7076	238		αρνητική	αρνητική	αρνητική
Κρυογονικός διαχωρισμός	0,44	0,77836	261,8		αρνητική	αρνητική	αρνητική

Με βάση τα προηγούμενα θα υπολογίσουμε το ετήσιο κέρδος της επιχείρησης από τη ΣΗΘΥΑ με χρήση της θερμότητας για γεωργικούς σκοπούς, αφαιρώντας από τα ετήσια έσοδα της ΣΗΘΥΑ το κόστος αναβάθμισης της συνολικής ποσότητας του βιοαερίου σε βιομεθάνιο (

Πίνακας 7.2). Σε σύγκριση με την ηλεκτροπαραγωγή, παρατηρούμε ότι το κέρδος της επιχείρησης είναι αρκετά υψηλότερο για τις 2 μεθόδους αναβάθμισης με το χαμηλότερο κόστος. Σε όλες τις περιπτώσεις όμως το κέρδος από την ηλεκτροπαραγωγή με αποζημίωση στη FIT είναι μεγαλύτερο από το κέρδος της ΣΗΘΥΑ με χρήση της θερμότητας για γεωργικούς σκοπούς.

**Πίνακας 7.6: Ετήσιο κέρδος από ΣΗΘΥΑ για γεωργικά ανάλογα με τη μέθοδο αναβάθμισης**

Μέθοδος αναβάθμισης	Ετήσια έσοδα από ΣΗΘΥΑ	Ετήσιο κόστος αναβάθμισης	Ετήσιο κέρδος από ΣΗΘΥΑ για γεωργικά	Αύξηση/ μείωση κέρδους σε σχέση με ΟΤΣ ηλεκτροπαραγωγής (609.854 €)	Αύξηση μείωση κέρδους σε σχέση με ηλεκτροπαραγωγή σε FIT (871.182 €)
Διαχωρισμός με μεμβράνες	1.449.862 €	625.464 €	824.398 €	+35,2%	-5,37%
Απορρόφηση νερού		729.708 €	720.154 €	+18,1%	-17,3%
Χημική απορρόφηση		886.074 €	563.788 €	-7,6%	-35,3%

➤ **Υπολογισμός κέρδους από ΣΗΘΥΑ για γεωργικά και συμφέρουσες ΟΤΣ**

Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, μας ενδιαφέρει πόσες ώρες του έτους η ΟΤΣ είναι μεγαλύτερη από την τιμή αποζημίωσης της ΣΗΘΥΑ, αφού έχει πρώτα αφαιρεθεί το εκάστοτε κόστος αναβάθμισης. Συνεπώς για τις ώρες που είναι μεγαλύτερη η ΟΤΣ, συμφέρει η καύση του βιοαερίου μόνο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ τις υπόλοιπες συμφέρει η λειτουργία της μηχανής ΣΗΘΥΑ για την καύση του αναβαθμισμένου βιομεθανίου.

**Πίνακας 7.7: Υπολογισμός κέρδους από ΣΗΘΥΑ για γεωργικά σε συνδυασμό με συμφέρουσες ΟΤΣ**

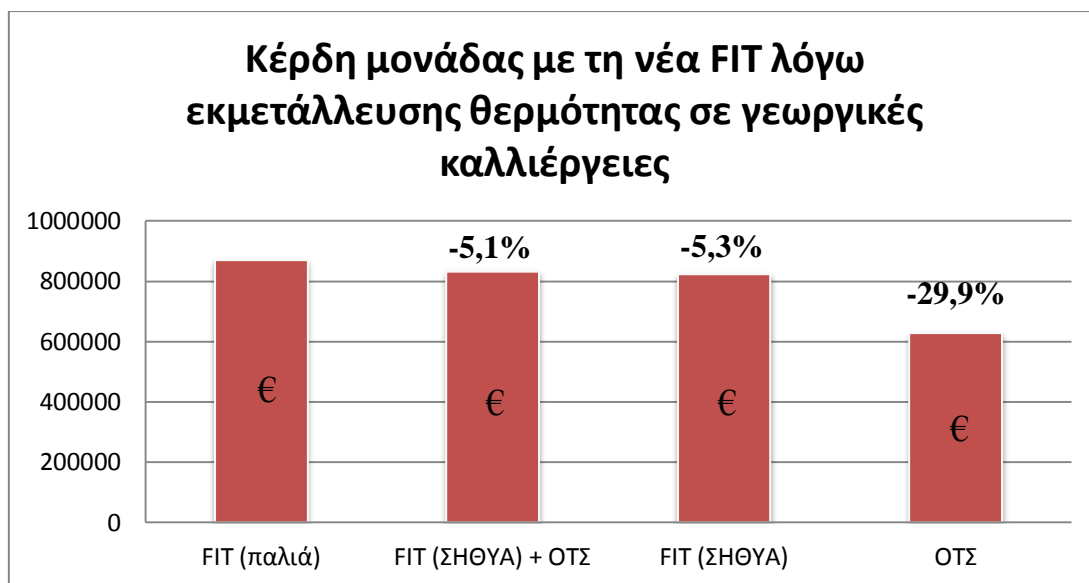
Μέθοδος αναβάθμισης	Τιμή σύγκρισης με ΟΤΣ (€/MWh <sub>el</sub> )	Πλήθος ωρών όπου ΟΤΣ>FIT €/MWh	Κέρδος από ΟΤΣ	Πλήθος ωρών επιλογής ΣΗΘΥΑ	Κέρδος από ΣΗΘΥΑ	Συνολικό κέρδος
Διαχωρισμός με μεμβράνες	94,109	55 h	6.730,2 €	8.705 h	819.877,4 €	<b>826.607,6 €</b>
Απορρόφηση νερού	82,209	527 h	46.878 €	8.233 h	677.449,5 €	<b>724.327,5 €</b>
Χημική απορρόφηση	64,359	2.749 h	208.266 €	6.011 h	387.316,7 €	<b>595.582,7 €</b>

Ο Πίνακας 7.8 παρουσιάζει εποπτικά το κέρδος που προκύπτει για κάθε μια από τις τέσσερις περιπτώσεις που εξετάστηκαν. Παρατηρούμε ότι η ΣΗΘΥΑ για γεωργικά με αποζημίωση στη FIT οδηγεί σε μεγαλύτερο κέρδος σε σχέση με την αποζημίωση της ηλεκτροπαραγωγής με ΟΤΣ, για τις περιπτώσεις αναβάθμισης με διαχωρισμό με μεμβράνες και απορρόφησης νερού. Ο συνδυασμός της ΣΗΘΥΑ για γεωργικά με τις συμφέρουσες ΟΤΣ οδηγεί σε υψηλότερο κέρδος από την περίπτωση της ΟΤΣ για τις δύο περιπτώσεις χαμηλότερου κόστους που εξετάζονται. Όμως, καμία από τις περιπτώσεις δεν οδηγεί σε υψηλότερο κέρδος σε σύγκριση με την περίπτωση αποζημίωσης στην προηγούμενη FIT για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο.

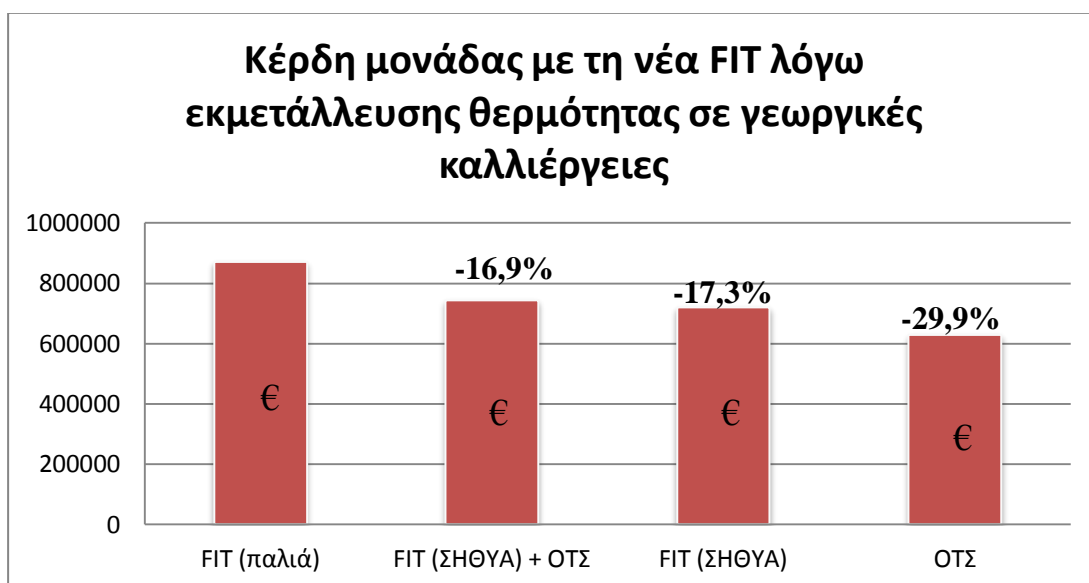
**Πίνακας 7.8: Σύγκριση κέρδους για τις τέσσερις περιπτώσεις που εξετάστηκαν ανάλογα με τη μέθοδο αναβάθμισης**

	Διαχωρισμός με μεμβράνες	Απορρόφηση νερού	Χημική απορρόφηση
<b>Κέρδος από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στην προηγούμενη FIT (99,45€)</b>	<b>871.182€</b>		
<b>Κέρδος από FIT ΣΗΘΥΑ για γεωργικά + συμφέρουσες ΟΤΣ</b>	<b>826.607,6 €</b>	<b>724.327,5 €</b>	<b>595.582,7 €</b>
<b>Κέρδος από ΣΗΘΥΑ για γεωργικά με αποζημίωση στην FIT</b>	<b>824.398 €</b>	<b>720.154 €</b>	<b>563.788 €</b>
<b>Κέρδος από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας σε ΟΤΣ</b>	<b>609.854 €</b>		

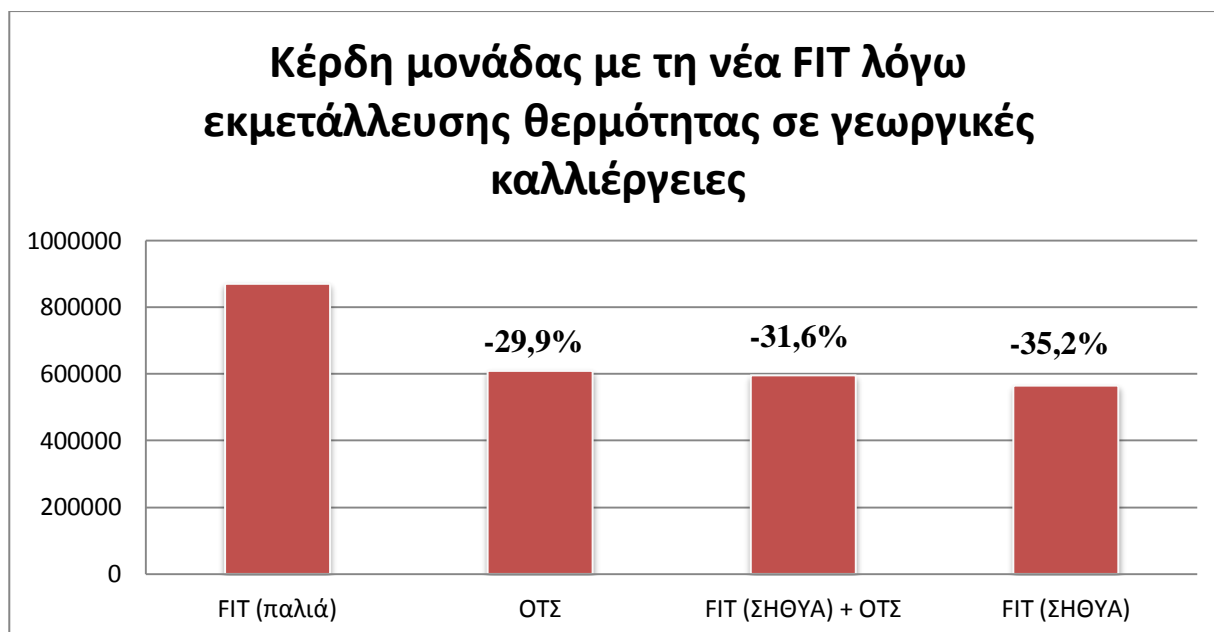
Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται το κέρδος της επιχείρησης σε κάθε περίπτωση, καθώς και η ποσοστιαία μείωση σε σχέση με την περίπτωση αποζημίωσης στην FIT παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο, η οποία έχει το μεγαλύτερο κέρδος. Το κάθε διάγραμμα αφορά μία από τις τρεις διαφορετικές μεθόδους αναβάθμισης.



**Εικόνα 7.4:** Σύγκριση κέρδους επιχείρησης σε κάθε περίπτωση τιμής πώλησης με αναβάθμιση με διαχωρισμό με μεμβράνες ως προς το κέρδος της ηλεκτροπαραγωγής από βιοαέριο με αποζημίωση στη FIT



**Εικόνα 7.5:** Σύγκριση κέρδους επιχείρησης σε κάθε περίπτωση τιμής πώλησης με αναβάθμιση με απορρόφηση νερού ως προς το κέρδος της ηλεκτροπαραγωγής από βιοαέριο με αποζημίωση στη FIT



Εικόνα 7.6: Σύγκριση κέρδους επιχείρησης σε κάθε περίπτωση τιμής πώλησης με αναβάθμιση με χημική απορρόφηση ως προς το κέρδος της ηλεκτροπαραγωγής από βιοαέριο με αποζημίωση στη FIT

### 7.1.3 Εκμετάλλευση της παραγόμενης θερμότητας για εξοικονόμηση καυσίμου

*Κέρδη με χρήση εξοικονόμησης καυσίμου για παραγωγή επιπλέον ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από ΣΗΘΥΑ* : Ο Πίνακας 7.9 παρουσιάζει τα έσοδα της μονάδας ΣΗΘΥΑ όταν η εξοικονόμηση καυσίμου χρησιμοποιείται για επιπλέον παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από τα ΣΗΘΥΑ, καθώς και το συνολικό κέρδος της επιχείρησης, ύστερα από την αφαίρεση του κόστους κάθε μεθόδου αναβάθμισης.

Πίνακας 7.9: Κέρδη με χρήση εξοικονόμησης καυσίμου για παραγωγή επιπλέον ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από ΣΗΘΥΑ

	Συνολικά έσοδα από ΣΗΘΥΑ με πλεόνασμα	Συνολικό κόστος αναβάθμισης	Συνολικό κέρδος
Διαχωρισμός με μεμβράνες		625.464 €	863.574,9 €
Απορρόφηση νερού	$1,232 \cdot 8760 \cdot 137,99 = 1.489.232 \text{ €}$	729.708 €	759.331 €
Χημική απορρόφηση		886.074 €	602.965 €



*Κέρδη με χρήση εξοικονόμησης καυσίμου για παραγωγή επιπλέον ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο*

**Πίνακας 7.10: Κέρδη με χρήση εξοικονόμησης καυσίμου για παραγωγή επιπλέον ηλεκτρικής ενέργειας με αποζημίωση στην ΟΤΣ**

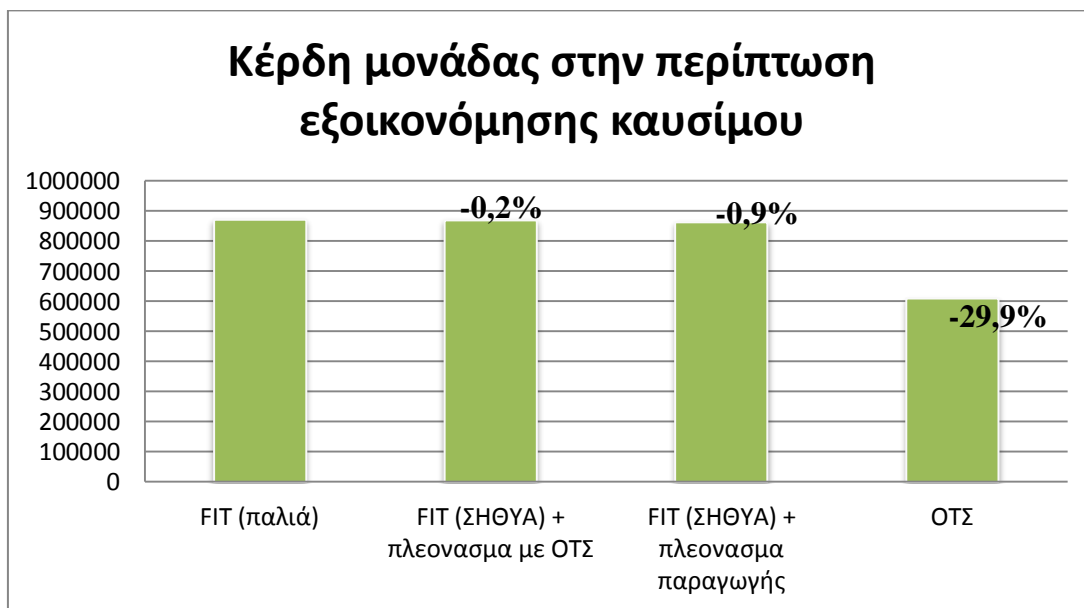
	Συνολικά έσοδα από ΣΗΘΥΑ	Συνολικό κόστος αναβάθμισης	Κέρδος από Ηλεκτρο-παραγωγή	Συνολικό κέρδος
Διαχωρισμός με μεμβράνες		480.440,8 €		869.755,4 €
Απορρόφηση νερού	8.760*137,99=1.208.792,4 €	560.514,3 €	141.403,8 €	789.681,9 €
Χημική απορρόφηση		680.624,5 €		669.571,7 €

Ο Πίνακας 7.11 παρουσιάζει το κέρδος που προκύπτει από την κάθε επιλογή που εξετάζεται. Μεταξύ των δύο εναλλακτικών ως προς το καύσιμο που εξοικονομείται είναι προτιμότερη η χρήση του για επιπλέον ηλεκτροπαραγωγή με αποζημίωση στην ΟΤΣ παρά για επιπλέον παραγωγή από τη ΣΗΘΥΑ.

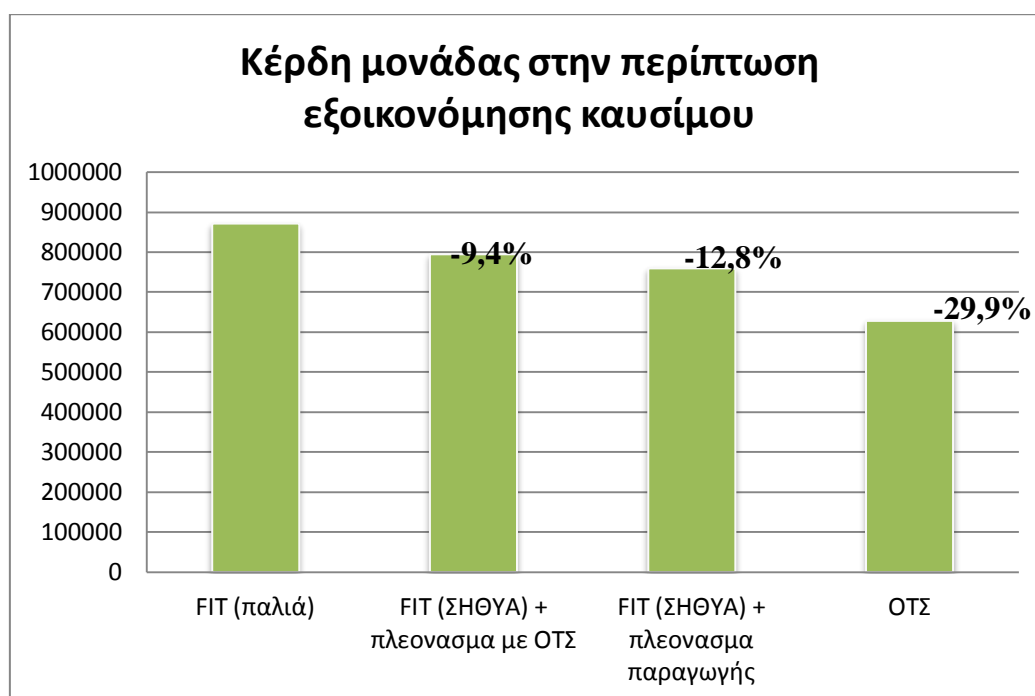
Πίνακας 7.11: Σύγκριση κέρδους για τις τέσσερις περιπτώσεις που εξετάστηκαν ανάλογα με τη μέθοδο αναβάθμισης

	Διαχωρισμός με μεμβράνες	Απορρόφηση νερού	Χημική απορρόφηση
<b>Κέρδος από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στην προηγούμενη FIT (99,45€)</b>		871.182€	
<b>Κέρδος από FIT ΣΗΘΥΑ με πλεόνασμα ΟΤΣ</b>	869.755,4 €	789.681,9 €	669.571,7 €
<b>Κέρδος από FIT ΣΗΘΥΑ με πλεόνασμα ΣΗΘΥΑ</b>	863.574,9 €	759.331 €	602.965 €
<b>Κέρδος από FIT ΣΗΘΥΑ για γεωργικά + συμφέρουσες ΟΤΣ</b>	826.607,6 €	724.327,5 €	595.582,7 €
<b>Κέρδος από FIT ΣΗΘΥΑ για γεωργικά</b>	824.398 €	720.154 €	563.788 €
<b>Κέρδος από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας σε ΟΤΣ</b>		609.854 €	
<b>Κέρδος από FIT ΣΗΘΥΑ + συμφέρουσες ΟΤΣ</b>	608.923,1 €	541.537,2 €	509.202,3 €
<b>Κέρδος από ΣΗΘΥΑ για γεωργικά με αποζημίωση στην FIT</b>	583.304 €	479.084 €	322.718 €

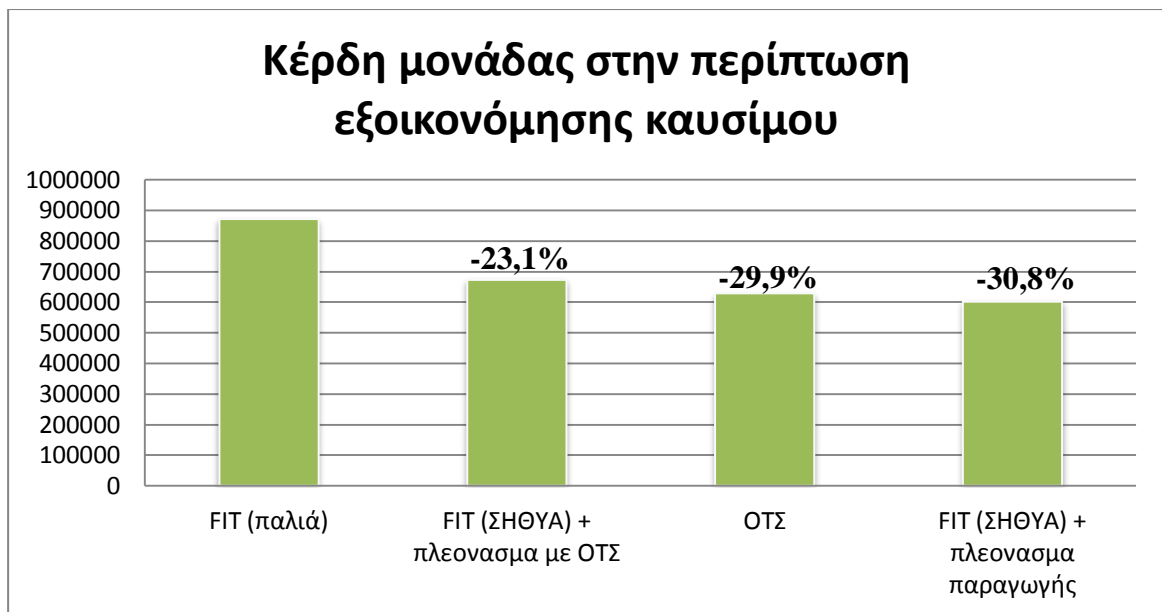
Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζεται το κέρδος της επιχείρησης σε κάθε περίπτωση, καθώς και η ποσοστιαία μείωση σε σχέση με την περίπτωση της ΣΗΘΥΑ με χρήση του καυσίμου που χρησιμοποιείται για επιπλέον ηλεκτροπαραγωγή, η οποία είναι η περίπτωση με το μεγαλύτερο κέρδος.



**Εικόνα 7.7:** Σύγκριση κέρδους επιχείρησης σε κάθε περίπτωση τιμής πώλησης με αναβάθμιση με διαχωρισμό με μεμβράνες ως προς το κέρδος της ηλεκτροπαραγωγής από βιοαέριο με αποζημίωση στη FIT



**Εικόνα 7.8:** Σύγκριση κέρδους επιχείρησης σε κάθε περίπτωση τιμής πώλησης με αναβάθμιση με απορρόφηση νερού ως προς το κέρδος της ηλεκτροπαραγωγής από βιοαέριο με αποζημίωση στη FIT



**Εικόνα 7.9:** Σύγκριση κέρδους επιχείρησης σε κάθε περίπτωση τιμής πώλησης με αναβάθμιση με χημική απορρόφηση ως προς το κέρδος της ηλεκτροπαραγωγής από βιοαέριο με αποζημίωση στη FIT

Για όλες τις περιπτώσεις με μεγαλύτερο κόστος αναβάθμισης, προκρίνεται το σενάριο της ηλεκτροπαραγωγής με βιοαέριο και αποζημίωση στην FIT της ηλεκτροπαραγωγής.

#### **7.1.4 2<sup>ο</sup> υποσενάριο: Έγχυση βιομεθανίου στο δίκτυο για κάθε κόστος αναβάθμισης σε σχέση με την FIT (παραγωγής ηλ. ενέργειας με βιοαέριο)**

Στην παρούσα ενότητα αυτή θα εξετάσουμε την επίδραση της μεταβολής του κόστους αναβάθμισης στην έγχυση του βιομεθανίου στο δίκτυο. Ήδη από το προηγούμενο κεφάλαιο αναλύσαμε την έγχυση του φυσικού αερίου στο δίκτυο, αναφέροντας όλες τις επιμέρους περιπτώσεις. Ο Πίνακας 7.12 παρουσιάζει συνοπτικά τα επιμέρους κόστη για την αναβάθμιση του βιοαερίου σε βιομεθάνιο και στη συνέχεια στην έγχυση του στο δίκτυο, αναφορικά με το αρχικό σενάριο που παρουσιάστηκε στα προηγούμενα κεφάλαια. Επίσης για λόγους σύγκρισης δίνεται και η τιμή προμήθειας του φυσικού αερίου της ΕΠΑ από τη ΔΕΠΑ, μιας και πρόκειται για την τιμή που αποτελεί και το όριο για το ποια μέθοδος αναβάθμισης υπερβαίνει αυτή την τιμή και άρα δεν αποτελεί βιώσιμη λύση για μια τέτοια μονάδα. Προφανώς η ΕΠΑ όταν πρόκειται να συνάψει συμφωνία θα επιδιώξει μια καλύτερη και ανταγωνιστικότερη τιμή προμήθειας από αυτή που έχει συμφωνήσει με τη ΔΕΠΑ. Κατά συνέπεια όποια μέθοδος είναι ιδιαιτέρως κοστοβόρα αυτομάτως οδηγεί την επιχείρηση εκτός των επιλογών της ΕΠΑ, αναφορικά με τη δυνατότητα διάθεσης αναβαθμισμένου βιομεθανίου.

**Πίνακας 7.12: Επιμέρους κόστη για την αναβάθμιση του βιοαερίου σε βιομεθάνιο και στη συνέχεια στην έγχυση του στο δίκτυο**

Αρχικό σενάριο	€/Nm <sup>3</sup>
Κόστος παραγωγής βιοαερίου	0,16717
Κόστος αναβάθμισης βιοαερίου	0,106125
Κόστος διοχέτευσης	0,008919
Συνολικό κόστος	0,282214
<b>Ανηγμένο κόστος αναβάθμισης σε βιομεθάνιο</b>	<b>€/MWh</b>
	43,411878
<b>Τιμή προμήθειας Φ.Α. της ΕΠΑ από τη ΔΕΠΑ</b>	45,6330

Ο Πίνακας 7.13 παρουσιάζει τα κόστη διαφορετικών μεθόδων αναβάθμισης βιοαερίου σε βιομεθάνιο σε €/Nm<sup>3</sup> αλλά και σε €/MWh καυσίμου. Επίσης σε αυτές τις τιμές για τη μετατροπή τους σε €/MWh καυσίμου, έχουν συνυπολογιστεί και το κόστος παραγωγής βιοαερίου το οποίο έχει αναχθεί με βάσει την FIT (παραγωγής ηλεκτρισμού με βιοαέριο = 99,45 €/MWh<sub>el</sub>) αλλά και με το κόστος διοχέτευσης στο δίκτυο (5,306805 €/MWh<sub>el</sub>). Έτσι με αυτά τα στοιχεία θα μπορεί να γίνει μια σύγκριση επί της ίδιας βάσης τιμών, αφού πρώτα υπολογίσουμε και λάβουμε υπόψη όλα τα επιμέρους κόστη της διαδικασίας. Με τον τρόπο αυτό προκύπτει η ελάχιστη τιμή στην οποία πρέπει να αποζημιώνεται η εταιρία για να προμηθεύει το φυσικό αέριο στην ΕΠΑ.

- Υπολογισμός του συνολικού κόστους αναβάθμισης σε €/Nm<sup>3</sup> προσθέτοντας το κόστος παραγωγής βιοαερίου και το κόστος διοχέτευσης στο δίκτυο.
- Όσες τιμές είναι υπολογισμένες σε €/MWh<sub>el</sub> τις μετατρέπουμε σε €/MWh καυσίμου διαιρώντας με την απαιτούμενη ποσότητα καυσίμου για την παραγωγή 1 ηλεκτρικής MWh και με τη θερμογόνο δύναμη του καυσίμου.
- Η τιμή που προκύπτει είναι η ελάχιστη τιμή στην οποία πρέπει να αποζημιώνεται η εταιρία για να τη συμφέρει να δίνει το φυσικό αέριο για έγχυση στο δίκτυο, αντί να οδηγεί το βιοαέριο που παράγει προς ηλεκτροπαραγωγή με εγγυημένη τιμή αποζημίωσης.
- Στη συνέχεια πρέπει όμως να ελεγχθεί αν οι τιμές αυτές συμφέρουν και την ΕΠΑ, ώστε να προμηθεύεται το φυσικό αέριο από την εξεταζόμενη εταιρία και όχι από τη ΔΕΠΑ.

- Εξετάζεται επίσης η περίπτωση αύξησης του κέρδους, διερευνώντας ποιες ώρες συμφέρει η έγχυση στο δίκτυο φυσικού αερίου και ποιες θα συνέφερε η αποζημίωση στην ΟΤΣ. Για να συμφέρει η επιλογή αυτή, πρέπει η ΟΤΣ να είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη τιμή αποζημίωσης, ανηγμένη σε €/MWh<sub>el</sub>.

**Πίνακας 7.13: Κόστος διαφορετικών μεθόδων αναβάθμισης σε €/Nm<sup>3</sup> και σε €/MWh**

Εναλλακτικές μέθοδοι αναβάθμισης	€/Nm <sup>3</sup>	Τελική τιμή αποζημίωσης €/MWh καυσίμου
Απορρόφηση νερού	0,14	48,61856
Χημική απορρόφηση	0,17	53,23752
PSA	0,4	88,61752
Διαχωρισμός με μεμβράνες	0,12	45,54621
Κρυογονικός διαχωρισμός	0,44	94,77057

Η Εικόνα 7.10 παρουσιάζει ένα διάγραμμα με τη σύγκριση της τελικής τιμής που επιθυμεί η επιχείρηση να συμφωνήσει για την αναβάθμιση βιοαερίου σε βιομεθάνιο και τελικά την έγχυσή του στο δίκτυο Φ.Α. σε σχέση με την τιμή προμήθειας της ΕΠΑ από τη ΔΕΠΑ.



**Εικόνα 7.10: Σύγκριση επιθυμητής τελικής τιμής αναβάθμισης βιοαερίου σε βιομεθάνιο με την τιμή προμήθειας της ΕΠΑ από τη ΔΕΠΑ, αναλόγως με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο αναβάθμισης**

Όπως παρουσιάστηκαν και στο παραπάνω γράφημα αλλά και στους αντίστοιχους πίνακες, οι μέθοδοι που προτάθηκαν έχουν μεγαλύτερο κόστος σε σχέση με τη μέθοδο που επιλέχθηκε στο αρχικό σενάριο (43,411878 €/MWh). Όπως φαίνεται μία

είναι η νέα μέθοδος που έχει κόστος αναβάθμισης που σε συνδυασμό με τα άλλα κόστη δεν υπερβαίνει την τιμή προμήθειας φυσικού αερίου της ΕΠΑ από τη ΔΕΠΑ. Η μέθοδος αυτή είναι ο διαχωρισμός με μεμβράνες. Ελαφρώς υψηλότερο κόστος από την τιμή προμήθειας φυσικού αερίου της ΕΠΑ από τη ΔΕΠΑ έχει η μέθοδος απορρόφησης νερού.

Από την άλλη, η χημική απορρόφηση, η μέθοδος PSA και ο κρυογονικός διαχωρισμός υπερβαίνουν αρκετά την τιμή της ΕΠΑ, οπότε κρίνεται οικονομικά ασύμφορη η υιοθέτησή τους και η χρήση τους δεν θα μπορούσε να οδηγήσει σε συμφωνία μιας και η τιμή που θα επιδίωκε η επιχείρηση θα ήταν πολλαπλάσια από αυτή του ανταγωνισμού.

Όπως ήταν αναμενόμενο, λόγω και του μεγαλύτερου αρχικού κόστους τους σε σχέση με το αρχικό σενάριο, οι διαφορετικές μέθοδοι αύξησαν την τιμή που επιδιώκει κάθε φορά η επιχείρηση ώστε να πουλήσει το αναβαθμισμένο βιομεθάνιο. Παρόλα αυτά, η επιλογή που μπορεί να είναι οικονομικά βιώσιμη είναι ο διαχωρισμός με μεμβράνες με τιμή 45,54121 €/MWh σε σχέση με τιμή προμήθειας της ΕΠΑ 45,633 €/MWh καυσίμου.

Στην πράξη λοιπόν αν πάρει την παραπάνω τιμή από την ΕΠΑ, η επιχείρηση έχει συμφέρον να παράγει βιομεθάνιο το οποίο θα μπορεί να εγχέει στο δίκτυο φυσικού αερίου.

Από την άλλη θα εξετάσουμε, τι συμβαίνει και αναφορικά με την ηλεκτροπαραγωγή σε αυτή την περίπτωση. Πιο συγκεκριμένα θα δούμε αν υπάρχουν ώρες του έτους που να συμφέρει η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με βιοαέριο και αποζημίωση τελικά με την εκάστοτε ΟΤΣ.

Ο ακόλουθος Πίνακας 7.14 παρουσιάζει τις τιμές που επιθυμεί η επιχείρηση να αποζημιωθεί ανηγμένες σε €/MWh<sub>el</sub> για λόγους σύγκρισης με την ΟΤΣ (€/MWh<sub>el</sub>).

**Πίνακας 7.14: Τιμές φυσικού αερίου ανηγμένες σε €/MWh<sub>el</sub>**

<i>Αρχικό σενάριο</i>	<b>€/MWh<sub>el</sub></b>
	<b>167,91733</b>
<b>Εναλλακτικές μέθοδοι αναβάθμισης</b>	
<i>Διαχωρισμός με μεμβράνες</i>	<b>176,172955</b>
<i>Απορρόφηση νερού</i>	<b>182,122955</b>
<i>Χημική απορρόφηση</i>	<b>205,922955</b>
<i>PSA</i>	<b>342,772955</b>
<i>Κρυογονικός διαχωρισμός</i>	<b>366,572955</b>

Με βάσει λοιπόν το κόστος παραγωγής βιοαερίου το οποίο έχει αναχθεί με βάσει την FIT (παραγωγής ηλεκτρισμού με βιοαέριο = 99,45 €/MWh<sub>el</sub>), οι ώρες που συμφέρει η ηλεκτροπαραγωγή και αποζημίωση με ΟΤΣ είναι ίδιες με αυτές που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 5. Σε αυτές τις τιμές η ΟΤΣ είναι μεγαλύτερη από την FIT και κατά συνέπεια δεν συμφέρει η επιλογή αναβάθμισης και διοχέτευσης στο δίκτυο φυσικού αερίου μιας και τα κέρδη από την ηλεκτροπαραγωγή, θα είναι μεγαλύτερα, αφού δεν θα περιλαμβάνει επιπλέον κόστη.

### **7.1.5 3<sup>ο</sup> υποσενάριο: Έγχυση βιομεθανίου στο δίκτυο με διαφορετικό κόστος αναβάθμισης σε σχέση με την FIT (ΣΗΘΥΑ)**

Στο συγκεκριμένο υποσενάριο εξετάζεται η σύγκριση της έγχυσης στο δίκτυο φυσικού αερίου του αναβαθμισμένου βιομεθανίου σε σχέση με την καύση του για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και αποζημίωση με FIT (ΣΗΘΥΑ). Η ακόλουθη ανάλυση αφορά τις περιπτώσεις που είτε η παραγόμενη θερμότητα δίδεται για τηλεθέρμανση. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε είναι η ακόλουθη:

- Υπολογισμός του συνολικού κόστους αναβάθμισης σε €/Nm<sup>3</sup> προσθέτοντας το κόστος παραγωγής βιοαερίου και το κόστος διοχέτευσης στο δίκτυο.
- Όσες τιμές είναι υπολογισμένες σε €/MWh<sub>el</sub> τις μετατρέπουμε σε €/MWh καυσίμου, διαιρώντας με την απαιτούμενη ποσότητα καυσίμου για την παραγωγή 1 ηλεκτρικής MWh και με τη θερμογόνο δύναμη του καυσίμου.
- Η τιμή που προκύπτει είναι η ελάχιστη τιμή στην οποία πρέπει να αποζημιώνεται η εταιρία για να τη συμφέρει να δίνει το φυσικό αέριο για έγχυση στο δίκτυο, αντί να οδηγεί το βιομεθάνιο που παράγει προς συμπαραγωγή με εγγυημένη τιμή αποζημίωσης.
- Στη συνέχεια πρέπει όμως να ελεγχθεί αν οι τιμές αυτές συμφέρουν και την ΕΠΑ, ώστε να προμηθεύεται το φυσικό αέριο από την εξεταζόμενη εταιρία και όχι από τη ΔΕΠΑ.

Ο Πίνακας 7.15 παρουσιάζει τα κόστη διαφορετικών μεθόδων αναβάθμισης βιοαερίου σε βιομεθάνιο σε €/MWh καυσίμου. Επίσης σε αυτές τις τιμές για τη μετατροπή τους σε €/MWh καυσίμου, έχουν συνυπολογιστεί και το κόστος παραγωγής βιοαερίου το οποίο έχει αναχθεί με βάσει την FIT (ΣΗΘΥΑ = 137,99 €/MWh<sub>el</sub>) αλλά και το κόστος διοχέτευσης στο δίκτυο (5,306805 €/MWh<sub>el</sub>).



Έτσι με αυτά τα στοιχεία θα μπορεί να γίνει μια σύγκριση επί της ίδιας βάσης τιμών, αφού πρώτα υπολογίσουμε και λάβουμε υπόψη όλα τα επιμέρους κόστη της διαδικασίας.

**Πίνακας 7.15: Επιμέρους κόστη για την έγχυση του αναβαθμισμένου βιομεθανίου στο δίκτυο φυσικού αερίου ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο αναβάθμισης**

Μέθοδοι αναβάθμισης	€/MWh καυσίμου
Αρχικό σενάριο	53,3707754
Διαχωρισμός με μεμβράνες	55,5051125
Απορρόφηση νερού	58,5816344
Χημική απορρόφηση	63,1964173
PSA	98,5764193
Κρυογονικός διαχωρισμός	104,7294631

Η Εικόνα 7.11 παρουσιάζει ένα διάγραμμα με τη σύγκριση της τελικής τιμής που επιθυμεί η επιχείρηση να συμφωνήσει για την αναβάθμιση βιοαερίου σε βιομεθάνιο και τελικά την έγχυσή του στο δίκτυο Φ.Α. σε σχέση με την τιμή προμήθειας της ΕΠΑ από τη ΔΕΠΑ. Η τιμή που έγινε αναγωγή των τιμών είναι η FIT (ΣΗΘΥΑ) = 137,99 €/MWh<sub>el</sub>.



**Εικόνα 7.11: Σύγκριση επιθυμητής τελικής τιμής αναβάθμισης βιοαερίου σε βιομεθάνιο με την τιμή προμήθειας της ΕΠΑ από τη ΔΕΠΑ, αναλόγως με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο αναβάθμισης**

Όπως είναι εμφανές από τον παραπάνω πίνακα αλλά και το γράφημα με τη σχηματική σύγκριση των τιμών, η αυξημένη FIT (ΣΗΘΥΑ) σε σχέση με την αντίστοιχη της παραγωγής ηλ. ενέργειας με βιοαέριο, δεν οδηγεί σε περιθώρια συμφωνίας μιας τιμής με την ΕΠΑ. Η αυξημένη τιμή αποζημίωσης στην περίπτωση της ΣΗΘΥΑ, σε συνδυασμό με το μεγαλύτερο κόστος αναβάθμισης, οδηγεί σε ακόμη υψηλότερη τιμή πώλησης στην ΕΠΑ.

Η παραγωγή με όλες τις μεθόδους αναβάθμισης υπερβαίνει την τιμή της ΕΠΑ. Κατά συνέπεια για αυτές τις περιπτώσεις είναι οικονομικά συμφέρουσα η καύση του βιομεθανίου σε ΣΗΘΥΑ και αποζημίωση με την αντίστοιχη FIT.

➤ ***Δυνατότητα έγχυσης στο δίκτυο Φ.Α. με FIT (ΣΗΘΥΑ) και γεωργική εκμετάλλευση της θερμότητας***

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα αν γίνει επιλογή εκμετάλλευσης της παραγόμενης θερμότητας από τη ΣΗΘΥΑ από μονάδες γεωργικής καλλιέργειας, τότε βάσει νομοθεσίας η FIT προσαυξάνεται κατά 1,2. Η συγκεκριμένη FIT προέκυψε ίση με 165,584651 €/MWh<sub>el</sub>, η οποία λαμβάνοντας υπόψη τα επιμέρους κόστη που αναλύθηκαν ανωτέρω και μπορεί να αναχθεί σε **60,505576 €/MWh καυσίμου**.

Όπως είναι εμφανές, πρόκειται για υψηλότερη τιμή από την αντίστοιχη τιμή που η ΕΠΑ προμηθεύεται φυσικό αέριο από τη ΔΕΠΑ. Κατά συνέπεια στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν συμφέρει την επιχείρηση η έγχυση στο δίκτυο, μιας και δεν θα μπορούσε να συμφωνήσει με τέτοια τιμή να προμηθεύει την ΕΠΑ. Έτσι σε αυτή την περίπτωση συμφέρει την εταιρία η καύση του αναβαθμισμένου βιομεθανίου για παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας και να αποζημιώνεται με την αντίστοιχη FIT, όπως αναλύθηκε στην προηγούμενη ενότητα του κεφαλαίου.

➤ ***Δυνατότητα έγχυσης στο δίκτυο Φ.Α. με FIT (ΣΗΘΥΑ) και εξοικονόμηση καυσίμου***

Στη συγκεκριμένη περίπτωση η βάση που θα γίνει η αναγωγή των τιμών είναι η FIT (ΣΗΘΥΑ) πολλαπλασιασμένη με 1,23, λόγω της εξοικονόμησης καυσίμου που επιτυγχάνεται με την εκμετάλλευση της παραγόμενης θερμότητας. Συνεπώς, η τιμή που προκύπτει είναι 169,98 €/MWh<sub>el</sub> ή **61,64 €/MWh καυσίμου**.

Όπως είναι εμφανές, πρόκειται για υψηλότερη τιμή από την αντίστοιχη τιμή που η ΕΠΑ προμηθεύεται φυσικό αέριο από τη ΔΕΠΑ. Κατά συνέπεια στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν συμφέρει την επιχείρηση η έγχυση στο δίκτυο μιας και δεν θα μπορούσε να συμφωνήσει με τέτοια τιμή να προμηθεύει την ΕΠΑ. Έτσι σε αυτή την περίπτωση συμφέρει την εταιρία η καύση του αναβαθμισμένου βιομεθανίου για παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας και να αποζημιώνεται με την αντίστοιχη FIT έχοντας και επιπρόσθετα κέρδη από την επιπλέον παραγωγή μέσω του εξοικονομούμενου καυσίμου, όπως αναλύθηκε προηγούμενα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Χρήση του αναβαθμισμένου βιομεθανίου ως καύσιμο οχημάτων

Στο συγκεκριμένο Κεφάλαιο εξετάζεται το σενάριο εναλλακτικής χρήσης του αναβαθμισμένου βιομεθανίου που προκύπτει από τη μονάδα, ως καύσιμο οχημάτων, μέσω της τεχνολογίας CNG. Έτσι θα παρουσιαστούν ορισμένα βασικά θεωρητικά στοιχεία, θα αναλυθούν τα οικονομικά στοιχεία και θα εξεταστεί η προοπτική μιας τέτοιας επιλογής έναντι των προηγούμενων πρακτικών που αναλύθηκαν προηγουμένως.

### 8.1.1 Εισαγωγή στην τεχνολογία

Ο τομέας των μεταφορών εξαρτάται σχεδόν εξ' ολοκλήρου από τα ορυκτά καύσιμα. Οι υψηλές τιμές πετρελαίου, η αυξανόμενη ανησυχία για την ενεργειακή ασφάλεια και επάρκεια, η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα και η ανάγκη για δραστική μείωση των αερίων του θερμοκηπίου είναι ορισμένα από τα κυριότερα θέματα που καλείται να επιλύσει ο τομέας των μεταφορών τη σημερινή εποχή. Έτσι προωθούνται πολιτικές για εναλλακτικά καύσιμα. Η αρχή έγινε με την εισαγωγή των υγρών βιοκαυσίμων (βιοαιθανόλη και βιοντίζελ), η οποία γνώρισε σημαντική απήχηση και εφαρμογή σε παγκόσμια κλίμακα. Στη συνέχεια όμως έγινε επέκταση στα βιοκαύσιμα 2<sup>ης</sup> γενιάς, τα οποία παράγονται είτε με ενζυματική υδρόλυση είτε με αεριοποίηση. Σε αυτά ανήκει και το βιομεθάνιο ως μια επιλογή καυσίμου ανανεώσιμης ενέργειας, παραγόμενο σε τοπικές μονάδες μέσω αναβάθμισης βιοαερίου, από εκμετάλλευση πληθώρας υποστρωμάτων. Έτσι αρκετές χώρες εξετάζουν τη χρήση του ως καύσιμο οχημάτων μιας και αποτελεί υποκατάστατο του φυσικού αερίου με παραπλήσια ποιότητα/σύσταση. (Max Ahman 2010)

Εκτός από τις απόλυτες -αλλά πολύ ακριβές- λύσεις του μέλλοντος υπάρχουν και άλλες εναλλακτικές λύσεις στο πρόβλημα της καθαρότητας των μετακινήσεων. Μία από αυτές είναι και το φυσικό αέριο που έχει ήδη μπει στη ζωή μας, χωρίς να το καταλάβουμε, μέσω των λεωφορείων της ΕΘΕΑ (Εικόνα 8.1).



Εικόνα 8.1: Σταθμός ανεφοδιασμού λεωφορείων της ΕΘΕΑ με CNG <sup>16</sup>

Στην χώρα μας, η ΔΕΠΑ σχεδιάζει την προώθηση της αεριοκίνησης στα αυτοκίνητα, με την παροχή ισχυρών κινήτρων για τη μετατροπή του κινητήρα σε φυσικού αερίου. Η Δημόσια Επιχείρηση Αερίου (ΔΕΠΑ) έχει στα σκαριά σχέδιο δράσης για την προώθηση της αεριοκίνησης τόσο στα επαγγελματικά οχήματα όσο και στα ΙΧ.

Η εταιρεία προωθεί συνεργασίες με τους μεγαλύτερους εισαγωγείς και αντιπροσώπους στη χώρα, σε μια προσπάθεια να πραγματοποιήσει δυναμική είσοδο στην αγορά αυτοκινήτου, δημιουργώντας δυνατότητες για σημαντική μείωση του κόστους μετακίνησης, σε μία εποχή που τα συμβατικά καύσιμα είναι οικονομικά ασύμφορα. Για να στηρίξει τη συγκεκριμένη δράση η ΔΕΠΑ εξετάζει την παροχή ιδιαίτερα ελκυστικών κινήτρων στους ιδιοκτήτες ΙΧ, που δεν αποκλείεται να φθάσουν μέχρι και την πλήρη κάλυψη του κόστους για την τοποθέτηση κινητήρα φυσικού αερίου.<sup>13</sup>

Με άλλα λόγια, μόλις τεθεί σε εφαρμογή το σχέδιο, οι οδηγοί θα μπορούν να πηγαίνουν στην αντιπροσωπεία απ' όπου έχουν αγοράσει το αυτοκίνητό τους και να ζητούν την μετατροπή του σε αεριοκίνητο, είτε καταβάλλοντας ένα χαμηλό αντίτιμο είτε εντελώς δωρεάν. Μάλιστα θα λαμβάνουν και εγγύηση ασφάλειας μετατροπής από τον αντιπρόσωπο, προκειμένου να είναι πλήρως καλυμμένοι.

Στο παραπάνω πλαίσιο η ΔΕΠΑ σχεδιάζει να αναπτύξει ένα δίκτυο πρατηρίων φυσικού αερίου σε Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Λάρισα και Βόλο, ενώ, σύμφωνα με τον σχεδιασμό, θα τοποθετήσει αντλίες φυσικού αερίου σε 15 ήδη υπάρχοντα πρατήρια στην εθνική οδό Αθηνών – Θεσσαλονίκης.

Παράλληλα, η επιδότηση μετατροπής του κινητήρα σε αεριοκίνητο θα ισχύσει και για εταιρείες με στόλο οχημάτων (όπως μεταφορικές με φορτηγά, βαν κτλ), ενώ παρόμοιες συνεργασίες μελετάται να γίνουν και με τις εταιρείες ταξί σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη. Εξάλλου, ήδη η ΔΕΠΑ έχει κάνει τις πρώτες επαφές με την Κεντρική Ένωση Δήμων Ελλάδος (ΚΕΔΕ) για τον εφοδιασμό των απορριμματοφόρων με φυσικό αέριο. (<sup>13</sup>, ΚΑΠΕ 2006)

➤ Πλεονεκτήματα Φυσικού Αερίου έναντι των συμβατικών υγρών καυσίμων

Η χημική σύσταση του φυσικού αερίου (και των ομοειδών του - βιομεθάνιο) καθώς και η σύσταση των καυσαερίων του, συνιστούν δυο συνθήκες με υψηλό ενδιαφέρον από την σκοπιά της λειτουργίας με υψηλό βαθμό απόδοσης και της εξοικονόμησης ενέργειας ιδίως στις οικιακές εφαρμογές:

- Εξαιτίας της απουσίας προσμίξεων επιβαρυντικών για τα μέρη των συσκευών και των εγκαταστάσεων (καυστήρες, θάλαμοι καύσης, απαγωγή καυσαερίων κ.λπ.), είναι απολύτως εφικτή η διατήρηση σταθερού βαθμού απόδοσης για ιδιαίτερα μεγάλες περιόδους.

- Επειδή τα προϊόντα της καύσης του φυσικού αερίου αποτελούνται κυρίως από νερό (υδρατμούς), καθίσταται εύκολα δυνατή η αξιοποίηση της λανθάνουσας θερμότητας των καυσαερίων (διαδικασία συμπίκνωσης), με αποτέλεσμα την αύξηση (πάνω από 20%) της ωφέλιμης θερμότητας που λαμβάνεται από δεδομένη ποσότητα καυσίμου - σημαντικό πλεονέκτημα για τον τελικό καταναλωτή αφού μπορεί να εξυπηρετήσει την εγκατάστασή του με λιγότερο καύσιμο. (Ζαχμάνογλου Θεόδωρος, 2011)

### 8.1.2 Σημερινή κατάσταση

Σήμερα στην Ευρώπη κυκλοφορούν περίπου 450.000 αυτοκίνητα που καίνε φυσικό αέριο, γεγονός που δεν είναι άσχετο και από τα οικονομικά κίνητρα που έχουν δοθεί. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι σε χώρες όπως η Γερμανία, η Ιταλία και η Ελβετία διατίθενται κανονικά στο εμπόριο τα Opel Zafira 1.6 CNG, Opel Astra Caravan 1.6 CNG, Volkswagen Touran EcoFuel και Caddy EcoFuel, Ford Focus CNG, ενώ η Fiat διαθέτει στην Ιταλία μία ολόκληρη γκάμα αυτοκινήτων που κινούνται με φυσικό αέριο, που διακρίνονται από την προσθήκη του λογότυπου “Natural Power” στην ονομασία του βασικού, συμβατικού μοντέλου, από το οποίο προέρχονται: Fiat Punto Natural Power, Multipla, Doblo και Doblo Cargo Natural Power.

Μόλις 3 εταιρείες σε όλη την Ελλάδα ασχολούνται με μετατροπές κινητήρων σε οχήματα, με το κόστος να κυμαίνεται από 1.500 ευρώ έως 2.500 ευρώ για τα αυτοκίνητα και 5.000 – 10.000 ευρώ για τα φορτηγά. Παρά το σχετικά υψηλό κόστος εγκατάστασης κινητήρα CNG (Compressed Natural Gas), τα οφέλη για τους οδηγούς είναι ιδιαίτερα σημαντικά, καθώς η τιμή του φυσικού αερίου είναι σήμερα στα 0,92 ευρώ/λίτρο. (Max Ahman 2010)



Από εκεί και πέρα και όπως είναι αναμενόμενο, θα υπάρξουν νέες λύσεις και προτάσεις τόσο από την πλευρά των επαγγελματιών όσο και από την πλευρά των

καταναλωτών. Αυτή τη στιγμή ήδη κυκλοφορούν στην Ελλάδα αυτοκίνητα που χρησιμοποιούν ως εναλλακτικό καύσιμο το φυσικό αέριο. Υπολογίζεται ότι φτάνουν σε αριθμό τα 200 (επιβατικά και μικρά επαγγελματικά) ενώ αρκετές αντιπροσωπείες εισάγουν ή θα εισάγουν στο άμεσο μέλλον τέτοιες εκδόσεις.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν αρκετά μοντέλα της Fiat (Punto, Doblo, Qubo), της Honda αλλά και τα νέα VW up! και Skoda Citigo τα οποία μπορεί να τα αγοράσει ο καθένας σε έκδοση με φυσικό αέριο. Προτού όμως μιλήσουμε εκτενέστερα για το φυσικό αέριο ως εναλλακτικό καύσιμο καλό θα ήταν να αναφέρουμε κάποια επιπλέον πράγματα γι' αυτό το τόσο δημοφιλές καύσιμο.

Η ΔΕΠΑ, τα τελευταία χρόνια, δραστηριοποιείται στη δημιουργία της απαραίτητης υποδομής για την τροφοδοσία με φυσικό αέριο οχημάτων, ώστε σήμερα τροφοδοτεί 600 λεωφορεία ΟΣΥ (πρώην ΕΘΕΛ), (20% των λεωφορείων του ΟΑΣΑ), και 102 απορριμματοφόρα δήμων. (ΚΑΠΕ 2006)

Η ΔΕΠΑ διαθέτει δύο σταθμούς ανεφοδιασμού στην Αττική, στις περιοχές της Ανθούσας και των Άνω Λιοσίων. Η δυναμικότητα τους ανέρχεται στα 5.000 κυβικά μέτρα/ώρα ( $\text{Nm}^3/\text{h}$ ), κατατάσσοντας τους ανάμεσα στους μεγαλύτερους στην Ευρώπη. Από το Σεπτέμβριο του 2010, ο σταθμός της Ανθούσας λειτουργεί και ως πρατήριο λιανικής πώλησης για τον ανεφοδιασμό οχημάτων επαγγελματικής και ιδιωτικής χρήσης με κινητήρα φυσικού αερίου ή διπλού καυσίμου. Στα άμεσα σχέδια της ΔΕΠΑ είναι η λειτουργία ως πρατηρίου λιανικής πώλησης και του σταθμού Άνω Λιοσίων. Παρακάτω αναφέρονται και ενδεικτικές τιμές φυσικού αερίου, οι οποίες ενημερώνονται κάθε εβδομάδα.<sup>28</sup>

Αυτοκίνητα φυσικού αερίου βρίσκουμε πλέον και στον επίσημο τιμοκατάλογο των αντιπροσωπειών αυτοκινήτων της χώρας. Μπορεί κανείς για παράδειγμα να παραγγείλει και στην Ελλάδα ένα Volkswagen Passat Ecofuel. Ο ανεφοδιασμός είναι ένα μικρό πρόβλημα, καθώς το μοναδικό πρατήριο όπου μπορεί κανείς να «φουλάρει» με φυσικό αέριο είναι αυτό της ΔΕΠΑ, στην Ανθούσα Αττικής, όπου ανεφοδιάζεται καθημερινά και ο στόλος των λεωφορείων της ΕΘΕΛ. Το κόστος όμως του καυσίμου αυτού (ποικίλλει, σήμερα είναι 0,919 €/kg) είναι ασύγκριτα χαμηλότερο από το κόστος της βενζίνης (άνω του 1,5 €/l) με αποτέλεσμα το κόστος κίνησης να είναι μικρότερο από το μισό του κόστους κίνησης με βενζίνη. Για παράδειγμα, με το Passat 1.4 Ecofuel (Εικόνα 8.2) κάθε χιλιόμετρο στον αυτοκινητόδρομο κοστίζει 6 λεπτά όταν με το ίδιο ή αντίστοιχο αυτοκίνητο που κινείται με βενζίνη θα κόστιζε παραπάνω από 14 λεπτά το χιλιόμετρο.



**Εικόνα 8.2: Passat 1.4 Ecofuel με χρήση CNG**

Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και στη Γερμανία, όπου υπάρχουν φορολογικές ελαφρύνσεις και υπολογίζεται ότι το χιλιομετρικό κόστος του φυσικού αερίου είναι επίσης κάτω από το 50% του αντίστοιχου της βενζίνης. Στις ΗΠΑ η τιμή του CNG στο πρατήριο είναι 30% χαμηλότερη από της βενζίνης, ενώ υπάρχουν «κιτ» με συμπιεστή για γέμισμα από το οικιακό δίκτυο (Phill), όπου η τιμή του αερίου καταλήγει να είναι το μισό της τιμής της βενζίνης. Επίσης για την καλύτερη εκμετάλλευση των δυνατοτήτων του φυσικού αερίου για χρήση στις μηχανές εσωτερικής καύσης, οι αυτοκινητοβιομηχανίες εξελίσσουν πρωτότυπα TNG (Turbo Natural Gas), δηλαδή αυτοκίνητα με υπερφοδοτούμενους κινητήρες φυσικού αερίου. (Max Ahman 2010)

### **8.1.3 Προοπτικές υιοθέτησης αεριοκίνησης**

Είναι προφανές ότι το φυσικό αέριο δεν αποτελεί την «απόλυτη» λύση του 21<sup>ου</sup> αιώνα. Ανήκοντας στους υδρογονάνθρακες, αναπόφευκτα επιβαρύνει και αυτό, έστω και σε λιγότερο βαθμό, την ατμόσφαιρα με διοξείδιο του άνθρακα, αλλά και με άλλους ρύπους. Ωστόσο, στο ενδιάμεσο στάδιο (πιθανόν για τα επόμενα 10-20 χρόνια ή ακόμα και 30 χρόνια) που πρέπει η ανθρωπότητα να διανύσει μέχρι την εξεύρεση μιας πραγματικά «καθαρής» λύσης, η χρήση του φυσικού αερίου ως καυσίμου στα αυτοκίνητα μπορεί να αποδειχτεί ευεργετική. Όχι μόνο λόγω του άμεσου οφέλους που συνεπάγεται η χρήση του, αλλά και γιατί μπορεί να αποτελέσει τον προθάλαμο της εισαγωγής του υδρογόνου στο αυτοκίνητο. Η ανάμειξη του φυσικού αερίου σε ποσοστό που μπορεί να φτάνει ακόμα και το 40% αποδεικνύεται οικολογική επωφελής, καθώς βελτιώνεται η αναλογία άνθρακα/υδρογόνου στο καύσιμο. Από εκεί και πέρα υπάρχουν βέβαια και πολιτικά ζητήματα. Πάντως γεγονός είναι ότι η



παροχή φορολογικών και άλλης φύσεως κινήτρων μπορεί να αποδειχτεί αποφασιστικής σημασίας για τη διεύθυνσή του φυσικού αερίου στην αγορά.

Η διαμόρφωση, η ευρύτερη αποδοχή και η υλοποίηση ενός στρατηγικού σχεδίου ανάπτυξης της αυτοκίνησης με Φ.Α. στην Ελλάδα προβάλλει ως επιτακτική ανάγκη. Έτσι μία ανασκόπηση στον τομέα της αεριοκίνησης δείχνει ότι δεν υπάρχει ένα συγκεκριμένο μοντέλο που έχει ακολουθηθεί παγκοσμίως, για την εισαγωγή και χρήση του Φ.Α. στα οχήματα (ΚΑΠΕ 2006)

Οι τρόποι εισαγωγής της αεριοκίνησης ποικίλλουν όπως:

1. τη μαζική (και, σε μερικές περιπτώσεις, ανεξέλεγκτη) εισαγωγή συστημάτων μετατροπής οχημάτων για χρήση φυσικού αερίου (π.χ. Ιταλία, Λατινική Αμερική, Αίγυπτος, Πακιστάν)
2. την παρέμβαση σε νομοθετικό και μόνο επίπεδο, αφήνοντας την αγορά να προσαρμοστεί η ίδια στο νέο καύσιμο (π.χ. Η.Π.Α.).
3. την προσεκτική εισαγωγή της αεριοκίνησης βάσει συγκροτημένου σχεδίου παρέμβασης της Πολιτείας, που περιλαμβάνει όλους τους «κρίκους» της αλυσίδας: αυτοκινητοβιομηχανίες – εταιρείες αερίου – χρήστες – Πολιτεία (π.χ. Γερμανία, Γαλλία, Σουηδία) Το μοντέλο αυτό είναι το πιο ολοκληρωμένο και συνιστάται και για την περίπτωση της Ελλάδας.

#### 8.1.4 Οικονομικά στοιχεία σεναρίου

Σύμφωνα με επίσημα στοιχεία της ΔΕΠΑ σχετικά με τις τιμές λιανικής πώλησης CNG (με ΦΠΑ) για το έτος 2014 (ώστε να γίνει επί της ίδιας χρονολογικής βάσης η σύγκριση), έχουμε τα ακόλουθα:

Πίνακας 8.1: Τιμές λιανικής πώλησης CNG <sup>28</sup>

Λιανική τιμή πώλησης (με ΦΠΑ)	€/kg
Μέση τιμή	1,04
Μέγιστη τιμή	1,306
Ελάχιστη τιμή	0,801

Με βάση τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα θα υπολογίσουμε την τιμή πώλησης της επιχείρησης στον εκάστοτε ιδιοκτήτη πρατηρίου καυσίμων CNG. Ο ΦΠΑ για καύσιμα είναι 13%, ενώ επίσης θεωρούμε και ένα περιθώριο κέρδους για λιανοπωλητή ίσο με 10%. Κατά συνέπεια προκύπτουν οι ακόλουθες ενδεικτικές τιμές πώλησης φυσικού αερίου για την επιχείρηση (Πίνακας 8.2). Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι βάσει της πυκνότητας και των ιδιοτήτων του **1 kg CNG = 1 m<sup>3</sup> CNG**, άρα και οι αντίστοιχες τιμές πώλησης αναφέρονται πρακτικά σε m<sup>3</sup> φυσικού αερίου.



**Πίνακας 8.2: Ενδεικτικές τιμές πώλησης φυσικού αερίου από την επιχείρηση σε €/kg**

Ενδεικτική τιμή πώλησης για την επιχείρηση	€/kg
Μέση τιμή	0,81432
Μέγιστη τιμή	1,02259
Ελάχιστη τιμή	0,62718

Με ανηγμένο κόστος αναβάθμισης 0,187735 €/m<sup>3</sup> βιομεθανίου, ακολούθως παρουσιάζονται τα κόστη διανομής για τη χρήση του ως καύσιμο οχημάτων και την τελική του πώληση σε τοπικά ιδιωτικά πρατήρια.

**Πίνακας 8.3: Κόστος διανομής και μεταφοράς φυσικού αερίου ως καύσιμο οχημάτων (Max Ahman 2010)**

Κόστος διανομής	€/MWh	€/m <sup>3</sup>
Μεταφορά συμπιεσμένου αερίου με βυτίο	43,92	0,50508
Μεταφορά υγρού μεθανίου (αναβαθμισμένο με κρυογονικές μεθόδους) με βυτίο	25,2	0,2898

### 8.1.5 1<sup>ο</sup> υποσενάριο: Διανομή του βιομεθανίου με ειδικά βυτία

Η ετήσια ποσότητα που έχει δυνατότητα να πωλεί η μονάδα είναι **2946410 Nm<sup>3</sup> βιομεθανίου**. Έτσι ο Πίνακας 8.4 παρουσιάζει τα έσοδα της επιχείρησης, το κόστος αναβάθμισης, το κόστος διανομής με βυτία στα πρατήρια, αλλά και τα ετήσια κέρδη ανάλογα βέβαια και την τιμή πώλησης του βιομεθανίου, όπου για λόγους πληρότητας δίνεται η μέση, η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή που έχει καταγραφεί από τις τιμές λιανικής πώλησης. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι η επιλογή για τη μεταφορά και διανομή του βιομεθανίου είναι με βυτία, μιας και πρόκειται για επιλογή άμεσα διαθέσιμη χωρίς την απαίτηση ύπαρξης κατάλληλης υποδομής.

Μια τέτοια επιλογή είναι κατάλληλη για διάφορες περιοχές της Ελλάδας, όπου δεν υπάρχει δίκτυο φυσικού αερίου, όπως π.χ. η Κρήτη. Συνήθως η μεταφορά με αγωγούς είναι η πρώτη επιλογή, η οποία όμως είναι δύσκολα εφαρμόσιμη σε περιπτώσεις θαλάσσιων μεταφορών λόγω απόστασης ή μορφολογίας του χώρου. Η κατασκευή υποθαλάσσιων αγωγών ενδείκνυται σε μικρές αποστάσεις και μικρά βάθη, επομένως δεν μπορεί να αποτελεί επιλογή ως τεχνολογία για τον εφοδιασμό της Κρήτης με φυσικό αέριο.

Έχει επικρατήσει επίσης η τεχνολογία της μεταφοράς του σε υγροποιημένη μορφή μέσω θαλάσσης (Ρεβυθούσα). Ωστόσο το κόστος που απαιτείται για την υγροποίησή του είναι σημαντικό και αποτελεί παράγοντα περιορισμού της διάδοσης της τεχνολογίας αυτής. Η μεταφορά του φυσικού αερίου σε υγροποιημένη μορφή απαιτεί την ανάπτυξη μεγάλων και ακριβών εγκαταστάσεων ψύξης του και αντίστοιχων εγκαταστάσεων αποθήκευσης και αεριοποίησής του. Κατά συνέπεια η κατασκευή ενός εργοστασίου επεξεργασίας των αστικών αποβλήτων που θα οδηγούσε στην παραγωγή βιοαερίου, θα μπορούσε να συμβάλει τόσο στην περιβαλλοντική διαχείριση των αποβλήτων στο νησί της Κρήτης, όσο και στην «επί τόπου» παραγωγή βιοαερίου και εν συνεχεία βιομεθανίου, με πολύ μικρότερο κόστος μεταφοράς και διανομής.

**Πίνακας 8.4: Κέρδη επιχείρησης από πώληση του βιομεθανίου ως καύσιμο οχημάτων**

Τιμή πώλησης	Ετήσια έσοδα	Ετήσιο κόστος αναβάθμισης	Ετήσιο κόστος διανομής με βυτία	Ετήσια κέρδη
Μέση τιμή	2.399.321 €			358.003 €
Μέγιστη τιμή	3.012.993 €	553.145 €	1.488.173 €	971.675 €
Ελάχιστη τιμή	1.847.938 €			193.379 €

Όπως φαίνεται από τα παραπάνω στοιχεία κερδών με τη μέση τιμή πώλησης η επιχείρηση έχει χαμηλά κέρδη, όπως και με την ελάχιστη τιμή, λόγω του μεγάλου κόστους μεταφοράς και διανομής του. Από την άλλη με τη μέγιστη τιμή τα έσοδα είναι αρκετά υψηλά για την περίπτωση της μέγιστης τιμής πώλησης, αποτελεί όμως ακραίο σενάριο επίτευξης κερδών.

Ακολούθως γίνεται η παρουσίαση του κόστους μεταφοράς του βιομεθανίου με κρυογονικές μπουκάλες (Πίνακας 8.5), αφού πρώτα έχει προηγηθεί κρυογονικός διαχωρισμός, μιας και πρέπει να έχει υποστεί τη συγκεκριμένη διαδικασία αναβάθμισης ώστε να είναι δυνατή και η μεταφορά του στα ειδικά δοχεία φύλαξης. Πρέπει να επισημανθεί ότι ο κρυογονικός διαχωρισμός όπως παρουσιάστηκε αποτελεί την δαπανηρή μέθοδο αναβάθμισης του βιοαερίου σε βιομεθάνιο.

**Πίνακας 8.5: Κόστος επιλογής κρυογονικού διαχωρισμού (Max Ahman 2010)**

Κόστος διανομής	€/MWh	€/m <sup>3</sup>
<i>Μεταφορά βιομεθανίου αναβαθμισμένο με κρυογονικό διαχωρισμό σε κρυογονικές μπουκάλες</i>	25,2	0,2898
<i>Κόστος αναβάθμισης με κρυογονικό διαχωρισμό</i>	67,7	0,7784
<b>Σύνολο κόστους</b>	<b>92,9</b>	<b>1,07</b>

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι το συνολικό κόστος τους είναι απαγορευτικό προς το παρόν σε σχέση με την κερδοφορία της επιχείρησης. αυτό επιβεβαιώνεται εξετάζοντας και τις αντίστοιχες ενδεικτικές τιμές πώλησης βιομεθανίου, όπου ακόμα και με τη μέγιστη τιμή που έχει σημειωθεί δεν επαρκεί για την κάλυψη των εξόδων της επιχείρησης. Όπως είναι εμφανές η συγκεκριμένη επιλογή δεν ενδείκνυται.

### 8.1.6 2<sup>ο</sup> Υποσενάριο: Εναλλακτική διανομή με σωληνώσεις

Έχοντας παρουσιάσει όλες τις επιλογές για την τελική χρήση του βιομεθανίου (ως CNG) για καύσιμο οχημάτων, αναφορικά με το κόστος αναβάθμισης και το κόστος διανομής πρέπει να παρουσιαστεί και μια τρίτη επιλογή. Η συγκεκριμένη πρόταση αφορά πιο μελλοντική προοπτική και είναι η μεταφορά του συμπιεσμένου αερίου με σωληνώσει απευθείας στα πρατήρια. Αυτό όμως απαιτεί την κατάλληλη υποδομή και επίσης ένα κεφάλαιο που να επαρκεί για να καλύψει μια τόσο δαπανηρή επένδυση. Σε αυτή την περίπτωση, με την κατασκευή ενός τέτοιου δικτύου διανομής θα προκύψει και ένα αντίστοιχο κόστος διανομής (Πίνακας 8.6)

**Πίνακας 8.6: Κόστος διανομής με σωληνώσεις (Max Ahman 2010)**

Κόστος διανομής	€/MWh	€/m <sup>3</sup>
<i>Μεταφορά συμπιεσμένου αερίου με σωληνώσεις</i>	21,24	0,24426

Έτσι με αυτά τα στοιχεία και για το μικρότερο κόστος αναβάθμισης μπορούμε να υπολογίσουμε τα αντίστοιχα έσοδα σε αυτή την περίπτωση (Πίνακας 8.7).

Πίνακας 8.7: Κέρδη επιχείρησης από πώληση του βιομεθανίου ως καύσιμο οχημάτων

Τιμή πώλησης	Ετήσια έσοδα	Ετήσιο κόστος αναβάθμισης	Ετήσιο κόστος διανομής με σωληνώσεις	Ετήσια κέρδη
Μέση τιμή	2.399.321 €			1.126.486 €
Μέγιστη τιμή	3.012.993 €	553.145 €	719.690 €	1.740.158 €
Ελάχιστη τιμή	1.847.938 €			575.103 €

Όπως είναι εμφανές από τα παραπάνω οικονομικά στοιχεία η συγκεκριμένη περίπτωση αποτελεί το καλύτερο σενάριο από άποψη χρήσης του βιομεθανίου ως καύσιμο οχημάτων. Ακόμη και με τη μέση τιμή πώλησης, τα κέρδη της επιχείρησης θα είναι πολύ υψηλά, γεγονός που αποδίδεται στο αρκετά χαμηλότερο κόστος διανομής μέσω σωληνώσεων έναντι της επιλογής των βυτίων του προηγούμενου σεναρίου. Όπως επισημάνθηκε όμως η εν λόγω επιλογή δεν είναι άμεσα διαθέσιμη μιας και απαιτεί την ύπαρξη κατάλληλης υποδομής και δικτύου μεταφοράς. Παρόλα αυτά είναι μια πολλά υποσχόμενη μελλοντική προοπτική για τη βιωσιμότητα τέτοιων εγχειρημάτων. (Max Ahman 2010)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: Συμπεράσματα και Προοπτικές

### 9.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εξετάστηκαν οι επιλογές που διαθέτει μια επιχείρηση παραγωγής βιοαερίου από αέρια χώρων υγειονομικής ταφής απορριμμάτων ως προς τη χρήση του βιοαερίου, με σκοπό να διερευνηθεί η πιο συμφέρουσα επιλογή από οικονομικής άποψης. Οι βασικές επιλογές που διαθέτει η επιχείρηση περιλαμβάνουν την καύση του βιοαερίου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή την αναβάθμισή του σε βιομεθάνιο και την εκμετάλλευσή του. Αν επιλεγεί η αναβάθμιση του βιοαερίου σε βιομεθάνιο, υπάρχουν εναλλακτικές που οδηγούν σε διαφορετικό κέρδος η κάθε μία. Οι επιλογές αυτές αφορούν είτε την καύση του βιομεθανίου σε μηχανή συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής απόδοσης, είτε την έγχυση του αναβαθμισμένου βιοαερίου στο δίκτυο φυσικού αερίου ή την πώληση του βιομεθανίου ως καύσιμο οχημάτων.

Η περίπτωση της ηλεκτροπαραγωγής από βιοαέριο ή της συμπαραγωγής από βιομεθάνιο οδηγεί σε διαφορετικό κέρδος, ανάλογα με τον τρόπο αποζημίωσης της επιχείρησης, αν δηλαδή αποζημιώνεται με βάση μια προσυμφωνημένη τιμή (Feed-in tariff) ή με την Οριακή Τιμή του Συστήματος (ΟΤΣ) παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η περίπτωση της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας αποζημιώνεται με αυξημένη τιμή FIT σε σχέση με την ηλεκτροπαραγωγή από βιοαέριο. Η τιμή αυτή μπορεί να αυξηθεί περαιτέρω, αν η εκμετάλλευση της παραγόμενης θερμότητας γίνεται για γεωργικούς σκοπούς. Αυξημένο κέρδος από την περίπτωση της ΣΗΘΥΑ, προκύπτει επίσης και στην περίπτωση που η παραγόμενη θερμότητα χρησιμοποιείται τεχνικά για να μειωθεί η κατανάλωση καυσίμου. Το καύσιμο αυτό που εξοικονομείται μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για την παραγωγή επιπλέον ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από τη ΣΗΘΥΑ είτε για ηλεκτροπαραγωγή από τη μονάδα βιοαερίου.

#### *Ηλεκτροπαραγωγή ή ΣΗΘΥΑ*

Από όλα τα σενάρια ηλεκτροπαραγωγής ή συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας που εξετάστηκαν, το μέγιστο κέρδος και η βέλτιστη διαδρομή για την κάθε επιλογή παρουσιάζεται ακολούθως:

<ul style="list-style-type: none"> <li>• ΣΗΘΥΑ με εξοικονόμηση καυσίμου για επιπλέον παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από τη ΣΗΘΥΑ</li> </ul>	935.894 €
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ΣΗΘΥΑ με χρήση της παραγόμενης θερμότητας για γεωργικούς σκοπούς (όταν η ΟΤΣ είναι μεγαλύτερη από την FIT, η επιχείρηση αποζημιώνεται με την ΟΤΣ)</li> </ul>	898.515,4 €
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ηλεκτροπαραγωγή από βιοαέριο</li> </ul>	871.182 €
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ΣΗΘΥΑ με χρήση της παραγόμενης θερμότητας για τηλεθέρμανση (όταν η ΟΤΣ είναι μεγαλύτερη από την FIT, η επιχείρηση αποζημιώνεται με την ΟΤΣ)</li> </ul>	665.835 €

Παρατηρούμε λοιπόν ότι η επιχείρηση αποκομίζει το μεγαλύτερο οικονομικό όφελος μέσω της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, αν η θερμότητα χρησιμοποιείται στην ίδια τη μονάδα για να εξοικονομείται καύσιμο, δίνοντας τη δυνατότητα για επιπλέον παραγωγή. Εξασφαλίζοντας μια εγγυημένη τιμή FIT, δεν εξασφαλίζεται πάντα η μεγιστοποίηση κέρδους της επιχείρησης. Η βέλτιστη επιλογή προκύπτει μέσω του συνδυασμού της με αποζημίωση στην Οριακή Τιμή Συστήματος, τις ώρες που αυτή είναι μεγαλύτερη. Υπάρχουν ορισμένες ώρες σε ετήσια βάση όπου η ΟΤΣ είναι μεγαλύτερη από τη FIT, όπως αναλύθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, λαμβάνοντας υπόψη στη σύγκριση της FIT με την ΟΤΣ το κόστος αναβάθμισης, ώστε η σύγκριση να γίνεται στην ίδια βάση τιμής.

### ***Παράμετρος κόστους αναβάθμισης βιοαερίου σε βιομεθάνιο***

Σημαντικός παράγοντας που επιδρά στο τελικό κέρδος της επιχείρησης είναι το κόστος αναβάθμισης του βιοαερίου σε βιομεθάνιο. Εξετάστηκαν διαφορετικές τεχνολογίες αναβάθμισης με διαφορετικό κόστος, ώστε να μελετηθεί σε κάθε περίπτωση ποια είναι η προσφορότερη επιλογή για την επιχείρηση, σε περίπτωση που είναι αναγκαία η υιοθέτηση διαφορετικής τεχνολογίας αναβάθμισης. Με την εξέταση της παραμέτρου του κόστους αναβάθμισης, διερευνάται η επίδρασή του στα περιθώρια κέρδους της επιχείρησης ή στην επιλογή μιας διαφορετικής τελικής χρήσης του βιοαερίου. Από τις τεχνολογίες που εξετάστηκαν, βιώσιμες επιλογές αποτελούν ο διαχωρισμός με μεμβράνες, η απορρόφηση με νερό και η χημική απορρόφηση, ενώ οι τεχνολογίες με μεγαλύτερο κόστος αναβάθμισης (διαχωρισμός με εναλλαγή πίεσης, κρυογονικός διαχωρισμός) αποτελούν μη βιώσιμες επιλογές.

Με όλα τα υψηλότερα κόστη αναβάθμισης σε σχέση με το κόστος αναβάθμισης του βασικού σεναρίου, μεγαλύτερο κέρδος προέκυψε από την αποζημίωση στη FIT βιοαερίου. Αντιθέτως, στο βασικό σενάριο, το υψηλότερο κέρδος για την επιχείρηση προκύπτει από την ΣΗΘΥΑ με εξοικονόμηση καυσίμου και επιπλέον παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Αυτό οφείλεται στο ότι η ΣΗΘΥΑ καταναλώνει βιομεθάνιο, και άρα όσο αυξάνεται το κόστος αναβάθμισης τόσο θα μειώνεται το

κέρδος από την επιλογή αυτή σε σύγκριση με την παραγωγή ηλεκτρισμού από βιοαέριο.

Για την περίπτωση της απορρόφησης με νερό και της χημικής απορρόφησης, οι οποίες έχουν μεγαλύτερο κόστος από το διαχωρισμό με μεμβράνες, το κέρδος που επιτυγχάνεται μέσω της καύσης του βιομεθανίου σε ΣΗΘΥΑ σε συνδυασμό με επιπλέον ηλεκτροπαραγωγή από την εξοικονόμηση καυσίμου (789.682 € και 669.572 €, αντίστοιχα για κάθε τεχνολογία αναβάθμισης) είναι επίσης χαμηλότερο από το κέρδος από την ηλεκτροπαραγωγή με βιοαέριο, το οποίο είναι ίσο με 871.182 €. Αυτό σημαίνει ότι η αυξημένη FIT της ΣΗΘΥΑ, ακόμη και σε συνδυασμό με την εξοικονόμηση καυσίμου, δεν επαρκεί για να καλύψει το αυξημένο κόστος αναβάθμισης των μεθόδων αυτών, και άρα είναι προτιμότερη η καύση του βιοαερίου αποκλειστικά για ηλεκτροπαραγωγή με αποζημίωση στην αντίστοιχη FIT.

### ***Έγχυση του βιομεθανίου στο δίκτυο φυσικού αερίου***

Στη συνέχεια εξετάστηκε το κέρδος που προκύπτει για την επιχείρηση, αν το αναβαθμισμένο βιομεθάνιο δεν καταναλωθεί σε μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, αλλά διατεθεί στο δίκτυο φυσικού αερίου. Για να έχει η επιχείρηση συμφέρον να διοχετεύει στο δίκτυο φυσικό αέριο, θα πρέπει να εξασφαλίσει μια τιμή πώλησης του βιομεθανίου στο δίκτυο ανταγωνιστικότερη σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές FIT. Παράλληλα η τιμή αυτή θα πρέπει να είναι κάτω από την τιμή προμήθειας του φυσικού αερίου της ΕΠΑ από τη ΔΕΠΑ, η οποία είναι ίση με 45,633 €/MWh καυσίμου, ώστε η ΕΠΑ να έχει συμφέρον να προμηθευτεί το βιομεθάνιο από την επιχείρηση και όχι από τη ΔΕΠΑ. Η μέγιστη ποσότητα που μπορεί να διαθέσει η επιχείρηση σε ετήσια βάση είναι 2.946.410 Nm<sup>3</sup>.

Σε σύγκριση με την FIT ηλεκτροπαραγωγής, η αντίστοιχη τιμή στην οποία πρέπει να αποζημιώνεται για τη διοχέτευση του βιομεθανίου είναι 43,41 €/MWh καυσίμου. Η τιμή αυτή είναι το κατώτατο όριο της επιχείρησης για να έχει το ίδιο κέρδος με την περίπτωση της ηλεκτροπαραγωγής, καλύπτοντας παράλληλα το κόστος αναβάθμισης (63,14 €/MWh<sub>el</sub> το οποίο αντιστοιχεί σε 16,32 €/MWh καυσίμου) και το κόστος διοχέτευσης στο δίκτυο (5,31 €/MWh<sub>el</sub> το οποίο αντιστοιχεί σε 0,76 €/MWh καυσίμου). Στην περίπτωση που η εταιρία θέλει να εκμεταλλευτεί όλο το περιθώριο κέρδους που της δίνει η τιμή προμήθειας της ΕΠΑ από τη ΔΕΠΑ, πωλώντας το βιομεθάνιο στην ίδια τιμή (45,633 €/MWh καυσίμου) και διατηρώντας το χαμηλότερο κόστος αναβάθμισης και διοχέτευσης, μπορεί να επιτύχει μεγιστοποίηση του κέρδους της για την επιλογή αυτή, ίσο με 1.097.966 €.

Όσον αφορά τη συμπαραγωγή και τις αντίστοιχες τιμές αποζημίωσης, υπάρχουν τρεις διαφορετικές περιπτώσεις σύγκρισης. Σε σύγκριση με τη FIT ΣΗΘΥΑ της τηλεθέρμανσης, η αντίστοιχη τιμή στην οποία πρέπει να αποζημιώνεται για τη διοχέτευση του βιομεθανίου είναι 53,37 €/MWh καυσίμου. Η τιμή αυτή είναι το κατώτατο όριο ώστε η επιχείρηση να έχει το ίδιο κέρδος με την περίπτωση της ΣΗΘΥΑ για τηλεθέρμανση. Για να έχει η επιχείρηση μεγαλύτερο κέρδος σε

σύγκριση με την FIT ΣΗΘΥΑ με εκμετάλλευση της θερμότητας για γεωργικούς σκοπούς, πρέπει να αποζημιώνεται σε τιμή μεγαλύτερη από 60,50 €/MWh καυσίμου. Τέλος για την περίπτωση της ΣΗΘΥΑ με εξοικονόμηση η τιμή στην οποία πρέπει να αποζημιώνεται ανέρχεται σε 61,64 €/MWh καυσίμου. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις η τιμή στην οποία πρέπει να αποζημιώνεται για να είναι ανταγωνιστικότερη η έγχυση βιομεθανίου είναι μεγαλύτερη από την τιμή στην οποία προμηθεύεται η ΕΠΑ το βιοαέριο, συνεπώς δεν θα ήταν εφικτή η επίτευξη συμφωνίας με την ΕΠΑ για τη διοχέτευση του βιομεθανίου. Μέσω της διοχέτευσης στο δίκτυο δεν μπορεί να επιτύχει τις τιμές με τις οποίες αποζημιώνεται η επιχείρηση στην περίπτωση της ΣΗΘΥΑ, ούτε με τηλεθέρμανση, ούτε με χρήση της θερμότητας για γεωργικούς σκοπούς ή μέσω της εξοικονόμησης για επιπλέον συμπαραγωγή.

### ***Πώληση βιομεθανίου ως καύσιμο οχημάτων***

Μια εναλλακτική τελική χρήση του βιομεθανίου είναι η χρήση του ως καύσιμο οχημάτων. Η βιωσιμότητα και το κέρδος της επιχείρησης από μια τέτοια επιλογή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό, πέρα από το κόστος αναβάθμισης, και από το κόστος μεταφοράς και διανομής του βιομεθανίου στα τοπικά πρατήρια καυσίμων. Με την παρούσα υποδομή, είναι δυνατή η μεταφορά με βυτία ως συμπιεσμένο αέριο. Στη συγκεκριμένη επιλογή το κόστος μεταφοράς και διανομής είναι υψηλότερο από το κόστος αναβάθμισης και συγκεκριμένα ίσο με 0,51 €/m<sup>3</sup>. Θεωρώντας μέση τιμή πώλησης 0,81 €/m<sup>3</sup>, το ετήσιο κέρδος της επιχείρησης ανέρχεται σε 358.003 €, ενώ με τη μέγιστη τιμή πώλησης CNG που έχει καταγραφεί (1,02 €/Nm<sup>3</sup>), το ετήσιο κέρδος της επιχείρησης ανέρχεται σε 971.675 €. Σε αυτές τις περιπτώσεις η ποσότητα που πωλείται ισούται με 2.946.410 Nm<sup>3</sup>.

Αναφορικά με το γενικότερο συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι η τελική χρήση του βιομεθανίου ως καύσιμο οχημάτων έχει πολλές προοπτικές, απλώς σε αυτό το στάδιο δεν είναι ακόμη ώριμη σε επίπεδο υποδομών, ώστε να υπάρχουν και μειωμένα κόστη επεξεργασίας και μεταφοράς του. Για παράδειγμα, αν η μεταφορά και η διανομή του CNG γίνονται μέσω δικτύου σωληνώσεων, το κόστος ανέρχεται σε 0,24 €/m<sup>3</sup>, και άρα στην περίπτωση αυτή το κέρδος της επιχείρησης είναι 1.126.486 € (με τη μέση τιμή πώλησης) και 1.740.158 € (με τη μέγιστη τιμή πώλησης). Έτσι, η εν λόγω επιλογή θα είναι ελκυστικότερη και οικονομικά συμφέρουσα έναντι της συμπαραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας ή ακόμη και της έγχυσης στο δίκτυο φυσικού αερίου, καθώς η τιμή προμήθειας της ΕΠΑ από τη ΔΕΠΑ είναι σχετικά χαμηλή και δεν αφήνει στην επιχείρηση μεγάλα περιθώρια ανταγωνισμού στον τομέα αυτό.

Εξάλλου η συγκεκριμένη τελική χρήση αποτελεί εξαιρετικά ελκυστική επιλογή για περιοχές που δεν έχουν άμεση πρόσβαση σε αγωγούς φυσικού αερίου, όπως τα μεγάλα νησιά της χώρας μας, όπως η Κρήτη, ή και νομοί και πόλεις της ηπειρωτικής Ελλάδας που δεν είναι σε κοντινή απόσταση από το δίκτυο φυσικού αερίου. Η ενεργειακή διαχείριση των ΑΣΑ σε αυτές τις περιοχές και η αξιοποίηση τους για την



ενεργειακή ανεξαρτητοποίησή τους αποτελεί σημαντικό βήμα για τη βιώσιμη και αειφόρο ανάπτυξη τους.

## 9.2 Μελλοντικές προοπτικές

Κάθε χώρα έχει αναπτύξει τις δικές της κρατικές πρωτοβουλίες για να προωθήσει τις ιδέες ελαχιστοποίησης των απορριμμάτων, επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης καθώς και εξοικονόμησης ενέργειας οι οποίες εξαρτώνται από τις υπάρχουσες υποδομές μεταφορών, τις πυκνότητες των πληθυσμών, την διαθεσιμότητα της γης, τις απαιτήσεις ενέργειας και τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς. Επομένως ο βαθμός στον οποίο κάθε επιλογή διαχείρισης χρησιμοποιείται σε μια χώρα, μπορεί να διαφέρει σημαντικά. Στα πλαίσια αυτά είναι και η δημιουργία τοπικών μονάδων για την ενεργειακή αξιοποίηση των διαφόρων υποστρωμάτων.

Ορισμένες μελλοντικές προοπτικές για τη μονάδα ενεργειακής αξιοποίησης των ΑΣΑ προς παραγωγή βιοαερίου είναι:

- ✓ Η κατά τουλάχιστον 80-90% αξιοποίηση της συμπαραγόμενης θερμικής ενέργειας της μονάδας με μεσοπρόθεσμα συμβόλαια θερμικών καταναλωτών (10-15 έτη). Στην παρούσα κατάσταση οι περισσότερες μονάδες παρέχουν δωρεάν τη θερμότητά τους σε εγκαταστάσεις τηλεθέρμανσης, χωρίς όμως επιπλέον έσοδα για την επιχείρηση. Έτσι η μονάδα θα μπορεί να έχει οικονομικά οφέλη από την παροχή της θερμότητας που παράγεται, καθιστώντας έτσι και τη συγκεκριμένη επιλογή οικονομικά ελκυστικότερη, με πολύ σημαντικά παράλληλα κοινωνικά οφέλη.
- ✓ Πρέπει να εξασφαλίζεται η ολοκληρωμένη εξέταση της κάθε περίπτωσης μέσω επιθεώρησης και μελέτης ως προς τα ισοζύγια μάζας, ενέργειας και των περιβαλλοντικών πιέσεων που θα προκύψουν.
- ✓ Από περιβαλλοντικής σκοπιάς πρέπει να διασφαλίζεται η ασφαλής και υγιεινή διάθεση των στερεών υπολειμμάτων της ενεργειακής αξιοποίησης των αστικών απορριμμάτων σε XYTY και XYTEA.

Αναφορικά με τη χρήση του βιομεθανίου, οι προοπτικές του είναι πολλά υποσχόμενες και κερδίζουν έδαφος εκτός από την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού και στον τομέα των μεταφορών. Το συγκεκριμένο αέριο έχει εξαιρετικές προοπτικές. Μιας και μπορεί σε αυτό το επίπεδο να μην μπορεί να ανταγωνιστεί οικονομικά τα ορυκτά καύσιμα σε βραχυπρόθεσμη και μεσοπρόθεσμη κλίμακα, μπορεί όμως να γίνει ιδιαίτερα ελκυστικό και να υιοθετηθεί σε συνδυασμό με μελλοντικές πρακτικές ουδετεροποίησης του αποτυπώματος άνθρακα, καθιστώντας την τιμή παραγωγής του συγκρίσιμη με αυτή των ορυκτών καυσίμων.

Το σημείο που πρέπει να γίνει αλλαγή είναι η μεταπήδηση από εφαρμογές μικρής και μεσαίας κλίμακας σε μεγάλης κλίμακας, όπου θα μπορεί να τις καταστήσει οικονομικά βιώσιμες. Όπως φάνηκε σημαντικό αγκάθι στο συνολικό κόστος είναι το κόστος διανομής. Το συγκεκριμένο κόστος μπορεί να μειωθεί σημαντικά με την ύπαρξη κατάλληλης υποδομής για την απευθείας διανομή του μέσω σωληνώσεων στους τοπικούς ιδιοκτήτες πρατηρίων καυσίμων. Όπως φάνηκε όμως από την παρουσίαση των κερδών σε αυτή την περίπτωση η προοπτική βιωσιμότητας μιας τέτοιας επιλογής είναι πολλά υποσχόμενη, με αρκετά ικανοποιητικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο.

## Βιβλιογραφία

1. Agapitidis I. and Zafiridis C. (2006). 'Energy Exploitation of Biogas: European and National perspectives'. 2nd International Conference of the Hellenic Solid Waste Management Association.
2. Al Seadi, T. (2001): Good practice in quality management of AD residues from biogas production. Report made for the International Energy Agency, Task 24- Energy from Biological Conversion of Organic Waste. Published by IEA Bioenergy and AEA Technology Environment, Oxfordshire, United Kingdom.
3. DEUTZ AG, TBK 620K, The gas engine manual.
4. Energy from Biological Conversion of Organic Waste. Published by IEA Bioenergy and AEA Technology Environment, Oxfordshire, United Kingdom, 2009.
5. Fiestas Ros de Ursinos J. A. and Borja-Padilla R. (1992) Use and treatment of olive mill wastewater: current situation and prospects in Spain.
6. Han SK., Shin HS., Biohydrogen production by anaerobic fermentation of food waste. Int. J. Hydrogen Energy 29, 2004.
7. Jonsson, O. Biogas upgrading –Technologies, framework and experience. EON gas, October 2008.
8. Kokcker h. Nelte, a.; Meier Zu, Euroforum New Energies, Proc. Int. Congr., Saarbrücken, FRG, Oct. 24-28 1988,673-675.
9. Levin DB., Pitt L., Love M., Biohydrogen production: prospects and limitations to practical application. Int. J. Hydrogen Energy 29, 2004.
10. Marcogaz, Injection of Gases from Non-Conventional Sources into Gas Networks, December 2006.
11. Max Ahman, Biomethane in the transport sector—An appraisal of the forgotten option, Energy Policy 38 (2010) 208–217.
12. McMillan J.D. Pretreatment of lignocellulosic biomass. In Enzymatic Conversion of Biomass for Fuels Production, Himmel, M.E., Baker, O., Overend, R.P. Eds.; American Chemical Society: Washington, DC, 1994; 292–324.
13. Persson, M. Evaluation of upgrading techniques for biogas, Lund University, Sweden, 2003.
14. Peter Quaak, Harrie Knoef, Hubert Stassen "Energy from Biomass: A Review of Combustion and Gasification Technologies (World Bank Technical Paper, 422. Energy Series)", World Bank Publications (March 1, 1999).
15. REnInvest Group , Βιοαέριο- Μια σημαντική εναλλακτική μορφή ενέργειας, Πτολεμαΐδα - Ιούλιος 2012.
16. Rutz D. et al. (2008) The Biogas Market in Southern and Eastern Europe: Promoting Biogas by Non-technical Activities. - Proceedings of the 16th European Biomass Conference and Exhibition; Valencia, Spain.

17. Swedish Gas Centre. Adding gas from biomass to the gas grid , Sweden, July 2001.
18. U.S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory Biomass co-firing Program
19. Zafiris, Ch. Biogas in Greece, National state of the Art, Redubar EIE/06/221/S12.442663, May 2007.
20. Zafiris, Ch. et.al. 'Greek Biogas Production from Pig Manure and Co-Digestion. Evaluation of Anaerobic Digestion Projects in Livestock Units'.(Final report) CRES May 2001.
21. Zafiris, Ch. List of recommendations for installing 'Biogas feeding-in and feeding-out pool, Redubar EIE/06/221/S12.442663, July 2009.
22. Ζαφείρης Χ. Ενεργειακή Αξιοποίηση Βιοαερίου: Τάσεις και Προοπτικές, Δελτίο Πανελληνίου Συλλόγου Χημικών Μηχανικών, Αύγουστος-Σεπτέμβριος 2008.
23. Ζαφείρης Χ. Ενεργειακή Αξιοποίηση Βιομάζας και Εφαρμογές. ΚΑΠΕ, 2003.
24. Αθανάσιος Χ. Μπουρτσάλας, Νικόλαος Ι.Θέμελης, Ευστράτιος Καλογήρου, Περιγραφή της υφιστάμενης κατάστασης διαχείρισης Αστικών Στερεών Αποβλήτων (Α.Σ.Α.) για τις Περιφέρειες της Ελλάδος , Earth Engineering Center Columbia University, 2011.
25. Βουρδούμπας Γ. “Χρήση της Βιομάζας για παραγωγή ενέργειας”, Χανιά , 1998.
26. Γεράσιμος Μαρτζόπουλος, «Α.Π.Ε., Τεχνολογικές Εφαρμογές στη Γεωργία», Πανεπιστημιακό Σύγγραμμα ΑΠΘ, 2004.
27. Γεράσιμος Μαρτζόπουλος, «Εκμηχάνιση Κτηνοτροφικών Μονάδων και Διαχείριση Λυμάτων», Πανεπιστημιακό Σύγγραμμα ΑΠΘ, 2004.
28. Γιακουμέλος Λευτέρης (2012), Τεχνολογίες Παραγωγής και Αξιοποίησης του Βιοαερίου Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ).
29. Δημητρώπουλος Π. Βασίλης, Προμελέτη σκοπιμότητας παραγωγής βιοαιθανόλης στην Ελλάδα, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Τμήμα Οργάνωσης & Διοίκησης Επιχειρήσεων (MBA), Πειραιάς 2009.
30. Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων στην Ελλάδα/Η περίπτωση της Αττικής/, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα, Νοέμβριος 2006.
31. Ευρ.Λόης, Εισήγηση,Α΄ Πανελλήνιο Συνέδριο Εναλλακτικών Καυσίμων, 2005.
32. Ζαχμάνογλου Θεόδωρος, Καπετανάκης Γιώργος, Καραμπίλας Πέτρος, Σποζίτο Πασχάλης, Τεχνολογία Οχημάτων, «Υγραέριο (LPG) % Φυσικό Αέριο (CNG)», Αθήνα, 2011.
33. Κ.Α.Π.Ε , Εγχειρίδιο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας- Ενέργεια από Βιομάζα, 1998.
34. Κακαράς Ε., 2010, Τεχνολογίες αξιοποίησης βιομάζας για την παραγωγή θερμικής ή/και ηλεκτρικής ενέργειας, Εβδομάδα Ενέργειας – Ενέργεια B2B, ΙΤΕΣΚ.

35. ΚΑΠΕ, “Οδηγός Βιομάζας”, Αθήνα
36. ΚΑΠΕ, «Καθαρά» Καύσιμα & Οχήματα Συνοπτικός Οδηγός για τα «Καθαρά» Καύσιμα και τις Τεχνολογίες Οχημάτων, 2006.
37. Καραλής, Επιβλέπων: Γεράσιμος Μαρτζόπουλος « Η Βιομάζα στο ν.Σερρών», Διπλωματική Εργασία ,Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ, 2005.
38. Κατσίρη Α., Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία Ενέργεια από βιομάζα, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Αθήνα 2010-2011.
39. Κούκιος Ε., Σημειώσεις Μαθήματος «Βιομάζας», “Καύση Βιομάζας”, ΔΠΜΣ «Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας», 2010.
40. Κούκιος Ε., Σημειώσεις Μαθήματος «Βιομάζας», “Τεχνολογίες Μετατροπής Βιομάζας σε Καύσιμα και Ενέργεια”, ΔΠΜΣ «Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας», 2010.
41. Λυμπεράτος Γ., (2000), Διαχείριση στερεών αποβλήτων. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών
42. Σιούλας Κωνσταντίνος, Teodorita Al Seadi, Dominik Rutz, Heinz Prassl, Michael Köttner, Tobias Finsterwalder, Silke Volk, Rainer Janssen, ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ Βιοαερίου, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ).
43. Χ. Θεοχάρη, Κ. Αραβώσης, Π. Βαρελίδης, Η. Διαβάτης, Χ. Ζιώγας, Σ. Ιατρού, Α. Μπούρκα, Α. Οικονομόπουλος, Σ . Παπαγρηγορίου, Π. Παντελάρας, Ι. Φραντζής, «Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων Στην Ελλάδα/ Η Περίπτωση Της Αττικής», ΤΕΕ, Αθήνα, Νοέμβριος,2006.

## Websites

1. Νομοθετικό πλαίσιο από ΑΠΕ & Συμπαράγωγή  
[http://www.rae.gr/old/SUB2/2\\_4.htm](http://www.rae.gr/old/SUB2/2_4.htm)
2. Power Scorecard Rating Mechanism Homepage, “Electricity from Biomass”  
[http://www.powerscorecard.org/tech\\_detail.cfm?resource\\_id=1](http://www.powerscorecard.org/tech_detail.cfm?resource_id=1)
3. National Renewable Energy Laboratory homepage, “Biomass Cofiring: A Renewable Alternative for Utilities”  
<http://www.nrel.gov/docs/fy00osti/28009.pdf>
4. Grinnell College homepage - Biomass Energy “A renewable source for the future”  
[http://web.grinnell.edu/techstudies/Bunger\\_Kneip/Biomass.html](http://web.grinnell.edu/techstudies/Bunger_Kneip/Biomass.html)
5. N.3851/2010 :  
[http://www.rae.gr/site/categories\\_new/global\\_regulation/global\\_national/global\\_national\\_laws/N\\_3851\\_2010.csp](http://www.rae.gr/site/categories_new/global_regulation/global_national/global_national_laws/N_3851_2010.csp)
6. ALTEREN, [www.alteren.gr/viomaza.asp](http://www.alteren.gr/viomaza.asp)
7. <http://groengas.nl/>
8. <http://www.admie.gr/>
9. <http://www.aerioattikis.gr/>
10. <http://www.beal.gr/>
11. <http://www.biofuelstp.eu/biogas.html#sust>
12. <http://www.biomassenergy.gr>
13. <http://www.depa.gr/>
14. <http://www.desmie.gr/ape-sithya/adeiodotiki-diadikasia-kodikopoiisi-nomothesias-ape/periechomena/biomaza-biokaysima/ilektroparagogi-apo-biomaza/>
15. <http://www.electrigaz.com/>
16. <http://www.gpeppas.gr/4x4/faerio.html>
17. [www.biofuels.gr](http://www.biofuels.gr)
18. [www.cres.gr](http://www.cres.gr)
19. [www.dvgw.de](http://www.dvgw.de)
20. [www.helektor.gr](http://www.helektor.gr)
21. [www.jenbacher.com](http://www.jenbacher.com)
22. [www.kriegfischer.de](http://www.kriegfischer.de)
23. [www.lemvigbiogas.dk](http://www.lemvigbiogas.dk)
24. [www.oikoen.gr/selides-compost.htm](http://www.oikoen.gr/selides-compost.htm)
25. [www.rae.gr](http://www.rae.gr)
26. [http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/biomass\\_guide.pdf](http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/biomass_guide.pdf)
27. <http://www.admie.gr/leitoyrgia-dedomena/leitoyrgia-agoras-ilektrikis-energeias/anafores-dimosieyseis-agoras/>
28. <http://www.depa.gr/content/article/002003003/11.html>

## Παράρτημα

### Αλγόριθμος προγράμματος

```
%%arxika tha zhteitai apo to xrhsth na dwsei thn timh ths feed in tariff!

%% An kai einai dedomenh me nomologia kathe fora mporei na allazei kai kalo

%%tha htan na einai flexible ws pros ton xrhsth!!

disp('The program needs the electricity price in Euros/ Mwh raw biogas. ');

price_elec=99.45;

BGtoh=595;

BGtoMWhElec=595;

calor_BG=6.5;

calor_NG=11.5;

priceTransport_EurotoMWh=0.008919;

specificationsBG_Plant=2831.6846;

%% Katagrafh dedomenwn

% price_elec=input('Please enter the electricity price for the plant!');

% % de xreiazetai mallon an dinetai h timh agoras ths EPA apo DEPA kathws tha ginetai ektenhs
sugkrish sto for-loop price_NG=input('Please enter the natural gas price that authority EPA buys
natural gas ! (Euros/MWh )');

% BGtoh=input('Please give the flow rate of raw biogas for 1 hour. (Nm3/h )!');

% BGtoMWhElec=input('Please give the consumption of Biogas to electricity
generation.(Nm3/MWh )!');

% calor_BG=input('Please enter the calorific value of biogas in kWh/Nm3 !');

% calor_NG=input('Please enter the calorific value of natural gas in kWh/Nm3 !');

% priceTransport_EurotoMWh=input('Please enter the price of Transporting Raw Biogas to natural gas
grid. ( in Euros/MWh )!');

% specificationsBG_Plant=input('Please give the days biogas flow rate specifications for the plant!
(Nm3 )');

% %% TO BGtoh einai h posothta bioaeriou pou ekluetai se mia wa apo to plant. 1 MW einai se 1
hour.

%% Analysh dedomenwn kai typwn epeksergasias stoixeiwn

elec_forOnerawBG=1/ BGtoMWhElec; %Amount Of electricity for 1 Nm3 of raw biogas

price_TransportforOneRawBG=priceTransport_EurotoMWh*elec_forOnerawBG; % Price of
transportation 1 Nm3 of Biogas to natural gas grid

minPriceinjectRawBG=elec_forOnerawBG*price_elec; %Minimum price of raw biogas to prefer
injection to grid better than the electricity.

logos_calor_values=calor_NG/calor_BG; %o Rate of calorific values to find out the corresponding
amount of natural gas
```

```

%%elegxos gia alles pithanes epiloges apo specifications
if (specificationsBG_Plant>=2831.6846 && specificationsBG_Plant<=28316.846)
    price_upgradingforOneRawBG= 0.106125;
end

%priceInject_UpBG-->final price for injection upgraded biogas
priceInject_UpBG=minPriceinjectRawBG+price_TransportforOneRawBG+price_upgradingforOneRawBG;

NGtoh=BGtoh/logos_calor_values; % corresponding amount of natural gas per hour
eurosPerHour=priceInject_UpBG*BGtoh; % necessary euros per hour
priceNGcubic=(1/NGtoh)*eurosPerHour; %final price for 1 Nm3 of natural gas in euros
priceNGkWh=(1/calor_NG)*priceNGcubic; %final price for 1 kWh of natural gas in euros
priceNGMWh=priceNGkWh*1000; %final price for 1 MWh of natural gas in euros
control_periodoftime=8760; % period of time control

%% comparison of natural gas prices between plants price and authority's price
%if the NG plant's price is greater than the authority's price BEAL prefers
%giving upgraded biogas to giving electricity to the national grid
natural2=[20:5:75];
for i=1:length(natural2)
    if (priceNGMWh>natural2(i))
        %de sumferei na dwsei sthn EPA h BEAL anavathmismeno aerio
        %protima na dwsei sto diktuo hlektrismou
        totalAmountElec(i)=control_periodoftime;
        totalProfitElec(i)=control_periodoftime*price_elec;

        %prepei na kserw poso einai to xroniko diasthma pou meletaw gia na
        %kserw pws tha ypologisw me tis wres thn posothta tou fusikou
        %aeriou pou thelw
    else
        totalAmountNG2(i)=NGtoh*control_periodoftime;
        priceNGcubic2(i)=natural2(i)*(calor_NG/1000);
        totalProfitNG(i)=priceNGcubic2(i)* totalAmountNG2(i);
        totalAmountElec(i)=0;
        totalProfitElec(i)=0;
    end
end
%
```



```

% %zero padding the array of annual electricity amounts
% New_Matrix_AmountElec = wextend(length(natural2)) ;
% New_Matrix_ProfitElec = zeros(length(natural2)) ;
%% concatenate arrays of different sources profits for extra comparison
Total_ProfitElec = vertcat ( totalProfitNG, totalProfitElec);
%% total sum profit of electricity and natural gas
SumtotalProfitElec=0;
SumtotalProfitNG=0;
for i=1:length(natural2)
    SumtotalProfitElec= SumtotalProfitElec+totalProfitElec(i);
    SumtotalProfitNG= SumtotalProfitNG+totalProfitNG(i);
end
% Tha prepei na ftiaksw enan pinaka o opoios mea sto for-loop tha periexei vasika, tha topothetei gia
% kathe
% timh fusikou aeriou poses wres panw ston xrono me sumferei na dinw sto diktuo fusikou aeriou kai
% poses
% wres me sumferei na dinw ston hlektrismo
%% ----- 1o diagramma Electricity Hours
% Create the data for the plots
TBdata1 = [20 totalAmountElec(1) ; 25 totalAmountElec(2) ; 30 totalAmountElec(3) ; 35
totalAmountElec(4) ;
40 totalAmountElec(5) ; 45 totalAmountElec(6) ; 50 totalAmountElec(7) ; 55
totalAmountElec(8) ;
60 totalAmountElec(9) ; 65 totalAmountElec(10) ; 70 totalAmountElec(11) ; 75
totalAmountElec(12) ];
gas_prices = TBdata1(:,1);
elec_hours = TBdata1(:,2);
figure(1);
stem(gas_prices, elec_hours);
% Add title and x axis label
title('Electricity hours due to NG prices: 20-75E/MWh');
xlabel('Natural Gas Prices');
% Use the axis handles to set the labels of the y axes
ylabel('Electricity Hours');
%% ----- 2o diagramma Annual profit of Natural Gas per
% price !!!!!!!!!!!!!
% Create the data for the plots
TBdata2 = [20 totalProfitNG(1) ; 25 totalProfitNG(2) ; 30 totalProfitNG(3) ; 35 totalProfitNG(4) ;

```

```

40 totalProfitNG(5) ; 45 totalProfitNG(6) ; 50 totalProfitNG(7) ; 55 totalProfitNG(8) ;
60 totalProfitNG(9) ; 65 totalProfitNG(10) ; 70 totalProfitNG(11) ; 75 totalProfitNG(12) ];
gas_prices = TBdata2(:,1);
ng_profits = TBdata2(:,2);
figure(2);
stem(gas_prices, ng_profits);
% Add title and x axis label
title('Annual Profits of Natural gas due to NG prices: 20-75E/MWh');
xlabel('Natural Gas Prices');
% Use the axis handles to set the labels of the y axes
ylabel('Natural Gas Profits');

%% ----- 3o diagramma Annual Amount of Natural Gas per price
% Create the data for the plots
TBdata3 = [20 totalAmountNG2(1) ; 25 totalAmountNG2(2) ; 30 totalAmountNG2(3) ; 35
totalAmountNG2(4) ;
40 totalAmountNG2(5) ; 45 totalAmountNG2(6) ; 50 totalAmountNG2(7) ; 55
totalAmountNG2(8) ;
60 totalAmountNG2(9) ; 65 totalAmountNG2(10) ; 70 totalAmountNG2(11) ; 75
totalAmountNG2(12) ];
gas_prices = TBdata3(:,1);
ng_amounts = TBdata3(:,2);
figure(3);
stem(gas_prices, ng_amounts);
% Add title and x axis label
title('Annual amounts of Natural Gas due to NG prices: 20-75E/MWh');
xlabel('Natural Gas Prices');
% Use the axis handles to set the labels of the y axes
ylabel('Natural Gas Amounts');

%% ----- 4o diagramma Profit Electricity Hours
% Create the data for the plots
TBdata4 = [20 totalProfitElec(1) ; 25 totalProfitElec(2) ; 30 totalProfitElec(3) ; 35 totalProfitElec(4) ;
40 totalProfitElec(5) ; 45 totalProfitElec(6) ; 50 totalProfitElec(7) ; 55 totalProfitElec(8) ;
60 totalProfitElec(9) ; 65 totalProfitElec(10) ; 70 totalProfitElec(11) ; 75 totalProfitElec(12) ];
gas_prices = TBdata4(:,1);
prof_elec_hours = TBdata4(:,2);
figure(4);

```

```

stem(gas_prices, prof_elec_hours);

% Add title and x axis label
title('Electricity profits due to NG prices: 20-75E/MWh');
xlabel('Natural Gas Prices');

% Use the axis handles to set the labels of the y axes
ylabel('Electricity Profits');

%% -----5o diagramma Compare different profits

% Create the data for the plots
TBdata = [20 Total_ProfitElec(1,1) Total_ProfitElec(2,1) ; 25 Total_ProfitElec(1,2)
Total_ProfitElec(2,2); 30 Total_ProfitElec(1,3) Total_ProfitElec(2,3); 35 Total_ProfitElec(1,4)
Total_ProfitElec(2,4);
40 Total_ProfitElec(1,5) Total_ProfitElec(2,5) ; 45 Total_ProfitElec(1,6) Total_ProfitElec(2,6);
50 Total_ProfitElec(1,7) Total_ProfitElec(2,7); 55 Total_ProfitElec(1,8) Total_ProfitElec(2,8) ;
60 Total_ProfitElec(1,9) Total_ProfitElec(2,9) ; 65 Total_ProfitElec(1,10)
Total_ProfitElec(2,10) ; 70 Total_ProfitElec(1,11) Total_ProfitElec(2,11) ; 75 Total_ProfitElec(1,12)
Total_ProfitElec(2,12) ];

gas_prices = TBdata(:,1);
total_profNG = TBdata(:,2);
total_profEl = TBdata(:,3);

figure(5);

% stem(gas_prices, total_prof);

[ax, h1, h2] = plotyy(gas_prices, total_profNG, gas_prices, total_profEl, 'bar', 'bar');

% Change the bar colors to light gray
set(h1, 'FaceColor', [0.8, 0.8, 0.8]);

% Chnage the thickness of the line
set(h2, 'LineWidth', 2);

% Add title and x axis label
title('Annual Profit');
xlabel('Natural Gas Prices');

% Use the axis handles to set the labels of the y axes
set(get(ax(1), 'Ylabel'), 'String', 'Electricity profit');
set(get(ax(2), 'Ylabel'), 'String', 'natural Gas profit');

% % Add title and x axis label
% title('Electricity profits due to NG prices: 20-75E/MWh');
% xlabel('Natural Gas Prices');

% % Use the axis handles to set the labels of the y axes

```

```

% ylabel('Electricity Profits');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Stavriani Rogkakou% %Konstantinos Karyotakis%
%AM: 2012019019% %A.M: 2012019035%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
clear all;
close all;
clc;
% load count.dat;
%% arxikopoihseis timwn
%tha xrhsimopoihsw thn xlsread kai thn xls write gia na kanw export
A=xlsread('SMPP.xlsx'); % ston A pinaka fortwnw to arxeio tou excel me tis times tou oriakou
sythmatos
final=zeros(length(A(:,1)),length(A(1,:))); % ftiaxnw enan adeio pinaka me mhdenika wste na einai o
telikos mou pou thakanw export kai thelw na einai idiou mhkous gt tha kanw toses sugkriseis
B=zeros(length(A)); % pinakas mias sthlhs olwn twn timwn OTS
Diff=zeros(length(B),1);
myOfferValue = 99.45;
teleutaio=zeros(length(A));
%%arxika tha zhteitai apo to xrhsth na dwsei thn timh ths feed in tariff!
%%An kai einai dedomenh me nomologia kathe fora mporei na allazei kai kalo
%%tha htan na einai flexible ws pros ton xrhsth!!
disp('The program needs the natural gas price in Euros/ Mwh . ');
priceNGMWh=43.41;
BGtoh=595;
BGtoMWhElec=595;
calor_BG=6.5;
calor_NG=11.5;
priceTransport_EurotoMWh=0.008919;
specificationsBG_Plant=2831.6846;

%% Katagrafh dedomenwn
% priceNGMWh=input('Please enter the natural gas price for the plant!');
% % de xreiazetai mallon an dinetai h timh agoras ths EPA apo DEPA kathws tha ginetai ektenhs
sugkrish sto for-loop price_NG=input('Please enter the natural gas price that authority EPA buys
natural gas ! (Euros/MWh )');
% BGtoh=input('Please give the flow rate of raw biogas for 1 hour. (Nm3/h )!');

```



```

if (price_elec>A(i))
    % sumferei na dwsei sthn EPA h BEAL anavathmismeno aerio
    totalAmountNG2(i)=NGtoh;
    totalAmountBG(i)=BGtoh;
    totalProfitBG(i)=totalAmountBG(i)*priceInject_UpBG;
    % priceNGcubic2(i)=natural2(i)*(calor_NG/1000);
    totalProfitNG(i)=totalProfitBG(i)-(cost_processBG* totalAmountBG(i));
    totalAmountElec(i)=0;
    totalProfitElec(i)=0;
else
    totalAmountElec(i)=1;
    totalProfitElec(i)=A(i);
    totalAmountNG2(i)=0;
    totalAmountBG(i)=0;
    totalProfitBG(i)=0;
    % priceNGcubic2(i)=natural2(i)*(calor_NG/1000);
    totalProfitNG(i)=0;

    %prepei na kserw poso einai to xroniko diasthma pou meletaw gia na
    %kserw pws tha ypologisw me tis wres thn posothta tou fusikou
    %aeriou pou thelw
    end
end

% %
% % %zero padding the array of annual electricity amounts
% % New_Matrix_AmountElec = wextend(length(natural2)) ;
% % New_Matrix_ProfitElec = zeros(length(natural2)) ;
% concatenate arrays of different sources profits for extra comparison
Total_ProfitElec =vertcat ( totalProfitNG, totalProfitElec);
%% total sum profit of electricity and natural gas
SumtotalProfitElec=0;
SumtotalProfitNG=0;
SumtotalAmountElec=0;
for i=1:length(A)
    SumtotalProfitElec= SumtotalProfitElec+totalProfitElec(i);
    SumtotalProfitNG= SumtotalProfitNG+totalProfitNG(i);
    SumtotalAmountElec=SumtotalAmountElec + totalAmountElec(i);

```

```

end

% %Tha prepei na ftiaksw enan pinaka o opoios mea sto for-loop tha periexei vasika, tha topothetei gia
kathe

% %timh fusikou aeriou poses wres panw ston xrono me sumferei na dinw sto diktuo fusikou aeriou
kai poses

% %wres me sumferei na dinw ston hlektrismo

%%%%%%%%%%%%%%

% % to parakatw for-loop einai gia na valw se mia ssthlh oles tis

%%times OTS

% k=1;

% sum_all=0;

% for j=1:length(A)

%

%         B(k)=A(j);

%         k=k+1;

%         sum_all=sum_all+A(j);

% end

BB=mean(B);

count_thet=0; %metraw pote einai megalyterh h OTS apo ta 99.45

count_arn=0; %metraw pote einai mikroterh h OTS apo ta 99.45

for x=1:length(A)

    final(x)=A(x)-99.45;

    if (final(x)<0)

        count_arn=count_arn+1;

    else

        count_thet=count_thet+1;

    end

end

end

% figure(1);

% stem(totalAmountElec, A);

% % dateaxis('x', 16 , '00:00 AM');

%

% % Add title and x axis label

% title('Electricity hours due to NG prices: 20-75E/MWh');

% xlabel('Natural Gas Prices');

%

% % Use the axis handles to set the labels of the y axes

```

```

% ylabel('Electricity Hours');

% ----- 1o diagramma Electricity amount

% Create the data for the plots

TBdata1 = [totalAmountElec(1) totalAmountElec(2) totalAmountElec(3) totalAmountElec(4)
            totalAmountElec(5) totalAmountElec(6) totalAmountElec(7) totalAmountElec(8)
            totalAmountElec(9)  totalAmountElec(10)  totalAmountElec(11)  totalAmountElec(12)
            totalAmountElec(13) totalAmountElec(14) totalAmountElec(15) totalAmountElec(16)
            totalAmountElec(17) totalAmountElec(18) totalAmountElec(19) totalAmountElec(20)
            totalAmountElec(21) totalAmountElec(22) totalAmountElec(23) totalAmountElec(24)];

TBdata11 = [1 2 3 4
            5 6 7 8
            9 10 11 12
            13 14 15 16
            17 18 19 20
            21 22 23 24];

% TBdata13 = [0 1 2 3
%            4 5 6 7
%            8 9 10 11
%            12 13 14 15
%            16 17 18 19
%            20 21 22 23];

% TBdata12 = ['00:00 AM' '01:00 AM' '02:00 AM' '03:00 AM'
%            '04:00 AM' '05:00 AM' '06:00 AM' '07:00 AM'
%            '08:00 AM' '09:00 AM' '10:00 AM' '11:00 AM'
%            '12:00 AM' '13:00 AM' '14:00 AM' '15:00 AM'
%            '16:00 AM' '17:00 AM' '18:00 AM' '19:00 AM'
%            '20:00 AM' '21:00 AM' '22:00 AM' '23:00 AM'];

elec_amounts = TBdata1;
elec_hours = TBdata11;

figure(1);
stem(elec_hours,elec_amounts);

% dateaxis('x', 16 , '00:00 AM');

% Add title and x axis label
title('Electricity amount per day');
xlabel(' Time(Hours)');

% Use the axis handles to set the labels of the y axes

```



```

ylabel('Electricity Amount');

% %% ----- 2o diagramma Annual profit of Natural Gas per
hour

%

% % Create the data for the plots
TBdata2 = [ totalProfitNG(1) totalProfitNG(2) totalProfitNG(3) totalProfitNG(4)
            totalProfitNG(5) totalProfitNG(6) totalProfitNG(7) totalProfitNG(8)
            totalProfitNG(9) totalProfitNG(10) totalProfitNG(11) totalProfitNG(12)
            totalProfitNG(13) totalProfitNG(14) totalProfitNG(15) totalProfitNG(16)
            totalProfitNG(17) totalProfitNG(18) totalProfitNG(19) totalProfitNG(20)
            totalProfitNG(21) totalProfitNG(22) totalProfitNG(23) totalProfitNG(24)];

TBdata21 = [1 2 3 4
            5 6 7 8
            9 10 11 12
            13 14 15 16
            17 18 19 20
            21 22 23 24];

% ng_profits = TBdata2(:,1);
% elec_hours = TBdata21(:,2);
ng_profits = TBdata2;
elec_hours = TBdata21;

figure(2);
stem(elec_hours, ng_profits);

% Add title and x axis label
title('Profits of Natural gas per day');
xlabel(' Time(Hours)');

% Use the axis handles to set the labels of the y axes
ylabel('Natural Gas Profits');

% %% ----- 3o diagramma Annual Amount of Natural Gas
per day

%

% % Create the data for the plots
TBdata3 = [ totalAmountNG2(1) totalAmountNG2(2) totalAmountNG2(3) totalAmountNG2(4)
            totalAmountNG2(5) totalAmountNG2(6) totalAmountNG2(7) totalAmountNG2(8)
            totalAmountNG2(9) totalAmountNG2(10) totalAmountNG2(11) totalAmountNG2(12)
            totalAmountNG2(13) totalAmountNG2(14) totalAmountNG2(15) totalAmountNG2(16)
            totalAmountNG2(17) totalAmountNG2(18) totalAmountNG2(19) totalAmountNG2(20)

```

```

totalAmountNG2(21) totalAmountNG2(22) totalAmountNG2(23) totalAmountNG2(24)];
TBdata31 = [1 2 3 4
            5 6 7 8
            9 10 11 12
            13 14 15 16
            17 18 19 20
            21 22 23 24];
hours = TBdata31;
ng_amounts = TBdata3;
figure(3);
stem(hours, ng_amounts);
% Add title and x axis label
title('Amounts of Natural Gas per day');
xlabel('Time(Hours)');
% Use the axis handles to set the labels of the y axes
ylabel('Natural Gas Amounts');
% %% ----- 4o diagramma Profit Electricity Hours
% Create the data for the plots
TBdata4 = [totalProfitElec(1) totalProfitElec(2) totalProfitElec(3) totalProfitElec(4)
            totalProfitElec(5) totalProfitElec(6) totalProfitElec(7) totalProfitElec(8)
            totalProfitElec(9) totalProfitElec(10) totalProfitElec(11) totalProfitElec(12)
            totalProfitElec(13) totalProfitElec(14) totalProfitElec(15) totalProfitElec(16)
            totalProfitElec(17) totalProfitElec(18) totalProfitElec(19) totalProfitElec(20)
            totalProfitElec(21) totalProfitElec(22) totalProfitElec(23) totalProfitElec(24)];
TBdata41 = [1 2 3 4
            5 6 7 8
            9 10 11 12
            13 14 15 16
            17 18 19 20
            21 22 23 24];
elec_prof = TBdata4;
hours1 = TBdata41;
figure(4);
stem(hours1, elec_prof);
% Add title and x axis label
title('Electricity profits per day');

```

```
xlabel('Time(hours)');

% Use the axis handles to set the labels of the y axes
ylabel('Electricity Profits');

% %%%%%%%%%%%
% figure(6);

% y=stem(A, totalAmountNG2,'d-');

% strValues = strtrim(cellstr(num2str([ A(:) totalAmountNG2(:)],'%0.3f,%0.3f')));

% text(A,totalAmountNG2,strValues,'VerticalAlignment','bottom');

% % Set the axis limits

% axis([0 1.5 100 450]);

% set(y,'LineWidth',2.4);

% % Add title and axis labels

% title('Fuel consumption curve')

% xlabel('Power (MW)');

% ylabel('Natural Gas (Nm3/h)');

% % Add a legend

% legend('Deutz TBG 620K', 'Location','EastOutside');
```