



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ**

**UNIVERSITY OF PIRAEUS**

**ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών στη:  
Βιομηχανική Διοίκηση & Τεχνολογία  
Κατεύθυνση: Διαχείριση Ενέργειας και Περιβάλλοντος**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
«Παραγωγή Βιομεθανίου από Στερεά  
Απόβλητα»**

**Επιμέλεια:  
Νικολέττα Μανέτα**

**Επιβλέπων Καθηγητής: Δημήτριος Σιδηράς**

**Πειραιάς  
Νοέμβριος 2016**



## **Ευχαριστίες**

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που βοήθησαν στη διεκπεραίωση της.

Κατά κύριο λόγο, οφείλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Δημήτριο Σιδηρά που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα πολύ ενδιαφέρον θέμα

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Αγγελική Σαγάνη, για την πολύτιμη βοήθεια της σχετικά με το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε.

Οφείλω στην οικογένεια μου το μεγαλύτερο ευχαριστώ για την υποστήριξη τους σε κάθε μου επιλογή.

## Περίληψη

Η ανάγκη για τη χρήση εναλλακτικών και ανανεώσιμων καυσίμων έναντι του πετρελαίου και των προϊόντων του, έχει αρχίσει να παίζει ένα πολύ σημαντικό ρόλο στον ανεπτυγμένο κόσμο, τόσο για περιβαλλοντικούς όσο και για οικονομικούς λόγους. Το αντικείμενο της μελέτης αυτής είναι η παραγωγή βιοαερίου με Αναερόβια Χώνευση, το οποίο αναβαθμίζοντας το παράγεται βιομεθάνιο. Η αναβάθμιση αυτή που το μετατρέπει σε βιομεθάνιο, υπό συγκεκριμένες διαδικασίες που μελετώνται στην εργασία αυτή μπορεί να οδηγήσει στην χρήση του αερίου για καύσιμο μεταφορών καθώς και διοχέτευση και σύνδεση με το δίκτυο φυσικού αερίου. Η μελέτη αυτή έχει ως στόχο να αποδείξει τη σπουδαιότητα της παραγωγής και εκμετάλλευσης των δύο αυτών βιοκαυσίμων.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν γίνεται μία πλήρης περιγραφή των τρόπων παραγωγής βιοαερίου, του καθαρισμού του αλλά και των τρόπων αναβάθμισής του. Εν συνεχεία παρουσιάζονται οι προοπτικές εκμετάλλευσης του βιομεθανίου και τα πλεονεκτήματά τους.

Στη συνέχεια της εργασίας, αναλύεται μία μελέτη Μονάδας Ηλεκτροπαραγωγής και ειδικότερα Μονάδας Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας με χρήση βιοαερίου. Με τη βοήθεια του λογισμικού SimaPro εξάγονται συμπεράσματα που αφορούν στην ενέργεια που καταναλώνει μια τέτοια μονάδα αλλά και στο αποτύπωμα της, ενώ γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων, με μία μονάδα αντίστοιχης κατανάλωσης που λειτουργεί με φυσικό αέριο.

Τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν ύστερα από τη μελέτη, καθώς και προοπτικές που αν υλοποιηθούν θα οδηγήσουν σε ακόμη μεγαλύτερο περιβαλλοντικό όφελος.

Λέξεις Κλειδιά: Αστικά Στερεά Απόβλητα, Βιοαέριο, Βιομεθάνιο, Αναερόβια Χώνευση, Μέθοδοι Αναβάθμισης, Έγχυση στο δίκτυο φυσικού αερίου, Καύσιμο οχημάτων, Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα, SimaPro

# Πίνακας περιεχομένων

Κεφάλαιο 1.Εισαγωγή.....	7
Κεφάλαιο 2.Βιομεθάνιο.....	10
2.3.Βιοαέριο στην Ευρώπη και στην Ελλάδα .....	12
Κεφάλαιο 3.Τρόποι Παραγωγής Βιοαερίου .....	15
3.1.Αναερόβια Χώνευση .....	15
3.1.1.Υποστρώματα για Αναερόβια Χώνευση .....	16
3.1.2.Η βιοχημική διεργασία της Αναερόβιας Χώνευσης.....	18
3.1.2.1.Υδρόλυση .....	20
3.1.2.2.Οξεογένεση .....	20
3.1.2.3.Οξικογένεση .....	20
3.1.2.4.Μεθανογένεση.....	21
Κεφάλαιο 4.Καθαρισμός και Αναβάθμιση Βιοαερίου για Παραγωγή Βιομεθανίου.....	22
4.1.1.Νερό .....	23
4.1.2.Υδρόθειο.....	23
4.1.3. Οξυγόνο και άζωτο.....	24
4.1.4. Αμμωνία .....	24
4.1.5. Σιλοξάνες.....	25
4.2.Τεχνολογίες Αναβάθμισης .....	25
4.2.1.Τεχνολογίες Απορρόφησης .....	27
4.2.2.Προσρόφηση: Pressure swing adsorption (PSA) .....	31
4.2.3.Τεχνολογία Μembranών: Διείσδυση αερίου .....	33
4.2.4.Cryogenic Upgrading .....	34
4.2.5.Αναβάθμιση ακατέργαστου SNG.....	35
4.2.6.Γενικά .....	35
Κεφάλαιο 5.Χρήσεις Βιομεθανίου .....	37
5.1.Έγχυση στο Δίκτυο .....	37
5.2.Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας.....	38
5.3.Εφαρμογές Βιομεθανίου ως Καύσιμο .....	38
5.3.2.Επιχειρήματα ενάντια της χρήσης βιομεθανίου ως καύσιμο οχημάτων .....	40
5.4.Χρήση Βιομεθανίου στην Ευρώπη.....	41
5.5.Εν δυνάμει Παραγωγή Βιομεθανίου στην Ελλάδα .....	44
5.6.Οφέλη Χρήσης Βιομεθανίου ως καύσιμο .....	44
5.6.1.Εκπομπές .....	44
5.6.3.Χρησιμοποίηση Αποβλήτων σαν Πρώτη Ύλη.....	46

5.6.4.Ποιότητα Αέρα και Υδάτων.....	48
5.6.5.Θέσεις Εργασίας.....	48
Κεφάλαιο 6. Προβλήματα επένδυσης σε εθνικό επίπεδο.....	49
6.1.Ευαισθητοποίηση & Ενημέρωση.....	49
6.2.Επενδυτικός Κίνδυνος.....	50
6.3.Προώθηση Βιομεθανίου ως καύσιμο.....	51
6.4.Χρηματοδότηση.....	51
Κεφάλαιο 7.Μελέτη Περίπτωσης.....	54
7.1.SimaPro 7.....	54
7.2.Μονάδα Παραγωγής Βιοαερίου.....	54
7.3.Αντικατάσταση Μονάδας Βιοαερίου με Μονάδα Φυσικού Αερίου.....	56
7.3.1.Σύγκριση Μονάδων.....	57
7.3.2.Σύγκριση Καυσίμων.....	59
7.4.Κόστος Μονάδας.....	61
7.5.Κόστος τεχνολογιών Καθαρισμού και Αναβάθμισης σε βιομεθάνιο.....	63
7.6.Έσοδα.....	63
Κεφάλαιο 8.Συμπεράσματα.....	65
Βιβλιογραφία Ξένη.....	68
Βιβλιογραφία Ελληνική.....	70
Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία.....	71

## Κεφάλαιο 1.Εισαγωγή

Η περιβαλλοντική κρίση, η ανάγκη για ενεργειακή αυτάρκεια και απεξάρτηση των κρατών από εισαγόμενα καύσιμα, ιδίως από χώρες με ασταθείς πολιτικές και κοινωνικές καταστάσεις, καθώς και η ανάγκη για αποκεντρωμένη ανάπτυξη και τόνωση της τοπικής απασχόλησης ενισχύει την αντίληψη για αλλαγή και κυρίως βελτίωση του σημερινού παγκόσμιου ενεργειακού σκηνικού. Το γεγονός αυτό προκάλεσε την επιτακτική ανάγκη διεξαγωγής ερευνών και αύξησε το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας σχετικά με την πράσινη ανάπτυξη και τη διαχείριση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ).

Τις τελευταίες δεκαετίες, η ευρωπαϊκή κοινότητα έχει ξεκινήσει έναν μακρύ δρόμο για την οριστική ανεξαρτητοποίησή της από τις ορυκτές πηγές ενέργειας και την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών και ενεργειακών προβλημάτων της. Στο πλαίσιο αυτό, σχεδιάστηκαν στρατηγικές αντιμετώπισης των πολυδιάστατων προβλημάτων που δημιουργούσε το αρνητικό ισοζύγιο ενεργειακών πόρων και κατανάλωσης. Η Ελλάδα, ακολουθώντας τις οδηγίες και τους κανονισμούς της Ευρωπαϊκής Ένωσης, έχει κάνει την τελευταία δεκαετία σημαντικά βήματα στην αξιοποίηση των ΑΠΕ, τα οποία, όμως δεν είναι ακόμα επαρκή, δεδομένων των σημερινών ενεργειακών αναγκών. Παρόλα αυτά, εξαιτίας της εξαιρετικής γεωπολιτικής θέσης της χώρας, του ευνοϊκού κλίματος και της μορφολογίας του εδάφους υπάρχουν πολύ σημαντικές προοπτικές προς την κατεύθυνση αυτή.

Παράλληλα, λόγω της πληθυσμιακής αύξησης, της εκβιομηχάνισης, της αστικοποίησης και της οικονομικής ανάπτυξης, μια τάση σημαντικής αύξησης στην παραγωγή αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ) έχει καταγραφεί σε παγκόσμια κλίμακα. Η διαχείριση και η διάθεση των τεράστιων όγκων αποβλήτων που παράγονται, είναι ένα πολυσύνθετο και πολυδιάστατο περιβαλλοντικό θέμα, το οποίο συνεχίζει να αποτελεί μεγάλη πρόκληση για τις κυβερνήσεις. Τα ΑΣΑ παράγονται σε αυξανόμενες ποσότητες ανάλογα με την αύξηση του πληθυσμού και της αστικοποίησης και μεγάλο ποσοστό τους καταλήγει στους χώρους υγειονομικής ταφής (ΧΥΤΑ). Συνεπώς, απαιτείται ολοένα και περισσότερη γη για την τελική διάθεση αυτών των στερεών αποβλήτων γεγονός που απαιτεί καινοτόμες λύσεις για να ελαχιστοποιηθούν οι επιπτώσεις τους στην ποιότητα του περιβάλλοντος και της

δημόσιας υγείας. Οι ΧΥΤΑ περιέχουν ένα μεγάλο ποσοστό (πάνω από 60%) βιοαποδομήσιμων υλικών και παρουσιάζουν αυξανόμενες προκλήσεις διαχείρισης, ενώ ο χώρος για διάθεση μειώνεται. Στην περίπτωση αυτή, η υγειονομική ταφή δεν είναι πλέον μια επιλογή για τη διαχείριση των αποβλήτων, λόγω των αρνητικών επιπτώσεων που επιφέρει στο περιβάλλον η συνεχής αύξηση των ΑΣΑ, αλλά και στις περιοχές όπου ο χώρος και το έδαφος είναι πολύτιμα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορους σκοπούς. Η συλλογή και η μεταφορά των ΑΣΑ στα ΧΥΤΑ αντιπροσωπεύουν μια μείζονα πρόκληση, δεδομένου ότι είναι δαπανηρές διαδικασίες και τα απόβλητα στους χώρους εκπέμπουν συνεχώς μεθάνιο το οποίο είναι αέριο του θερμοκηπίου (GHG) (N. Mojapelo et al.).

Οι παραδοσιακές μέθοδοι διάθεσης και σταθεροποίησης των αποβλήτων, όπως είναι οι χωματερές, οι ΧΥΤΑ και η αποτέφρωση, στις μέρες μας έχουν γίνει λιγότερο ελκυστικές εξαιτίας του αυξημένου κόστους και των ανάλογων περιβαλλοντικών ανησυχιών και προβλημάτων που προκύπτουν. Σε αντίθεση, η ανάκτηση ενεργειακών και θρεπτικών πηγών από τα απόβλητα, με τη χρήση βιολογικών μεθόδων, έχει επιφέρει τεράστια οφέλη και αποτελεί μια πολύ σημαντική στρατηγική στη διαχείριση των αποβλήτων.

Η ενίσχυση της συνεργασίας εντός και μεταξύ εφοδιαστικής αλυσίδας μπορεί να μειώσει τόσο τα κόστη όσο και τα απόβλητα και την περιβαλλοντική επιβάρυνση. Η βιομηχανία απορριμμάτων και φυσικών πόρων, ως σύνολο, αξιοποιούν την αξία που εμπεριέχεται στα απορρίμματα και ανακτούν όλο και περισσότερη από αυτά. Πάντα όμως υπάρχει ανάγκη για περισσότερες και νέες δράσεις, όπως είναι για παράδειγμα η παραγωγή βιοαερίου και βιομεθανίου από απόβλητα για παραγωγή ενέργειας ή για καύσιμα (Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος, 2014).

Στα πλαίσια αυτά, των σχεδίων δράσης για την κάλυψη των στόχων των ΑΠΕ με τη σύγχρονη μείωση της απόθεσης αστικών απορριμμάτων, η παραγωγή βιοαερίου και η αναβάθμισή του για την παραγωγή βιομεθανίου είναι δύο από τις βέλτιστες τεχνικές που πρέπει να ληφθούν υπόψη και να υλοποιηθούν παγκοσμίως. Το βιοαέριο είναι ένας δευτερεύοντας φορέας ενέργειας που μπορεί να παραχθεί από πολλά διαφορετικά είδη οργανικών υλικών μέσω είτε μιας χημικής διαδικασίας (πέψη) ή μίας θερμικής διεργασίας (αεριοποίηση). Το τελευταίο είναι ακόμα στο στάδιο της



έρευνας. Το βιοαέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας. Εναλλακτικά, μπορεί να αναβαθμιστεί σε βιομεθάνιο και να εγχυθεί στο δίκτυο φυσικού αερίου, για να χρησιμοποιηθεί είτε με τη μορφή θερμότητας είτε με τη μορφή καυσίμου. (Floris van Foreest, 2012)

## Κεφάλαιο 2.Βιομεθάνιο

### 2.1.Γενικά

Το Βιομεθάνιο ορίζεται ως το μεθάνιο που παράγεται από βιομάζα (ISO 16559: 2014), με ιδιότητες κοντά στο φυσικό αέριο μέσω δύο διαφορετικών διεργασιών: την αναερόβια ζύμωση και τη θερμοχημική αεριοποίηση. Όταν παράγεται με αεριοποίηση, το αέριο προϊόν είναι πλούσιο σε μεθάνιο και συνήθως αναφέρεται ως biobased συνθετικό φυσικό αέριο (bio-SNG). Οι πρώτες ύλες για τη διαδικασία αυτή είναι υπολείμματα ξύλου και βιομηχανικά απορρίμματα τροφίμων. Ένας αποτελεσματικότερος τρόπος για την παραγωγή του είναι να χρησιμοποιηθεί μία βιολογική διεργασία, δηλαδή αναερόβια χώνευση που διεξάγεται σε έναν αντιδραστήρα με χρήση πρώτης ύλης όπως το οργανικό κλάσμα των αστικών απορριμμάτων, ενεργειακές καλλιέργειες ή κοπριά των ζώων και έχει ως προϊόν το βιοαέριο. Εξαιτίας του μεγάλου φάσματος των πρώτων υλών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιομεθανίου, το δυναμικό του θα μπορούσε να είναι πολύ υψηλό. Οι δύο τεχνικές είναι ουσιαστικά ίδιες από χημικής απόψεως και πρέπει να πληρούν τις ίδιες τεχνικές προδιαγραφές για να εγχέονται σε αγωγούς φυσικού αερίου. Η αεριοποίηση είναι λιγότερο δημοφιλής τεχνολογία σε σχέση με την Αναερόβια Χώνευση (IEA Bioenergy, 2014).

Λόγω του χαμηλού ποσοστού του μεθανίου, η χρήση του βιοαερίου είναι περιορισμένη και δεν μπορεί για παράδειγμα να αντικαταστήσει το φυσικό αέριο. Ωστόσο, μέσα από την αναβάθμιση του βιοαερίου, καθαρισμένο μεθάνιο μπορεί να εξαχθεί. Το μεθάνιο που λαμβάνεται από την διαδικασία αναβάθμισης ονομάζεται βιομεθάνιο, το οποίο έχει τις ίδιες χρήσεις με το φυσικό αέριο (Bingqing Wu et al, 2015).

Η Αναερόβια χώνευση και η αναβάθμιση βιοαερίου έχουν αποδειχθεί με επιτυχία σε παγκόσμιο επίπεδο. Το βιομεθάνιο μπορεί να μεταφέρεται και να αποθηκεύεται στις εγκαταστάσεις και τις υποδομές που διατίθενται για το φυσικό αέριο, ωστόσο κάποιος βαθμός πίεσης είναι απαραίτητος για την έγχυση στους αγωγούς. (IEA Bioenergy, 2014).



Σχήμα 1. Εγκαταστάσεις Αναερόβιας Χώνευσης και Αναβάθμισης Βιοαερίου, Cape Town (<http://www.fge.co>)



Σχήμα 2. Εγκαταστάσεις Αεριοποίησης, Σουηδία (<http://biomassmagazine.com>)

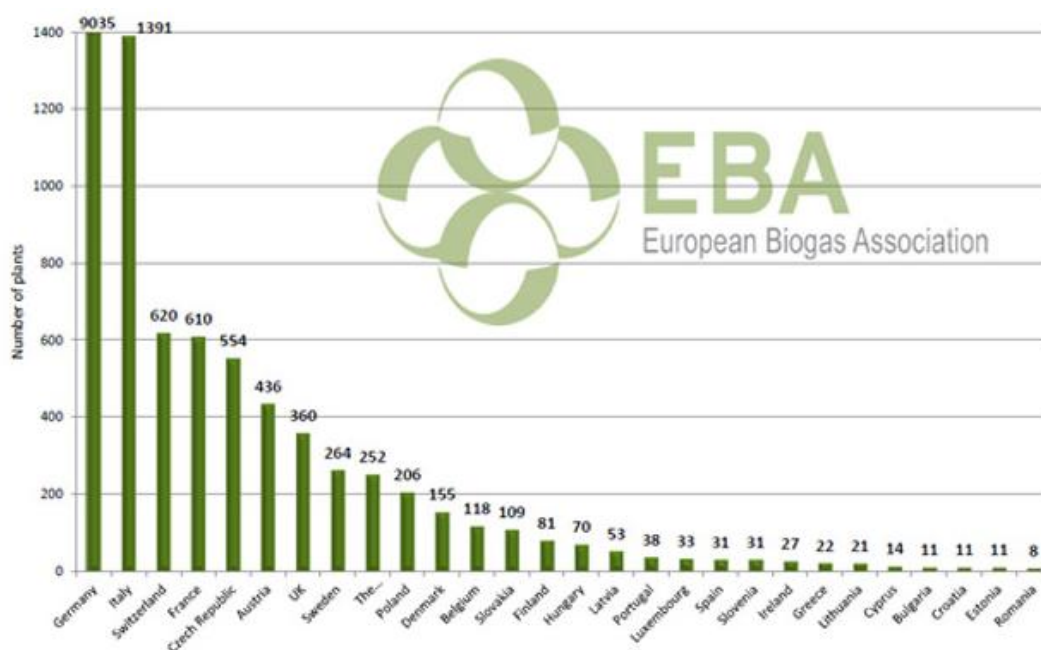
## 2.2. Βιομεθάνιο από Βιοαέριο

Το Βιοαέριο είναι το καύσιμο αέριο που παράγεται από Βιομάζα ή βιοαποδομήσιμα απόβλητα, το οποίο μπορεί να καθαριστεί και να αναβαθμιστεί σε ποιότητα φυσικού αερίου, για χρήση ως Βιομεθάνιο. Τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα είναι μια εξαιρετική πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαερίου. Το βιοαέριο, που παράγεται από την

αναερόβια χώνευση έχει μια σειρά από πιθανές χρήσεις σε μηχανές εσωτερικής καύσης, σε συστήματα με αεριοστροβίλους και γεννήτριες ηλεκτροπαραγωγής, παραγωγής θερμότητας σε εμπορικές και οικιακές χρήσεις, ενώ με την κατάλληλη επεξεργασία και αναβάθμιση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως καύσιμο μεταφορών, με ιδιαίτερα ανταγωνιστική τιμή.

### 2.3.Βιοαέριο στην Ευρώπη και στην Ελλάδα

Υπάρχουν σήμερα περισσότερες από 13800 μονάδες βιοαερίου στην Ευρώπη, ενώ η Γερμανία εμφανίζει τη μεγαλύτερη παραγωγή. Το 2007 περίπου 5,35 ΜΤΠΠ βιοαερίου παρήχθησαν για ενεργειακούς σκοπούς στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ενώ το συνολικό δυναμικό για το 2010 προσδιορίζεται σε 8,6 ΜΤΠΠ (Jakub Niesner et al., 2013).



Διάγραμμα 1. Εγκαταστάσεις Βιοαερίου στην Ευρώπη (<http://european-biogas.eu>)

Η αγορά στη Ελλάδα δεν είναι ανεπτυγμένη ιδιαίτερα σε σχέση με τις υπόλοιπες Ευρωπαϊκές αγορές. Ωστόσο, το Ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο πιέζει προς αυτήν την κατεύθυνση, συνεπώς έως το 2020 αναμένεται αύξηση των εγκαταστάσεων παραγωγής βιοαερίου με χρήση βιοαποβλήτων ως υπόστρωμα. Σύμφωνα με το Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις ΑΠΕ, ο στόχος του 20% θα επιτευχθεί μέσω του συνδυασμού μέτρων για την ενεργειακή απόδοση, καθώς και για την αυξημένη

διείσδυση των τεχνολογιών ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, παροχή θέρμανσης και των μεταφορών. Η συνεισφορά (εγκατεστημένη ισχύς, ακαθάριστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας) που αναμένεται από το βιοαέριο στην Ελλάδα για την επίτευξη των δεσμευτικών στόχων του έτους 2020 έχει υπολογιστεί στα 210MW (895GWh).

Στην Ελλάδα το 2012 λειτουργούσαν 22 μονάδες βιοαερίου, ενώ εγκατεστημένη ισχύς ξεπερνούσε τα 45 MW. Οι σημαντικότερες μονάδες στην Ελλάδα είναι στο ΧΥΤΑ Άνω Λιοσίων, όπου έχει γίνει μία σημαντική επένδυση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με αξιοποίηση του παραγόμενου βιοαερίου σε Μηχανές Εσωτερικής Καύσης, εγκατεστημένης ισχύος 23,5 MWe. στην Ψυττάλεια για την ενεργειακή αξιοποίηση της παραγόμενης ιλύος από τη μονάδα επεξεργασίας λυμάτων, με συμπαραγωγή, εγκατεστημένης ισχύος 11,4 MWe αλλά και στους Ταγαράδες με μικρότερη δυναμικότητα 5 MWe (ΚΑΠΕ, 2010).

Η διαχείριση και η ενεργειακή των οργανικών αποβλήτων είναι ένα σοβαρό πρόβλημα της Ελλάδας, καθώς ετησίως έχουμε περίπου 18 εκατ. τόνους αδιάθετα οργανικά απόβλητα (δεν συνυπολογίζονται οργανικά αστικά και λύματα βιολογικών καθαρισμών), τα οποία δημιουργούν περιβαλλοντικά προβλήματα. Με την ενεργειακή αξιοποίηση αυτών των αποβλήτων, με τη διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης, μπορεί να παραχθεί βιοαέριο ικανό να τροφοδοτήσει μονάδες ηλεκτροπαραγωγής συνολικής εγκατεστημένης ισχύος περίπου 350 MW (Ρογκάκου, 2012).

#### 2.4. Δυναμικό του Βιοαερίου στην Ευρώπη

Οι υπάρχουσες πηγές βιομάζας στον πλανήτη, δίνουν μία εικόνα για το παγκόσμιο δυναμικό παραγωγής βιοαερίου. Το δυναμικό αυτό εκτιμήθηκε από διάφορους ειδικούς 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 ΜΤΙΠ που ήταν το 2004 σε 220 ΜΤΙΠ το 2020.

Αξίζει να αναφερθεί ότι σύμφωνα με το Γερμανικό Ινστιτούτο για την Ενέργεια και το Περιβάλλον, το δυναμικό του βιοαερίου στην Ευρώπη είναι πολύ υψηλό, τόσο που είναι δυνατό να αντικαταστήσει τη συνολική κατανάλωση φυσικού αερίου, μέσω της έγχυσης βιομεθανίου στο δίκτυο του φυσικού αερίου (Teodorita Al Seadi et al., 2008).

## Κεφάλαιο 3. Τρόποι Παραγωγής Βιοαερίου

### 3.1. Αναερόβια Χώνευση

Κατά την Αναερόβια Χώνευση, βιομάζα μετατρέπεται σε βιοαέριο από μικροοργανισμούς απουσία οξυγόνου. Η διεργασία της Αναερόβιας Χώνευσης παράγει βιοαέριο, και πραγματοποιείται σε ΧΥΤΑ, ενώ η επιτάχυνση της απελευθέρωσης του μπορεί να επιτευχθεί σε ειδικούς βιοαντιδραστήρες υπό ελεγχόμενες συνθήκες (Browne James D., 2014).

Το επιθυμητό συστατικό είναι το μεθάνιο, αλλά η ακριβής σύσταση του βιοαερίου ποικίλει ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη πρώτη ύλη για την παραγωγή του και άλλες παραμέτρους, όπως η θερμοκρασία και η οξύτητα του υποστρώματος.

Πίνακας 1. Σύσταση Βιοαερίου (<http://www.dvgw.de>), (Bingqing Wu et al, 2015)

Συστατικό	Σύμβολο	Βιοαέριο
Μεθάνιο	CH <sub>4</sub>	55-70%
Διοξείδιο άνθρακα	CO <sub>2</sub>	30-45%
Άζωτο	N <sub>2</sub>	<2%
Οξυγόνο	O <sub>2</sub>	<0,5%
Υδρόθειο	H <sub>2</sub> S	0-0,5%
Υδρογονάνθρακες	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	<1%
Νερό	H <sub>2</sub> O	1-5%
Αμμωνία	NH <sub>3</sub>	0-0,5%
Σιλοξάνες	SiO	0-50 mg/m <sup>3</sup>
Θερμογόνος δύναμη	HS,M	6-7,5 kWh/m <sup>3</sup>
Wobbe index	HS,M	6-11 kWh/m <sup>3</sup>

Ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα ενός συστήματος αναερόβιας επεξεργασίας είναι ότι μπορεί να παράγει περισσότερη ενέργεια από ό, τι απαιτείται για τη λειτουργία υπό μορφή αερίου μεθανίου.

Συγχρόνως, η αφαίρεση του οργανικού μέρους από το ρεύμα των αποβλήτων αυξάνει την απόδοση της μετατροπής ενέργειας κατά την αποτέφρωση των εναπομενόντων αποβλήτων, αλλά και τη βιοχημική σταθερότητα στους χώρους εναπόθεσης των απορριμμάτων. Επιπρόσθετα με την παραγωγή βιοαερίου η διεργασία της Αναερόβιας Χώνευσης παράγει επίσης κομπόστ (το αποσυντεθειμένο υπόστρωμα,

επακόλουθο της παραγωγής του βιοαερίου) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε γεωργικές εφαρμογές σαν ένα φυσικό εδαφοβελτιωτικό, αντισταθμίζοντας το κόστος των τεχνητών λιπασμάτων.

Το βιοαέριο που παράγεται κατά τη διάρκεια της Αναερόβιας Χώνευσης απομακρύνεται από το χωνευτή και οδηγείται σε περαιτέρω επεξεργασία και μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας για την παραγωγή θερμότητας ή ηλεκτρισμού ή μπορεί να αποθηκευτεί.

Σχεδόν σε όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχει καθιερωθεί και εφαρμόζεται από αρκετά χρόνια η μέθοδος της αναερόβιας χώνευσης για τη διαχείριση των κτηνοτροφικών και γεωργικών αποβλήτων, η οποία πληροί τους θεσμοθετημένους περιβαλλοντικούς όρους, αλλά επίσης είναι μια λύση οικονομικά εφικτή λόγω των παραγόμενων προϊόντων υψηλής αξίας. Η διαλογή στην πηγή των απορριμμάτων είναι μια διαδικασία η οποία θα αποφέρει ακόμη μεγαλύτερη παραγωγή βιοαερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση, καθώς είναι ένα εξαιρετικό υπόστρωμα με υψηλό δυναμικό.

### 3.1.1. Υποστρώματα για Αναερόβια Χώνευση

Γενικά, όλα τα είδη βιομάζας μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υποστρώματα αρκεί να περιέχουν υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λίπη, κυτταρίνη και ημικυτταρίνη ως τα κύρια συστατικά τους (<http://bisypplan.bioenarea.eu>).

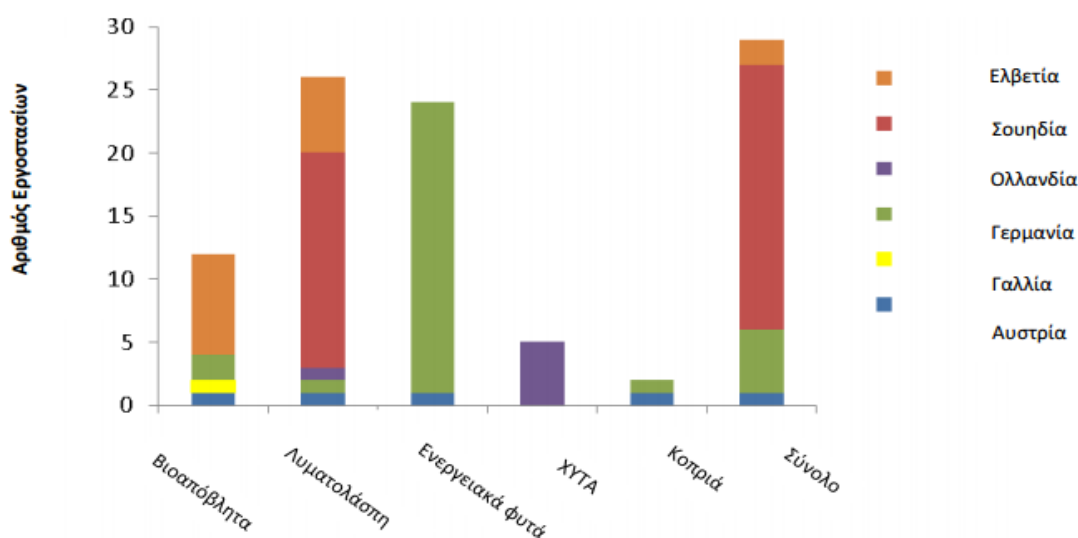
Μια πρόσφατη τροποποίηση της οδηγίας για τις ΑΠΕ (το 10% της χρήσης ενέργειας στον τομέα των μεταφορών θα πρέπει να προέρχεται από ΑΠΕ έως το 2020) προτείνει τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς από καλλιέργειες τροφίμων να περιοριστούν στο 7% της ενέργειας στις μεταφορές. Το έλλειμμα αυτό του 3% πρέπει να καλυφθεί από τα υποστρώματα βιοκαυσίμων δεύτερης και τρίτης γενιάς, όπως το βιομεθάνιο (European C, 2012.)

Μια ανησυχία για την αξιολόγηση του δυναμικού του βιοαερίου σε μια συγκεκριμένη χώρα είναι ότι οι ερευνητές μπορεί να εφαρμόσουν γενικές τιμές από τη βιβλιογραφία. Αυτό δεν είναι ορθό, καθώς οι ποσότητες υποστρωμάτων και η παραγωγή βιοαερίου διαφέρουν ανάλογα με τη χώρα. Τα απόβλητα τροφίμων από



την Ιρλανδία μπορεί να διαφέρουν από τα απόβλητα τροφίμων από τη Γαλλία ή τη Γερμανία, λόγω των διαφορετικών τροφών και του συνυπολογισμού ή όχι των αποβλήτων.

Στο Διάγραμμα 2 παρουσιάζεται ο αριθμός των εργοστασίων που υφίστανται στις πιο ανεπτυγμένες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης στον τομέα του βιοαερίου, ανά είδος υποστρώματος που χρησιμοποιείται:



Διάγραμμα 2. Συνήθη υποστρώματα σε χώρες της ΕΕ (<http://biogasmax.co.uk>)

Τα υποστρώματα των βιοκαυσίμων διαχωρίζονται σε τρεις ομάδες ανάλογα με την προέλευση και τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά τους, σε πρώτη, δεύτερης και τρίτης γενιάς.

- **Υποστρώματα 1ης γενιάς**

Τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς μειονεκτούν καθώς προέρχονται από ύλες οι οποίες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή τροφίμων (ενεργειακές καλλιέργειες) και έχουν σαν πρώτη ύλη σπόρους δημητριακών, ελαιούχους σπόρους, κόκκους και σάκχαρα. Αυτά μπορεί να είναι: τεύτλα, καλαμπόκι, καλλιέργειες δημητριακών, ελαιοκράμβη, πατάτες και γογγύλια.

- **Υποστρώματα 2ης γενιάς**

Τα υποστρώματα δεύτερης γενιάς χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες.

Η πρώτη κατηγορία είναι λιγνοκυτταρινούχα υλικά τα οποία δεν χρησιμοποιούν τη γη για την παραγωγή τροφίμων. Όλα τα λιγνοκυτταρινούχα υποστρώματα πληρούν τις προϋποθέσεις για τη συμβολή στον στόχο των ΑΠΕ για τις μεταφορές ως το 2020. Οι πρώτες ύλες είναι φυτά πλούσια σε κυτταρίνη, όπως ο γλυκός σόργος, αλλά και γεωργικά παραπροϊόντα όπως άχυρα, φύλλα, φρέσκο γρασίδι και φρέσκο αραβόσιτο.

Η δεύτερη κατηγορία είναι τα γεωργικά απόβλητα, όπως κοπριά βοοειδών, πουλερικών και χοίρων.

Η τρίτη κατηγορία είναι απόβλητα επεξεργασίας τροφίμων, από εργοστάσιο επεξεργασίας γαλακτοκομικών, από επεξεργασία λυμάτων, απόβλητα ενεργού ιλύος από λεκάνη αερισμού ή από σφαγεία τα αχώνευτα υπολείμματα από τα ζώα και μέρος των αποβλήτων επεξεργασίας από τη σφαγή. Παράλληλα, μπορεί να είναι εμπορικά απόβλητα όπως απόβλητα αρτοποιείων κλπ.

Τέλος, η τέταρτη κατηγορία για τα υποστρώματα δεύτερης γενιάς είναι τα απόβλητα τροφίμων, που περιλαμβάνουν τα αγροτικά και τα αστικά από κυλικεία και εστιατόρια, από κέντρα διαλογής, οικιακά απόβλητα τροφίμων, χρησιμοποιημένα μαγειρικά έλαια κλπ.

- **Υποστρώματα 3ης γενιάς**

Τα υποστρώματα τρίτης γενιάς έχουν ταξινομηθεί ως δύσκολα υποστρώματα, αλλά δεν έχουν καμία απαίτηση γης. Είναι μικροάλγη και μακροάλγη, όπως φύκη, μικροφύκη ή μικρόβια. Κατά την αξιολόγηση των στόχων για τις μεταφορές από ΑΠΕ βρέθηκε ότι το βιομεθάνιο από άλγη πληροί τις προϋποθέσεις. Για τα συστήματα βιοαερίου τρίτης γενιάς δεν έχει διεξαχθεί μεγάλη έρευνα (Eoin Allen et al., 2016).

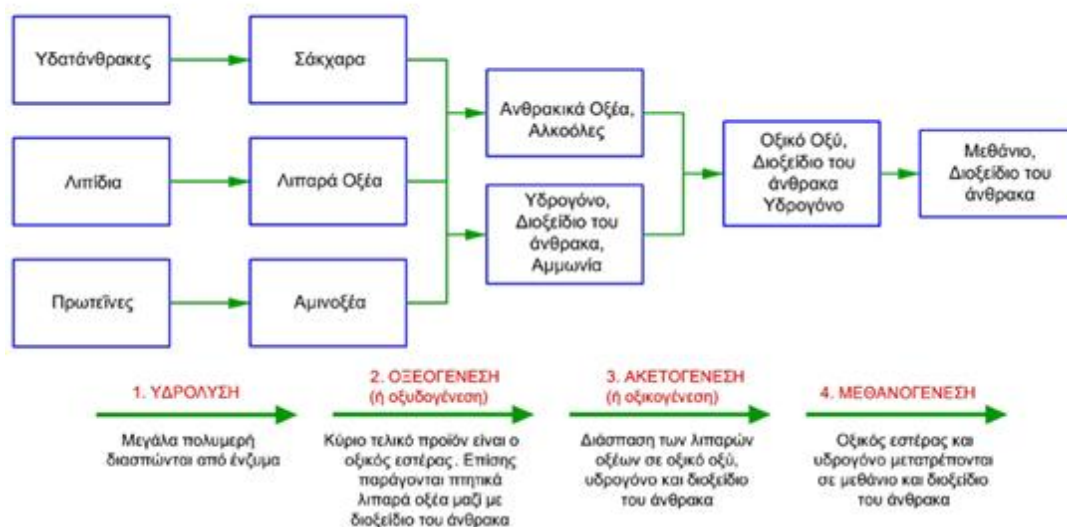
### 3.1.2. Η βιοχημική διεργασία της Αναερόβιας Χώνευσης

Η Αναερόβια Χώνευση είναι η μικροβιολογική διαδικασία αποσύνθεσης της οργανικής ύλης απουσία οξυγόνου. Τα βασικά προϊόντα αυτής της διεργασίας είναι το βιοαέριο και το χωνεμένο υπόλειμμα.

Κατά τη διάρκεια της Αναερόβιας Χώνευσης παράγεται πολύ λίγη θερμότητα σε αντίθεση με την αερόβια αποσύνθεση (παρουσία οξυγόνου), όπως είναι η κομποστοποίηση. Η ενέργεια, που είναι χημικά δεσμευμένη μέσα στο υπόστρωμα, παραμένει κυρίως στο παραγόμενο βιοαέριο με τη μορφή μεθανίου.

Η διεργασία σχηματισμού του βιοαερίου είναι ένα αποτέλεσμα συνδυαστικών σταδίων, στα οποία το αρχικό υλικό συνεχώς διασπάται σε μικρότερα στοιχεία. Ειδικές ομάδες μικροοργανισμών εμπλέκονται σε καθένα από τα μεμονωμένα αυτά στάδια. Αυτοί οι οργανισμοί αποσυνθέτουν διαδοχικά τα προϊόντα των προηγούμενων σταδίων. Ένα απλουστευμένο διάγραμμα της διεργασίας της Αναερόβιας Χώνευσης παρουσιάζεται στο Σχήμα 3, όπου διακρίνονται τα τέσσερα κύρια στάδια της διεργασίας: η υδρόλυση, η οξεογένεση, η οξικογένεση, και η μεθανογένεση.

Τα στάδια της διεργασίας που αναφέρονται λαμβάνουν χώρα παράλληλα στο χώρο και το χρόνο, στη δεξαμενή χώνευσης. Η ταχύτητα της συνολικής διεργασίας αποσύνθεσης καθορίζεται από την πιο αργή αντίδραση της αλυσίδας. Στην περίπτωση των μονάδων βιοαερίου όπου γίνεται επεξεργασία των φυτικών υποστρωμάτων που περιέχουν κυτταρίνη, ημι-κυτταρίνη ή λιγνίνη, η υδρόλυση είναι αυτή που καθορίζει την ταχύτητα της διεργασίας. Κατά την υδρόλυση, παράγονται σχετικά μικρές ποσότητες βιοαερίου. Η παραγωγή βιοαερίου φθάνει στην αιχμή της κατά την μεθανογένεση.



Σχήμα 3. Στάδια Αναερόβιας Χώνευσης ([www.vioaerio.gr](http://www.vioaerio.gr))

### 3.1.2.1.Υδρόλυση

Η υδρόλυση είναι θεωρητικά το πρώτο βήμα της Αναερόβιας Χώνευσης, κατά τη διάρκεια της οποίας η σύνθετη οργανική ουσία αποσυντίθεται σε μικρότερα στοιχεία. Τα πολυμερή, όπως οι υδατάνθρακες, τα λιπίδια, τα νουκλεϊκά οξέα και οι πρωτεΐνες, μετατρέπονται σε γλυκόζη, γλυκερίνη, πουρίνες, πυριδίνες κλπ. Τα υδρολυτικά βακτήρια εκκρίνουν υδρολυτικά ένζυμα, μετατρέποντας τα βιοπολυμερή σε απλούστερες και διαλυτές ενώσεις.

Μια μεγάλη ποικιλία μικροοργανισμών εμπλέκονται στην υδρόλυση, η οποία πραγματοποιείται από τα εξωένζυμα, που παράγονται από τους μικροοργανισμούς εκείνους που αποσυνθέτουν το αδιάλυτο μοριακό υλικό. Τα προϊόντα που προκύπτουν από την υδρόλυση αποσυντίθενται περαιτέρω από τους εμπλεκόμενους μικροοργανισμούς και χρησιμοποιούνται για τις δικές τους διεργασίες μεταβολισμού.

### 3.1.2.2.Οξεογένεση

Κατά τη διάρκεια της οξεογένεσης, τα προϊόντα της υδρόλυσης μετατρέπονται από οξεογενή βακτηρίδια σε μεθανογενή υποστρώματα. Τα απλά σάκχαρα, τα αμινοξέα και τα λιπαρά οξέα υποβιβάζονται σε οξικό άλας, διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο (70%), καθώς επίσης και σε πτητικά λιπαρά οξέα και αλκοόλες (30%).

### 3.1.2.3.Οξικογένεση

Κατά τη διάρκεια της οξικογένεσης, τα προϊόντα της οξεογένεσης που δεν μπορούν να μετατραπούν άμεσα σε μεθάνιο από τα μεθανογενή βακτηρίδια μετατρέπονται σε μεθανογενή υποστρώματα. Τα πτητικά λιπαρά οξέα και οι αλκοόλες οξειδώνονται σε μεθανογενή υποστρώματα, όπως οξικό οξύ, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα. Τα πτητικά λιπαρά οξέα με αλυσίδες άνθρακα με περισσότερους από δύο δεσμούς και οι αλκοόλες με αλυσίδες άνθρακα με περισσότερους από ένα δεσμό οξειδώνονται σε οξικό οξύ και υδρογόνο. Η παραγωγή του υδρογόνου αυξάνει την μερική πίεσή του. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως «κυτόλειμμα» της οξικογένεσης και εμποδίζει το μεταβολισμό των οξικογενών βακτηρίων. Κατά τη διάρκεια της μεθανογένεσης, το υδρογόνο μετατρέπεται σε μεθάνιο. Η οξικογένεση και η μεθανογένεση συνήθως λαμβάνουν χώρα παράλληλα, ως συμβίωση δύο ομάδων οργανισμών.

#### 3.1.2.4.Μεθανογένεση

Η παραγωγή του μεθανίου και του διοξειδίου του άνθρακα από ενδιάμεσα προϊόντα πραγματοποιείται από τα μεθανογενή βακτήρια. Το 70% του διαμορφωμένου μεθανίου προέρχεται από οξικό άλας, ενώ το υπόλοιπο 30% παράγεται από τη μετατροπή του υδρογόνου και του CO<sub>2</sub>. Η μεθανογένεση είναι ένα κρίσιμο βήμα σε ολόκληρη τη διεργασία της χώνευσης, δεδομένου ότι είναι η πιο αργή βιοχημική αντίδραση της διεργασίας και επηρεάζεται σοβαρά από τις συνθήκες λειτουργίας. Η σύνθεση της πρώτης ύλης, ο ρυθμός τροφοδοσίας, η θερμοκρασία και το pH είναι παραδείγματα παραγόντων που επηρεάζουν τη μεθανογένεση. Η υπερπλήρωση του χωνευτή, οι αλλαγές θερμοκρασίας ή η μεγάλη είσοδος οξυγόνου οδηγούν συνήθως στον τερματισμό της παραγωγής μεθανίου (Teodorita Al Seadi et al., 2008).

#### 3.2.Αεριοποίηση

Το βιοαέριο παράγεται επίσης με την τεχνολογία της αεριοποίησης, της θερμικής δηλαδή αποδόμησης οργανικού καυσίμου που αποτελείται από λιγνο-κυτταρινούχες πρώτες ύλες σε κατάλληλο διαμορφωμένο αεριοποιητή και της μετατροπής του σε αέριο σύνθεσης (Syngas), που αποτελείται κυρίως από 22% H<sub>2</sub>, 44,4% CO, και 12,2% CO<sub>2</sub>. Στην συνέχεια το παραγόμενο αέριο σύνθεσης ψύχεται, καθαρίζεται και με προσθήκη H<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>O το αέριο σύνθεσης μετατρέπεται σε CH<sub>4</sub> και CO<sub>2</sub>.

## Κεφάλαιο 4.Καθαρισμός και Αναβάθμιση Βιοαερίου για Παραγωγή Βιομεθανίου

Μετά την Αναερόβια Χώνευση ή την αεριοποίηση, το βιοαέριο υφίσταται καθαρισμό (που συνίσταται σε απομάκρυνση των σωματιδίων  $H_2S$ ,  $NH_3$ ,  $H_2O$ ) και αναβάθμιση. Το παραγόμενο αέριο ονομάζεται βιομεθάνιο και διακρίνεται σε βιομεθάνιο ποιότητας L (89%  $CH_4$ ), ή ποιότητας H (96%  $CH_4$ ). Το βιομεθάνιο που προέρχεται από την τεχνολογία της Αναερόβιας Χώνευσης ανήκει στα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς, ενώ αυτό που προέρχεται από την αεριοποίηση θεωρείται βιοκαύσιμο δεύτερης γενιάς.

Η σύσταση του παραγόμενου βιομεθανίου εμφανίζεται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Σύσταση Βιομεθανίου (<http://www.dvgw.de>)

Συστατικό	Σύμβολο	Βιομεθάνιο
Μεθάνιο	$CH_4$	>97%
Διοξείδιο άνθρακα	$CO_2$	<1%
Άζωτο	$N_2$	<2%
Οξυγόνο	$O_2$	<0,5%
Υδρόθειο	$H_2S$	<0,5 mg/Nm <sup>3</sup>
Υδρογονάνθρακες	$C_xH_y$	<10 ppm v
Νερό	$H_2O$	<10 ppm v
Θερμογόνος δύναμη	HS,M	max. 11 kWh/m <sup>3</sup>
Wobbe index	HS,M	max. 11 kWh/m <sup>3</sup>

### 4.1.Τεχνολογίες Καθαρισμού

Σύμφωνα με το νέο ευρωπαϊκό ψήφισμα, το βιομεθάνιο μπορεί να εγχέεται στο δίκτυο διανομής φυσικού αερίου εάν συμμορφώνεται με αυστηρούς κανονισμούς και τεχνικές απαιτήσεις (Πίνακας 3). Για την επίτευξη των προδιαγραφών του φυσικού αερίου, το βιομεθάνιο πρέπει να είναι απαλλαγμένο από  $H_2O$ ,  $NH_3$ ,  $H_2S$  και  $CO_2$ . Πράγματι, το  $CO_2$  σε αυξημένα επίπεδα μειώνει την ενεργειακή περιεκτικότητα του βιομεθανίου. Το  $H_2S$  είναι τοξικό και διαβρωτικό και το  $NH_3$  κατά την καύση του παράγει επικίνδυνα οξείδια του αζώτου. Το νερό με την παρουσία των  $NH_3$ ,  $CO_2$  και

H<sub>2</sub>S είναι πιθανό να διευκολύνει την διάβρωση των σωλήνων (Ghinwa M. Naja et al., 2011).

Ο καθαρισμός λοιπόν του βιοαερίου ορίζεται ως η διαδικασία κατά την οποία οι ακαθαρσίες (ανεπιθύμητες ενώσεις αερίου) στο ακατέργαστο βιοαέριο αφαιρούνται. Οι τεχνολογίες καθαρισμού χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

#### 4.1.1.Νερό

Το ακατέργαστο βιοαέριο είναι διαποτισμένο με νερό, το οποίο πρέπει να αφαιρεθεί, ώστε να αποφευχθεί η διάβρωση σε αγωγούς και άλλο εξοπλισμό. Για να απομακρυνθεί το νερό από το βιοαέριο υπάρχουν τέσσερις διαφορετικές μέθοδοι που μπορούν να εφαρμοστούν: ψύξη, συμπίεση, απορρόφηση και προσρόφηση. Αλλάζοντας τη θερμοκρασία και/ή την πίεση του βιοαερίου ο ατμός θα συμπυκνωθεί. Η Απορρόφηση βασίζεται στη χρήση των διαλυμάτων γλυκόλης για να δεσμεύσει το νερό (Petersson & Wellinger 2009). Η μέθοδος προσρόφησης μπορεί να απομακρύνει το νερό με τη χρήση π.χ. οξειδίου του αργιλίου, οξειδίου του μαγνησίου, ενεργού άνθρακα, διοξειδίου του πυριτίου. Κατά την αφαίρεση του νερού από το βιοαέριο, άλλες ακαθαρσίες διαλυμένες στο εν λόγω νερό αυτομάτως αφαιρούνται (Wellinger et al. 2013).

#### 4.1.2.Υδρόθειο

Το υδρόθειο είναι τοξικό και διαβρωτικό για σωληνώσεις και άλλο εξοπλισμό που χρησιμοποιείται για την αξιοποίηση των τεχνολογιών παραγωγής βιοαερίου (Deublein & Steinhauser, 2008). Μπορεί να αφαιρεθεί στο χωνευτή, μετά το χωνευτή ή σε συνδυασμό με τη διαδικασία αναβάθμισης. Το υδρόθειο μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις σε ορισμένες μεθόδους αναβάθμισης, άρα καλό είναι να απομακρυνθεί εκ των προτέρων.

Η αφαίρεση του υδρόθειου συχνά χωρίζεται σε τρεις τύπους μεθόδων στις βιολογικές, τις φυσικές και τις χημικές. Η βιολογική απομάκρυνση αφήνει τον αέρα μέσα στο χωνευτή και έτσι οξειδώνει το υδρόθειο στο στοιχειώδες θείο. Πάρα πολύ οξυγόνο θα επηρεάσει τη διαδικασία της πέψης αρνητικά και μπορεί επίσης να σχηματίσει εκρηκτικά μείγματα μεταξύ μεθανίου και οξυγόνου. Ως εκ τούτου, τα

ίχνη του οξυγόνου είναι αρνητικά εάν το βιοαέριο είναι να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για οχήματα.

Διαφορετικές φυσικές μέθοδοι μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την απομάκρυνση υδρόθειου από το βιοαέριο. Η απορρόφηση με νερό ή με οργανικούς διαλύτες είναι μια πιθανότητα, και η χημική απορρόφηση μία άλλη δυνατότητα. Η προσρόφηση με χρήση ενεργού άνθρακα με ορισμένα μεγέθη πόρων είναι μία μάλλον ακριβή, αλλά αποτελεσματική μέθοδος αφήνοντας λιγότερο από 1 ppm. του υδρόθειου στο αέριο (Petersson & Wellinger 2009).

Η χημική μέθοδος για την αφαίρεση του υδρόθειου βασίζεται στην προσθήκη ιόντων σιδήρου στο χωνευτή. Αυτό παράγει ένα σχεδόν αδιάλυτο θειούχο σίδηρο που θα καθιζάνει στο χωνευτή, και στη συνέχεια απομακρύνεται με το κομπόστ (Wellinger et al. 2013).

#### 4.1.3. Οξυγόνο και άζωτο

Το Οξυγόνο και το άζωτο δεν είναι γενικά παρόντα στο βιοαέριο δεδομένου ότι η διαδικασία αναερόβιας χώνευσης απαιτεί την ελεύθερη ατμόσφαιρα οξυγόνου. Ωστόσο, αν για κάποιο λόγο υπάρχει αέρας στο χωνευτή, θα μπορούσε να αφήσει ίχνη οξυγόνου και αζώτου στο αέριο μετά την αποχώρηση από το χωνευτή (Petersson & Wellinger 2009).

Τυπικές μέθοδοι για την απομάκρυνση του οξυγόνου και του αζώτου είναι η προσρόφηση που χρησιμοποιεί ενεργό άνθρακα, μοριακά κόσκινα ή μεμβράνες (Wellinger et al. 2013). Τα στοιχεία αυτά αφαιρούνται επίσης, σε ορισμένες διαδικασίες αποθείωσης και σε ορισμένες διαδικασίες αναβάθμισης. Το οξυγόνο και άζωτο είναι ακριβό και δύσκολο να αφαιρεθούν και η διαδικασία θα πρέπει να αποφεύγεται όσο το δυνατόν περισσότερο κατά την παραγωγή βιοαερίου.

#### 4.1.4. Αμμωνία

Όταν οι πρωτεΐνες αποικοδομούνται, μπορεί να σχηματιστεί αμμωνία. Αυτό σημαίνει ότι όταν υγρή κοπριά ή απόβλητα από την επεξεργασία ή τη βιομηχανία τροφίμων χρησιμοποιούνται ως υποστρώματα, μπορεί να προκύψουν σημαντικές ποσότητες



αμμωνίας. Η τιμή του pH και η σταθερότητα της διαδικασίας ζύμωσης επηρεάζουν επίσης το ποσό της αμμωνίας που παράγεται (Deublein & Steinhauser 2008).

Η αμμωνία διαλύεται σε νερό και συνήθως αφαιρείται όταν το αέριο ξηραίνεται. Ως εκ τούτου, ένα ξεχωριστό στάδιο καθαρισμού δεν είναι κανονικά αναγκαίο (Wellinger et al. 2013).

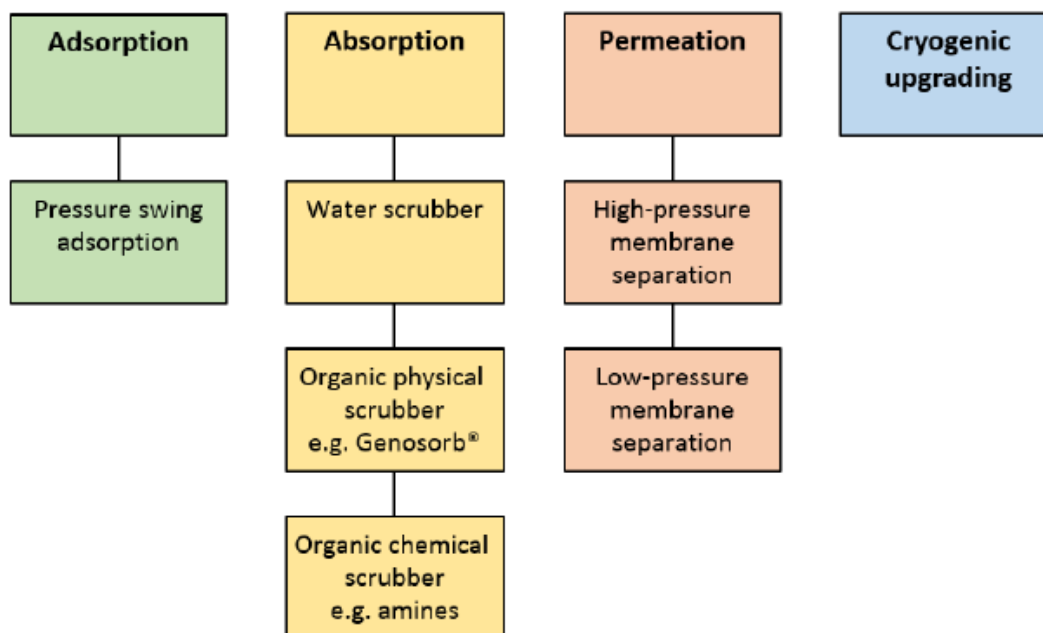
#### 4.1.5. Σιλοξάνες

Όταν οι σιλοξάνες καίγονται (π.χ. σε μια μηχανή), οξείδιο του πυριτίου σχηματίζεται που μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα σε κινητήρες αερίου (Deublein & Steinhauser 2008). Αυτές μπορούν να απομακρυνθούν με απορρόφηση με οργανικούς διαλύτες, ισχυρά οξέα ή ισχυρές βάσεις, με προσρόφηση με ενεργό άνθρακα, ή σε μια κρυογονική διαδικασία. Σιλοξάνες επίσης απομακρύνονται με ορισμένες διεργασίες αναβάθμισης και όσο διαχωρίζεται το υδρόθειο.

#### 4.2. Τεχνολογίες Αναβάθμισης

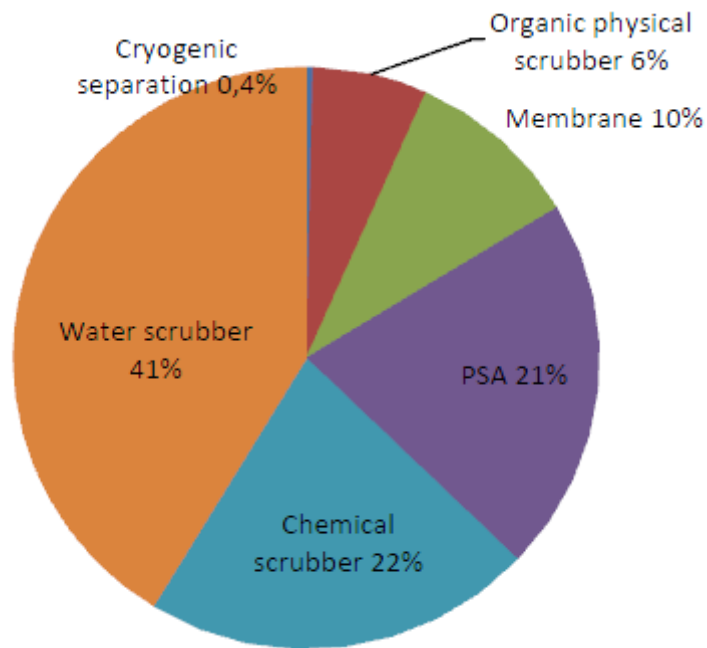
Το παραγόμενο ακατέργαστο βιοαέριο από τη χώνευση δεν είναι αρκετά υψηλής ποιότητας για να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο αέριο. Για να πραγματοποιηθεί η έγχυση του βιοαερίου στο δίκτυο φυσικού αερίου ή να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο οχημάτων, πρέπει να αναβαθμιστεί και να συμπιεστεί. Η αναβάθμιση σημαίνει ότι το διοξείδιο του άνθρακα στο βιοαέριο απομακρύνεται για να αυξηθεί η ενεργειακή πυκνότητα. Μετά τον καθαρισμό και την αναβάθμιση, γίνεται προσθήκη μιας ισχυρής μυρωδιάς (τετραϋδροθειοφαίνιο), που επιτρέπει την ευκολότερη ανίχνευση διαρροών (Ghinwa M. Naja et al., 2011).

Οι πιο ανεπτυγμένες τεχνολογίες αναβάθμισης μπορούν να διαχωριστούν κυρίως σε τέσσερις κατηγορίες: προσρόφηση, απορρόφηση, διαπερατότητα και κρυογονική αναβάθμιση. Αυτό απεικονίζεται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4. Οι κύριες τεχνολογίες αναβάθμισης βιοαερίου (Wellinger et al 2013).

Οι πρώτες εγκαταστάσεις αναβάθμισης βιοαερίου δημιουργήθηκαν τη δεκαετία του 1980 και μερικές ακόμα στην δεκαετία του 1990, αλλά το 2006 ότι η ανάπτυξη πραγματικά απογειώθηκε, ιδιαίτερα στη Γερμανία. Από τότε μέχρι σήμερα, περισσότερες από 200 μονάδες έχουν κατασκευαστεί και τεθεί σε λειτουργία. Οι μέθοδοι PSA και water scrubbing είχαν μεγάλα τμήματα της αγοράς από την αρχή. Από το 2009, η μέθοδος chemical scrubbing αύξησε το μερίδιο αγοράς της. Οι πρόσφατες εξελίξεις δείχνουν ότι η τεχνολογία μεμβρανών θα αποκτήσει μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς τα επόμενα χρόνια. Το μερίδιο αγοράς του 2012 μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών φαίνεται στο Σχήμα 5.



Σχήμα 5. Το μερίδιο αγοράς του 2012 των διαφόρων τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται για την αναβάθμιση βιοαερίου. (IEA Bioenergy, 2014)

#### 4.2.1. Τεχνολογίες Απορρόφησης

Οι τεχνολογίες απορρόφησης βασίζονται στις διαφορετικές διαλυτότητες των διαφόρων συστατικών των αερίων σε ένα υγρό διάλυμα καθαρισμού. Σε μια εγκατάσταση αναβάθμισης χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνική το ακατέργαστο βιοαέριο εξαναγκάζεται σε εντατική επαφή με ένα υγρό. Μία στήλη πληρούται με μία πλαστική συσκευασία προκειμένου να αυξηθεί η περιοχή επαφής μεταξύ των φάσεων. Τα συστατικά που πρέπει να αφαιρεθούν από το βιοαέριο (κυρίως διοξείδιο του άνθρακα) είναι τυπικά πολύ περισσότερο διαλυτά στο υγρό από το μεθάνιο και απομακρύνονται από το ρεύμα αερίου. Ως αποτέλεσμα, το απομένον ρεύμα αερίου είναι εμπλουτισμένο με μεθάνιο και το υγρό scrubbing αφήνοντας την στήλη πλούσια σε διοξείδιο του άνθρακα. Προκειμένου να διατηρηθεί η απόδοση της απορρόφησης, αυτό το υγρό πρέπει να αντικατασταθεί από φρέσκο, ή να αναγεννηθεί σε ξεχωριστό στάδιο.

Τα κύρια πλεονεκτήματα της απορρόφησης είναι η υψηλή ποιότητα του βιομεθανίου που προκύπτει και τα σχετικά χαμηλά επίπεδα των διάχυτων εκπομπών μεθανίου σε σύγκριση με άλλες μεθόδους. Ωστόσο, το βασικό μειονέκτημα είναι η ανάγκη για προ-επεξεργασία, συμπεριλαμβανομένης της ξήρανσης, η συνεχής απώλεια του

υγρού πλύσης και ως εκ τούτου το κόστος της αντικατάστασης και το σχετικά υψηλό κόστος λειτουργίας. Επί του παρόντος, τρεις διαφορετικές τεχνολογίες αναβάθμισης είναι διαθέσιμες.

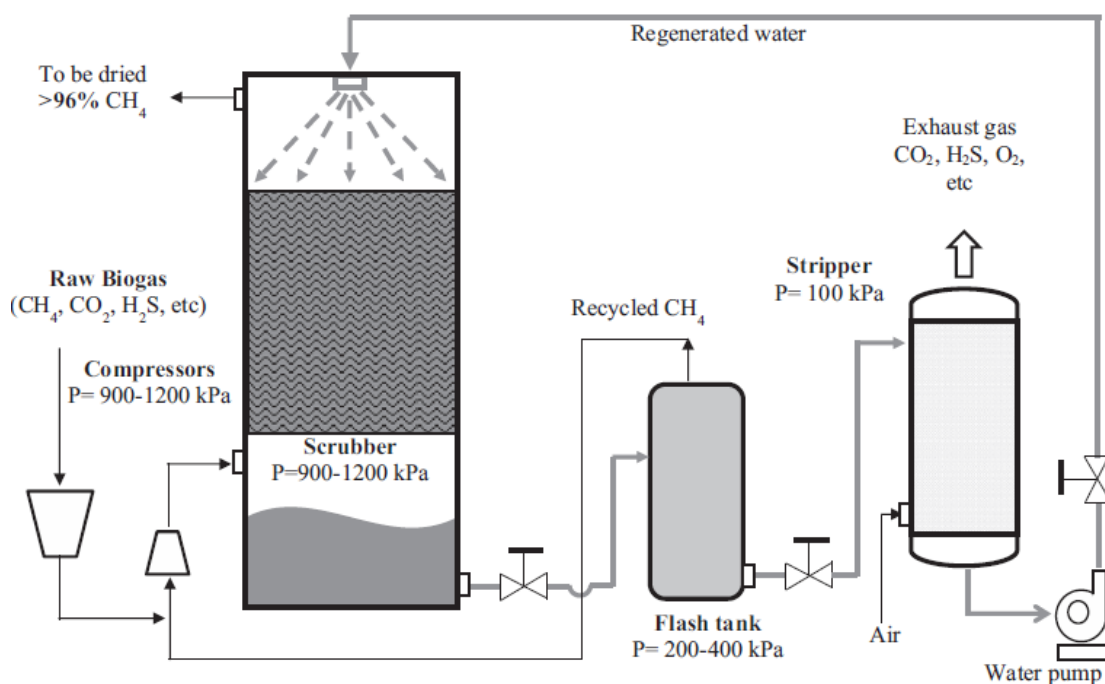
#### 4.2.1.1. Φυσική Απορρόφηση: Pressurised Water Scrubbing

Η τεχνολογία αυτή είναι μία από τις πιο δοκιμασμένες και έχει χρησιμοποιηθεί για περισσότερο από 10 χρόνια. Είναι ένα φυσικό σύστημα καθαρισμού που χρησιμοποιεί την υψηλότερη διαλυτότητα του διοξειδίου του άνθρακα στο νερό υπό πίεση για τον διαχωρισμό του διοξειδίου του άνθρακα από το βιοαέριο. Το διοξείδιο του άνθρακα έχει μεγαλύτερη διαλυτότητα στο νερό από ότι το μεθάνιο και ως εκ τούτου θα διαλυθεί σε μεγαλύτερο βαθμό, ιδιαίτερα σε χαμηλότερες θερμοκρασίες και υψηλότερες πιέσεις. Εκτός από το διοξείδιο του άνθρακα, το υδρόθειο και η αμμωνία μπορούν επίσης να μειωθούν στο ρεύμα βιομεθανίου χρησιμοποιώντας το νερό ως υγρό scrubbing.

Σε μεγαλύτερα συστήματα καθαρισμού, το μειονέκτημα είναι η μεγάλη ζήτηση σε νερό. Ωστόσο, τα σύγχρονα συστήματα έχουν τροποποιηθεί έτσι ώστε το λύμα που βγαίνει από τη στήλη και είναι διαποτισμένο με διοξείδιο του άνθρακα να μεταφέρεται σε μία δεξαμενή όπου η πίεση απότομα μειώνεται και το μεγαλύτερο μέρος του διαλυμένου αερίου απελευθερώνεται. Λόγω αυτής της τροποποίησης μπορεί να ανακυκλωθεί το νερό. Δεδομένου ότι το αέριο αυτό περιέχει κυρίως διοξείδιο του άνθρακα, αλλά επίσης ένα ορισμένο ποσό μεθανίου, διοχετεύεται στην είσοδο ακατέργαστου βιοαερίου. Εάν το νερό πρόκειται να ανακυκλωθεί πίσω στην στήλη απορρόφησης, θα πρέπει να αναπαραχθεί και ως εκ τούτου αντλείται σε μία στήλη εκροφίσεως όπου συναντά αέρα αντίστροφης ροής, στο οποίο απελευθερώνεται το υπόλοιπο διαλυμένο διοξείδιο του άνθρακα. Το αναπαραγμένο νερό στη συνέχεια αντλείται πίσω στον απορροφητή ως φρέσκο υγρό scrubbing.

Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι τα συστατικά του αέρα (οξυγόνο και άζωτο) διαλύονται στο νερό κατά τη διάρκεια της αναγέννησης, και έτσι μεταφέρονται στο αναβαθμισμένο ρεύμα αερίου βιομεθανίου. Ως εκ τούτου, το βιομεθάνιο που παράγεται με την τεχνολογία αυτή περιέχει πάντοτε οξυγόνο και άζωτο. Καθώς το παραγόμενο ρεύμα βιομεθανίου είναι επίσης κορεσμένο με νερό, το

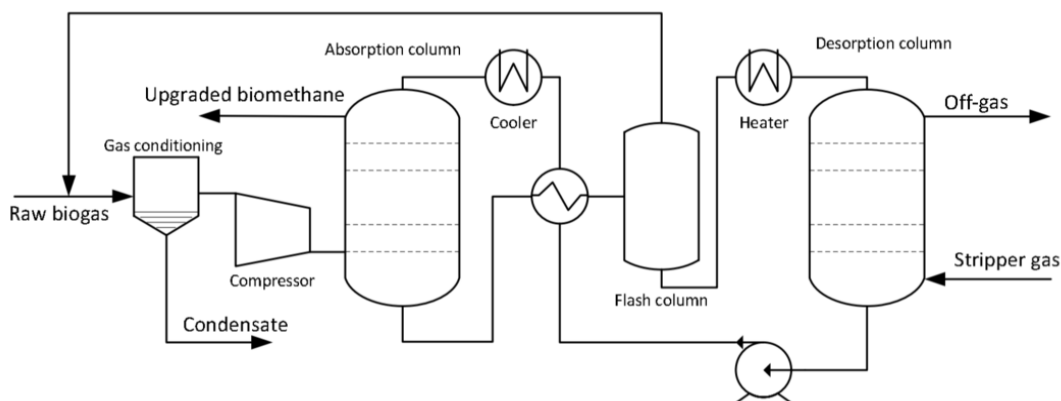
τελικό βήμα αναβάθμισης είναι η ξήρανση του αερίου, για παράδειγμα με την εφαρμογή του καθαρισμού γλυκόλης. Η διαδικασία υπερτερεί σε σύγκριση με τις άλλες, δεδομένου ότι δεν χρειάζεται προεπεξεργασία για την απομάκρυνση του υδρόθειου (Severn Wye Energy Agency), (Anna Bright et al., 2011), (Petersson & Wellinger 2009), (Henrik Hønsen Huseby, 2015).



Σχήμα 6. Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας καθαρισμού του νερού (Yang et al 2014).

#### 4.2.1.2. Οργανική φυσική απορρόφηση

Χρησιμοποιώντας μια παρόμοια γενική ιδέα με αυτή του Water Scrubbing, αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιεί ένα διάλυμα οργανικού διαλύτη όπως η πολυαιθυλενογλυκόλη (π.χ. selexol) αντί νερού ως υγρό έκπλυσης. Το διοξείδιο του άνθρακα παρουσιάζει υψηλότερες διαλυτότητες σε αυτούς τους διαλύτες από ό, τι στο νερό. Ως αποτέλεσμα για τον ίδιο όγκο βιοαερίου, η ροή του υγρού είναι μικρότερη και κατά συνέπεια το ίδιο και οι εγκαταστάσεις αναβάθμισης (Petersson & Wellinger 2009).



Σχήμα 7. Σχηματική απεικόνιση της βιολογικής φυσικής διαδικασίας καθαρισμού (Bauer et al 2013).

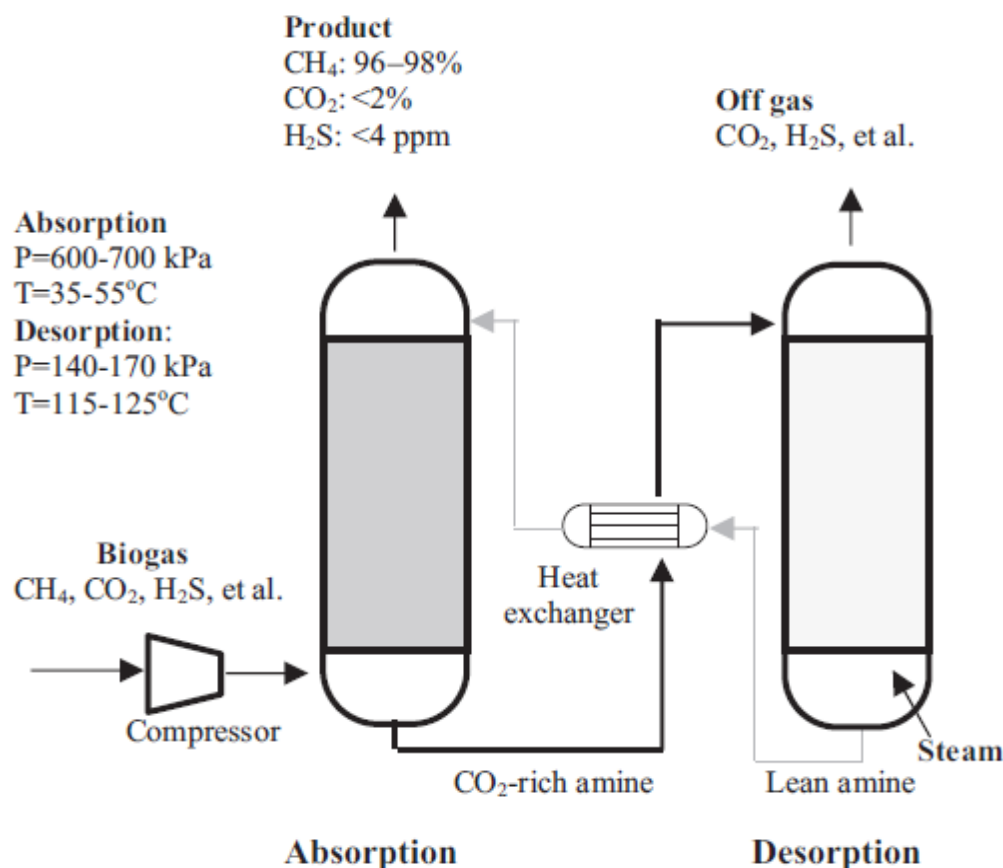
#### 4.2.1.3. Χημική απορρόφηση: Scrubbing αμινών

Η Χημική απορρόφηση χαρακτηρίζεται από μια φυσική απορρόφηση των αέριων συστατικών σε ένα υγρό scrubbing, που ακολουθείται από μία χημική αντίδραση μεταξύ υγρών συστατικών και απορροφημένων αέριων συστατικών μέσα στην υγρή φάση. Ως αποτέλεσμα, η σύνδεση των ανεπιθύμητων αέριων συστατικών στο υγρό scrubbing είναι ισχυρότερη, και η δυνατότητα φόρτωσης του υγρού καθαρισμού είναι πολλές φορές υψηλότερη. Η χημική αντίδραση είναι έντονα επιλεκτική και η ποσότητα του μεθανίου που απορροφάται στο υγρό είναι πολύ χαμηλή. Λόγω της υψηλής έλξης ειδικά του διοξειδίου του άνθρακα στους διαλύτες που χρησιμοποιούνται (κυρίως υδατικά διαλύματα μονοαιθανολαμίνης MEA, διαιθανολαμίνη DEA και Μεθυλοδιαιθανολαμίνη MDEA), η πίεση λειτουργίας των αμινών scrubbing μπορεί να διατηρείται σημαντικά χαμηλότερη σε σύγκριση με εγκαταστάσεις παρόμοιας χωρητικότητας Pressurised water scrubbing.

Η χημική αντίδραση είναι έντονα επιλεκτική, καθιστώντας την πιθανή απώλεια μεθανίου τόσο χαμηλή όσο  $<0,1\%$  (Petersson & Wellinger 2009). Το μειονέκτημα της τεχνολογίας είναι ότι απαιτείται υψηλή θερμότητα αντίδρασης, άρα έχει υψηλή ενεργειακή κατανάλωση καθώς και ότι δεν έχει υψηλή απορροφητικότητα  $\text{CO}_2$ . Το διάλυμα αμίνης θερμαίνεται μέχρι περίπου  $160^\circ \text{C}$ , όπου το μεγαλύτερο μέρος του διοξειδίου του άνθρακα απελευθερώνεται και αφήνει την στήλη αναγέννησης ως

ρεύμα απαερίων. Καθώς ένα μικρό μέρος του υγρού scrubbing χάνεται λόγω εξάτμισης, θα πρέπει να αναπληρώνεται συχνά.

Το υδρόθειο θα μπορούσε επίσης να απορροφηθεί από το ακατέργαστο βιοαέριο με χημική απορρόφηση, αλλά θα απαιτούνταν ακόμη υψηλότερες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της αναγέννησης. Για αυτό είναι σκόπιμο να αφαιρεθεί πριν τη διαδικασία (Severn Wye Energy Agency), (Henrik Hønsen Huseby, 2015).

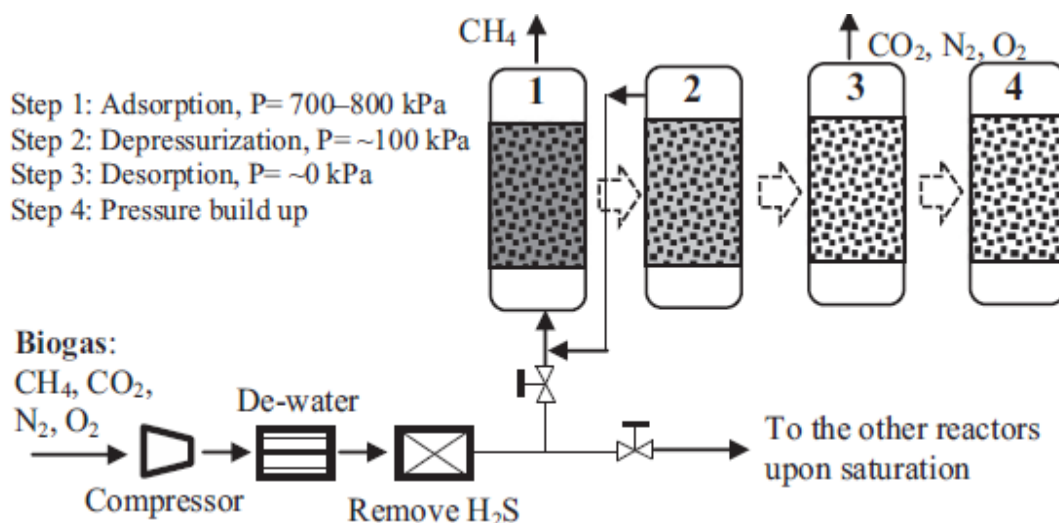


Σχήμα 8. Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας έκπλυσης οργανικών χημικών χρησιμοποιώντας αμίνες (Yang et al 2014).

#### 4.2.2. Προσρόφηση: Pressure swing adsorption (PSA)

Ο διαχωρισμός αερίων χρησιμοποιώντας προσρόφηση βασίζεται στην διαφορετική συμπεριφορά προσρόφησης διαφόρων συστατικών του αερίου σε μια στερεή επιφάνεια κάτω από αυξημένη πίεση. Συνήθως, χρησιμοποιούνται διάφορα είδη ενεργού άνθρακα ή μοριακά κόσκινα (ζεόλιθοι) ως απορροφητικό υλικό. Αυτά τα υλικά προσροφούν επιλεκτικά το διοξείδιο του άνθρακα από το ακατέργαστο

βιοαέριο, εμπλουτίζοντας έτσι την περιεκτικότητα του αερίου σε μεθάνιο. Μετά την προσρόφηση σε υψηλή πίεση το φορτωμένο προσροφητικό υλικό αναγεννάται από μια σταδιακή μείωση στην πίεση και εκπλύεται με ακατέργαστο βιοαέριο ή βιομεθάνιο. Σε αυτό το βήμα τα απαέρια αποχωρούν από τον προσροφητή. Στη συνέχεια, η πίεση αυξάνεται και πάλι με ακατέργαστο βιοαέριο ή βιομεθάνιο και ο προσροφητής είναι έτοιμος για την επόμενη φόρτωση. Κατά τη φάση της αποσυμπίεσης της αναγέννησης, η σύνθεση των απαερίων αλλάζει καθώς το προσροφημένο μεθάνιο απελευθερώνεται νωρίτερα (σε υψηλότερες πιέσεις) και το μεγαλύτερο μέρος του διοξειδίου του άνθρακα εκροφάται σε χαμηλότερες πιέσεις. Έτσι, τα απαέρια από τα πρώτα στάδια αποσυμπίεσης τυπικά διοχετεύονται πίσω στις εισόδους βιοαερίου, προκειμένου να μειωθεί η ολίσθηση μεθανίου. Τα απαέρια από τα μεταγενέστερα στάδια της αναγέννησης θα μπορούσαν να οδηγηθούν σε ένα δεύτερο στάδιο προσρόφησης, στη μονάδα επεξεργασίας απαερίων ή μπορεί να εξαεριστούν προς την ατμόσφαιρα. Καθώς το νερό και το υδρόθειο στο αέριο μπορούν να βλάψουν ανεπανόρθωτα το προσροφητικό υλικό, τα συστατικά αυτά πρέπει να αφαιρούνται πριν από τη στήλη προσρόφησης. Εκτός από την προεπεξεργασία που χρειάζεται, ένα άλλο μειονέκτημα είναι τα υψηλότερα ποσοστά εκπομπών μεθανίου σε σχέση με άλλες μεθόδους (Wellinger et al. 2013), (Severn Wye Energy Agency), (Henrik Hønsen Huseby, 2015).



Σχήμα 9. Σχηματική απεικόνιση διαδικασίας PSA (Yang et al 2014).

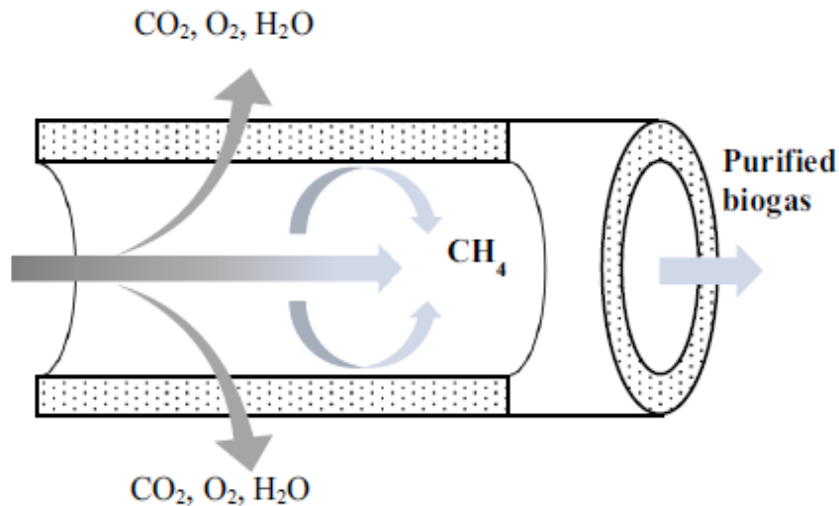


#### 4.2.3. Τεχνολογία Μεμβρανών: Διείσδυση αερίου

Μεμβράνη είναι ένα πυκνό φίλτρο που μπορεί να διαχωρίσει τα συστατικά σε ένα αέριο. Οι μεμβράνες που χρησιμοποιούνται για την αναβάθμιση του βιοαερίου αποτελούνται από υλικά που είναι διαπερατά για το διοξείδιο του άνθρακα, το νερό και την αμμωνία. Το υδρόθειο, το οξυγόνο και το άζωτο διαπερνούν τη μεμβράνη σε κάποιο βαθμό και το μεθάνιο διέρχεται μόνο σε πολύ μικρό βαθμό (Petersson & Wellinger 2009). Τυπικές μεμβράνες για την αναβάθμιση του βιοαερίου αποτελούνται από πολυμερή υλικά, όπως πολυσουλφόνη, πολυιμίδιο ή πολυδιμεθυλοσιλοξάνιο. Αυτά τα υλικά εμφανίζουν ευνοϊκή επιλεκτικότητα για τον διαχωρισμό του μεθανίου / διοξειδίου του άνθρακα σε συνδυασμό με την ικανότητα να εντοπίζουν τα συστατικά που περιέχονται στο ακατέργαστο βιοαέριο.

Μετά τη συμπίεση, το ακατέργαστο βιοαέριο ψύχεται για την ξήρανση και την απομάκρυνση της αμμωνίας. Μετά την επαναθέρμανση με τον συμπιεστή απορριπτόμενης θερμότητας, το υπόλοιπο υδρόθειο απομακρύνεται με τη βοήθεια της προσρόφησης σε σίδηρο ή οξείδιο του ψευδαργύρου. Τέλος, το αέριο διοχετεύεται μέσω σωληνώσεων σε μονάδα διείσδυσης αερίου. Ο αριθμός και η διασύνδεση των μεμβρανών δεν εξαρτάται από την επιθυμητή ποιότητα βιομεθανίου, αλλά από τη ζητούμενη ανάκτηση μεθανίου και τη ζήτηση ενέργειας.

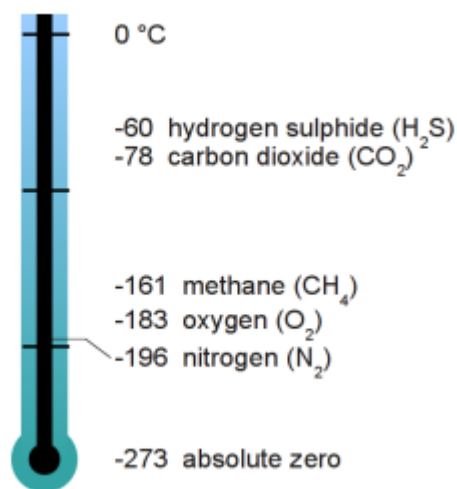
Σύγχρονα εργοστάσια αναβάθμισης προσφέρουν τη δυνατότητα πολύ υψηλής ανάκτησης μεθανίου και σχετικά χαμηλή ζήτηση ενέργειας. Το βασικό πλεονέκτημα της διαδικασίας είναι το γεγονός ότι δεν υπάρχει ζήτηση για νερό, ενώ το βασικό μειονέκτημα, η προεπεξεργασία που χρειάζεται (Severn Wye Energy Agency), (Henrik Hønsen Huseby, 2015).



Σχήμα 10. Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας διαχωρισμού μεμβρανών (Yang et al 2014).

#### 4.2.4. Cryogenic Upgrading

Η διαδικασία κάνει χρήση του φαινομένου των διαφορετικών σημείων βρασμού του μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα ( $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$  και  $-78.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  αντίστοιχα). Όταν αλλάζει φάση το μεθάνιο, το διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να αφαιρεθεί. Αν το αέριο ψύχεται περαιτέρω, το βιοαέριο μπορεί να ληφθεί σε υγρή μορφή η οποία έχει μια πυκνότητα η οποία είναι 600 φορές υψηλότερη από ότι το αέριο. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται σπάνια (Petersson & Wellinger 2009), (Anna Bright et al., 2011).



Σχήμα 11. Σημεία Βρασμού Αερίων (Bauer et al 2013).

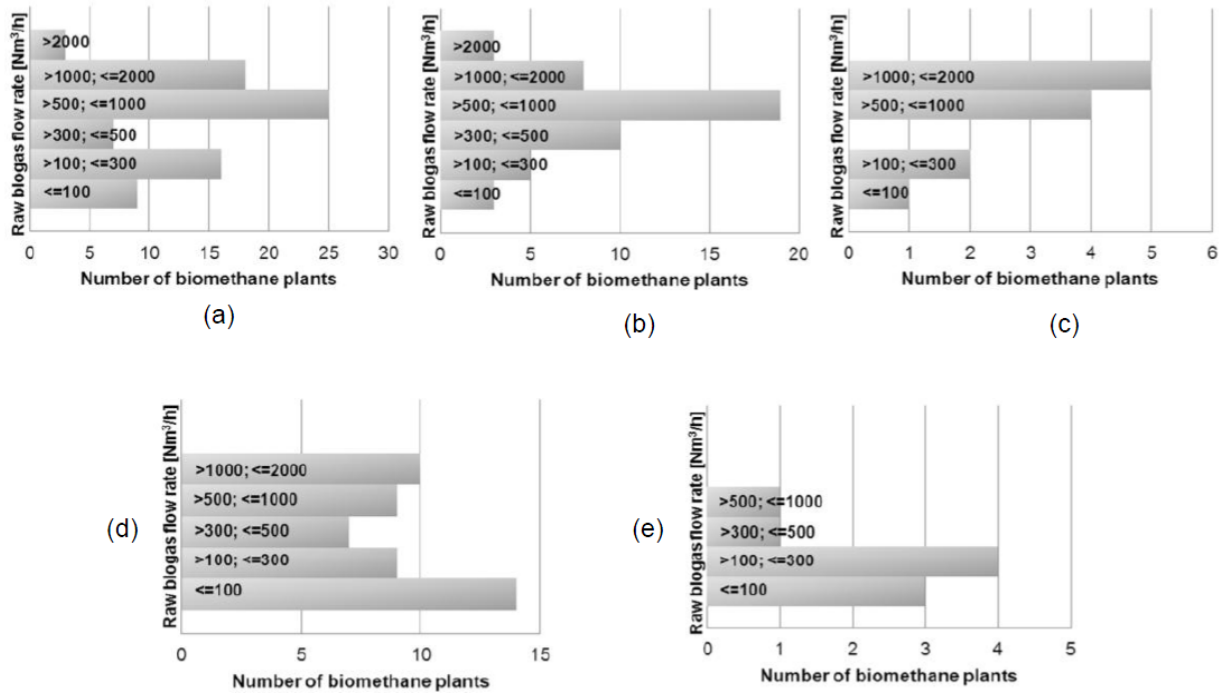
#### 4.2.5. Αναβάθμιση ακατέργαστου SNG

Η αεριοποίηση βιομάζας αντιπροσωπεύει έναν άλλον τρόπο για την παραγωγή βιομεθανίου, μέσω της μετατροπής της στερεής βιομάζας σε αέριο με υψηλή περιεκτικότητα σε μεθάνιο (περίπου 95%). Η διαδικασία μετατροπής από βιομάζα σε SNG μπορεί να υποδιαιρεθεί σε πέντε στάδια:

- Προ-επεξεργασία βιομάζας: Προσαρμογή του μεγέθους της βιομάζας ώστε να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις του συστήματος, για τη μείωση των απωλειών της διαδικασίας αεριοποίησης.
- Αεριοποίηση βιομάζας: Θερμοχημική διαδικασία μετατροπής, όπου τα μέσα αεριοποίησης (προεπεξεργασμένα καύσιμα) μετατρέπονται στα αέρια καύσιμα.
- Καθαρισμός αερίου: Για να αποφευχθούν ζημιές σε άλλα τμήματα εγκαταστάσεων, όπως διάβρωση, το ακατέργαστο αέριο πρέπει να καθαριστεί.
- Μεθανοποίηση: Αύξηση της περιεκτικότητας μεθανίου στο καθαρισμένο αέριο.
- Αναβάθμιση ακατέργαστου SNG: Περιλαμβάνει την αφαίρεση του διοξειδίου του άνθρακα, του νερού και, ανάλογα με την ποιότητα του SNG, άλλων τμημάτων αερίου (π.χ. υδρογόνο) για να εκπληρώσει τα ποιοτικά κριτήρια για την έγχυση στο δίκτυο (Floris van Foreest, 2012), (IEA Bioenergy, 2014).

#### 4.2.6. Γενικά

Στα διαγράμματα παρακάτω, διακρίνουμε ποιες τεχνολογίες χρησιμοποιούνται για τους εκάστοτε ρυθμούς βιοαερίου. Το διάγραμμα a αντιπροσωπεύει την τεχνολογία Water Scrubbing, το διάγραμμα b την Chemical Scrubbing, το c την Physical Scrubbing, το d την PSA και το e την Τεχνολογία Μεμβρανών.



Διάγραμμα 3. Τεχνολογίες Αναβάθμισης ανάλογα με τη ροή βιοαερίου στις Ευρωπαϊκές εγκαταστάσεις (Jakub Niesner et al., 2013)

Είναι δύσκολο να δοθεί μια παγκοσμίως έγκυρη σύγκριση των διαφορετικών βελτιωτικών τεχνολογιών βιοαερίου, επειδή πολλές ουσιαστικές παράμετροι εξαρτώνται έντονα από τις τοπικές συνθήκες. Επιπλέον, οι τεχνικές δυνατότητες μιας ορισμένης τεχνολογίας (για παράδειγμα σχετικά με την ποιότητα του παραγόμενου βιομεθανίου) συχνά δεν αντιστοιχούν με την οικονομικότερη λειτουργία.

## Κεφάλαιο 5.Χρήσεις Βιομεθανίου

Το βιομεθάνιο είναι μια ανανεώσιμη εναλλακτική πηγή ενέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ποικίλους τρόπους. Οι διαφορετικές διαδρομές που μπορεί να ακολουθήσει, είναι η έγχυση στο δίκτυο Φυσικού Αερίου, η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας ή η χρησιμοποίησή του ως καύσιμο οχημάτων.

### 5.1. Έγχυση στο Δίκτυο

Το βιομεθάνιο είναι χημικά όμοιο με το φυσικό αέριο, επιτρέποντας την εφαρμογή του στο δίκτυο και στα οχήματα, το οποίο είναι μια βιώσιμη λύση στο εγγύς μέλλον. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι αρχικά το γεγονός ότι το καύσιμο είναι πολύ εύκολο να φθάσει σε νέους καταναλωτές, καθώς το δίκτυο συνδέει την περιοχή παραγωγής του βιομεθανίου, η οποία συνήθως είναι σε αγροτικές περιοχές, με τις πιο πυκνοκατοικημένες περιοχές (<http://www.bioenergyconsult.com>). Παράλληλα, 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 (Agapitidis I., Zafiris C., 2006).

Πίνακας 3. Ποιοτικές απαιτήσεις για την έγχυση του βιοαερίου στο δίκτυο του Φ.Α.

(Marcogaz, DVGW, 2006)

Συστατικό	Αυστρία	Ολλανδία	Σουηδία	Ελλάδα
<b>CH<sub>4</sub></b>	>96%	85%	>97%	75%
<b>CO<sub>2</sub></b>	<3%	/	<3%	3%
<b>Ολικό S</b>	<10mg/m <sup>3</sup>	<45mg/m <sup>3</sup>	<23mg/m <sup>3</sup>	80mg/m <sup>3</sup>
<b>H<sub>2</sub>S</b>	<5mg/m <sup>3</sup>	<5mg/m <sup>3</sup>	10ppm	5mg/m <sup>3</sup>
<b>O<sub>2</sub></b>	<0,5%	<0,5%	<1%	0,2
<b>H<sub>2</sub></b>	<4%	/	<0,5%	
<b>H<sub>2</sub>O</b>	-80C/40bar	<32mg/m <sup>3</sup>	<32mg/m <sup>3</sup>	
<b>Wobbe index</b>	13,3-15,7 kWh/m <sup>3</sup>	43,6-44,41 kWh/m <sup>3</sup>	45,5-48,5 MJ/m <sup>3</sup>	46,8-58,46 MJ/m <sup>3</sup>
<b>Θερμογόνος δύναμη</b>	10,7-12,8 kWh/m <sup>3</sup>	35,1 MJ/m <sup>3</sup>	/	36,45-48,97 MJ/m <sup>3</sup>
<b>Σχετική Πυκνότητα</b>	0,55-0,65	/	/	0,56-0,71

Οι ποιοτικές απαιτήσεις για την έγχυση του στο δίκτυο φυσικού αερίου σε ορισμένες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 3, οι οποίες έχουν ως στόχο την αποφυγή της μόλυνσης του δικτύου του αερίου ή της τελικής χρήσης. Ο

δείκτης Wobbe, είναι για την αποφυγή επίδρασης στις μετρήσεις του αερίου και την τελική χρήση.

## 5.2.Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας

Εκτός από την έγχυση στο δίκτυο φυσικού αερίου, το παραγόμενο βιομεθάνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας. Δηλαδή, με την καύση του βιομεθανίου να παράγεται ηλεκτρική ενέργεια, ενώ η θερμότητα από τη μηχανή να συλλέγεται και να χρησιμοποιείται για θέρμανση νερού, αέρα κ.λπ.

## 5.3.Εφαρμογές Βιομεθανίου ως Καύσιμο

Σήμερα η αυτοκινητοβιομηχανία στηρίζεται στη βενζίνη ως την κύρια πηγή καυσίμων. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που παράγονται κατά την καύση της, πιστεύεται ότι έχουν καταστροφικές συνέπειες για το περιβάλλον. Πολλοί ειδικοί πιστεύουν ότι η λύση σε αυτά τα προβλήματα είναι το βιομεθάνιο (M. Ahman, 2010). Χρησιμοποιώντας το σαν καύσιμο, παράγονται μόνο υδρατμοί και μικρές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα ως προϊόντα. Αυτή η μικρή ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα θα μειώσει κατά πολύ την τρέχουσα ρύπανση από τη μεταφορά λόγω της μείωσης των εκπομπών. Η χρησιμοποίηση των οργανικών αποβλήτων ως νέα πηγή καυσίμων θα μειώσει επίσης τις εκπομπές από την αποσύνθεση της οργανικής ύλης. Η κοινωνία μπορεί να βελτιώσει το περιβάλλον και να διαθέτει μια βιώσιμη πηγή καυσίμου για τις επόμενες γενιές, εάν από τη βενζίνη προσανατολιστεί προς το βιομεθάνιο (Justin Traino, Summer Jiries, 2014).

Το Βιομεθάνιο είναι χημικά πανομοιότυπο με το φυσικό αέριο, αλλά έχει μερικές βασικές διαφορές. Το πρώτο ορίζεται ως μια πράσινη πηγή ενέργειας, ενώ το δεύτερο είναι ένα ορυκτό καύσιμο. Μια άλλη σημαντική διαφορά είναι ότι το φυσικό αέριο εξάγεται με γεώτρηση μέσα από τη γη, ενώ το βιομεθάνιο μπορεί να παραχθεί μέσω των διαδικασιών που περιγράφονται παραπάνω χρησιμοποιώντας οργανική ύλη. Αυτό το κάνει να είναι βιώσιμο και επωφελές για το περιβάλλον.

### 5.3.1.Περιπτώσεις Χρήσης Βιομεθανίου ως καύσιμο

Η διαδικασία κατά την οποία το βιομεθάνιο τοποθετείται σε οχήματα είναι ταυτόσημη με εκείνη των οχημάτων που χρησιμοποιούν συμπιεσμένο φυσικό αέριο.

Η πιο αξιοσημείωτη εφαρμογή του ήταν από μια ομάδα μηχανικών της Volkswagen που δημιούργησε ένα αυτοκίνητο (VW Passat TSI EcoFuel) που τροφοδοτείται από αυτή την πηγή καυσίμων κατά το 2004. Αυτό το όχημα ήταν ένα τεράστιο επίτευγμα, διότι δεν υπήρχε απώλεια του χώρου αποσκευών. Ο κορμός του αυτοκινήτου διαθέτει το ίδιο μέγεθος με ένα κανονικό όχημα με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Το όχημα διαθέτει ένα συνδυασμό υπερπληρωτή και υπερσυμπιεστή που επιτρέπει στο όχημα να πάει 0-100 Km/h σε 9,7 δευτερόλεπτα. Με ένα ρεζερβουάρ καυσίμου, ένα όχημα που τροφοδοτείται από βιομεθάνιο έχει αυτονομία 420 χιλιόμετρα. Το βιομεθάνιο που χρησιμοποιείται ως καύσιμο αυτοκινήτων είχε επίσης ιστορικά χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα το 2004 (J. Baldwin, 2009).

Αφότου παρήχθη αυτό το όχημα άλλες εταιρείες, όπως η Mercedes-Benz, άρχισαν να κατασκευάζουν οχήματα που ήταν παρόμοια. Υπήρξαν κατ' εκτίμηση 70.000 οχήματα που κινούνταν με βιομεθάνιο σε όλο τον κόσμο το 2010 (Clean Energy, 2013). Επί του παρόντος, η Σουηδία έχει τα περισσότερα οχήματα που είναι συμβατά με βιομεθάνιο και αγγίζουν περίπου τις 15000. Από το πρώτο αυτοκίνητο με βιομεθάνιο που δημιουργήθηκε το 2004, πολλοί επιστήμονες έχουν βελτιώσει την ποιότητά του και μείωσαν την ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνεται.

Πολλά οχήματα σήμερα χρησιμοποιούν μόνο βενζίνη, αλλά υπάρχουν ορισμένα που είναι σχεδιασμένα για να χρησιμοποιούν συμπιεσμένο φυσικό αέριο. Πολλοί κάτοχοι αυτοκινήτων θεωρούν ότι θα πρέπει να αγοράσουν ένα νέο αυτοκίνητο για να μεταβούν στο βιομεθάνιο και ανησυχούν για την αρχική επένδυση. Στην πραγματικότητα, υπάρχουν τρόποι μετατροπής ενός συμβατικού οχήματος με κινητήρα εσωτερικής καύσης προκειμένου να κινείται με βιομεθάνιο. Ένα παράδειγμα ενός τέτοιου οχήματος είναι το ένα Mazda Demio το οποίο είναι συμβατό με φυσικό αέριο και βενζίνη. Αυτό το αυτοκίνητο είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα για το πώς οι εταιρείες αυτοκινήτων μπορούν να μετατρέψουν τα αυτοκίνητα ώστε να είναι συμβατά με βιομεθάνιο, αλλά να εξακολουθούν να είναι σε θέση να χρησιμοποιούν βενζίνη. Αυτές οι μετατροπές επιτρέπουν την ομαλή μετάβαση από τη βενζίνη στο βιομεθάνιο. Παρά το γεγονός ότι τα οχήματα αυτά είναι λίγο πιο ακριβά, καθώς αναπτύσσεται η αγορά, θα γίνουν συγκρίσιμα σε τιμή με αυτά που κινούνται με βενζίνη. Φυσικά ένα εύλογο ερώτημα είναι γιατί κανείς να

ξοδέψει παραπάνω χρήματα για να αποκτήσουν ένα τέτοιο αυτοκίνητο. Η απάντηση είναι ότι θα μπορούσε κανείς πραγματικά να εξοικονομήσει χρήματα όταν αγοράζει βιομεθάνιο για το όχημά του, καθώς είναι μια βιώσιμη και οικονομική επιλογή, δεδομένου ότι ωφελεί το περιβάλλον. Επίσης, είναι λιγότερο δαπανηρή, λόγω του γεγονότος ότι η απόσταση που καλύπτεται με μία συγκεκριμένη ποσότητα βιομεθανίου είναι σαφώς μεγαλύτερη με την ίδια ποσότητα βενζίνης.



Σχήμα 12. Αυτοκίνητο που κινείται με βιομεθάνιο (<http://www.folkcenter.net>)

### 5.3.2. Επιχειρήματα ενάντια της χρήσης βιομεθανίου ως καύσιμο οχημάτων

Το κύριο ηθικό ζήτημα με τη χρήση του βιομεθανίου ως καύσιμο οχημάτων είναι ότι το μεθάνιο είναι 20-30 φορές πιο ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου από το διοξείδιο του άνθρακα. Ενδεχόμενες διαρροές, οι οποίες θα μπορούσαν να συμβούν κατά τη μεταφορά του καυσίμου ή στην παραγωγική διαδικασία, θα ακύρωναν τα οφέλη στην κλιματική αλλαγή από τη χρήση του ως καύσιμο μεταφορών. Μια μελέτη που διεξήχθη από επιστήμονες στο Πανεπιστήμιο του Στάνφορντ, το Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Μασαχουσέτης και του Τμήματος του Energy's National Renewable Energy Laboratory, που δημοσιεύθηκε στο περιοδικό Science δείχνει ότι υπάρχει ήδη 50% περισσότερο μεθάνιο στην ατμόσφαιρα από ό, τι είχε προηγουμένως εκτιμηθεί



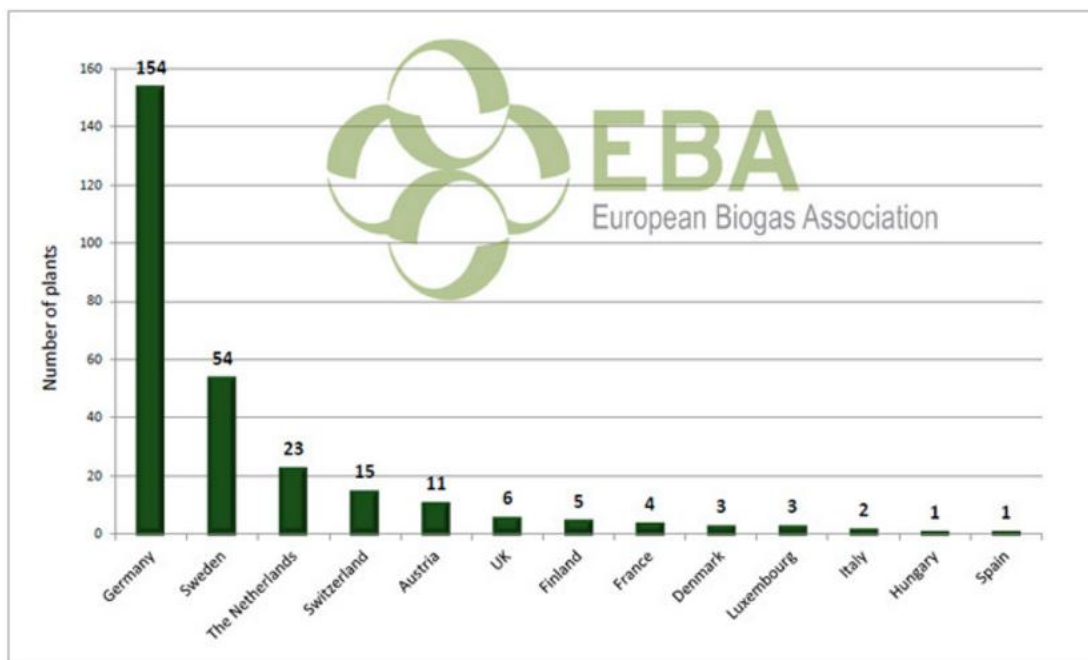
από την Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας. Η μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα ότι παρά τις αρνητικές συνέπειες, αντικαθιστώντας μια μονάδα παραγωγής ενέργειας με καύση άνθρακα με βιομεθάνιο, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου θα είναι φυσικά μικρότερες (C. Davenport, 2014).

Φυσικά πρέπει να αναφερθεί ότι τα περισσότερα χημικά που παράγονται σε μεγάλη κλίμακα είναι εξαιρετικά επιβλαβή και έχουν τη δυνατότητα να διαρρεύσουν στην ατμόσφαιρα. Άρα οι ενδεχόμενες διαρροές δεν πρέπει να αποτελούν εμπόδιο στη διάδοση του βιομεθανίου ως καύσιμο, πρέπει όμως να ληφθούν μέτρα τα οποία θα τις αποτρέψουν. Με την πάροδο του χρόνου οι τεχνολογίες αναπτύσσονται, περιορίζοντας τις διαρροές μεθανίου στην ατμόσφαιρα, το έδαφος και το νερό. Με περισσότερα κυβερνητικό έλεγχο και επενδύσεις σε τεχνολογίες, το μεθάνιο που διαφεύγει στο περιβάλλον θα μπορούσε να μειωθεί σημαντικά.

#### 5.4.Χρήση Βιομεθανίου στην Ευρώπη

Σε ότι αφορά την αναβάθμιση βιοαερίου για παραγωγή βιομεθανίου, στην Ευρώπη υπήρχαν το 2013 περίπου 282 εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν τις τεχνολογίες που αναφέρθηκαν, 200 από τις οποίες τροφοδοτούν το δίκτυο. Η ετήσια παραγωγή τους ήταν 1,3 δις m<sup>3</sup>, με το 10% να χρησιμοποιείται στη μεταφορά. Η σημαντική αύξηση στη δυναμικότητα των μονάδων αναερόβιας χώνευσης οφείλεται κυρίως στην πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη μείωση και την εκτροπή των βιοαποβλήτων που οδηγούνται σε ΧΥΤΑ (Sandra Rostek, 2014).

Σήμερα το βιοαέριο διοχετεύεται στο δίκτυο του φυσικού αερίου στη Σουηδία, στην Αυστρία, στην Ελβετία και τη Γερμανία, ενώ στη Γαλλία και τη Σουηδία χρησιμοποιείται ως καύσιμο μεταφορών. Την ίδια στιγμή η αγορά βιοαερίου είναι πολύ μικρή σε άλλες Ευρωπαϊκές χώρες. Η κατάσταση αυτή πρέπει να αλλάξει τα επόμενα χρόνια καθώς οι χώρες αυτές πρέπει να επιτύχουν τους Ευρωπαϊκούς ενεργειακούς στόχους.



Διάγραμμα 4. Εγκαταστάσεις Βιομεθανίου στην Ευρώπη (<http://european-biogas.eu>)

Η επιτυχία του βιομεθανίου ως καύσιμο μεταφορών στην Ευρώπη σημαίνει ότι έχει τη δυνατότητα να εισέλθει στις αγορές των ΗΠΑ. Συγκεκριμένα, στη Γερμανία υπάρχουν πάνω από 900 σταθμοί ανεφοδιασμού για φυσικό αέριο που στη συνέχεια μπορούν να μετατραπούν σε σταθμούς βιομεθανίου. Οι σταθμοί αυτοί είναι συνδεδεμένοι με το εθνικό δίκτυο φυσικού αερίου, γεγονός το οποίο δείχνει ότι το βιομεθάνιο μπορεί να είναι η κυρίαρχη πηγή καυσίμων στο μέλλον.

Η Σουηδία είναι η χώρα στην ΕΕ με τις μεγαλύτερες πωλήσεις βιομεθανίου για την κίνηση οχημάτων, ενώ από το 2005 έχει τεθεί σε κυκλοφορία τρένο που κινείται με βιομεθάνιο. Υπάρχουν αρκετές μονάδες αναβάθμισης βιοαερίου σε βιομεθάνιο, 63 δημόσιοι σταθμοί διανομής βιομεθανίου, 18 σταθμοί διανομής ειδικά για λεωφορεία και 5298 οχήματα που κινούνται με βιομεθάνιο, εκ των οποίων 4519 επιβατικά, 225 φορτηγά και 554 λεωφορεία (Agapitidis I., Zafiridis C. 2006), (Dominik Rutz et al. 2008).



Σχήμα 13. Τρένο που κινείται με βιομεθάνιο , Σουηδία (<https://metaefficient.com>)

Στη Φινλανδία 700.000 αυτοκίνητα και 50.000 λεωφορεία κινούνται με βιομεθάνιο (Liisa McDermott, 2011).



Σχήμα 14. Λεωφορείο που κινείται με βιομεθάνιο, Φινλανδία (<http://www.hybridcars.com>)

## 5.5.Εν δυνάμει 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 Φυσικού Αερίου. Οι περιοχές αυτές εντοπίζονται σε τρία σημεία του δικτύου στα Οινόφυτα, στη Β. Θεσσαλονίκη και στη Β. Λάρισα (ΚΑΠΕ, 2010).

## 5.6.Οφέλη Χρήσης Βιομεθανίου ως καύσιμο

Η εφαρμογή μιας αλλαγής δεν είναι ποτέ εύκολη. Υπάρχουν πάντα προκλήσεις και ηθικά ζητήματα που προκύπτουν κατά τη διαδικασία. Η αλλαγή από το πιο συνηθισμένο καύσιμο, τη βενζίνη, σε βιομεθάνιο έχει αρχικές δαπάνες, αλλά τα μακροπρόθεσμα κέρδη είναι ιδιαίτερος σημαντικά.

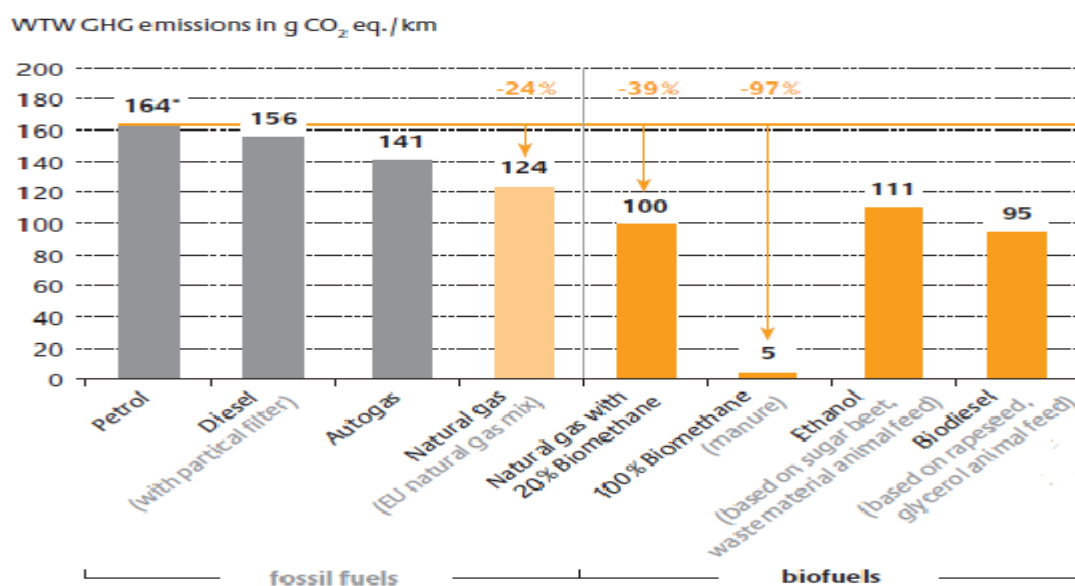
### 5.6.1.Εκπομπές

Δεδομένου ότι η ζήτηση ενέργειας αυξάνεται συνεχώς, άρα αυξάνονται και τα αέρια του θερμοκηπίου που απελευθερώνονται στο περιβάλλον, το βιομεθάνιο είναι μια βιώσιμη λύση ως πηγή καυσίμων των οχημάτων για περιβαλλοντικούς, κοινωνικούς και οικονομικούς λόγους. Έχει τη δυνατότητα να αντικαταστήσει πλήρως το φυσικό αέριο επειδή αυτές οι δύο πηγές ενέργειας είναι χημικά πανομοιότυπες. Μπορεί ωστόσο να αντικαταστήσει το πετρέλαιο και τον άνθρακα σε μεγάλο βαθμό επειδή είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.

Το βιομεθάνιο είναι μια εναλλακτική ενέργεια που δεν είναι μόνο ανανεώσιμη πηγή, αλλά επίσης έχει αρκετές θετικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Αντίθετα με τις περισσότερες πηγές καυσίμων, δεν συμβάλλει στην κλιματική αλλαγή, στην πραγματικότητα βοηθά στην αντιμετώπισή της, διότι εξαλείφει την απελευθέρωση μεγάλης ποσότητας μεθανίου και άλλων επιβλαβών αερίων στο περιβάλλον με την παρεμπόδιση της έκθεσης της αποσύνθεσης των οργανικών απορριμμάτων στην ατμόσφαιρα. Το βιομεθάνιο είναι συνεπώς καθαρό, αποδοτικό και διαθέσιμο και η ενεργειακή αξιοποίηση του έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών που ευθύνονται άμεσα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου και άρα συντελεί σημαντικά στην προστασία του περιβάλλοντος.

Άλλα οφέλη από τη χρήση του βιοαερίου και όχι ντίζελ, είναι η λιγότερη τοπική ατμοσφαιρική ρύπανση. Αυτό αποδεικνύεται από πραγματικές εκτιμήσεις που έγιναν από το Swedish Gas Technology Centre και δείχνουν ότι ο κύκλος ζωής CO<sub>2</sub> του υγρού οργανικού υλικού και της κοπριάς αντιπροσωπεύουν μια μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 100% και 150%, αντίστοιχα (Henrik Hønsen Huseby, 2015).

Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 5, η βενζίνη, το συνηθέστερα χρησιμοποιούμενο καύσιμο οχημάτων, παράγει 164g CO<sub>2</sub> eq/km, ενώ το βιομεθάνιο, από την άλλη πλευρά, απελευθερώνει μόνο 5g CO<sub>2</sub> eq/km (Deutsche Energie, 2010).



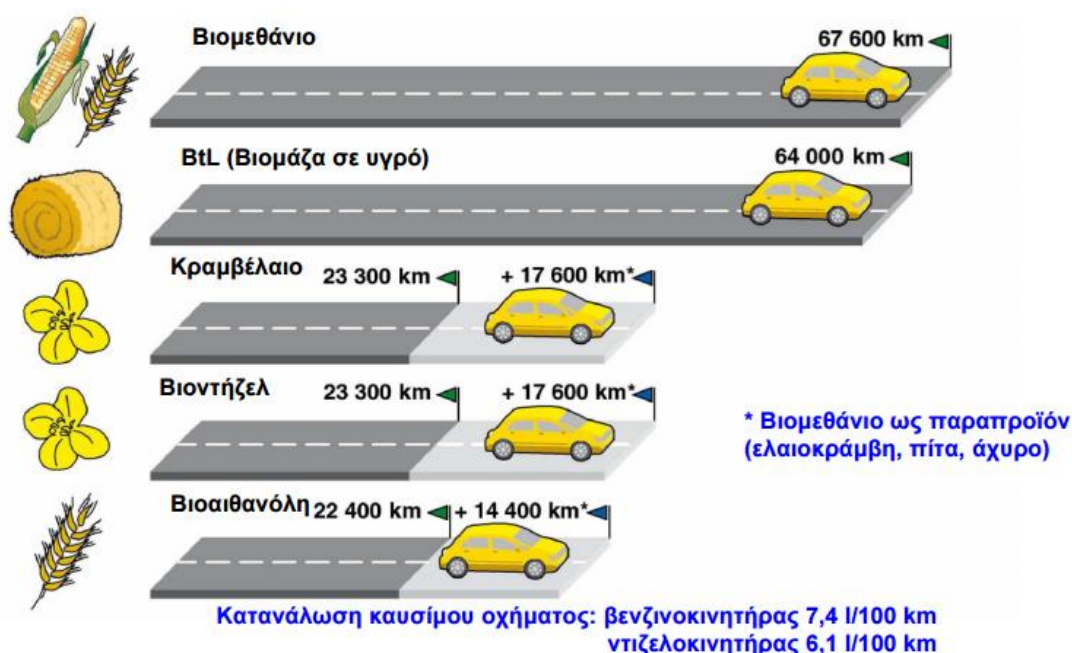
Διάγραμμα 5. Εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά Km (Deutsche Energie, 2010)

### 5.6.2. Απόδοση

Σαν καύσιμο οχημάτων, αποδεικνύεται ότι το βιομεθάνιο παράγει τη μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας για μία δεδομένη ποσότητα πρώτης ύλης. Αυτό το καθιστά αποτελεσματικότερο από το ντίζελ ή τη βενζίνη επειδή έχει υψηλότερη ενεργειακή απόδοση, που είναι ο λόγος της ενέργειας εξόδου προς την ενέργεια εισόδου για την παραγωγή καυσίμων. Η κατά προσέγγιση ενεργειακή απόδοση για το βιομεθάνιο είναι 9:1, ενώ είναι μόνο 1:1 για τη βενζίνη (Sustainable Conservation Company, 2013). Αυτό σημαίνει ότι ένα αυτοκίνητο που τροφοδοτείται από βιομεθάνιο θα είναι

σε θέση να διανύσει μεγαλύτερη απόσταση με την ίδια ποσότητα υλικών εισόδου. Παράλληλα, διαθέτει την υψηλότερη ευελιξία και τα περισσότερα διαθέσιμα υλικά εισόδου, τα οποία καθιστούν δυνατή την παραγωγή οπουδήποτε στον κόσμο. Αυτά τα υλικά εισροής διατίθενται επίσης σε πολύ χαμηλό κόστος, το οποίο το κάνει μία ακόμη πιο ελκυστική επιλογή (Justin Traino, Summer Jiries, 2014).

Στο Σχήμα 15 γίνεται μια σύγκριση για μια απόσταση που διανύει ένα αυτοκίνητο κινούμενο με το αντίστοιχο βιοκαύσιμο. Το βιομεθάνιο θεωρείται ότι έχει το υψηλότερο δυναμικό ως καύσιμο οχημάτων, συγκρινόμενο με άλλα βιοκαύσιμα.



Σχήμα 15. Σύγκριση βιοκαυσίμων (Γιακουμέλος Λευτέρης, 2012)

### 5.6.3.Χρησιμοποίηση Αποβλήτων σαν Πρώτη Ύλη

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της παραγωγής βιοαερίου είναι η δυνατότητα χρησιμοποίησης αποβλήτων ως πρώτη ύλη της αναερόβιας χώνευσης. Ένα μεγάλο τμήμα αστικών και βιομηχανικών αποβλήτων αποτελείται από οργανική ύλη, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή βιοαερίου σε αναερόβιους χωνευτές. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται ο όγκος των αποβλήτων, εξοικονομούνται χρήματα και επιτυγχάνονται οι στόχοι της εθνικής και ευρωπαϊκής νομοθεσίας για τη μείωση αποβλήτων. Εκτός αυτού, η περίσσεια κοπριάς σε περιοχές εντατικής κτηνοτροφίας

μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για την παραγωγή βιοαερίου, τεχνική που θεωρείται ορθή γεωργική πρακτική στη διαχείριση της κοπριάς.

Οι πόροι για την παραγωγή βιομεθανίου ποτέ δεν θα καταστραφούν επειδή παράγεται από οργανικά απόβλητα, τα οποία θα μπορούσαν να προέρχονται από ΧΥΤΑ ή εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων. Η καύση του μπορεί να απελευθερώσει κάποια ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, αλλά δεν αυξάνει τα επίπεδα των αερίων του θερμοκηπίου. Οι ρύποι είναι ισοδύναμοι με αυτούς που θα απελευθερώνονταν στην ατμόσφαιρα, εάν η οργανική ύλη από την οποία παράγεται το βιομεθάνιο δεν χρησιμοποιούταν. Αναφέρεται ότι τα αστικά στερεά απόβλητα στους ΧΥΤΑ αντιπροσωπεύουν πάνω από το ένα τέταρτο των συνολικών εκπομπών μεθανίου στις ΗΠΑ. Η διαδικασία της αναερόβιας χώνευσης αφαιρεί μια πιθανή πηγή ισοδύναμων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που θα είχε απελευθερωθεί στο περιβάλλον, εάν τα απόβλητα είχαν αφηθεί να αποσυντεθούν από μόνα τους. Όταν μια δραστηριότητα απομακρύνει περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα από αυτό που είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία της, λέγεται ότι έχει ένα αρνητικό αποτύπωμα άνθρακα.

Το βιομεθάνιο είναι ένα βιώσιμο καύσιμο οχημάτων διότι επεξεργάζεται ζωικά και ανθρώπινα απόβλητα τα οποία διαφορετικά θα κατέληγαν στο έδαφος ή θα καίγονταν σε έναν αποτεφρωτήρα. Η ποιότητα του αέρα, του νερού και του εδάφους βελτιώνονται σημαντικά, διότι η καύση των σκουπιδιών οδηγεί σε νέφος και όξινη βροχή. Η χρήση του αφαιρεί τα απόβλητα από το περιβάλλον, αλλά και εξαλείφει τα ορυκτά καύσιμα-ρυπαντές και τους πιθανούς κινδύνους, όπως διαρροές. Τα μηχανήματα παραγωγής και αποθήκευσης μπορεί να μην έχουν ελκυστικό αισθητικό αντίκτυπο στο τοπίο, αλλά η παραγωγή βιομεθανίου δεν έχει επιβλαβείς συνέπειες στη φύση, όπως η εξόρυξη άνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου (Justin Traino, Summer Jiries, 2014). Η αξιοποίηση αυτού του είδους οργανικών αποβλήτων επιτρέπει τη μετατροπή τους σε ενεργειακό προϊόν (με μορφή θερμότητας, ηλεκτρικής ενέργειας ή καυσίμου) αποφέροντας κοινωνικά και οικονομικά οφέλη.

#### 5.6.4. Ποιότητα Αέρα και Υδάτων

Η χρήση του βιομεθανίου συντελεί στη μείωση των πτητικών οργανικών ενώσεων που ευθύνονται σε μεγάλο βαθμό για το σχηματισμό όζοντος και αιθαλομίχλης αλλά και των ενοχλητικών οσμών σε τοπικό επίπεδο. Το βελτιωμένο σύστημα διαχείρισης ζωικών αποβλήτων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν πρώτη ύλη για την παραγωγή βιομεθανίου, επιφέρει και μείωση των κινδύνων που σχετίζονται με τη μόλυνση των υπόγειων υδάτων, που μπορεί να προκληθεί σε περιόδους βροχών.

#### 5.6.5. Θέσεις Εργασίας

Η παραγωγή και η χρήση του βιομεθανίου παρέχουν πολλά περιβαλλοντικά και κοινωνικοοικονομικά οφέλη για την κοινωνία ως σύνολο και για τους εμπλεκόμενους γεωργούς. Ενισχύονται οι τοπικές οικονομίες, εξασφαλίζονται θέσεις εργασίας στις αγροτικές περιοχές και αυξάνεται η αγοραστική δύναμη. Επίσης, βελτιώνεται το βιοτικό επίπεδο και η οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη, άρα και η τόνωση της τοπικής επιχειρηματικότητας.



## Κεφάλαιο 6. Προβλήματα επένδυσης σε εθνικό επίπεδο

Κατά την διάρκεια των τελευταίων ετών η ανάπτυξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα επηρεάστηκε θετικά από το σημαντικό δυναμικό της χώρας και την πολιτική της. Το θεσμικό πλαίσιο βελτιώθηκε σημαντικά με την εισαγωγή νέα νομοθεσίας στα θέματα των ΑΠΕ και του περιβάλλοντος. Εντούτοις, αν και οι μηχανισμοί, η κοινωνική πίεση, το χρηματοδοτικό και επενδυτικό περιβάλλον βελτίωσαν την εικόνα, έτσι ώστε νέες μονάδες να δημιουργηθούν και να λειτουργήσουν, υπάρχουν ακόμη προβλήματα που επηρεάζουν την περαιτέρω ανάπτυξη έργων βιοαερίου και σχετίζονται με την κοινωνική στάση, το υψηλό κόστος επένδυσης, τις χρονοβόρες διαδικασίες σχεδιασμού, τη χαμηλή ζήτηση, το γεγονός ότι τα οχήματα φυσικού αερίου δεν είναι τόσο δημοφιλή συγκριτικά με της βενζίνης και την έλλειψη τεχνικών προδιαγραφών . Η αγορά του βιοαερίου και ειδικά του βιομεθανίου είναι νέες στην Ελλάδα και χρειάζονται στήριξη για να προσφέρουν. Μόλις ξεπεραστούν τα προβλήματα που προκύπτουν, η χρήση του βιομεθανίου, μπορεί να αντικαταστήσει τα συμβατικά καύσιμα και να ενισχύσει την αειφορία. Τα προβλήματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

### 6.1.Ευαισθητοποίηση & Ενημέρωση

Ακόμη και σήμερα υπάρχει έλλειψη γνώσης και πληροφόρησης σχετικά με τις δυνατότητες ενεργειακής αξιοποίησης των αποβλήτων, της τελικής τους χρήσης (πχ. παραγωγή ηλεκτρισμού, κάλυψη θερμικών αναγκών, έγχυση στο δίκτυο του φυσικού αερίου, χρήση ως καύσιμο στις μεταφορές) και των πλεονεκτημάτων τους. Αυτό που χρειάζεται είναι ευαισθητοποίηση του κοινού σε όλα τα επίπεδα. Σήμερα υπάρχει μία αρκετά ώριμη ενεργειακή αγορά στην Ελλάδα σχετικά με το βιοαέριο, παρόλα αυτά χρειάζεται η περαιτέρω ενδυνάμωση της εγχώριας ενεργειακής βιομηχανίας, γεγονός που θα προωθήσει την ανάπτυξη έργων και θα οδηγήσει στην μείωση του κόστους επένδυσης.

Παράμετροι όπως η σταθερή διαθεσιμότητα των αποβλήτων και η σύνθεσή τους είναι σημαντικοί για την βιολογική διαδικασία και την παραγωγή βιοαερίου. Σε περιοχές όπως η Ελλάδα η εποχιακή παραγωγή αποβλήτων (πχ. απόβλητα ελαιοτριβείων) αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την επιτυχή υλοποίηση ενός έργου βιοαερίου. Στις περιπτώσεις αυτές θα πρέπει να εξασφαλίζονται μακροχρόνια συμβόλαια μεταξύ

των διαχειριστών της μονάδας βιοαερίου και των πάροχων της πρώτης ύλης και η χρήση διαφορετικών αποβλήτων (πχ. αγροτοβιομηχανικά απόβλητα με ζωικά απόβλητα) είναι επιβεβλημένη (συγχώνευση). Ωστόσο, η διαλογή του οργανικού κλάσματος στην πηγή μέσω της χρήσης οικιακών κάδων κομποστοποίησης όταν εφαρμοστεί με επιτυχία, αναμένεται να προσφέρει τεράστιο όγκο πρώτης ύλης στις εγκαταστάσεις βιοαερίου. Σε κάθε περίπτωση η συμμετοχή των αγροτών σε ένα έργο βιοαερίου ακόμη και στην περίπτωση μίας κεντρικής μονάδας θεωρείται σημαντική για την επιτυχή λειτουργία της (πχ. παροχή της πρώτης ύλης, απολαβή λιπάσματος, λειτουργία της μονάδας).

Μερικοί άνθρωποι πιστεύουν ότι μπορεί να υπάρχει έλλειψη πρόσβασης σε οργανικά απόβλητα ή ότι η παραγωγή βιομεθανίου θα μπορούσε να υποβαθμίσει την επάρκεια και ασφάλεια των τροφίμων, καθώς μπορεί να εξαχθεί και από ενεργειακές καλλιέργειες. Το βιομεθάνιο μπορεί να παραχθεί με τη χρήση καλλιεργειών ως πρώτη ύλη, αλλά αυτό δεν θα είναι τόσο βιώσιμο όσο η χρήση οργανικών αποβλήτων. Υπάρχουν διάφορες άλλες επιλογές όπου η οργανική ύλη μπορεί να ληφθεί, όπως χωματερές, μονάδες επεξεργασίας λυμάτων, ή κοπριά των ζώων.

## 6.2.Επενδυτικός Κίνδυνος

Ο επενδυτικός κίνδυνος είναι η δεύτερη μεγάλη πρόκληση μετά την ενημέρωση και την ευαισθητοποίηση. Σίγουρα το υψηλό κόστος επένδυσης για μια μονάδα είναι ανασταλτικός παράγοντας. Ενώ η παραγωγή βιομεθανίου χρειάζεται επενδύσεις κεφαλαίου, η διανομή του δεν χρειάζεται, καθώς μπορεί εύκολα να μεταφερθεί μέσω των υφιστάμενων υποδομών, όπως το δίκτυο του φυσικού αερίου. Επιπλέον, οι κυβερνήσεις συχνά παρέχουν επιδοτήσεις για τις ΑΠΕ για να αντισταθμίσουν τα αρχικά κόστη των νέων τεχνολογιών. Δεδομένου ότι το βιομεθάνιο και το φυσικό αέριο είναι χημικά όμοια, το βιομεθάνιο μπορεί να εγχυθεί σε ένα δίκτυο αερίου εφόσον έχει καθαριστεί από τις ακαθαρσίες. Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν σημαντικές αρχικές δαπάνες για τις εγκαταστάσεις και τα μηχανήματα, αυτές θα μειωθούν καθώς αναπτύσσεται η αγορά. Το βιομεθάνιο άλλωστε έχει χαμηλό λειτουργικό κόστος, επειδή τα υλικά εισόδου είναι ανέξοδα (Justin Traino, Summer Jiries, 2014).

Προκειμένου να ξεπεραστεί ο επενδυτικός κίνδυνος, απαιτείται περαιτέρω βελτίωση των υποστηρικτικών μηχανισμών ΑΠΕ και ειδικότερα των επενδύσεων βιοαερίου για την προσέλκυση νέων έργων, όπως εξέταση διαφοροποίησης των κρατικών επιδοτήσεων, εμπορεύσιμα πράσινα πιστοποιητικά, υψηλότερη εγγυημένη τιμή ενέργειας ανάλογα την μορφή βιομάζας κλπ. (Σιούλας Κωνσταντίνος, 2008).

### 6.3. Προώθηση Βιομεθανίου ως καύσιμο

Μέχρι σήμερα υπάρχει περιορισμένη τεχνογνωσία και υποδομή στο θέμα αυτό. Η χρήση του βιομεθανίου ως καύσιμο κίνησης οχημάτων απαιτεί την αμέριστη προώθηση από την πλευρά των εταιρειών (πχ. κατασκευή σταθμών ανεφοδιασμού) και την υποστήριξη του κράτους (πχ. αποφορολόγηση καυσίμων, μείωση φόρων στους κατόχους αυτοκινήτων κλπ.).

### 6.4. Χρηματοδότηση

Η χρηματοδότηση επενδύσεων ΑΠΕ παραμένει ένα σημαντικό και κρίσιμο ζήτημα. Σήμερα, όλο και περισσότεροι εν δυνάμει επενδυτές ενδιαφέρονται για την ανάπτυξη πράσινων επενδύσεων. Η εξασφάλιση χρηματοδότησης και η ανάπτυξη επαρκούς χρηματοδοτικού πλαισίου είναι δύο μόνο από τους πολλούς παράγοντες που σχετίζονται με την υλοποίηση έργων βιοαερίου.

Τα εργαλεία χρηματοδότησης μπορούν να χωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες: δημόσια και ιδιωτική χρηματοδότηση. Η δημόσια έγκειται στην εγγυημένη τιμή πώλησης της ενέργειας και στις κρατικές ενισχύσεις.

#### 6.4.1. Δημόσια Χρηματοδότηση - Feed In Tariff

Το σύστημα των εγγυημένων σταθερών τιμών, ή αλλιώς feed in tariffs, για τη χρηματοδότηση των ΑΠΕ αποτελεί την πλέον επιτυχημένη λύση για την αποδοτική ανάπτυξη του κλάδου, καθώς χάρις σε αυτό πολλές χώρες κατάφεραν να επιτύχουν τους στόχους των ΑΠΕ. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ΑΠΕ αυτή τη στιγμή στην Ελλάδα τιμολογείται σε μηνιαία βάση σύμφωνα με τον Πίνακα 4.

Η νομοθεσία στην Ελλάδα έχει προβλέψει διαφορετική τιμολόγηση αναλόγως τις επικρατούσες συνθήκες. Η διαφορετική ροή βιοαερίου καθώς και η εγκατεστημένη

ισχύς της μονάδας καθορίζει την τιμή ενέργειας από μία μονάδα αξιοποίησης βιοαερίου. Δηλαδή η τιμολόγηση είναι: 220€/MWh για βιοαέριο που προέρχεται από βιομάζα με εγκατεστημένη ισχύ  $\leq 3$ MW και 200€/MWh από τις ίδιες μονάδες βιοαερίου με εγκατεστημένη ισχύ  $> 3$ MW. Το γεγονός αυτό αποτελεί βασικό μοχλό για να προσελκύσει μεγαλύτερο ενδιαφέρον η αξιοποίηση του βιοαερίου καθώς η εγγυημένη τιμή υπερδιπλασιάστηκε. Η σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από σταθμούς ΑΠΕ και Συμπααραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας ισχύει για είκοσι έτη, γεγονός που βοηθά τους επενδυτές.

Πίνακας 4. Τιμή Πώλησης Ηλεκτρικής Ενέργειας ([www.lagie.gr](http://www.lagie.gr))

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από:	Τιμή Ενέργειας (Euro/MWh)	
	Διασυνδεδεμένο Σύστημα	Μη διασυνδεδεμένα νησιά
(α) Αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με χερσαίες εγκαταστάσεις ισχύος μεγαλύτερης των 50kW	87,85	99,45
(β) Αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με εγκαταστάσεις ισχύος μικρότερης ή ίσης των 50kW	250	
(γ) Φωτοβολταϊκά έως 10kW peak στον οικιακό τομέα και σε μικρές επιχειρήσεις (σύμφωνα με το ειδικό πρόγραμμα σε κτιριακές εγκαταστάσεις – Αποφ-12312/ΓΓ/175/4-6-09 , ΦΕΚ-1079/Β/09)	550	
(δ) Υδραυλική ενέργεια που αξιοποιείται με μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ έως δεκαπέντε (15) MWe	87,85	
(ε) Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από ηλιοθερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής	264,85	
(στ) Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από ηλιοθερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με σύστημα αποθήκευσης, το οποίο εξασφαλίζει τουλάχιστον 2 ώρες λειτουργίας στο ονομαστικό φορτίο	284,85	
(ζ) Γεωθερμική ενέργεια χαμηλής θερμοκρασίας κατά την παρ.1στ του Αρθ-2 του Ν-3175/03 (ΦΕΚ-207/Α/03)	150	
(η) Γεωθερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας κατά την παρ.1στ του Αρθ-2 του Ν-3175/03 (ΦΕΚ-207/Α/03)	99,45	
(θ) Βιομάζα που αξιοποιείται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ $\leq 1$ MW (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	200	
(ι) Βιομάζα που αξιοποιείται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ $> 1$ MW και $\leq 5$ MW (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	175	
(ια) Βιομάζα που αξιοποιείται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ $> 5$ MW (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	150	
(ιβ) Αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και βιοαέρια από βιομάζα (συμπεριλαμβανομένου και του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αποβλήτων), με εγκατεστημένη ισχύ $\leq 2$ MW	120	
(ιγ) Αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και βιοαέρια από βιομάζα (συμπεριλαμβανομένου και του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αποβλήτων), με εγκατεστημένη ισχύ $> 2$ MW	99,45	
(ιδ) Βιοαέριο που προέρχεται από βιομάζα (κτηνοτροφικά και αγροτο-βιομηχανικά οργανικά υπολείμματα και απόβλητα) με εγκατεστημένη ισχύ $\leq 3$ MW	220	
(ιε) Βιοαέριο που προέρχεται από βιομάζα (κτηνοτροφικά και αγροτο-βιομηχανικά οργανικά υπολείμματα και απόβλητα) με εγκατεστημένη ισχύ $> 3$ MW	200	
(ιστ) ΣΗΘΥΑ	87,85xΣΡ	99,45xΣΡ
(ιζ) Λοιπές ΑΠΕ (συμπεριλαμβανομένων και των σταθμών ενεργειακής αξιοποίησης του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων που πληρούν τις προδιαγραφές της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας όπως εκάστοτε αυτές ισχύουν)	87,85	99,45

#### 6.4.2. Δημόσια Χρηματοδότηση - Κρατικές Ενισχύσεις

Το ποσό των ενισχύσεων που δίνεται σε αυτήν την περίπτωση εξαρτάται από το επίπεδο ανάπτυξης της περιοχής και το μέγεθος του φορέα της επένδυσης. Τα είδη των ενισχύσεων που μπορεί να υιοθετήσει η χώρα είναι τα εξής:

- Φορολογική απαλλαγή που συνίσταται στην απαλλαγή από την καταβολή φόρου εισοδήματος επί των πραγματοποιούμενων προ φόρων κερδών, τα οποία προκύπτουν με βάση τη φορολογική νομοθεσία, από το σύνολο των δραστηριοτήτων της επιχείρησης.
- Επιχορήγηση που συνίσταται στη δωρεάν παροχή από το Δημόσιο χρηματικού ποσού για την κάλυψη τμήματος των ενισχυόμενων δαπανών του επενδυτικού σχεδίου και προσδιορίζεται ως ποσοστό αυτών.
- Επιδότηση χρηματοδοτικής μίσθωσης που συνίσταται στην κάλυψη από το Δημόσιο τμήματος των καταβαλλόμενων δόσεων χρηματοδοτικής μίσθωσης που συνάπτεται για την απόκτηση καινούριου μηχανολογικού και λοιπού εξοπλισμού.

Αξίζει να αναφερθεί ότι αντίστοιχα μέτρα χρησιμοποιούνται με επιτυχία σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες, όπως η Σουηδία.

#### 6.4.3. Ιδιωτική Χρηματοδότηση

Η συνηθέστερη μέθοδος χρηματοδότησης έργων ΑΠΕ στην Ελλάδα είναι η σύναψη δανείου με τράπεζα. Από την στιγμή που η τεχνολογία του βιοαερίου δεν έχει ακόμη ευρεία εφαρμογή είναι πολύ δύσκολο για τους τραπεζίτες να εκτιμήσουν κατά πόσο μια συγκεκριμένη δραστηριότητα θα είναι κερδοφόρα. Ωστόσο, σήμερα όλο και περισσότερες τράπεζες βλέπουν τις ΑΠΕ ως δυνατότητα για κερδοφορία.

Αξίζει να αναφερθεί ότι μετά από έρευνα που έγινε για το έργο BIOGASIN το 2010, τέσσερις τράπεζες εκτίμησαν τον κίνδυνο χρηματοδότησης ενός έργου βιοαερίου γενικά ως χαμηλό και δύο ως υψηλό. Μερικοί από τους κινδύνους χρηματοδότησης έργων βιοαερίου αναφέρθηκαν οι αλλαγές στη νομοθεσία για τις ΑΠΕ και το μη σταθερό πλαίσιο, η έλλειψη εμπειρίας από τους επενδυτές, η εξασφάλιση πρώτης ύλης (συμβόλαια) και το γεγονός ότι ο τομέας του βιοαερίου είναι σχετικά νέος στην Ελλάδα. Ωστόσο ο τομέας κερδίζει έδαφος ολοένα και περισσότερο τα τελευταία χρόνια (Σιούλας Κ., Καναβάκης Γ., 2011).

## Κεφάλαιο 7.Μελέτη Περίπτωσης

### 7.1.SimaPro 7

Στην παρούσα εργασία, για την περιβαλλοντική αξιολόγηση της λειτουργίας μιας μονάδας παραγωγής βιοαερίου και αναβάθμισής του σε βιομεθάνιο στην Ελλάδα, εφαρμόστηκε η μεθοδολογία της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment) με τη βοήθεια του Λογισμικού Προγράμματος SimaPro 7.

Το SimaPro 7 είναι ένα επαγγελματικό εργαλείο συλλογής, ανάλυσης και καταγραφής της περιβαλλοντικής επίδοσης προϊόντων και υπηρεσιών, σύμφωνα με το πρότυπο ISO 14040. Το πρόγραμμα διαθέτει κάποιες βάσεις δεδομένων, από τις οποίες μπορούν να ληφθούν στοιχεία για υλικά και διαδικασίες του εκάστοτε μοντέλου. Οι οικολογικοί δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα είναι ο Eco-indicator 99 και ο Eco-indicator 95 (Έχει γίνει μια προσπάθεια να ενσωματωθούν η ενέργεια, το νερό και οι αέρια, υγρές και στερεές εκπομπές που σχετίζονται με την παραγωγή του υλικού σε ένα μόνο νούμερο ή αλλιώς οικολογικό δείκτη). Ο πρώτος αποτελεί εξέλιξη του δεύτερου και βασίζονται σε ήδη συλλεγμένα στοιχεία για διεργασίες ή προϊόντα. Η κανονικοποίηση και η στάθμιση πραγματοποιούνται σε επίπεδο κατηγορίας ζημιών. Οι κατηγορίες των ζημιών και τα αποτελέσματα που εξάγονται στα διαγράμματα του προγράμματος αφορούν την ανθρώπινη υγεία, την ποιότητα του οικοσυστήματος καθώς και τους φυσικούς πόρους (Οικολογικός Σχεδιασμός Προϊόντων, Καραλέκας Δ.)

### 7.2.Μονάδα Παραγωγής Βιοαερίου

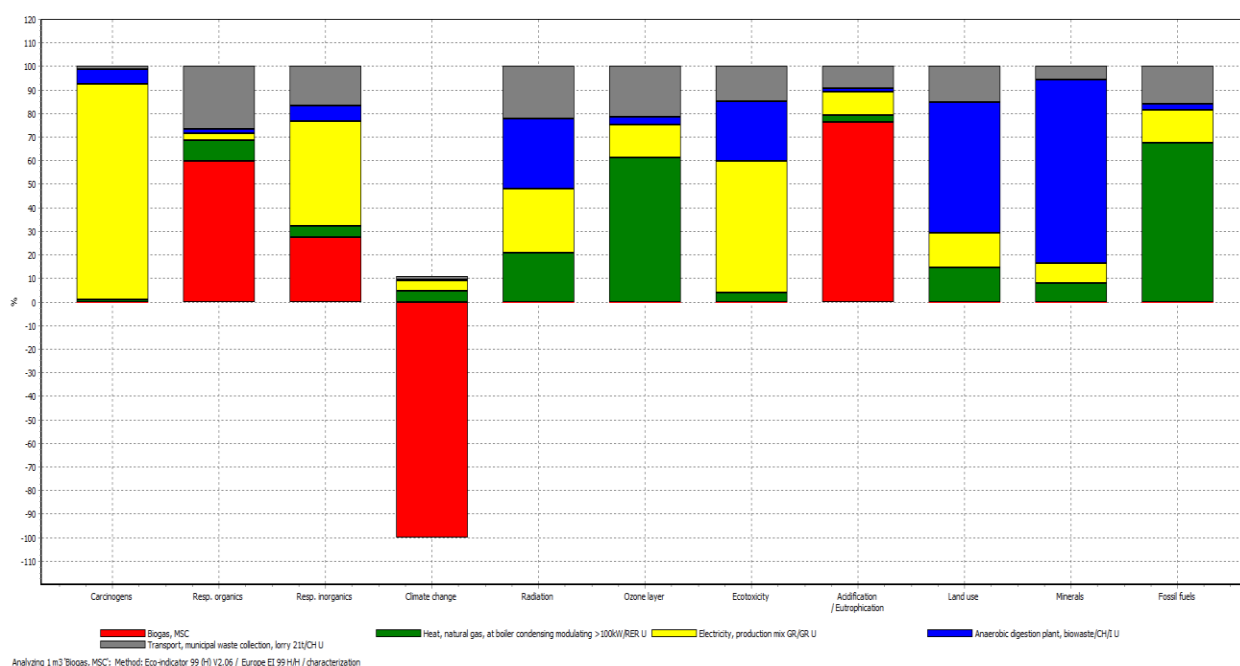
Η Μονάδα Διαχείρισης Οργανικών Αποβλήτων που θα αναλυθεί από την οποία παράγεται το βιοαέριο είναι μία Μονάδα Ηλεκτροπαραγωγής και ειδικότερα Μονάδας Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ) που πρόκειται να υλοποιηθεί στο νομό Κιλκίς. Η Μονάδα θα είναι συνδεδεμένη με το δίκτυο της ΔΕΗ και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια που θα παρέχεται σε αυτό, θα πωλείται στη ΔΕΗ. Η παραγόμενη θερμότητα θα τροφοδοτεί τις θερμικές ανάγκες θερμοκηπίου που θα δημιουργηθεί στην εγκατάσταση. Το παραγόμενο CO<sub>2</sub> θα αξιοποιείται για τον εμπλουτισμό του αέρα του θερμοκηπίου, ενώ το παραγόμενο Βιομεθάνιο θα πωλείται ως καύσιμο οχημάτων. Η τεχνολογία που θα χρησιμοποιείται για την αναβάθμιση σε

βιομεθάνιο θα είναι η τεχνολογία μεμβρανών που έχει αρχίσει να γίνεται δημοφιλής και είναι η φθηνότερη όπως απεικονίζεται στον Πίνακα 11.

Τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν στη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης αφορούν τη συγκεκριμένη μονάδα, ισχύος 2,0 MWe με χρήση βιοαερίου, καθώς και των συνοδών έργων αυτών, η οποία θα παράγει συνολικά 32.200 MWh το έτος σε 8.000 ώρες λειτουργίας, εκ των οποίων οι 16.000 MWh θα είναι για ηλεκτρισμό και οι 16.200 MWh για θερμότητα.

Στη βιβλιογραφία υπάρχει η παραδοχή ότι 1m<sup>3</sup> βιοαερίου μπορεί να παράξει διαφορετικές ποσότητες ενέργειας, ανάλογα με την πρώτη ύλη η οποία έχει χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή του. Για τους υπολογισμούς αυτής της έρευνας, χρησιμοποιήθηκε το δεδομένο ότι με απόδοση 42%, 1m<sup>3</sup> βιοαερίου παράγει περίπου 2,4 KWh.

Για τη σύσταση του παραγόμενου βιοαερίου χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα τα οποία βρίσκονταν στην ήδη υπάρχουσα βάση του SimaPro. Από υπολογισμούς του προγράμματος, εισάγοντας τα κατάλληλα δεδομένα και έχοντας σαν βάση την παραγωγή 1 m<sup>3</sup> βιοαερίου, εξάγουμε το Διάγραμμα 6:



Διάγραμμα 6. Περιβαλλοντική Συμπεριφορά Διεργασιών

Το λογισμικό εξάγει με βάση τα δεδομένα, μια λίστα επιπτώσεων και τη συνεισφορά της κάθε διεργασίας σε αυτές. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το εντυπωσιακό αλλά σίγουρα αναμενόμενο, είναι η περιβαλλοντική υπεροχή της παραγωγής βιοαερίου και το αρνητικό περιβαλλοντικό της αποτύπωμα στην κλιματική αλλαγή. Στο διάγραμμα, το κόκκινο χρώμα αντιπροσωπεύει την παραγωγική διαδικασία του βιοαερίου, η οποία συνεισφέρει σημαντικά στην εκπομπή οργανικών σωματιδίων και στον ευτροφισμό. Στις κατηγορίες αυτές τα υψηλά ποσοστά οφείλονται σε υψηλές εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NOx) και άλλων ενώσεων του, καθώς και οξειδίων του θείου (SOx) κατά τη φάση της παραγωγής. Ταυτόχρονα, τα ποσοστά στις καρκινογενέσεις, στις επιπτώσεις της ανθρώπινης υγείας από ακτινοβολία, στη μείωση της στιβάδας του όζοντος, στην εκοτοξικότητα, στη χρήση της γης αλλά και στην εξάντληση των ορυκτών καυσίμων είναι χαμηλά έως αμελητέα.

Καθώς το ενεργειακό μίγμα της Ελλάδας εξουσιάζεται από την καύση λιγνίτη τα ποσοστά της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας στις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και το οικοσύστημα δεν θεωρούνται αμελητέα. Αντίστοιχα, οι επιπτώσεις της θερμότητας είναι υψηλότερες στη μείωση της στιβάδας του όζοντος και στην εξάντληση των ορυκτών καυσίμων. Η μεταφορά πρώτων υλών στη μονάδα δεν ξεπερνά το 25% σε καμία περίπτωση.

Αν στο μίγμα της χώρας κυριαρχούσαν οι ΑΠΕ, τότε οι αρνητικές επιπτώσεις σε όλους τους τομείς θα ήταν σαφώς μειωμένες.

### 7.3. Αντικατάσταση Μονάδας Βιοαερίου με Μονάδα Φυσικού Αερίου

Ο υπολογισμός του αποτυπώματος άνθρακα (carbon footprint), αποσκοπεί στη μέτρηση της συνολικής ποσότητας των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου τα οποία προκαλούνται άμεσα ή έμμεσα από κάποια δραστηριότητα ή είναι συσσωρευμένα στα επιμέρους στάδια ζωής ενός προϊόντος. Το ανθρακικό αποτύπωμα είναι το ποσό του CO<sub>2</sub> σε kg που ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα για κάθε kg υλικού που παράγεται και υπολογίζεται σε τόνους (ή kg) ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (1n CO<sub>2</sub> eq).



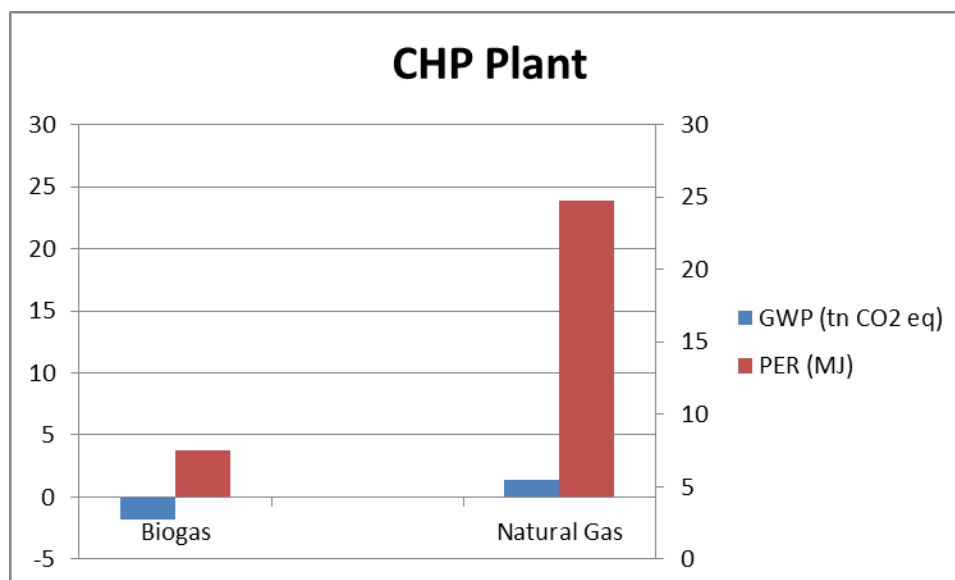
Στη συγκεκριμένη περίπτωση, εξετάστηκε στο SimaPro η περίπτωση αντικατάστασης της μονάδας βιοαερίου με μία μονάδα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, η οποία θα λειτουργεί με φυσικό αέριο. Στην ανάλυση χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης CML Baseline 2000, προκειμένου να εξάχθούν αποτελέσματα σχετικά με το δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη σε 100 έτη (GWP 100), σε Kg CO<sub>2</sub> eq, δηλαδή με το ανθρακικό αποτύπωμα (SimaPro Database Manual).

### 7.3.1. Σύγκριση Μονάδων

Τα αποτελέσματα της σύγκρισης φαίνονται στον Πίνακα 5 και στο Διάγραμμα 7, όπου διακρίνεται ότι η Μονάδα Συμπαραγωγής έχει κατά πολύ μεγαλύτερο ανθρακικό αποτύπωμα αλλά και ενεργειακή κατανάλωση.

Πίνακας 5. Σύγκριση Μονάδων Συμπαραγωγής

CHP Plant		
Fuel	GWP (tn CO <sub>2</sub> )	PER (MJ)
Biogas	-18500000	37600000
Natural Gas	13600000	239000000



Διάγραμμα 7. Σύγκριση Μονάδων Συμπαραγωγής (Σημείωση: Οι αριθμοί είναι \*10<sup>7</sup>)

Στη συνέχεια, έγινε σύγκριση των δύο αυτών μονάδων αναφορικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που φέρει η καθεμία, χρησιμοποιώντας τους ίδιους δείκτες και το διάγραμμα που εξήχθη ήταν το εξής:



Διάγραμμα 8. Σύγκριση Μονάδων

Στο συγκριτικό διάγραμμα των δύο μονάδων, παρατηρείται η περιβαλλοντική υπεροχή της μονάδας βιοαερίου ιδιαίτερα στον τομέα της κλιματικής αλλαγής, όπου η συνεισφορά είναι αρνητική. Αντιθέτως, η αντίστοιχη μονάδα συμπαραγωγής με φυσικό αέριο έχει υψηλή επίδραση. Ταυτόχρονα, αυξημένες είναι οι επιπτώσεις της μονάδας φυσικού αερίου στις εκπομπές οργανικών στο αέρα αλλά και ουσιών που καταστρέφουν το στρατοσφαιρικό όζον. Τα ποσοστά των επιπτώσεων στη βιοποικιλότητα και στην εξάντληση των πόρων είναι μεγαλύτερα από αυτά της μονάδας βιοαερίου.

Οι μεγαλύτερες περιβαλλοντικές επιδράσεις της μονάδας βιοαερίου στις επιμέρους κατηγορίες πιθανόν να οφείλονται σε μεγαλύτερους όγκους πρώτων υλών, καθώς και σε μεγαλύτερη καταναλισκόμενη ενέργεια, η οποία στη φάση της παραγωγής είναι

κυρίως λιγνιτική, για αυτό και η υψηλή επίδραση στα φαινόμενα καρκινογένεσης, με άμεση συνέπεια μεγαλύτερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα στις κατηγορίες αυτές.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι σε περίπτωση που τα υποστρώματα περιέχουν επικίνδυνες ενώσεις, η χρήση του βιοαερίου μπορεί να επιφέρει αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Χρειάζεται λοιπόν ιδιαίτερη προσοχή στη σωστή επιλογή των υποστρωμάτων. Στη συγκεκριμένη έρευνα, αναλύθηκε η παραγωγή βιοαερίου, διότι το βιομεθάνιο δεν υπήρχε στη βάση του SimaPro. Αξίζει να αναφερθεί όμως ότι το βιομεθάνιο για να εγχυθεί στο δίκτυο και να χρησιμοποιηθεί, καθαρίζεται από όλες τις επικίνδυνες ενώσεις. Συνεπώς, οι αρνητικές επιπτώσεις που παρουσιάζονται στο διάγραμμα θα μειωθούν κατά πολύ σε περίπτωση αναβάθμισης του βιοαερίου.

Σημαντικό ρόλο παίζει το καύσιμο που χρησιμοποιούν τα φορτηγά τα οποία μεταφέρουν την πρώτη ύλη, δηλαδή το diesel. Σε περίπτωση που το παραγόμενο βιομεθάνιο από την εγκατάσταση χρησιμοποιούνταν σαν καύσιμο για τα φορτηγά, οι βλαβερές επιπτώσεις θα είχαν μείωση στα ποσοστά τους.

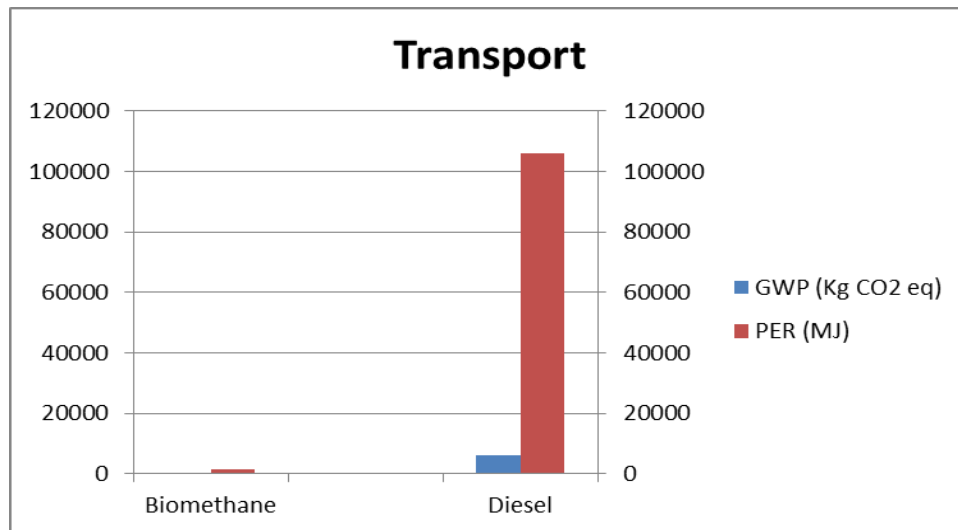
### 7.3.2. Σύγκριση Καυσίμων

Η εγκατάσταση θα δέχεται 168.000 tn/year αποβλήτων. Κατά μέσο όρο, στη μονάδα θα φθάνουν 26 φορτηγά ημερησίως από διάφορες θέσεις του νομού και η μέγιστη απόσταση που θα διανύουν είναι 40 Km. Συνεπώς, εφόσον η μονάδα θα δέχεται 168.000 tn οργανικών αποβλήτων ετησίως, η μονάδα ποσότητας μεταφοράς θα είναι 6.720.000 tnKm.

Σε περίπτωση αντικατάστασης των καυσίμων των φορτηγών diesel με το παραγόμενο βιομεθάνιο από τη μονάδα που εξετάστηκε, η διαφορά στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα αλλά και στην κατανάλωση θα είναι μεγάλη, όπως φαίνεται στον Πίνακα 6 και στο Διάγραμμα 9.

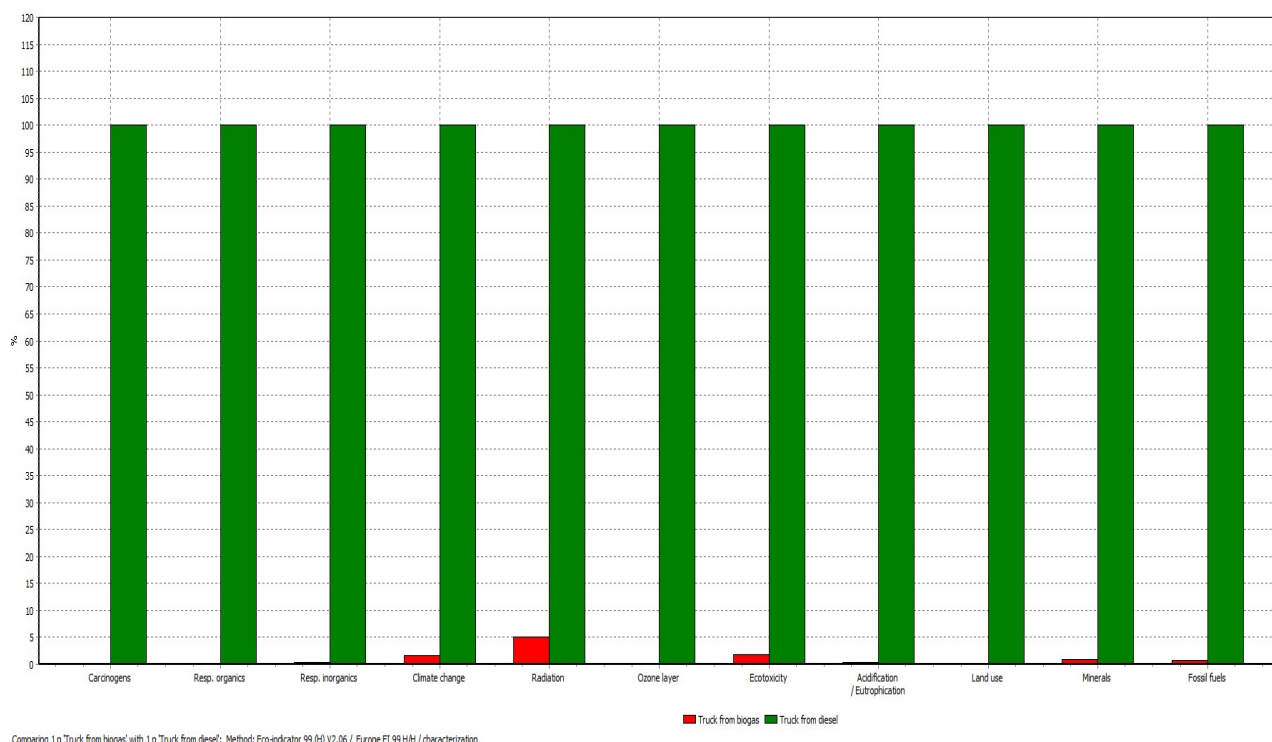
Πίνακας 6. Σύγκριση Καυσίμων

Transport		
Fuel	GWP (Kg CO <sub>2</sub> )	PER (MJ)
Biogas	107	1600
Diesel	6120	106000



Διάγραμμα 9. Σύγκριση στη Μεταφορά (Σημείωση: Οι εκπομπές του Βιομεθανίου είναι τόσο μικρές που δεν μπορούν να αποτυπωθούν στο διάγραμμα)

Ακολούθως, χρησιμοποιώντας το δείκτη Eco-Indicator 99, έγινε σύγκριση ενός φορτηγού με καύσιμο diesel και ενός αντίστοιχου με βιομεθάνιο. Οι διαφορές είναι θεαματικές, καθώς φαίνεται ότι σε όλες τις περιπτώσεις, το βιομεθάνιο έχει αμελητέα επίπτωση σε σχέση με το diesel. Η χρήση του είναι ιδιαίτερος φιλική στο περιβάλλον συγκρινόμενη με τα συμβατικά καύσιμα. Είναι επιτακτική η ανάγκη συνεπώς της στροφής σε αυτό το εναλλακτικό καύσιμο εξαιτίας των πολλαπλών και διαφορετικών θετικών επιπτώσεων που επιφέρει η χρήση του.



Διάγραμμα 10. Σύγκριση καυσίμων

#### 7.4.Κόστος Μονάδας

Ακολουθεί μία τυπική ανάλυση κόστους της μονάδας, προκειμένου να αποδειχθεί ότι η επένδυση είναι συμφέρουσα.

Το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας της Μονάδας Ηλεκτροπαραγωγής με χρήση βιοαερίου συνοψίζεται ως εξής:

Πίνακας 7. Κόστος Μονάδας Ηλεκτροπαραγωγής

<b>Κόστος Επένδυσης της Μονάδας</b>	
<b>Περιγραφή Εργασιών</b>	<b>Κόστος σε €</b>
Οικόπεδα και Κτιριακές Εγκαταστάσεις	3720000
Μηχανολογικός Εξοπλισμός	4202000
Γενικές Εργασίες	700000
Λοιπά Έξοδα	1644000
<b>Σύνολο Επένδυσης</b>	<b>10266000</b>

Πίνακας 8.Κόστος Λειτουργίας Μονάδας Ηλεκτροπαραγωγής

<b>Κόστος Λειτουργίας της Μονάδας</b>	
<b>Περιγραφή Εργασιών</b>	<b>Κόστος σε €</b>
Συντήρηση - Αναλώσιμα	791000
Μισθοδοσία- Λοιπά Έξοδα	584000
<b><u>Σύνολο Επένδυσης</u></b>	<b><u>1375000</u></b>

Η εγκατάσταση αναβάθμισης βιοαερίου θα έχει ονομαστική δυνατότητα επεξεργασίας 70 Nm<sup>3</sup> βιοαερίου και δυνατότητα να παράγει 320.000 Nm<sup>3</sup> βιομεθανίου ανά έτος. Το βιομεθάνιο που θα παραχθεί από την αναβάθμιση έχει δυο βασικές χρήσεις: καύσιμο στα οχήματα ύστερα από κατάλληλη συμπίεση, για να μπορεί να τροφοδοτήσει σταθμούς καυσίμων οχημάτων δημόσιας ή και ιδιωτικής χρήσης (αστικές συγκοινωνίες κλπ.) και εισαγωγή στο δίκτυο του Φυσικού Αερίου.

Το κόστος κατασκευής, εγκατάστασης και λειτουργίας της Μονάδας αναβάθμισης βιομεθανίου περιγράφεται παρακάτω:

Πίνακας 9. Κόστος Επένδυσης της Μονάδας

<b>Κόστος Επένδυσης της Μονάδας</b>	
<b>Περιγραφή Εργασιών</b>	<b>Κόστος σε €</b>
Οικόπεδα και Κτιριακές Εγκαταστάσεις	130000
Εξοπλισμός	750000
Άδειες – Λοιπά	49000
<b><u>Σύνολο Επένδυσης</u></b>	<b><u>929000</u></b>

Πίνακας 10. Κόστος Λειτουργίας της Μονάδας

<b>Κόστος Λειτουργίας της Μονάδας</b>	
<b>Περιγραφή Εργασιών</b>	<b>Κόστος σε €</b>
Μισθοδοσία	24000
Συντήρηση – Ασφάλεια	9000
Λοιπά Λειτουργικά Έξοδα	3000
<b><u>Σύνολο</u></b>	<b><u>36000</u></b>

### 7.5.Κόστος τεχνολογιών Καθαρισμού και Αναβάθμισης σε βιομεθάνιο

Γενικά, 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. Όσο αυξάνεται η ροή βιοαερίου μειώνεται το μοναδιαίο κόστος της μονάδας. Το μέσο κόστος με βάση αυτά τα έργα για ροή βιοαερίου 200Nm<sup>3</sup>/h - 400Nm<sup>3</sup>/h είναι 17,13494 €/MWh (<http://www.electrigaz.com/>).

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 αναβάθμισης βιοαερίου παρουσιάζονται ακολούθως.

Πίνακας 11. Ενδεικτικό κόστος μεθόδων καθαρισμού βιοαερίου

(<http://www.electrigaz.com/>)

<b>Μέθοδος Αναβάθμισης</b>	<b>Κόστος σε €/Nm<sup>3</sup></b>
<b>Απορρόφηση Νερού</b>	0,14
<b>Χημική Απορρόφηση</b>	0,17
<b>Προσρόφηση με εναλλαγή πίεσης</b>	0,4
<b>Διαχωρισμός με μεμβράνες</b>	0,12
<b>Κρυογονικός Διαχωρισμός</b>	0,44

### 7.6. Έσοδα

Στη συνέχεια υπολογίστηκαν τα έσοδα από την πώληση της ενέργειας ανά έτος καθώς και τα έσοδα που προέρχονται από τη διάθεση του βιοαερίου για παραγωγή βιομεθανίου και από την πώληση του κομπόστ, προκειμένου να ερευνηθεί αν συμφέρει μία τέτοια επένδυση. Στους Πίνακες 12 και 13 παρουσιάζονται τα έσοδα που προκύπτουν από τον πρώτο χρόνο λειτουργίας της Μονάδας. Μετά επέρχεται περεταίρω αύξηση.

Πίνακας 12. Έσοδα από τη Μονάδα Ηλεκτροπαραγωγής με χρήση Βιοαερίου

<b>Έσοδα Μονάδας Ηλεκτροπαραγωγής</b>	<b>Αξία € (1ο έτος λειτουργίας)</b>
<b>Ηλεκτρική Ενέργεια</b>	3450000
<b>Θερμική Ενέργεια</b>	117000
<b>Πώληση Βιοαερίου</b>	33000
<b>Έσοδα από πώληση κομπόστ</b>	76000
<b><u>Συνολικά Έσοδα</u></b>	<b><u>3676000</u></b>

Πίνακας 13. Έσοδα από τη Μονάδα Αναβάθμισης Βιομεθανίου

<b>Έσοδα Μονάδας Αναβάθμισης Βιομεθανίου</b>	
<b>Προϊόν</b>	<b>Αξία €</b>
	(για το 1ο έτος λειτουργίας)
<b><u>Βιομεθάνιο</u></b>	<b><u>194000</u></b>

Παρατηρούμε ότι το κόστος της επένδυσης είναι σημαντικό και τα έσοδα είναι περιορισμένα στην αρχή της επένδυσης. Παρόλα αυτά, η επένδυση φαίνεται συμφέρουσα. Η χρηματοδότηση του έργου είναι ιδιαίτερος σημαντική για την υγιή πορεία της μονάδας.



## Κεφάλαιο 8. Συμπεράσματα

Το Βιομεθάνιο έχει τη δυνατότητα να είναι ένα σημαντικό στοιχείο για το μέλλον των μεταφορών κατά κύριο λόγο για το βιώσιμο χαρακτήρα του. Η διαδικασία παραγωγής του μειώνει το μεθάνιο από την ατμόσφαιρα, μειώνει τα απόβλητα στους χώρους υγειονομικής ταφής ενώ δεν έχει αρνητικές επιπτώσεις στο έδαφος, στο νερό και στην ποιότητα του αέρα. Με την ανάπτυξη της απαραίτητης υποδομής για αυτή τη νέα τεχνολογία, είναι δυνατόν να μειωθεί σημαντικά η χρήση της βενζίνης από την καθημερινότητα, για ένα καθαρότερο περιβάλλον. Με τον τρόπο αυτό, το βιομεθάνιο θα είναι ανταγωνιστικό σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα, παρόλο που είναι μια τεράστια οικονομική επένδυση.

Η χρησιμοποίηση του βιομεθανίου ως πηγή ενέργειας είναι ένα κρίσιμο βήμα προς ένα βιώσιμο ενεργειακό εφοδιασμό. Είναι πιο ευέλικτο στην εφαρμογή του σε σχέση με άλλες ανανεώσιμες πηγές, καθώς η ικανότητα του να εγχέεται απευθείας στο δίκτυο φυσικού αερίου επιτρέπει πιο αποδοτικές ενεργειακά αλλά και πιο οικονομικές μεταφορές. Η ευελιξία του στις πιθανές εφαρμογές διευρύνει το φάσμα των καταναλωτών και χρηστών του, καθώς εκτός από καύσιμο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παροχή θερμότητας και στον τομέα της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας.

Τα υλικά εισόδου του δηλαδή τα οργανικά στερεά απόβλητα είναι ανέξοδα και παράγουν περισσότερη ενέργεια για μια δεδομένη ποσότητα πρώτης ύλης σε σύγκριση με άλλα καύσιμα. Θεωρείται ότι το βιομεθάνιο έχει το υψηλότερο δυναμικό ως καύσιμο αυτοκινήτων συγκρινόμενο με άλλα βιοκαύσιμα και είναι ακόμα υψηλότερο αν ως πρώτη ύλη χρησιμοποιούνται απόβλητα.

Τα προβλήματα της αγοράς βιοαερίου και βιομεθανίου σε εθνικό επίπεδο είναι αρκετά, μόλις όμως ξεπεραστούν, η αυξανόμενη χρήση του βιομεθανίου, μπορεί να αποφέρει ένα αρνητικό αποτύπωμα άνθρακα. Θα πρέπει να δραστηριοποιηθούν περισσότερες χώρες, ώστε να επενδύσουν σε αυτή τη μορφή ενέργειας, για να έχουμε μια καθαρότερη, οικονομική και βιώσιμη ενεργειακή λύση για το μέλλον.

Στην παρούσα εργασία έγινε ανάλυση διαφόρων σεναρίων με τη βοήθεια του SimaPro, όπως σύγκριση καύσιμου βιομεθανίου με diesel και αποτύπωμα μονάδας παραγωγής βιοαερίου συγκρινόμενο με αποτύπωμα μονάδας φυσικού αερίου.

Αξίζει να αναφερθεί ότι η περιβαλλοντική συμπεριφορά της μονάδας βιοαερίου είναι εντυπωσιακή. Το αποτύπωμα άνθρακα που αφορά στην κλιματική αλλαγή σε τοπικό επίπεδο στην περίπτωση που εξετάζουμε, είναι αρνητικό, γεγονός που σημαίνει ότι οι εκπομπές της χρήσης του βιομεθανίου δεν είναι καταστροφικές και ρυπογόνες. Αν το ενεργειακό μίγμα της Ελλάδος δεν εξουσιαζόταν από την καύση λιγνίτη, αλλά από ΑΠΕ, το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της μονάδας θα ήταν διαφορετικό.

Η σύγκριση των επιπτώσεων των δύο μονάδων συμπαραγωγής με βιοαέριο και με φυσικό αέριο μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι παρόλο που η υλοποίηση μιας μονάδας βιοαερίου είναι πολύ κοστοβόρα, αξίζει την προσπάθεια.

Η χρήση του βιομεθανίου σαν καύσιμο αυτοκινήτων σε σύγκριση με το diesel δείχνει την σπουδαιότητα του αναφορικά με το περιβάλλον, καθώς οι εκπομπές του είναι αμελητέες. Σε μία χώρα σαν την Ελλάδα που η ενεργειακή κατανάλωση στον τομέα των μεταφορών είναι περίπου 45%, αν ένα ποσοστό οχημάτων αλλάξει καύσιμο κίνησης και μεταβεί στο βιομεθάνιο, αυτόματα η εξοικονόμηση ενέργειας σε εθνικό επίπεδο θα είναι πολύ μεγάλη. Αντίστοιχα θα υπάρξει κατακόρυφη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Λόγω της συνεχούς τάσης να αυξάνεται η τιμή του φυσικού αερίου η ευρύτερη χρήση του βιομεθανίου θα φέρει αλλαγή στην οικονομική αποδοτικότητα. Είναι ευκαιρία για τα κράτη, να παράγουν εγχώρια βιοαέριο για την κάλυψη της ζήτησης ενέργειας που χρειάζονται και να γίνουν πιο ασφαλή ενεργειακά. Σε μεγάλα επίπεδα μπορεί να γίνει και μία χώρα εξαγωγέας βιοαερίου και βιομεθανίου.

Συνοψίζοντας, το βιοαέριο και το βιομεθάνιο μπορούν να συμβάλλουν στους εθνικούς στόχους, καθώς η αξιοποίηση τους έχει σαν προϊόν ανανεώσιμη ενέργεια χωρίς να παράγει απόβλητα. Παράλληλα, είναι δύο ευέλικτοι φορείς ενέργειας, οι οποίοι μπορούν να δώσουν όλες τις χρήσιμες μορφές: ηλεκτρισμό, θερμική ενέργεια και βιοκαύσιμα. Η παραγωγή και χρήση τους αποτελεί πλεονέκτημα σε εθνικό και

τοπικό επίπεδο καθώς είναι ένα εργαλείο για τη διαχείριση αποβλήτων και τη μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Η πρόταση που γίνεται για περαιτέρω ανάλυση στο μέλλον είναι η μελέτη πιθανών εγκαταστάσεων επεξεργασίας αστικών αποβλήτων για παραγωγή βιομεθανίου σε όλο τον Ελλαδικό χώρο και το δυναμικό βιομεθανίου των αποβλήτων ανάλογα με την περιοχή. Η υλοποίηση έργων βιοαερίου και η εκτεταμένη χρήση βιομεθανίου στην Ελλάδα θα τη βοηθήσει να πραγματοποιήσει του στόχους της για το 2020 και θα προσφέρει διαφορετική ποιότητα ζωής στους πολίτες της.

## Βιβλιογραφία Ξένη

1. Agapitidis I., Zafiris C. - Energy Exploitation of Biogas: European and National perspectives' 2nd International Conference of the Hellenic Solid Waste Management Association, 2006
2. Anna Bright, Hugh Bulson, Alexander Henderson, Neil Sharpe, Helge Dorstewitz, Jon Pickering - An introduction to the production of biomethane gas and injection to the national grid, 2011
3. Bauer F., Hulteberg C., Persson T., Tamm D. - Biogas upgrading - Review of commercial technologies, 2013
4. Bingqing Wu, Bhaba R. Sarker, Krishna P. Paudel- Sustainable energy from biomass: Biomethane manufacturing plant location and distribution problem, 2015
5. Browne James D. - Biomethane production from food waste and organic residues. PhD Thesis, University College Cork, 2014
6. C. Davenport - Study Finds Methane Leaks Degrade Benefits of Natural Gas as a Fuel for Vehicles - The New York Times, 2014
7. Clean Energy – Biomethane - Clean Energy Fuels, 2013
8. Deublein, D. & Steinhauser, A. Biogas from Waste and Renewable Resources., 2008
9. Deutsche Energie - The Role Of Natural Gas And Biomethane, 2010
10. Dominik Rutz et al. - The Biogas Market in Southern and Eastern Europe: Promoting Biogas by Non-technical Activities. - Proceedings of the 16<sup>th</sup> European Biomass Conference and Exhibition; Valencia, Spain, 2008
11. Eoin Allen, David M. Wall, Christiane Herrmann, Jerry D. Murphy - A detailed assessment of resource of biomethane from first, second and third generation substrates, 2016
12. European C, Annex 1 Directive 2009-28-EC, 2012.
13. Floris van Forest (The Oxford Institute for Energy Studies) - Perspectives for Biogas in Europe, 2012
14. Ghinwa M. Naja, René Alary, Philippe Bajeat, Gaël Bellenfant, Jean-Jacques Godon - Assessment of biogas potential hazards, 2011
15. Jean-Philippe Jaeg f, Gérard Keck g, Armand Lattes h, Carole Leroux i, Hugues Modelon i,

16. Marina Moletta-Denat j, Olivier Ramalho j, Christophe Rousselle i, Sandrine Wenisch c,
17. Isabelle Zdanevitch
18. Henrik Hønsen Huseby - Biogas Upgrading: Techno-economic Evaluation of Different Technologies Based on Norwegian Potential of Raw Materials, 2015
19. IEA Bioenergy - Biomethane, Status and Factors Affecting Market Development and Trade-September 2014
20. J. Baldwin - Biomethane Fuelled Vehicles – The Carbon Neutral Option, 2009
21. Jakub Niesner, David Jecha, Petr Stehlík - Biogas Upgrading Technologies: State of Art Review in European Region, 2013
22. Justin Traino, Summer Jiries – Biomethane: An economical and sustainable alternative vehicle fuel source, 2014
23. Liisa McDermott - Elites in Finnish Energy Policy and Biogas as a Motor Vehicle Fuel, 2011
24. M. Ahman - Biomethane In The Transport Sector – An Appraisal Of The Forgotten Option, 2010
25. Marcogaz, Injection of Gases from Non-Conventional Sources into Gas Networks, 2006
26. N. Mojapelo, E Muzenda, R. Kigozi and A. O. Aboyade - Bio-methane Potential of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste, 2014
27. Petersson, A. & Wellinger, A. Biogas upgrading technologies - developments and innovations: IEA Bioenergy., 2009
28. PRé - SimaPro Database Manual
29. Sandra Rostek - The GreenGasGrids Project: Boosting the European biomethane market, 2014
30. Severn Wye Energy Agency (Biomethane Regions project) - Introduction to the Production of Biomethane from Biogas - A Guide for ENGLAND and WALES (UK)
31. Teodorita Al Seadi, Dominik Rutz, Heinz Prassl, Michael Köttner, Tobias Finsterwalder, Silke Volk, Rainer Janssen – Biogas Handbook, 2008
32. Wellinger A., Murphy J. & Baxter D. - The biogas handbook: Science, production and applications, 2013
33. Liangcheng Yang, Xumeng Ge, Caixia Wan, Fei Yu, Yebo Li - Progress and perspectives in converting biogas to transportation fuels, 2014

## Βιβλιογραφία Ελληνική

1. Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος - Η κυκλική οικονομία - Συνδέοντας, δημιουργώντας και διατηρώντας την αξία - Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2014
2. Γιακουμέλος Λευτέρης - Τεχνολογίες Παραγωγής και Αξιοποίησης του Βιοαερίου (ΚΑΠΕ), 2012
3. ΚΑΠΕ - Ζαφείρης Χρήστος - Αναβάθμιση Βιοαερίου σε Βιομεθάνιο, Χρήση σαν Καύσιμο Μεταφορών ή Έγχυσή του στο Δίκτυο του Φυσικού Αερίου, 2010
4. Καραλέκας Δημήτριος – Σημειώσεις Μαθήματος ΜΠΣ Πα.Πει. ΒΔΤ – Διαχείρισης Ενέργειας και Περιβάλλοντος – Οικολογικός Σχεδιασμός Προϊόντων
5. Ρογκάκου Σταυριανή – Αξιοποίηση Βιοαερίου για παραγωγή ενέργειας και δυνατότητα ανατροφοδότησης στο δίκτυο φυσικού αερίου, 2012
6. Σιούλας Κωνσταντίνος - Έκθεση σχετικά με τα εμπόδια υλοποίησης έργων Βιοαερίου στην Ελλάδα – BigEast, 2008
7. Σιούλας Κωνσταντίνος, Καναβάκης Γιώργος – Χρηματοδότηση Έργων Βιοαερίου στην Ελλάδα και εμπόδια – BiogasIn, 2011

## Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

1. <http://bisyplan.bioenarea.eu>
2. <http://www.electrigaz.com>
3. <http://www.lagie.gr>
4. <http://www.vioaerio.gr/biogas/production-process/>
5. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:16559:ed-1:v1:en> (ISO 16559: 2014)
6. <http://suscon.org/climatechange/comparingfuels.php> (Sustainable Conservation Company - Comparing Renewable Fuels.” Sustainable Conservation)
7. <http://www.fge.co>
8. <http://biomassmagazine.com>
9. <http://www.folkecenter.net>
10. <https://metaefficient.com>
11. <http://www.hybridcars.com>
12. <http://www.bioenergyconsult.com>
13. <http://european-biogas.eu>