



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ  
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



## **Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία**

**Ανανεώσιμα αέρια: Τρέχουσα κατάσταση και προοπτικές**

Βασιλική Αγγελή

Επιβλέπων Καθηγητής

Αν. Καθηγητής Χρυσόστομος Δούκας

Αθήνα, Φεβρουάριος, 2021





**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ  
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



**Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία**

**Ανανεώσιμα αέρια: Τρέχουσα κατάσταση και προοπτικές**

Βασιλική Αγγελή

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 17<sup>η</sup> Φεβρουαρίου 2021.

.....  
Ιωάννης Ψαρράς  
Καθηγητής, ΕΜΠ

.....  
Δημήτρης Ασκούνης  
Καθηγητής, ΕΜΠ

.....  
Χρυσόστομος Δούκας  
Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Φεβρουάριος, 2021



.....  
Βασιλική Αγγελή

Διπλωματούχος Μηχανικός Παραγωγής και Διοίκησης Πολυτεχνείου Κρήτης

Copyright © Βασιλική Αγγελή, 2021.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.



## Περίληψη

Μερικές δεκαετίες πριν, η αειφορία και βιωσιμότητα ήταν έννοιες σχεδόν άγνωστες. Στις μέρες μας, ωστόσο, καταλαμβάνουν ένα διαρκώς εντεινόμενο μερίδιο ενδιαφέροντος, δεδομένων των εξελίξεων, οι οποίες συντελούνται σε διεθνές επίπεδο. Τα αυξανόμενα επίπεδα αναγκών σε ενέργεια σε συνδυασμό με τη μείωση των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων καθιστούν επιτακτική την ανάγκη εξεύρεσης εναλλακτικών λύσεων. Η παρούσα μελέτη εστιάζει στο εν λόγω πεδίο, διερευνώντας το ρόλο των ανανεώσιμων αερίων. Βέβαια, η ενεργειακή μετάβαση αποτελεί μια εξαιρετικά σύνθετη διαδικασία η οποία προϋποθέτει μια συντονισμένη προσπάθεια και όχι μεμονωμένες δράσεις, ώστε να επιτευχθεί ένα μείγμα μορφών ενέργειας με ουδέτερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Εξάλλου, και η Ευρωπαϊκή Ένωση, σε κεντρικό επίπεδο, χαράσσει στρατηγικές για το υδρογόνο, το βιομεθάνιο και τα λοιπά αέρια. Μέσω της βιβλιογραφικής επισκόπησης καθίσταται δυνατή, αφενός η αποτύπωση της τρέχουσας κατάστασης, και αφετέρου η διερεύνηση των μελλοντικών τάσεων και προοπτικών. Παράλληλα, εξετάζονται και άλλες πτυχές, όπως για παράδειγμα, τα τεχνικά και τα οικονομικά χαρακτηριστικά. Ιδιαίτερη μνεία γίνεται στον τρόπο με τον οποίο η νόσος Covid-19 αναμένεται να επηρεάσει την αγορά ενέργειας.

**Λέξεις κλειδιά:** ανανεώσιμα αέρια, βιοαέριο, βιομεθάνιο, υδρογόνο, βιωσιμότητα, εφαρμογές ανανεώσιμων αερίων





## Abstract

A few decades ago, sustainability was almost an unknown concept. Nowadays, however, holds an ever-increasing share of interest given the recent developments at an international level. The increasing levels of energy needs combined with the declining fossil fuel reserves make it imperative to find alternatives. The current study focuses on this field of interest, investigating the role of renewable gases. Of course, the energy transition is an extremely complex process that requires a coordinated effort and not individual actions, in order to achieve a mixture of forms of energy with a neutral environmental footprint. Besides, the European Union, is developing strategies for hydrogen, biomethane and other gases. Conducting a bibliographic review, we are able not only to describe the current situation, but also to explore the future trends and perspectives. At the same time, other aspects are considered, such as technical and economic characteristics. Particular mention is made on how Covid-19 disease is expected to affect the energy market.

**Key words:** renewable gases, biogas, biomethane, hydrogen, sustainability, applications of renewable gases



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	vii
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....</b>	<b>xv</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ/ΕΙΚΟΝΩΝ.....</b>	<b>xv</b>
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ.....</b>	<b>xvii</b>
<b>Εισαγωγή.....</b>	<b>19</b>
<b>1 Βασικές έννοιες ανανεώσιμων αερίων.....</b>	<b>21</b>
1.1 Βιομάζα .....	21
1.2 Βιοαέριο .....	23
1.2.1 Αναερόβια χώνευση.....	24
1.2.2 Χρήσεις βιοαερίου .....	25
1.3 Βιομεθάνιο.....	27
1.3.1 Τεχνολογίες απορρόφησης.....	27
1.3.2 Τεχνολογίες προσρόφησης .....	28
1.3.3 Τεχνολογίες διαπερατότητας .....	29
1.3.4 Κρυογονική αναβάθμιση .....	31
1.4 Υδρογόνο .....	33
1.4.1 Τεχνολογίες παραγωγής υδρογόνου .....	34
1.4.2 Αποθήκευση υδρογόνου.....	36
1.4.3 Μεταφορά και διανομή.....	39
<b>2 Πολιτικές και ρυθμιστικό πλαίσιο για τα ανανεώσιμα αέρια στην Ε.Ε. ....</b>	<b>41</b>
2.1 Μακροπρόθεσμη στρατηγική για το 2050 .....	41
2.2 Ρυθμιστικό πλαίσιο.....	43
2.2.1 Πρόγραμμα για το Περιβάλλον και τη Δράση για το Κλίμα (LIFE) (2014-2020) .....	43

2.2.2	Δέσμη μέτρων για το κλίμα και την ενέργεια για το 2020 .....	43
2.2.3	Πλαίσιο πολιτικής της ΕΕ για το κλίμα και την ενέργεια (2021 έως 2030)..	44
2.2.4	Η πορεία προς μια οικονομία χαμηλών επιπέδων ανθρακούχων εκπομπών το 2050 .....	46
2.3	Ενοποίηση του ενεργειακού συστήματος .....	47
2.4	Στρατηγική για το υδρογόνο .....	49
<b>3</b>	<b>Διεθνής εμπειρία.....</b>	<b>51</b>
3.1	Ελλάδα.....	51
3.2	Ευρώπη .....	53
3.2.1	Γερμανία .....	53
3.2.2	Γαλλία.....	57
3.2.3	Ιταλία .....	58
3.2.4	Ολλανδία .....	59
3.2.5	Ηνωμένο Βασίλειο .....	59
3.3	Παγκοσμίως .....	63
3.3.1	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής.....	63
3.3.2	Καναδάς .....	65
<b>4</b>	<b>Τεχνική επισκόπηση.....</b>	<b>67</b>
4.1	Βασικά μέρη και λειτουργία μονάδων παραγωγής .....	67
4.2	Παραγωγή και διανομή στο Εθνικό Σύστημα Φυσικού Αερίου .....	69
4.3	Δυνατότητες αποθήκευσης.....	71
<b>5</b>	<b>Οικονομική προσέγγιση .....</b>	<b>75</b>
5.1	Βασικά στοιχεία κόστους.....	75
5.2	Συνοπτική τεχνοοικονομική μελέτη.....	77
5.3	Άλλες διαστάσεις του κόστους.....	78

<b>6</b>	<b>Νέες τάσεις και προοπτικές.....</b>	<b>81</b>
6.1	Τεχνολογικές εξελίξεις.....	81
6.2	Εφαρμογές.....	82
6.3	Ο ρόλος του υδρογόνου.....	83
6.4	Η επίδραση της πανδημίας του ιού SARS Con-2.....	85
6.5	Το ενεργειακό περιβάλλον της Ελλάδας.....	91
	<b>Συμπεράσματα .....</b>	<b>93</b>
	<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>95</b>



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1-1: Σύνθεση βιοαερίου ανάλογα με την πηγή προέλευσης (Khan, et al., 2017) .....	24
Πίνακας 1-2: Θερμογόνος δύναμη καυσίμων .....	33
Πίνακας 3-1: Εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου στην Ιταλία.....	59
Πίνακας 6-1: Επενδύσεις στην παραγωγή υδρογόνου (Hydrogen Europe, 2020d).....	89

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ/ΕΙΚΟΝΩΝ

Σχήμα 1-1: Χάρτης παραγωγής βιομάζας (Πηγή: Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας) .....	22
Σχήμα 1-2: Διάταξη μονάδος φυσικής απορρόφησης (Yang, et al., 2014).....	28
Σχήμα 1-3: Διάταξη μονάδος φυσικής προσρόφησης (Yang, et al., 2014).....	29
Σχήμα 1-4: Διάταξη μονάδος τεχνολογίας μεμβρανών (Yang, et al., 2014) .....	30
Σχήμα 1-5: Θερμοκρασίες βρασμού.....	31
Σχήμα 1-6: Η πυκνότητα του υδρογόνου ως συνάρτηση της πίεσης (Βουτετάκης, και συν, 2010).....	37
Σχήμα 1-7: Διαδικασία υγροποίησης και μετατροπής του υδρογόνου (Kikkinides, 2008) .....	38
Σχήμα 2-1: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σύμφωνα με το σενάριο αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη κατά 1,5°C.....	42
Σχήμα 3-1: Χάρτης εγκαταστάσεων βιοαερίου (Πηγή: Ελληνικός Σύνδεσμος Παραγωγών Βιοαερίου) .....	52

Σχήμα 3-2: Χάρτης εγκαταστάσεων παραγωγής βιοαερίου – Γερμανία (Daniel-Gromke, et al., 2018) .....	54
Σχήμα 3-3: Κατανομή πρώτων υλών για παραγωγή βιοαερίου και βιομεθανίου (Daniel-Gromke, et al., 2018).....	55
Σχήμα 3-4: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο και βιομεθάνιο (Daniel-Gromke, et al., 2018).....	56
Σχήμα 3-5: Αριθμός μονάδων έγχυσης βιομεθανίου στο εθνικό δίκτυο (Lemonde, 2020) .....	57
Σχήμα 3-6: Σύνθεση καταναλισκόμενης ενέργειας – Ηνωμένο Βασίλειο .....	60
Σχήμα 3-7: Σύνθεση Α.Π.Ε. – Ηνωμένο Βασίλειο.....	61
Σχήμα 3-8: Συμμετοχή επιμέρους μορφών ενέργειας.....	61
Σχήμα 3-9: Μονάδες παραγωγής βιοαερίου στις Η.Π.Α. ....	63
Σχήμα 3-2: Δυναμική μεθανίου – Η.Π.Α.(NREL, 2013) .....	64
Σχήμα 3-11: Βιοαέριο και ανανεώσιμα αέρια – Καναδάς (CBA, 2020) .....	65
Σχήμα 4-1: Μονάδα παραγωγής βιοαερίου .....	67
Σχήμα 4-2: Ποσοστό βιοαερίου στο εθνικό δίκτυο στη Σουηδία (Πηγή: bioenergyinternational.com).....	70
Σχήμα 4-3: Εγκαταστάσεις πίεσης και βαλβίδες ασφαλείας .....	71
Σχήμα 4-4: Δεξαμενή αποθήκευσης χαμηλής πίεσης.....	72
Σχήμα 4-5: Πυρσός βιοαερίου 1 .....	73
Σχήμα 4-6: Πυρσός βιοαερίου 2 .....	74
Σχήμα 6-1: Ενεργειακή μετάβαση στην Ε.Ε. (Hydrogen Europe, 2020d) .....	87
Σχήμα 6-2: Μέλη Hydrogen Europe (Hydrogen Europe, 2020d) .....	88



## ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

A.E.Π.	Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν
A.Π.Ε.	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
C.H.A.	Clean Hydrogen Alliance
E.B.A.	European Biogas Association
E.E.	Ευρωπαϊκή Ένωση
EFSI	European Fund for Strategic Investment
E.T.Επ.	Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων
O.H.E.	Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών
R.N.G.	Renewable Natural Gas
Σ.Ε.Δ.Ε.	Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών
Χ.Υ.Τ.Α.	Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων



## Εισαγωγή

Ο τομέας της ενέργειας ανέκαθεν καταλάμβανε ένα εξαιρετικά σημαντικό μερίδιο ενδιαφέροντος στα πλαίσια των σύγχρονων κοινωνιών, δεδομένων των πολλαπλών προεκτάσεων του σε όλες τις πτυχές της οικονομικής, πολιτικής και οικονομικής δραστηριότητας. Στις μέρες μας, ωστόσο, ο ρόλος της ενέργειας αποκτά ακόμη μεγαλύτερη βαρύτητα, καθώς η βιωσιμότητα τίθεται στο επίκεντρο της στρατηγικής σε παγκόσμιο επίπεδο. Η αέναη σύγκρουση μεταξύ της διασφάλισης της ενεργειακής επάρκειας και της ανάγκης για προστασία του περιβάλλοντος επιφέρει ένα ευρύ φάσμα συνεπειών. Άλλωστε, τα ορυκτά καύσιμα τα οποία κατά βάση χρησιμοποιούνται, βρίσκονται σε πεπερασμένες ποσότητες και ο διαρκώς αυξανόμενος ρυθμός κατανάλωσής τους επιβάλλει την εξεύρεση εναλλακτικών λύσεων.

Προς αυτήν την κατεύθυνση, η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προβάλλει ως μονόδρομος για την άμβλυση της κατάστασης. Αυτός είναι και ο λόγος που τα τελευταία χρόνια οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καταλαμβάνουν ένα διαρκώς εντεινόμενο ενδιαφέρον, τόσο σε πρακτικό, όσο και σε ακαδημαϊκό επίπεδο. Εξάλλου, οι τεχνολογικές εξελίξεις των τελευταίων δεκαετιών συμβάλλουν στην ανάδειξη νέων, περιβαλλοντικά φιλικών μορφών ενέργειας.

Η ενεργειακή μετάβαση, βέβαια, αποτελεί μια εξαιρετικά σύνθετη διαδικασία, η οποία προϋποθέτει μια συντονισμένη προσπάθεια και όχι μεμονωμένες δράσεις, ώστε να επιτευχθεί ένα μείγμα μορφών ενέργειας με ουδέτερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Στο εν λόγω πλαίσιο, η στρατηγική της Ευρωπαϊκής Ένωσης δίνει ιδιαίτερη έμφαση στη χρήση ανανεώσιμων αερίων, όπως το βιομεθάνιο, καθώς συγκεντρώνουν όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά τα οποία είναι απαραίτητα για τη μετάβαση σε ένα νέο ενεργειακό καθεστώς.

Σε αυτό ακριβώς το σημείο επικεντρώνεται η παρούσα εργασία, διερευνώντας, αφενός τη χρήση και τη χρησιμότητα των ανανεώσιμων αερίων, και αφετέρου την εξάπλωσή τους, σε εθνικό, ευρωπαϊκό, αλλά και διεθνές επίπεδο, αναζητώντας παράλληλα τις μελλοντικές τάσεις.

Η δομή της εργασίας έχει ως εξής. Στο πρώτο κεφάλαιο παρατίθενται ορισμένες βασικές εισαγωγικές έννοιες σχετικά με τα ανανεώσιμα αέρια και παρουσιάζονται με συνοπτικό τρόπο τα σημαντικότερα εξ αυτών. Κατόπιν, το δεύτερο κεφάλαιο αιτιολογεί την αναγκαιότητα στροφής στη λύση των ανανεώσιμων αερίων, αναλύοντας παράλληλα την ευρωπαϊκή στρατηγική, καθώς και το ρυθμιστικό πλαίσιο που διέπει τη χρήση τους. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται πρακτικές ανανεώσιμων αερίων σε διεθνές και ευρωπαϊκό επίπεδο. Εν συνεχεία, στα πλαίσια του τέταρτου κεφαλαίου το ενδιαφέρον επικεντρώνεται σε περισσότερο τεχνικά ζητήματα, εξετάζοντας τις τεχνικές προδιαγραφές των ανανεώσιμων αερίων, τους δείκτες ποιότητας, τις δυνατότητες αποθήκευσης κλπ. Βέβαια, σημαντικό παράγοντα σε όλη αυτή τη διαδικασία αποτελεί το κόστος. Για το σκοπό αυτό, στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται μία οικονομική σκοπιά. Στο έκτο κεφάλαιο σκιαγραφούνται οι προοπτικές της εν λόγω μορφής ενέργειας και τέλος δίνονται τα συμπεράσματα.

# 1 Βασικές έννοιες ανανεώσιμων αερίων

Όπως ήδη αναφέρθηκε παραπάνω, τα ανανεώσιμα αέρια αποτελούν μια στρατηγική επιλογή για τη μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία, όπου η βιωσιμότητα διαδραματίζει πρωταγωνιστικό ρόλο. Το παρόν κεφάλαιο παρουσιάζει ουσιαστικά τις βασικές έννοιες των ανανεώσιμων αερίων. Αρχικά, γίνεται μια σύντομη αναφορά στη βιομάζα και τα πλεονεκτήματα τα οποία προσφέρει και εν συνεχεία δίνεται η έννοια των ανανεώσιμων αερίων και παρουσιάζονται τα βασικότερα εξ αυτών.

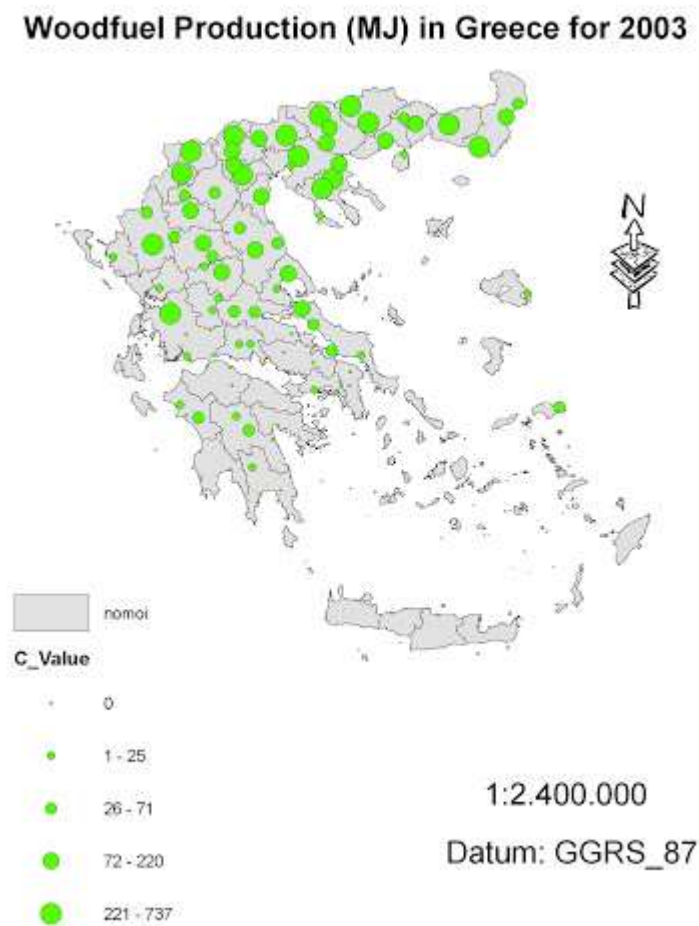
## 1.1 Βιομάζα

Η οδηγία 2011/77 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου ορίζει ως βιομάζα: «το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των προϊόντων, αποβλήτων και υπολειμμάτων που προέρχονται από τη γεωργία, την κτηνοτροφία (συμπεριλαμβανομένων φυτικών και ζωικών ουσιών), τη δασοκομία και τις συναφείς βιομηχανίες, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων.».

Πολλές είναι οι πηγές βιομάζας οι οποίες μπορούν να ταξινομούνται είτε βάσει των τύπων με τους οποίους συναντάται στη φύση είτε βάσει των χρήσεων για τις οποίες προορίζεται. Σύμφωνα με την πρώτη κατηγοριοποίηση έχουμε τους εξής τύπους βιομάζας (Tursi, 2019; Sanchez, 2009):

- Ξυλώδης βιομάζα: αναφέρεται σε υλικά όπως δασικά υπολείμματα και απόβλητα προϊόντων ξυλείας κλπ.
- Μη ξυλώδης βιομάζα: αναφέρεται σε ποώδη φυτά, καρπούς, ζωοτροφές, στελέχη, πυρήνες καρπών κλπ.
- Θαλάσσια βιομάζα: αναφέρεται στις άλγες (φύκη).
- Βιομάζα από ανθρώπινα και ζωικά απόβλητα.
- Μίγματα βιομάζας.

Στο Σχήμα 1.1 που ακολουθεί αποτυπώνεται η παραγωγή βιομάζας στην Ελλάδα ανά περιοχή. Όπως παρατηρούμε, το βόρειο τμήμα της χώρας και ειδικότερα η Μακεδονία και η Θράκη συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον.



**Σχήμα 1-1: Χάρτης παραγωγής βιομάζας (Πηγή: Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας)**

Δε θα πρέπει εξάλλου να μας διαφεύγει το γεγονός πως η παραγωγή και η χρήση βιοενέργειας συνεπάγεται ένα ευρύ φάσμα πλεονεκτημάτων. Κατά πρώτο λόγο, επιτυγχάνεται ο στόχος της διασφάλισης του περιβάλλοντος, καθώς περιορίζονται οι εκπομπές αερίων ρύπων που σχετίζονται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου, ενώ η καύσιμη ύλη είναι απαλλαγμένη από το θείο. Επίσης, η εκτεταμένη χρήση βιοενέργειας είναι σε θέση να συμβάλλει στην ενεργειακή αυτονομία της χώρας και την αειφόρο ανάπτυξη. Τέλος,

σημαντική είναι και η συμβολή της στη δημιουργία νέων θέσεων απασχόλησης, αν και ο ενεργειακός κλάδος δεν είναι εντάσεως εργασίας.

Υπάρχουν ωστόσο και μειονεκτήματα με πρωταρχικό το ζήτημα της διαχείρισης της πρώτης ύλης όσον αφορά τη συλλογή της, τη μεταφορά και τη αποθήκευσή της. Επιπλέον, οι μονάδες παραγωγής ενέργειας από βιομάζα απαιτούν κατά κανόνα υψηλό κόστος μηχανολογικού εξοπλισμού, ενώ την ίδια στιγμή τα βιοκαύσιμα έχουν συγκριτικά χαμηλότερο βαθμό απόδοσης.

## 1.2 Βιοαέριο

Υπό τον όρο βιοαέριο, ουσιαστικά τίθεται το προϊόν της αναερόβιας χώνευσης βιοαποικοδομήσιμων οργανικών υλών. Όσον αφορά τη δομή του βιοαερίου, αυτό αποτελείται από μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) σε ένα ποσοστό της τάξεως του 50% - 70%, από διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) σε ένα ποσοστό της τάξεως του 30% - 50% και από άλλα αέρια και υγρασία σε πολύ μικρές ποσότητες.

Το βιοαέριο αποτελεί μια από τις πλέον αξιόπιστες εναλλακτικές επιλογές όσον αφορά την κάλυψη των διαρκώς αυξανόμενων ενεργειακών απαιτήσεων σε παγκόσμιο επίπεδο, καθώς πέραν της υψηλής του θερμογόνου δύναμης συμβάλλει επίσης στη μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων και τον περιορισμό του φαινομένου του θερμοκηπίου. Ως εκ τούτου, παρατηρείται μια έντονη τάση προς αυτή την κατεύθυνση. (Khan, et al., 2017)

Ο Πίνακας 1.1 ο οποίος ακολουθεί αποτυπώνει τη σύνθεση του βιοαερίου ανάλογα με την προέλευσή του. Ειδικότερα, εξετάζονται ως πηγές προέλευσης οι Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.), η χωνεμένη ιλύς και η χώνευση οργανικών αποβλήτων. Όπως παρατηρούμε από τα δεδομένα του πίνακα, η σύνθεση του βιοαερίου παρουσιάζει έντονη μεταβλητότητα ανάλογα την πρώτη ύλη. Σε κάθε περίπτωση πάντως, το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα κυριαρχούν.

Πίνακας 1-1: Σύνθεση βιοαερίου ανάλογα με την πηγή προέλευσης (Khan, et al., 2017)

Βιοαέριο (Προέλευση)	CH <sub>4</sub> %	CO <sub>2</sub> %	N <sub>2</sub> %	O <sub>2</sub> %	H <sub>2</sub> S (ppm)	Βεζνόλιο (mgm <sup>-3</sup> )	Τολουόλιο (mgm <sup>-3</sup> )
ΧΥΤΑ	45-62	24-40	1-17	1-2,6	15-427	0,6-35,6	1,7-287
Χωνεμένη ιλύς	58-65	33-40	1-8	<1	0-24	0,1-0,3	2,8-11,8
Χώνευση οργανικών αποβλήτων	60-70	30-40	1	1-5	10-180	0,1-1,1	3,7

### 1.2.1 Αναερόβια χώνευση

Η αναερόβια χώνευση είναι μια σχετικά απλή διαδικασία, στα πλαίσια της οποίας η οργανική ύλη αποσυντίθενται δίχως την παρουσία οξυγόνου υπό την επίδραση συγκεκριμένων μικροοργανισμών. Κύριο χαρακτηριστικό της είναι το γεγονός πως οδηγεί σε μικρότερα επίπεδα αποβλήτων σε σχέση με τα συμβατικές αερόβιες τεχνολογίες. (Meegoda, et al., 2018)

Τα επιμέρους στάδια της αναερόβιας χώνευσης είναι τα εξής (Meegoda, et al., 2018):

- i. Υδρόλυση: Διάσπαση των οργανικών πολυμερών σε μικρότερα συστατικά τα οποία είναι ευδιάλυτα.
- ii. Χώνευση ή οξεογένεση: Κατά το εν λόγω στάδιο τα προϊόντα της υδρόλυσης αποδομούνται ακόμη περισσότερο.
- iii. Οξικογένεση: Μετατροπή των προϊόντων της χώνευσης σε οξικό άλας.
- iv. Μεθανογένεση: Παραγωγή μεθανίου.

Βέβαια, η αναερόβια χώνευση προϋποθέτει την τήρηση ορισμένων προϋποθέσεων. Το σημαντικότερο ίσως στοιχείο το οποίο επηρεάζει την εν λόγω διαδικασία είναι η θερμοκρασία, δεδομένου ότι τα αναερόβια βακτήρια είναι ιδιαίτερα όσον αφορά την εν λόγω παράμετρο. Ανάλογα με τη μικροβιακή δραστηριότητα διακρίνουμε τρεις κλάσεις θερμοκρασίας: κάτω από 20°C ψυχρόφιλη, από 20°C έως 45°C μεσόφιλη και από 55°C έως 70°C θερμόφιλη. Ιδανικά, το στάδιο της υδρόλυσης λαμβάνει χώρα στη θερμόφιλη περιοχή



και το στάδιο της μεθανογένεσης στη μεσόφιλη περιοχή. (Brazil Biofuels Annual 2018, 2018)

Εκτός του βιοαερίου, κατά τη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης παράγεται επίσης λάσπη η οποία είναι εμπλουτισμένη με ένα ευρύ φάσμα οργανικών συστατικών, καθώς και άλλα ανόργανα υλικά. Τα υπολείμματα της εν λόγω διεργασίας συχνά χρησιμοποιούνται ως λίπασμα σε γεωργικές καλλιέργειες.

Σε κάθε περίπτωση πάντως, είναι απαραίτητος ο καθαρισμός του βιοαερίου πριν τη χρήση του σε αντιδραστήρες με σκοπό την απομάκρυνση του υδρόθειου. Προς αυτή την κατεύθυνση χρησιμοποιούνται οι διαδικασίες της ρόφησης, της χημικής απομάκρυνσης και της βιολογικής απομάκρυνσης. (Μπερεκετίδου, και συν,2005)

### **1.2.2 Χρήσεις βιοαερίου**

Η κυριότερη χρήση του βιοαερίου είναι ως καύσιμο για την παραγωγή θερμότητας, χωρίς ωστόσο να αποκλείεται η χρήση του και σε μηχανές εσωτερικής καύσης. Σε αυτήν την περίπτωση ωστόσο, απαιτείται η περαιτέρω επεξεργασία του. Εν γένει, το βιοαέριο συχνά υφίσταται συγκεκριμένες μετατροπές έτσι ώστε να αυξηθεί το φάσμα των εφαρμογών του. Συνοπτικά, οι χρήσεις του βιοαερίου είναι οι εξής:

- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Συμπαγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας
- Παραγωγή θερμικής ενέργειας
- Αναβάθμισή και εμπλουτισμός του για άλλες χρήσεις



### **1.3 Βιομεθάνιο**

Όπως ήδη αναφέρθηκε παραπάνω, το παραγόμενο από τη διεργασία της αναερόβιας χώνευσης βιοαέριο απαιτεί καθαρισμό, καθώς δεν έχει αρκετά υψηλή ποιότητα ώστε να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο. Μέσα από την αναβάθμιση του βιοαερίου λαμβάνουμε το βιομεθάνιο, το οποίο έχει μικρότερη περιεκτικότητα σε διοξείδιο του άνθρακα. Παράλληλα, προστίθεται το τετραϋδροθειοφαίνιο, το οποίο προσδίδει στο βιομεθάνιο μια χαρακτηριστική οσμή έτσι ώστε να είναι ευκολότερος και αμεσότερος ο εντοπισμός τυχόν διαρροών. (Naja, et al.,2011)

Πολλές είναι οι τεχνολογίες αναβάθμισης οι οποίες έχουν αναπτυχθεί και διακρίνονται σε τεχνολογίες προσρόφησης, τεχνολογίες απορρόφησης, τεχνολογίες διαπερατότητας και τεχνολογίες κρουογονικής αναβάθμισης. Η διαφορά μεταξύ των μεθόδων έγκειται στις επιμέρους διαδικασίες οι οποίες χρησιμοποιούνται. Όλες ωστόσο είναι απαραίτητο να ικανοποιούν το κριτήριο της βιωσιμότητας τόσο σε οικονομικό όσο και σε περιβαλλοντικό επίπεδο.(Awe, et al.,2017)

Η επιλογή της κατάλληλης κατά περίπτωση μεθόδου εξαρτάται κάθε φορά αφενός από την αποδοτικότητα και αφετέρου από το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας της μονάδας. (Khan, et al., 2017)

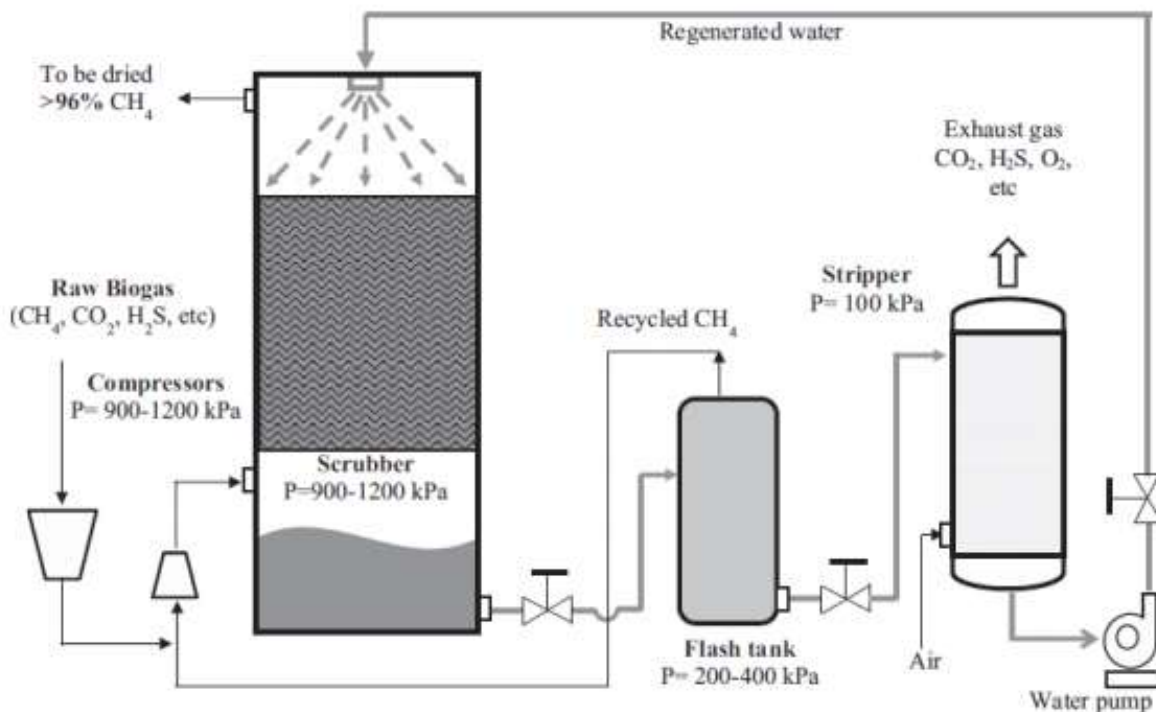
#### **1.3.1 Τεχνολογίες απορρόφησης**

Οι διαδικασίες οι οποίες ακολουθούνται στις τεχνολογιών απορρόφησης ουσιαστικά βασίζονται στο γεγονός πως τα επιμέρους συστατικά των αερίων παρουσιάζουν διαφορετικά επίπεδα διαλυτότητας. Ειδικότερα, τα στοιχεία τα οποία πρέπει να αφαιρεθούν από το βιοαέριο, είναι κατά κανόνα περισσότερο διαλυτά από το μεθάνιο. Έτσι λοιπόν, όταν το βιοαέριο εξαναγκάζεται σε επαφή με κάποιο υγρό, τα στοιχεία αυτά απομακρύνονται από το μεθάνιο. Το προϊόν που προκύπτει λοιπόν είναι πολύ πιο πλούσιο σε μεθάνιο. Εξυπακούεται, πως το κατά περίπτωση υγρό θα πρέπει να ανανεώνεται για την αύξηση της αποτελεσματικότητας της μεθόδου.

Βασικό πλεονέκτημα αποτελεί το γεγονός πως οι εκπομπές μεθανίου είναι εξαιρετικά χαμηλές. Από την άλλη πλευρά βέβαια θα πρέπει να τονισθεί πως συνήθως

συνεπάγεται αρκετά υψηλός κόστος αφενός λόγω της ανάγκης για προ-επεξεργασία και αφετέρου λόγω της ανάγκης αντικατάστασης του υγρού.

Οι τεχνολογίες απορρόφησης περιλαμβάνουν τη φυσική απορρόφηση, την οργανική φυσική απορρόφηση και τη χημική απορρόφηση. Στο Σχήμα 1-2 που ακολουθεί δίνεται η διάταξη μιας τυπικής μονάδος φυσικής απορρόφησης.



Σχήμα 1-2: Διάταξη μονάδος φυσικής απορρόφησης (Yang, et al., 2014)

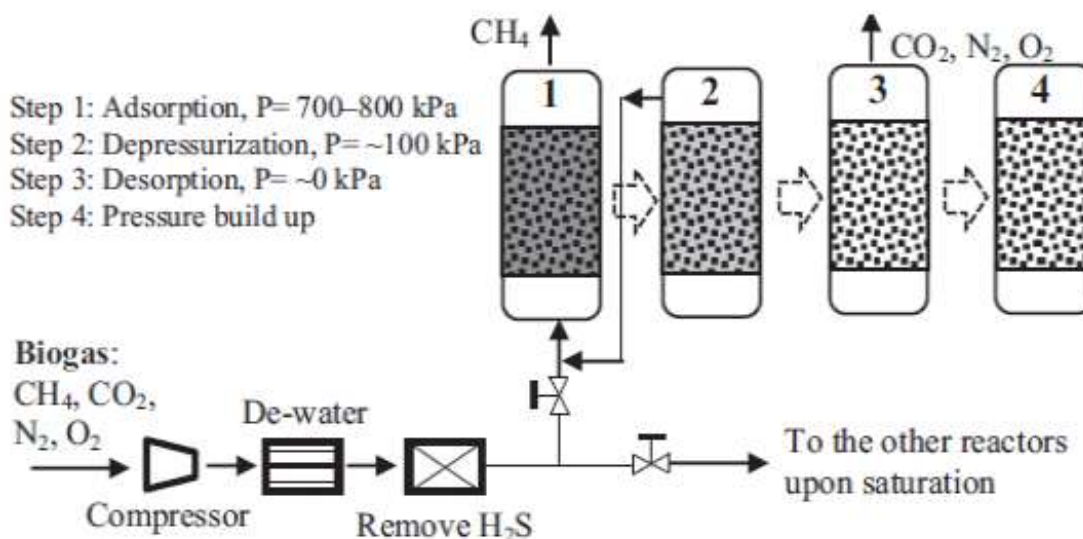
### 1.3.2 Τεχνολογίες προσρόφησης

Κατά αντιστοιχία με τις τεχνολογίες απορρόφησης, οι διαδικασίες προσρόφησης βασίζονται στη διαφορετική συμπεριφορά των επιμέρους στοιχείων του αερίου υπό συνθήκες αυξημένης πίεσης. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων χρησιμοποιείται ενεργός άνθρακας ή ζεόλιθοι για την προσρόφηση του διοξειδίου του άνθρακα από το βιοαέριο.

Κύριο χαρακτηριστικό των εν λόγω διεργασιών αποτελεί το γεγονός πως το υλικό «αναγεννάται» με τη μείωση της πίεσης και χρησιμοποιείται εκ νέου για την επόμενη φάση προσρόφησης. Στο ενδιάμεσο, υπάρχουν υψηλές εκπομπές μεθανίου, καθώς τα απαέρια εκλύονται.

Σε κάθε περίπτωση, δεδομένης της ευαισθησίας των προσροφητών στο νερό και το υδρόθειο, τα εν λόγω στοιχεία θα πρέπει να αφαιρούνται πριν την έναρξη της διαδικασίας. (Wellinger, et al., 2013)

Στο Σχήμα 1-3 που ακολουθεί δίνεται η διάταξη μιας τυπικής μονάδας προσρόφησης.



Σχήμα 1-3: Διάταξη μονάδος φυσικής προσρόφησης (Yang, et al., 2014)

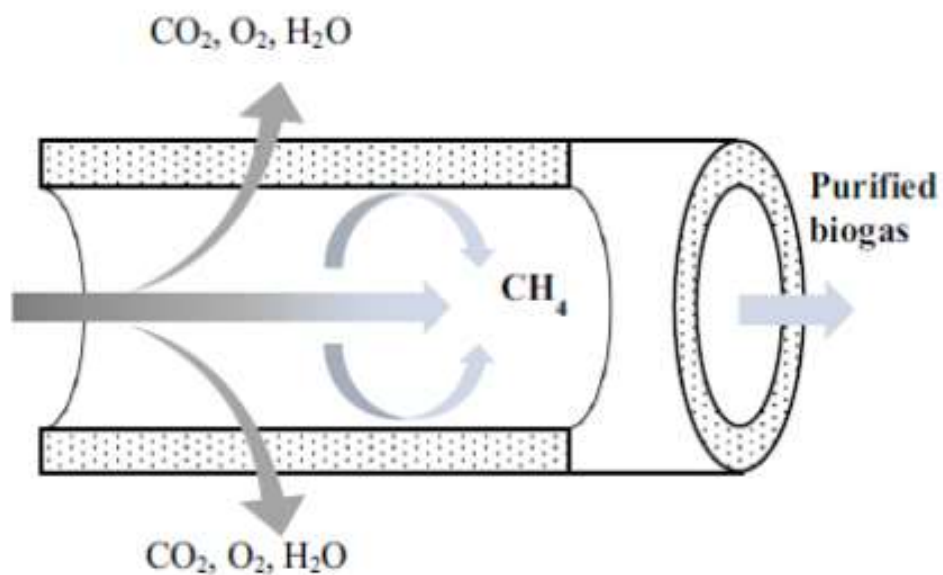
### 1.3.3 Τεχνολογίες διαπερατότητας

Οι τεχνολογίες διαπερατότητας ουσιαστικά βασίζονται στη χρήση μεμβρανών, οι οποίες λειτουργούν ως ένα φίλτρο που διαχωρίζει τα συστατικά του αερίου. Ειδικότερα, το υλικό κατασκευής των μεμβρανών επιτρέπουν τη διέλευση του διοξειδίου του άνθρακα και συγκρατούν ως ένα βαθμό το υδρόθειο, το οξυγόνο και το άζωτο. Το μεθάνιο συγκρατείται σχεδόν εξ ολοκλήρου. (Petersson&Wellinger, 2009)

Ως υλικά κατασκευής των μεμβρανών συνήθως χρησιμοποιούνται πολυμερή όπως π.χ. πολυσουλφόνη, πολυιμίδιο ή πολυδιμεθυλοσιλοξάνιο, καθώς αυτά εμφανίζουν υψηλή ικανότητα διαχωρισμού μεταξύ διοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί πως ο αριθμός των μεμβρανών και η διάταξη της μονάδος δε σχετίζονται με την ζητούμενη ποιότητα του βιομεθανίου, αλλά με το επιθυμητό ποσοστό ανάκτησης.

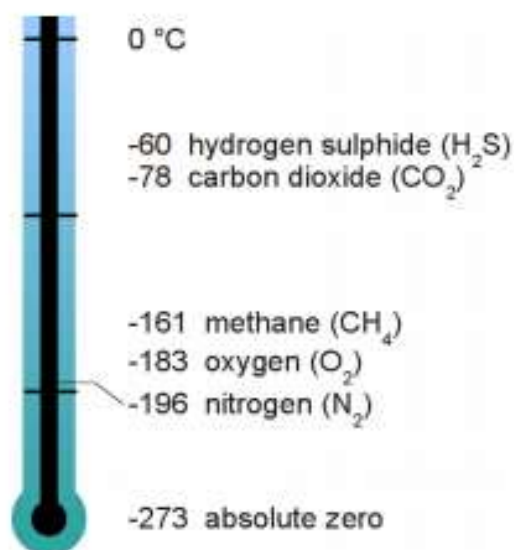
Στο Σχήμα 1-4 που ακολουθεί δίνεται η διάταξη μιας τυπικής μονάδος τεχνολογίας μεμβρανών.



Σχήμα 1-4: Διάταξη μονάδος τεχνολογίας μεμβρανών (Yang, et al., 2014)

### 1.3.4 Κρυογονική αναβάθμιση

Οι διαδικασίες κρυογονικής αναβάθμισης βασίζονται στο γεγονός πως το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα παρουσιάζουν διαφορετικές θερμοκρασίες βρασμού (-161 βαθμοί Κελσίου έναντι -78,5 βαθμών Κελσίου). Κατ' αυτόν τον τρόπο, όταν το μεθάνιο περιέλθει σε άλλη φάση, τότε το διοξείδιο του άνθρακα είναι δυνατό να απομακρυνθεί. Στην πράξη, η κρυογονική αναβάθμιση χρησιμοποιείται εξαιρετικά σπάνια. Οι διαφορετικές θερμοκρασίες βρασμού παρουσιάζονται στο Σχήμα 1-5 το οποίο ακολουθεί.



Σχήμα 1-5: Θερμοκρασίες βρασμού





## 1.4 Υδρογόνο

Τα τελευταία χρόνια, όλο και ισχυρότερες είναι οι απόψεις οι οποίες υποστηρίζουν πως το υδρογόνο έχει τη δυνατότητα να υποκαταστήσει εν πολλοίς τα ορυκτά καύσιμα δίνοντας λύση στο εν προκειμένω πρόβλημα. (Veziroglu&Sahin, 2008)

Βέβαια, το υδρογόνο δεν είναι ένα πρωτεύον καύσιμο, αλλά παράγεται μέσω διαφόρων μεθόδων όπως η πυρόλυση. Η χρήση βιομάζας για την παραγωγή υδρογόνου οδηγεί σε σημαντική μείωση των εκπομπών αερίων ρύπων, περιορίζοντας κατ' αυτόν τον τρόπο το περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Εξάλλου, το υδρογόνο είναι μια καθαρή μορφή ενέργειας. (Derimbaz, 2017)

Μάλιστα, κατά τη διαδικασία της καύσης του υδρογόνου, το ποσό ενέργειας το οποίο παράγεται είναι συγκριτικά μεγαλύτερο από όλα τα υπόλοιπα καύσιμα. Για να έχουμε μια τάξη μεγέθους, ο Πίνακας 1-2 που ακολουθεί αποτυπώνει τη θερμογόνο δύναμη διαφόρων μορφών καυσίμου.

Πίνακας 1-2: Θερμογόνος δύναμη καυσίμων

Καύσιμο	Μέση κατώτερη θερμογόνος δύναμη (kcal/kg)
Πετρέλαιο Diesel	10.100
Βενζίνη	10.500
Υγραέριο	11.000
Κηροζίνη	10.250
Βουτάνιο	10.925
Προπάνιο	11.075
Καυσόξυλα	3.825
Υδρογόνο	29.150

Όπως παρατηρούμε από τα δεδομένα του πίνακα, η μέση κατώτερη θερμογόνος δύναμη του υδρογόνου είναι υπερδιπλάσια όλων των υπολοίπων καυσίμων που αναφέρονται. Πέραν αυτού, τα κυριότερα πλεονεκτήματα του υδρογόνου είναι τα ακόλουθα (Balat, 2008):

- Βρίσκεται σε αφθονία στον πλανήτη
- Κατά τη διαδικασία της καύσης δεν απελευθερώνει διοξείδιο του άνθρακα

- Διαλύεται ταχύτατα στην ατμόσφαιρα
- Έχει μεγαλύτερα όρια ανάφλεξης από άλλες μορφές ενέργειας όπως η βενζίνη

#### **1.4.1 Τεχνολογίες παραγωγής υδρογόνου**

Αν και το υδρογόνο υπάρχει σε αφθονία στη φύση, εντούτοις είναι εξαιρετικά δύσκολη η εύρεσή του ως ξεχωριστό στοιχείο. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός πως το υδρογόνο το οποίο είναι δεσμευμένο στο νερό και σε οργανικές ενώσεις αντιπροσωπεύει το 70% της επιφάνειας της γης. Συνολικά, εκτιμάται πως μόνο ένα ποσοστό της τάξεως του 5% είναι εκμεταλλεύσιμο εμπορικά. (Dunn, 2002)

Δεδομένου ότι δεν πρόκειται για μια πρωτογενή πηγή ενέργειας, το υδρογόνο παράγεται από άλλες πρώτες ύλες, υιοθετώντας ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών οι οποίες διαφέρουν ανά περίπτωση (Momirlan & Veziroglu, 2002). Οι κυριότερες πρώτες ύλες οι οποίες χρησιμοποιούνται προς αυτή την κατεύθυνση παρουσιάζονται στις παραγράφους που ακολουθούν.

##### **1.4.1.1 Ορυκτά καύσιμα**

Αν και τα περισσότερα ορυκτά καύσιμα είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή υδρογόνου, εντούτοις ο βαθμός πολυπλοκότητας των διαδικασιών διαφέρει σημαντικά. Οι διεργασίες οι οποίες χρησιμοποιούνται ανά μορφή καυσίμου είναι οι ακόλουθες (Βουτετάκης, και συν, 2010) :

##### Φυσικό αέριο – Υδρογονάνθρακες

1. Αναμόρφωση με ατμό: Η πλέον διαδεδομένη και «φθηνή» μέθοδος παραγωγής υδρογόνου, η οποία χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στα πλαίσια της βιομηχανίας για την παραγωγή  $H_2$  σε μεγάλη κλίμακα. (Hummel, 2001)
2. Μερική οξειδωση: Η εν λόγω διεργασία υιοθετείται από τα διυλιστήρια για τη μετατροπή των υδρογονανθρακικών παραπροϊόντων σε υδρογόνο, CO, CO<sub>2</sub> και νερό. Είναι δυνατό να πραγματοποιείται καταλυτικά και μη καταλυτικά, ενώ είναι παράλληλα δυνατός και ο συνδυασμός τους. (Damen, et al., 2006)

3. Αυτόθερμη αναμόρφωση: Η αυτόθερμη μετατροπή του μεθανίου σε  $H_2$  πραγματοποιείται στους  $850^{\circ}C$ , όπου συνδυάζονται οι διεργασίες της μερικής οξείδωσης και της καταλυτικής αναμόρφωσης. (Damen, et al., 2006)
4. Πυρόλυση υδρογονανθράκων: Η μετατροπή των υδρογονανθράκων σε υδρογόνο είναι δυνατή δίχως την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα εάν διασπώνται υπό την απουσία οξυγόνου σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες. (Kandiyoti, et al., 2006)

### Άνθρακας

Για την παραγωγή υδρογόνου από άνθρακα χρησιμοποιούνται κατά κανόνα διεργασίες αεριοποίησης. Αν και η συγκεκριμένη διεργασία εφαρμόζεται εμπορικά, θεωρείται ανταγωνιστική μόνο στην περίπτωση που το φυσικό αέριο έχει υψηλή τιμή. (Shoko, et al., 2006)

#### **1.4.1.2 Διάσπαση νερού**

Το υδρογόνο είναι δυνατό να παραχθεί μέσω της διάσπασης του νερού με τις εξής διεργασίες (Βουτετάκης, και συν,2010)

- Ηλεκτρόλυση: Η εν λόγω διεργασία, στα πλαίσια της οποίας υιοθετείται η ηλεκτρική ενέργεια για τη διάσπαση του νερού, αν και είναι ιδιαίτερα οικονομική για την παραγωγή μικρών ποσοτήτων υδρογόνου, απαιτεί υψηλό κόστος για την εφαρμογή σε μεγάλη κλίμακα. Διαχωρίζεται σε: (1) αλκαλική ηλεκτρόλυση, (2) Ηλεκτρόλυση σε πολυμερικής μεμβράνης ηλεκτρολύτες (PEM) και (3) Ηλεκτρόλυση σε υψηλές θερμοκρασίες.
- Άλλες μέθοδοι: Πέραν της ηλεκτρόλυσης είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν και άλλες μέθοδοι όπως: (1) η φωτοηλεκτρόλυση, (2) η φωτο-βιολογική παραγωγή και (3) η θερμοχημική διάσπαση του νερού.

#### **1.4.1.3 Βιομάζα**

Οι διεργασίες οι οποίες δύναται να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή υδρογόνου από τη βιομάζα διαχωρίζονται σε τρεις επιμέρους κατηγορίες ως εξής (Ni, et al., 2006):

- Άμεσοι μέθοδοι παραγωγής
- Έμμεσοι μέθοδοι μέσω της αναμόρφωσης των παραγόμενων βιοκαυσίμων
- Διεργασίες μεταβολισμού για την διάσπαση του νερού μέσω της φωτοσύνθεσης

#### **1.4.2 Αποθήκευση υδρογόνου**

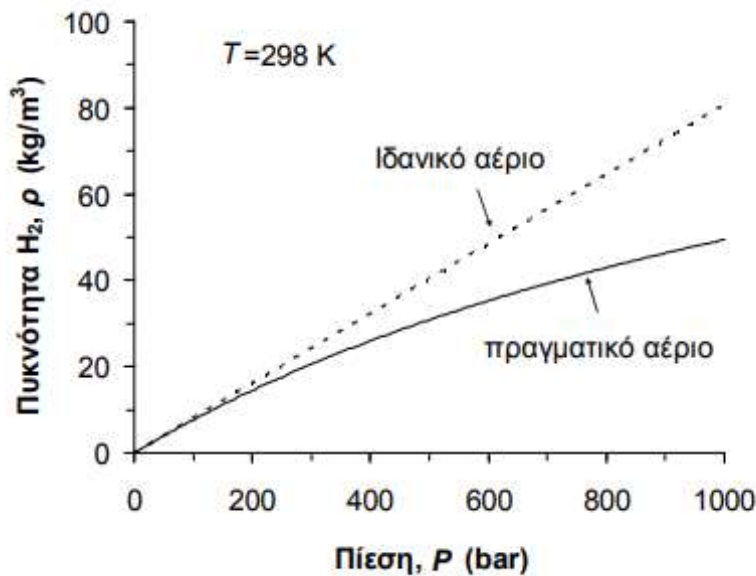
Δεδομένου του διαρκώς εντεινόμενου ενδιαφέροντος όσον αφορά το υδρογόνο και τη δυνατότητά του να υποκαταστήσει τα ορυκτά καύσιμα, η αποθήκευσή του αναδεικνύεται ως μια βασική προτεραιότητα με σκοπό την επίτευξη της μέγιστης δυνατής αποδοτικότητας. Το υδρογόνο χρησιμοποιείται τόσο για στατικές όσο και για κινητές εφαρμογές. Ωστόσο, όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, οι κινητές εφαρμογές είναι σαφώς πιο απαιτητικές, καθώς απαιτούν (Edwards, et al., 2007):

- Χαμηλό κόστος αποθήκευσης
- Θερμοκρασία λειτουργίας από τους  $-50^{\circ}\text{C}$  έως τους  $150^{\circ}\text{C}$
- Χαμηλές πιέσεις
- Υψηλούς ρυθμούς φόρτισης και από-φόρτισης
- Υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο υδρογόνου ανά μονάδα όγκου

Στις παραγράφους που ακολουθούν παρουσιάζονται οι βασικότερες τεχνολογίες αποθήκευσης υδρογόνου οι οποίες είναι διαθέσιμες.

##### **1.4.2.1 Συμπύεση**

Μια από τις διαθέσιμες τεχνολογίες αποθήκευσης του υδρογόνου είναι αυτή της συμπύεσης. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το υδρογόνο διαθέτει χαμηλό ενεργειακό περιεχόμενο ανά μονάδα όγκου. Ως εκ τούτου, θα πρέπει να εξασφαλισθούν πολύ υψηλές πιέσεις έτσι ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή αποτελεσματικότητα σε περιπτώσεις κινητών εφαρμογών. Ωστόσο, το υδρογόνο δε θεωρείται ιδανικό αέριο για πιέσεις οι οποίες ξεπερνούν τα 150 bar (Wetzel, 1998) σύμφωνα με το Σχήμα 1-6 που ακολουθεί.



Σχήμα 1-6: Η πυκνότητα του υδρογόνου ως συνάρτηση της πίεσης (Βουτετάκης, και συν2010)

Το βασικότερο πλεονέκτημα της εν προκειμένω τεχνολογίας έγκειται στο γεγονός πως δεν απαιτεί σύνθετες και χρονοβόρες διαδικασίες. Αυτός είναι και ο λόγος που εφαρμόζεται σε πολλά πρωτότυπα οχήματα. (von Helmot & Eberle, 2007)

Από την άλλη πλευρά, ως μειονεκτήματα λογίζονται οι χαμηλές ογκομετρικές και σταθμικές πυκνότητες, ενώ ιδιαίτερη αναφορά θα πρέπει να γίνει στα ζητήματα ασφαλείας.

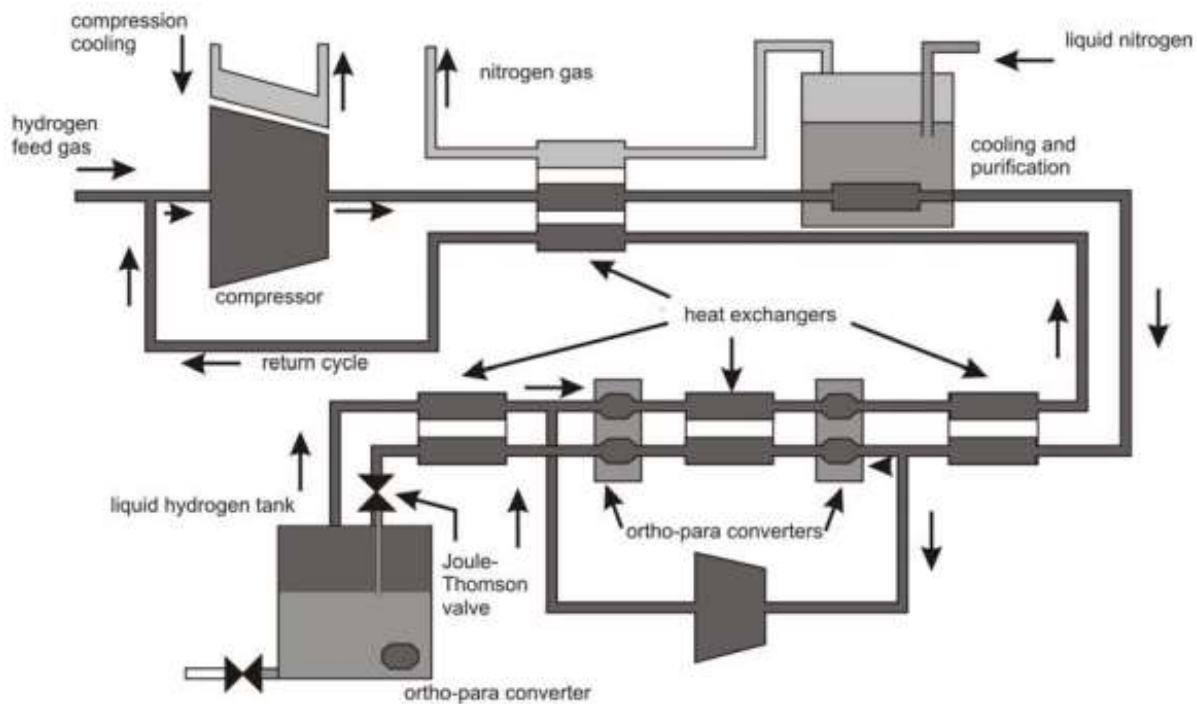
#### 1.4.2.2 Υγροποίηση

Εξίσου διαδεδομένη με την παραπάνω διεργασία αποτελεί η αποθήκευση του υδρογόνου με υγροποίηση. Κατ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται διπλάσια πυκνότητα σχετικά με την πυκνότητα κατά τη διαδικασία της συμπίεσης. Παρά ταύτα, οι διαδικασίες ρευστοποίησης και η εξάτμιση κατά την αποθήκευση σχετίζονται με σαφώς υψηλότερες καταναλώσεις ενέργειας. Το ποσό ενέργειας το οποίο απαιτείται για την υγροποίηση του υδρογόνου ανέρχεται σε ένα ποσοστό της τάξεως του 30% με 40% της συνολικής ποσότητας του ενεργειακού περιεχομένου του αερίου, γεγονός το οποίο επιβαρύνει την απόδοση του συστήματος. (Zhang, et al., 2005)

Η διαδικασία της υγροποίησης προϋποθέτει σε πρώτη φάση την αφαίρεση της θερμότητας, η οποία εμπεριέχει τρία επιμέρους στάδια ως εξής:

- Αφαίρεση της αισθητής θερμότητας (4000 kJ/kg) με σκοπό τη μείωση της θερμοκρασίας από τους 300K στους 20,3K.
- Αφαίρεση της λανθάνουσας θερμότητας (450 kJ/kg) για τη συμπύκνωση του υδρογόνου.
- Μετατροπή του ορθοϋδρογόνου σε παραϋδρογόνο

Η διαδικασία της υγροποίησης και μετατροπής του υδρογόνου αποτυπώνεται στο Σχήμα 1-7 που ακολουθεί.



Σχήμα 1-7: Διαδικασία υγροποίησης και μετατροπής του υδρογόνου (Kikkinides, 2008)

### **1.4.2.3 Αποθήκευση σε προηγμένα υλικά**

Μια εναλλακτική επιλογή αποτελεί η αποθήκευση του υδρογόνου σε προηγμένα υλικά ή αποθήκευση στερεού υδρογόνου όπως είναι ευρύτερα γνωστή. Οι κύριοι μηχανισμοί οι οποίοι χρησιμοποιούνται είναι δύο: η απορρόφηση και η προσρόφηση. Κατά τη διαδικασία της απορρόφησης, το υλικό δρα ως σπόγγος και ουσιαστικά απορροφά το υδρογόνο. Από την άλλη πλευρά, η προσρόφηση προκύπτει από την αλληλεπίδραση των μορίων του υδρογόνου με τα τοιχώματα των πόρων του προσροφητικού υλικού. (Schlapbach & Zuttel, 2001)

Το βασικό πλεονέκτημα το οποίο προσφέρει η αποθήκευση του υδρογόνου σε προηγμένα υλικά έγκειται στο γεγονός πως η εν λόγω μέθοδος απαιτεί ηπιότερες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίες σε σχέση με τις «παραδοσιακές» μεθόδους, δηλαδή την συμπίεση και την υγροποίηση. Σε κάθε περίπτωση ωστόσο, τα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται θα πρέπει να μην απαιτούν υψηλό κόστος.

### **1.4.3 Μεταφορά και διανομή**

Έχοντας εξετάσει τις δυνατότητες αποθήκευσης του υδρογόνου, το επόμενο βήμα αφορά τη μεταφορά και διανομή του. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να γίνει μια διάκριση μεταξύ αερίου και υγρού υδρογόνου, καθώς το μεν πρώτο μεταφέρεται μέσω υπογείων αγωγών με δίκτυα τα οποία δύναται να φθάσουν ακόμη και τα 200χλμ, ενώ η μεταφορά του υγρού υδρογόνου γίνεται κατά κύριο λόγο με δεξαμενόπλοια. Το βασικό υλικό το οποίο χρησιμοποιείται για την κατασκευή αγωγών υδρογόνου είναι ο χάλυβας λόγω της υψηλής αντοχής του.

Παράλληλα, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν οι ίδιοι εμβολοφόροι συμπιεστές οι οποίοι χρησιμοποιούνται στους αγωγούς φυσικού αερίου. Από την άλλη πλευρά, η χρήση φυγοκεντρικών συμπιεστών δεν ενδείκνυται, καθώς το υδρογόνο είναι ιδιαίτερα «ελαφρύ».

Εν γένει, η μεταφορά του υδρογόνου μέσω αγωγών απαιτεί μεγαλύτερες διαμέτρους και μεγαλύτερη δύναμη συμπίεσης σε σχέση με τους αγωγούς φυσικού αερίου για την ίδια απόδοση ενέργειας. (Βουτετάκης, et al., 2010)





## **2 Πολιτικές και ρυθμιστικό πλαίσιο για τα ανανεώσιμα αέρια στην Ε.Ε.**

Όπως ήδη αναφέρθηκε παραπάνω, οι εξελίξεις των τελευταίων δεκαετιών έχουν αναδείξει την αειφορία σε βασικό άξονα της ενεργειακής στρατηγικής σε διεθνές επίπεδο. Ως εκ τούτου, τα ανανεώσιμα αέρια καταλαμβάνουν εξαιρετικά σημαντικό ενδιαφέρον. Το παρόν κεφάλαιο εστιάζει στη στρατηγική σημασία των ανανεώσιμων αερίων και εφόσον αρχικά γίνεται μια σύντομη αναφορά στη μακροπρόθεσμη στρατηγική της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.) για το 2050, κατόπιν αναλύεται το κανονιστικό πλαίσιο.

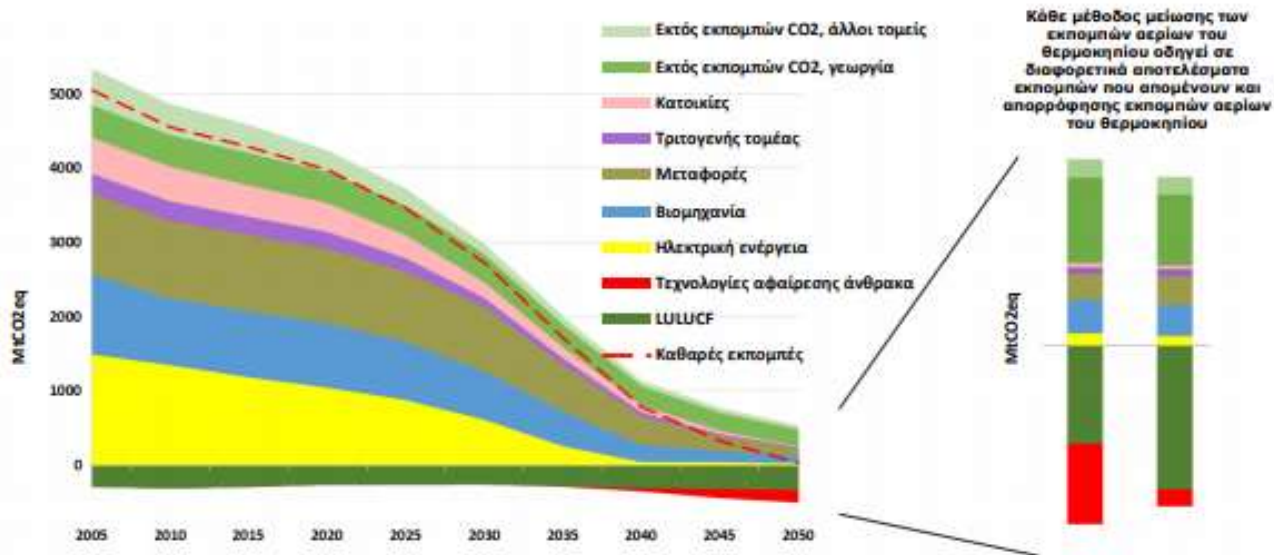
### **2.1 Μακροπρόθεσμη στρατηγική για το 2050**

Στόχος της ΕΕ είναι να γίνει κλιματικά ουδέτερη έως το 2050 – μια οικονομία με μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Ο στόχος αυτός βρίσκεται στο επίκεντρο της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας και συνάδει με τη δέσμευση της ΕΕ για παγκόσμια δράση για το κλίμα στο πλαίσιο της συμφωνίας του Παρισιού.

Εξάλλου, κρίνεται επιτακτική η ανάγκη διατήρησης της αύξησης της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος κάτω από τους 2 βαθμούς Κελσίου σε πρώτη φάση και κάτω από τον 1,5 βαθμό Κελσίου μετέπειτα.

Στο εν λόγω πλαίσιο, τα κράτη μέλη της ΕΕ υποχρεούνται να αναπτύξουν κατά τόπους εθνικές στρατηγικές με κύριο άξονα τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και τη διατήρησή τους εντός των ορίων τα οποία τίθενται σε κεντρικό επίπεδο από την Κοινότητα.

Παράλληλα, τα περιβαλλοντικά προβλήματα είναι ιδιαίτερα έντονα όχι μόνο στα πλαίσια της ΕΕ, αλλά και γενικότερα. Στο Σχήμα 2-1 που ακολουθεί αποτυπώνεται η πορεία των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σύμφωνα με το σενάριο της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη κατά 1,5 βαθμό Κελσίου.



Σχήμα 2-1: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σύμφωνα με το σενάριο αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη κατά 1,5°C.

Αφουγκραζόμενο τις ανάγκες της εποχής, το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας της Ελλάδος έχει ως έργο και αποστολή τη διασφάλιση του περιβάλλοντος, των φυσικών και των ενεργειακών πόρων. Ειδικότερα, η περιβαλλοντική πολιτική στη χώρα μας στηρίζεται στους εξής πυλώνες:

1. Αντιμετώπιση της Κλιματικής Αλλαγής μεταβαίνοντας σε μια ανταγωνιστική οικονομία χαμηλής κατανάλωσης σε άνθρακα.
2. Προστασία και διαχείριση των φυσικών πόρων με γνώμονα την αειφορία.
3. Αναβάθμιση της ποιότητας ζωής με σεβασμό στο περιβάλλον.
4. Ενίσχυση των μηχανισμών και θεσμών περιβαλλοντικής διακυβέρνησης

## **2.2 Ρυθμιστικό πλαίσιο**

Η ΕΕ έχει θέσει σε εφαρμογή ένα ευρύ φάσμα πολιτικών για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής. Στην παρούσα ενότητα παρατίθενται οι βασικότερες εξ αυτών ως ακολούθως.

### **2.2.1 Πρόγραμμα για το Περιβάλλον και τη Δράση για το Κλίμα (LIFE) (2014-2020)**

Το εν προκειμένω πρόγραμμα αποτελεί το πρώτο στάδιο στην προσπάθεια επίτευξης των στρατηγικών στόχων της ΕΕ και περιλαμβάνει δύο επιμέρους προγράμματα: το υποπρόγραμμα «Περιβάλλον» και το υποπρόγραμμα «Δράση για το κλίμα».

Για τις ανάγκες υλοποίησης του προγράμματος θεσπίζονται τα ακόλουθα μέσα χρηματοδότησης:

- i. ΙΧΕΑ: μέσο ιδιωτικής χρηματοδότησης για την ενεργειακή απόδοση
- ii. ΜΧΦΚ: χρηματοδοτικός μηχανισμός φυσικού κεφαλαίου.

Και τα δύο μέσα συγχρηματοδοτούνται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων (ΕΤΕΠ).

Ως κύριοι στόχοι του προγράμματος προβάλλονται η υποστήριξη των περιβαλλοντικών πολιτικών, η ενσωμάτωση των περιβαλλοντικών στόχων σε όλο το εύρος των πολιτικών, η αποτελεσματικότερη διακυβέρνηση και η διασφάλιση των προτεραιοτήτων σε επίπεδο ΕΕ. Όσον αφορά τον προϋπολογισμό, αυτός ανέρχεται στα 3,4567.7 εκατομμύρια ευρώ.

### **2.2.2 Δέσμη μέτρων για το κλίμα και την ενέργεια για το 2020**

Η «Δέσμη μέτρων για το κλίμα και την ενέργεια για το 2020» έχει ως κεντρικό άξονα στρατηγικής το 20-20-20 ή αναλυτικότερα:

- 20% μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου συγκριτικά με το 1990
- 20% αύξηση της ενεργειακής απόδοσης
- 20% ενέργεια από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.)

Ουσιαστικά επιχειρείται μια αναθεώρηση του Συστήματος Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (Σ.Ε.Δ.Ε.) με τον περιορισμό των εκπομπών στον πεδίο της ηλεκτρικής ενέργειας. Στα πλαίσια της αναθεώρησης του Σ.Ε.Δ.Ε. θεσπίζονται μεταξύ άλλων τα εξής:

- Ενιαίο ανώτατο όριο δικαιωμάτων εκπομπών σε όλη την επικράτεια της Ε.Ε. το οποίο ανέρχεται 1,74% με αντίστοιχη κατάργηση των εθνικών συστημάτων.
- Πλειστηριασμός των δικαιωμάτων εκπομπών με σκοπό την προοδευτική μείωσή τους.
- Ευρύτερη κάλυψη.

Παράλληλα, θεσπίζονται επιμέρους εθνικοί στόχοι, οι οποίοι ωστόσο είναι διαφορετικοί για κάθε χώρα βάσει του επιπέδου ευημερίας. Κατ' ελάχιστον ένα ποσοστό της τάξεως του 10% των καυσίμων κίνησης κάθε κράτους μέλους της Ε.Ε. θα πρέπει να προέρχεται από Α.Π.Ε. (βιοκαύσιμα, υδρογόνο κλπ).

### **2.2.3 Πλαίσιο πολιτικής της ΕΕ για το κλίμα και την ενέργεια (2021 έως 2030)**

Βασικό πυλώνα του προγράμματος «Πλαίσιο πολιτικής της ΕΕ για το κλίμα και την ενέργεια (2020 έως 2030)» αποτέλεσε η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 40% σε βάθος δεκαετίας. Το πλαίσιο περιλαμβάνει πολιτικές και στόχους για την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας, της ασφάλειας και της βιωσιμότητας της οικονομίας και του ενεργειακού συστήματος της ΕΕ.

Τον Δεκέμβριο του 2020, μπροστά στην ανάγκη να αυξηθεί η φιλοδοξία για το κλίμα, όπως απαιτεί και η συμφωνία των Παρισίων, το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο ενέκρινε έναν νέο στόχο μείωσης των εκπομπών για το 2030. Οι ηγέτες της ΕΕ συμφώνησαν για έναν δεσμευτικό ενωσιακό στόχο για καθαρή εσωτερική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55 % έως το 2030 σε σύγκριση με το 1990. Η ΕΕ θα αυξήσει τις φιλοδοξίες της για το κλίμα με τρόπο που:

- θα δώσει ώθηση στη βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη
- θα δημιουργήσει θέσεις εργασίας

- θα αποφέρει οφέλη ως προς την υγεία και το περιβάλλον στους πολίτες της ΕΕ
- θα συμβάλει στη μακροπρόθεσμη παγκόσμια ανταγωνιστικότητα της οικονομίας της ΕΕ χάρη στην προώθηση της καινοτομίας στις πράσινες τεχνολογίες

Στα συμπεράσματά του, το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο κάλεσε την Επιτροπή να αξιολογήσει τον τρόπο με τον οποίο όλοι οι οικονομικοί τομείς μπορούν να συμβάλουν καλύτερα στην επίτευξη του στόχου για το κλίμα με ορίζοντα το 2030 και να υποβάλει τις απαραίτητες προτάσεις, συνοδευόμενες από ενδελεχή εξέταση των περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών επιπτώσεων σε επίπεδο κράτους μέλους.

Η Επιτροπή εξέτασε τις ενέργειες που απαιτούνται σε όλους τους τομείς, συμπεριλαμβανομένης της αυξημένης ενεργειακής απόδοσης και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, και ξεκίνησε τη διαδικασία υποβολής λεπτομερών νομοθετικών προτάσεων έως τον Ιούνιο του 2021 για την υλοποίηση και την επίτευξη της αυξημένης φιλοδοξίας.

Αυτό θα επιτρέψει στην ΕΕ να κινηθεί προς μια ουδέτερη από το κλίμα οικονομία και να υλοποιήσει τις δεσμεύσεις της, βάσει της Συμφωνίας του Παρισιού, ενημερώνοντας την Εθνικά καθορισμένη συνεισφορά της.

Ειδικότερα, οι στόχοι του προγράμματος αναπτύσσονται ως εξής:

1. Μείωση τουλάχιστον 55% στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (από τα επίπεδα του 1990)
2. Αύξηση του ποσοστού κατανάλωσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές τουλάχιστον κατά 32%.
3. Τουλάχιστον 32,5% βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.
4. Θέσπιση νέου ευρωπαϊκού συστήματος διακυβέρνησης με αντίστοιχη υποχρέωση των κρατών μελών για την ανάπτυξη εθνικών σχεδίων.
5. Θέσπιση δεικτών για την παρακολούθηση και την αξιολόγηση.

#### **2.2.4 Η πορεία προς μια οικονομία χαμηλών επιπέδων ανθρακούχων εκπομπών το 2050**

Απώτερος στόχος στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 60% έως το 2050 σε σχέση με το 1990. Προς αυτήν την κατεύθυνση απαιτείται μια συντονισμένη δράση η οποία περιλαμβάνει το σύνολο της κοινωνικής και οικονομικής δραστηριότητας. Για το σκοπό αυτό απαιτούνται σημαντικές επενδύσεις, ιδιωτικές, δημόσιες αλλά και συμπράξεις ιδιωτικού και δημοσίου τομέα. Το ύψος των αναγκαίων επενδύσεως εκτιμάται σε 1,5% του συνολικού Ακαθαρίστου Εγχωρίου Προϊόντος (Α.Ε.Π.) της Ε.Ε..

Τα οφέλη τα οποία προσδοκούνται είναι πολλά και περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων τα εξής:

- Μείωση του ενεργειακού κόστους κατά ένα ποσό μεταξύ 175 και 320 δις.
- Μείωση της ενεργειακής εξάρτησης της Ε.Ε. από εισαγωγές.
- Αναδιάρθρωση της ευρωπαϊκής οικονομίας.
- Βελτίωση της ποιότητας ζωής.

## 2.3 Ενοποίηση του ενεργειακού συστήματος

Η ενοποίηση του ενεργειακού συστήματος στα πλαίσια της Ε.Ε. αναφέρεται ουσιαστικά στο σχεδιασμό και τη λειτουργία του όλου συστήματος ως σύνολο, συνδέοντας διάφορους φορείς ενέργειας, υποδομές και τομείς κατανάλωσης. Η συγκεκριμένη προσέγγιση εκτιμάται πως θα συμβάλλει στην αύξηση της ευελιξίας και της αποδοτικότητας, μειώνοντας το αντίστοιχο κόστος, ενώ θα δημιουργήσει τις συνθήκες οι οποίες απαιτούνται για τη μετάβαση στην πράσινη ενέργεια.

Η μεμονωμένη ανάλυση η οποία διενεργείται στα πλαίσια του υπάρχοντος συστήματος δεν είναι σε θέση να οδηγήσει στο στόχο της κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050.

Οι βασικοί άξονες της ενοποίησης του ενεργειακού συστήματος είναι οι εξής:

1. Η μετάβαση σε ένα κυκλικό ενεργειακό σύστημα με επίκεντρο την ενεργειακή απόδοση. Κατ' αυτόν τον τρόπο καθίσταται δυνατός ο εντοπισμός των δράσεων οι οποίες απαιτούνται και η αποτελεσματικότερη χρήση των τοπικών πηγών ενέργειας στα κτίρια και τις κοινότητες.
2. Η αύξηση του άμεσου εξηλεκτρισμού των τομέων τελικής χρήσης. Δεδομένου ότι ο τομέας της ηλεκτρικής ενέργειας έχει το υψηλότερο μερίδιο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, θα πρέπει να χρησιμοποιούμε την ηλεκτρική ενέργεια όσο και περισσότερο όπου αυτό είναι δυνατό.
3. Η προώθηση των καθαρών καυσίμων όπως για παράδειγμα το υδρογόνο, τα βιοκαύσιμα και το βιοαέριο, ιδιαίτερα στην περίπτωση όπου ο εξηλεκτρισμός θεωρείται δύσκολος.





## 2.4 Στρατηγική για το υδρογόνο

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η ενοποίηση του ενεργειακού συστήματος περικλείει ως βασικό πυλώνα ανάπτυξης την προώθηση των καθαρών καυσίμων. Στις δεδομένες συνθήκες το υδρογόνο καταλαμβάνει έναν εξαιρετικά σημαντικό ρόλο, καθώς είναι σε θέση να συνεισφέρει προς την κατεύθυνση της απανθρακοποίησης της βιομηχανίας, των μεταφορών, της παραγωγής ενέργειας και των κτιρίων σε ολόκληρη την Ευρώπη. Η στρατηγική της Ε.Ε. για το υδρογόνο περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο οι δυνατότητες αυτές μπορούν να γίνουν πραγματικότητα, μέσω επενδύσεων, κανονιστικών ρυθμίσεων, δημιουργίας αγορών, και έρευνας και καινοτομίας.

Σε τομείς όπου ο εξηλεκτρισμός δε βρίσκει άμεση εφαρμογή, το υδρογόνο είναι σε θέση να λειτουργήσει, ως εναλλακτική πηγή τροφοδότησης με ενέργεια, παρέχοντας παράλληλα δυνατότητες για την αποθήκευσή της. Παρά ταύτα, για να συμβεί κάτι τέτοιο, θα πρέπει να υπάρξει μια συντονισμένη δράση μεταξύ δημοσίου και ιδιωτικού τομέα.

Σε κάθε περίπτωση, βασική προτεραιότητα αποτελεί η ανάπτυξη του ανανεώσιμου υδρογόνου, το οποίο θα παράγεται κυρίως με χρήση αιολικής και ηλιακής ενέργειας. Ωστόσο, βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα, χρειάζονται άλλες μορφές υδρογόνου χαμηλών ανθρακούχων εκπομπών για την ταχεία μείωση των εκπομπών και τη στήριξη της ανάπτυξης μιας βιώσιμης αγοράς.

Οι επιμέρους στρατηγικές έως το 2050 κατανέμονται σε τρεις περιόδους ως εξής:

- 2020-2024: Ενίσχυση της εγκατάστασης ηλεκτρολυτικών κυψελών ανανεώσιμου υδρογόνου με ισχύ τουλάχιστον 6 γιγαβάτ, και παραγωγή έως ενός εκατομμυρίου τόνων ανανεώσιμου υδρογόνου.
- 2025-2030: Το υδρογόνο πρέπει να καταστεί αναπόσπαστο μέρος του ενοποιημένου ενεργειακού μας συστήματος, στο πλαίσιο του οποίου θα εγκατασταθούν ηλεκτρολυτικές κυψέλες ισχύος τουλάχιστον 40 γιγαβάτ για την παραγωγή ανανεώσιμου υδρογόνου και θα παραχθούν έως 10 εκατομμύρια τόνοι ανανεώσιμου υδρογόνου στην ΕΕ.

- 2030-2050: Οι τεχνολογίες ανανεώσιμου υδρογόνου θα πρέπει να ωριμάσουν και να αναπτυχθούν σε ευρεία κλίμακα σε όλους τους τομείς που είναι δύσκολο να απαλλαγούν από τις ανθρακούχες εκπομπές.

### **3 Διεθνής εμπειρία**

Το ευρύ φάσμα πλεονεκτημάτων που προκύπτει από τη χρήση των ανανεώσιμων αερίων έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη πλήθους εφαρμογών στη διεθνή βιβλιογραφία και πρακτική. Εν γένει, παρατηρείται μια διαρκώς αυξανόμενη τάση προς αυτήν την κατεύθυνση τόσο σε ευρωπαϊκό όσο και σε διεθνές επίπεδο.

#### **3.1 Ελλάδα**

Σε αντίθεση με τις εξελίξεις οι οποίες συντελούνται σε ευρωπαϊκό και διεθνές επίπεδο, η χώρα μας βρίσκεται ακόμη σε εξαιρετικά πρώιμα στάδια όσον αφορά την παραγωγή βιοαερίου, παρά τις υψηλές δυνατότητες οι οποίες υπάρχουν. Στο Σχήμα 3-1 δίνεται ο χάρτης εγκαταστάσεων βιοαερίου στην ελληνική επικράτεια. Όπως παρατηρούμε, ο κύριος όγκος συγκεντρώνεται στο κεντρικό και βόρειο τμήμα της χώρας.



ΜΕΓΕΘΗ ΙΣΧΥΟΣ (kW)



ΕΙΔΟΣ ΜΟΝΑΔΑΣ



Σχήμα 3-1: Χάρτης εγκαταστάσεων βιοαερίου (Πηγή: Ελληνικός Σύνδεσμος Παραγωγών Βιοαερίου)

## 3.2 Ευρώπη

Η μακροπρόθεσμη πολιτική της Ε.Ε. για το περιβάλλον, όπως αυτή αναλύθηκε παραπάνω, έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ειδικότερα της βιομάζας και του βιοαερίου σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες.

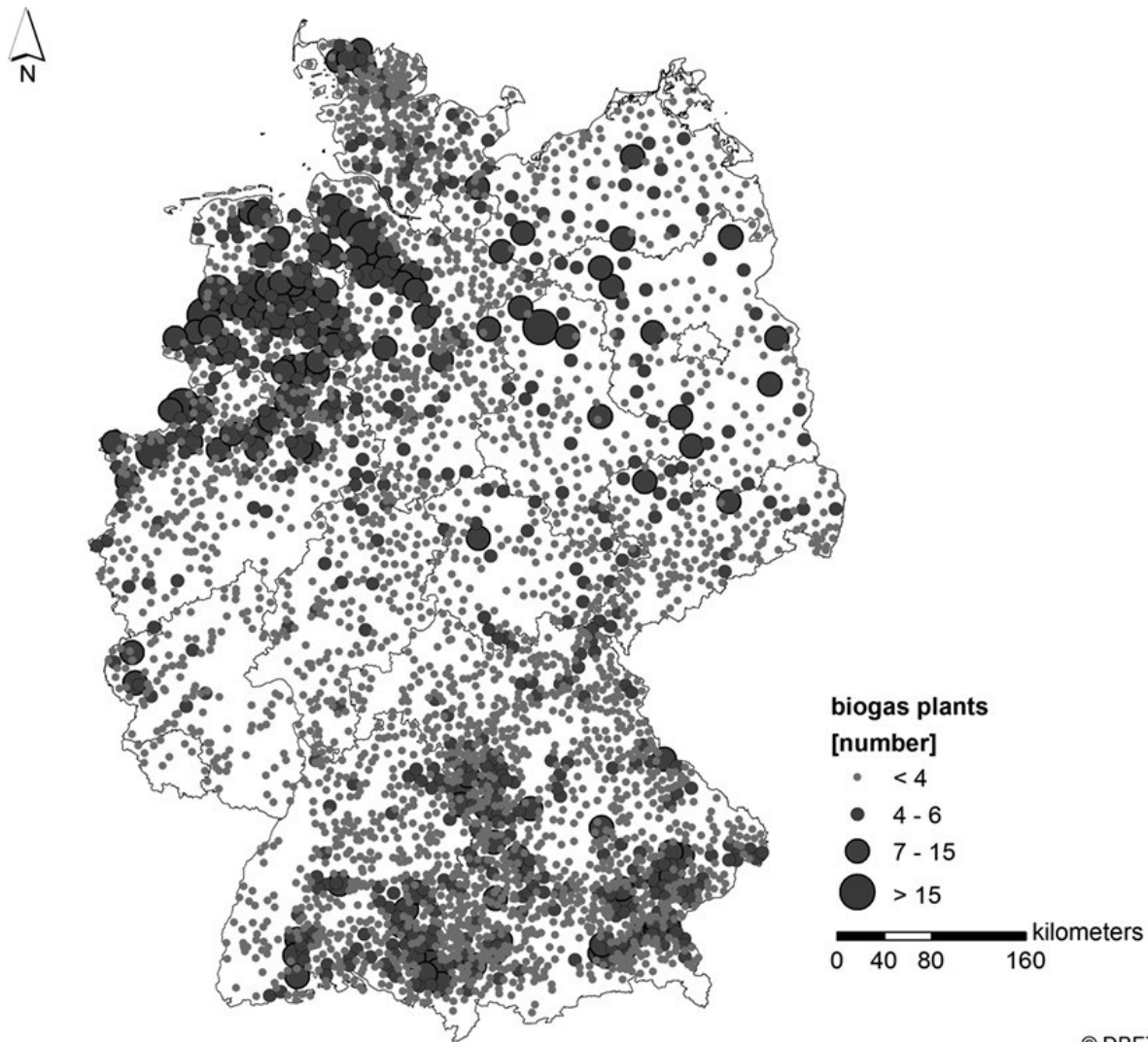
Σύμφωνα με τα στοιχεία τα οποία παρέχονται από τη European Biogas (E.B.A.) αυτή τη στιγμή στην Ευρώπη υπάρχουν 17.662 μονάδες παραγωγής βιοαερίου, η συνολική εγκατεστημένη ισχύ των οποίων αγγίζει τις 10.000 MWe (συγκεκριμένα 9.985 MWe). Ως πλέον πρωτοπόρος χώρα στο εν λόγω πεδίο προβάλλει η Γερμανία η οποία καταλαμβάνει περίπου το 50% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος με 4.635 MWe σε 10.849 μονάδες παραγωγής βιοαερίου, ενώ ακολουθεί η Ιταλία με 1.555 μονάδες παραγωγής βιοαερίου και συνολική εγκατεστημένη ισχύ της τάξεως των 1.171 MWe.

### 3.2.1 Γερμανία

Τις τελευταίες δεκαετίες, η Γερμανία ακολουθεί ένα συντονισμένο πλάνο δράσης με σκοπό την αύξηση του μεριδίου που καταλαμβάνει το βιοαέριο στη συνολική κατανάλωση ενέργειας. Εν γένει, η εστίαση της χώρας στις Α.Π.Ε. και η παροχή φοροελαφρύνσεων στις εν λόγω επενδύσεις, έχει συμβάλλει στην ανάπτυξη του βιοαερίου. Μάλιστα, η δυνατότητα εμπλουτισμού του βιοαερίου για τη χρήση του ως καύσιμο κίνησης φαίνεται να είναι το κυριότερο κίνητρο το οποίο ωθεί προς αυτήν την κατεύθυνση. (Poeschl, et al., 2010)

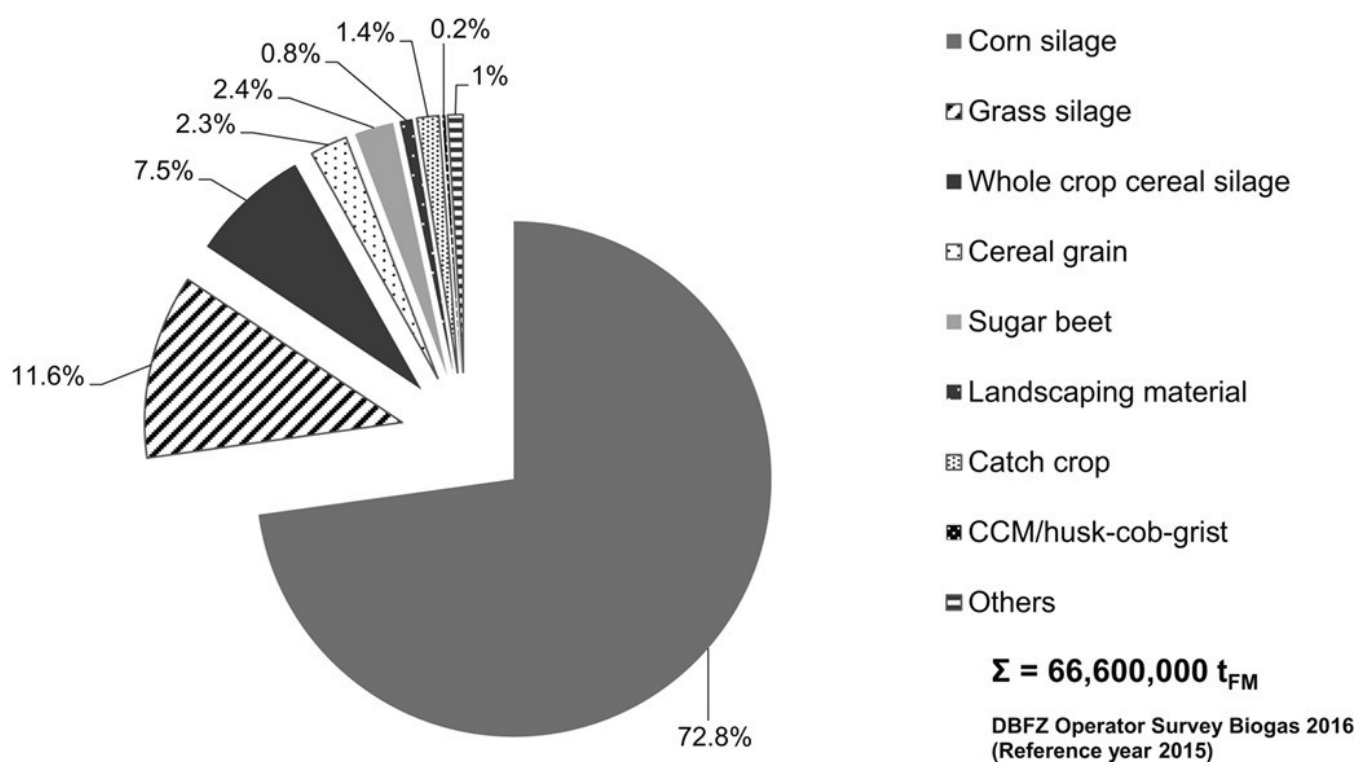
Ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται, τόσο στις καλλιέργειες, οι οποίες δύναται να χρησιμοποιηθούν για το σκοπό αυτό, όσο και στη διαδικασία αναερόβιας χώνευσης καθαυτής. (Weiland, 2003)

Στο Σχήμα 3-2 που ακολουθεί δίνεται ο χάρτης με την κατανομή των μονάδων παραγωγής βιοαερίων σε όλο το εύρος της γερμανικής επικράτειας. Όπως παρατηρούμε, ο κύριος όγκος των εγκαταστάσεων βρίσκεται στο βορειοδυτικό και το νότιο τμήμα της χώρας.



Σχήμα 3-2: Χάρτης εγκαταστάσεων παραγωγής βιοαερίου – Γερμανία (Daniel-Gromke, et al., 2018)

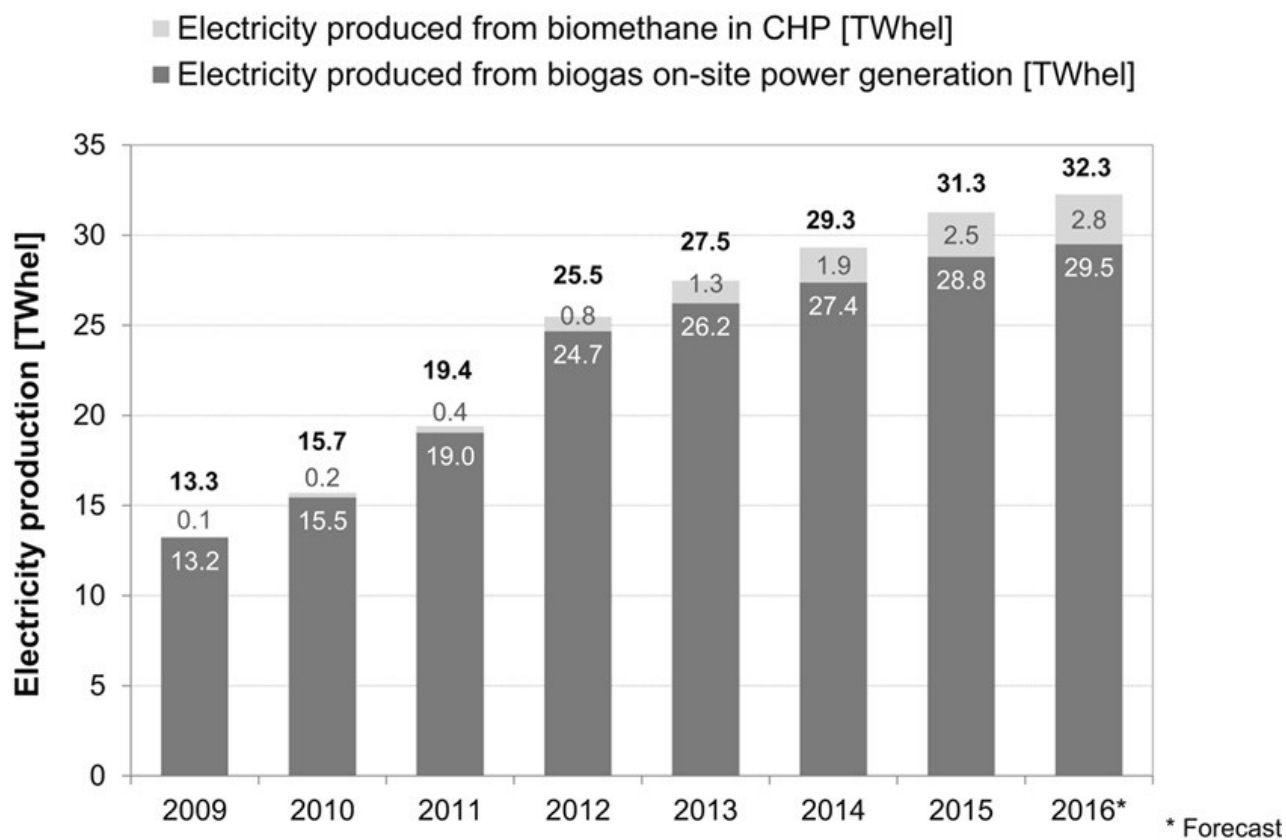
Όσον αφορά τις επιμέρους διαδικασίες οι οποίες χρησιμοποιούνται, στο Σχήμα 3-3 παρουσιάζεται η κατανομή των πρώτων υλών οι οποίες χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιοαερίου και βιομεθανίου. Ο μεγαλύτερος όγκος της πρώτης ύλης, σε ποσοστό 72,8%, προέρχεται από καλαμπόκι το οποίο είναι ένα από τα πλέον διαδεδομένα «ενεργειακά» φυτά, ενώ σημαντική είναι και η συμμετοχή των σιτηρών, του κριθαριού, της βρώμης, της σίκαλης κλπ.



**Σχήμα 3-3: Κατανομή πρώτων υλών για παραγωγή βιοαερίου και βιομεθανίου (Daniel-Gromke, etal., 2018)**

Η σημασία που δίνει η Γερμανία στη χρήση βιοαερίου και βιομεθανίου διαφαίνεται και από τους διαρκώς αυξανόμενους δείκτες της χώρας στο εν λόγω πεδίο ενδιαφέροντος. Το

Σχήμα 3-4 που ακολουθεί παρουσιάζει το σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από βιοαέριο και βιομεθάνιο για τα έτη 2009 έως 2016 στη Γερμανία. Όπως παρατηρούμε από τα δεδομένα του σχήματος, το 2009 η συνολική παραγωγή ενέργειας από τις εν λόγω πηγές ήταν 13,3TWhel, ενώ επτά χρόνια μετά ο όγκος αυτός σχεδόν διπλασιάζεται στα 32,3TWhel. Μάλιστα, η αύξηση αυτή είναι διαρκής και αναμένεται να συνεχίσει με αυξητικές τάσεις και στο μέλλον.



Σχήμα 3-4: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιοαέριο και βιομεθάνιο (Daniel-Gromke, et al., 2018)



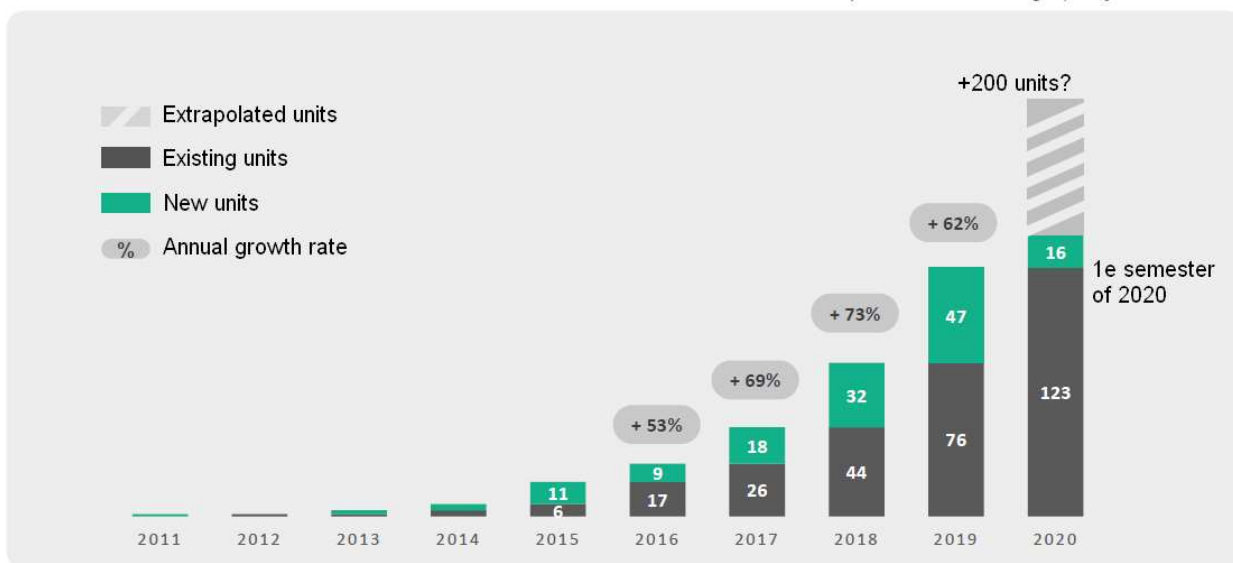
### 3.2.2 Γαλλία

Στη Γαλλία, το 2019, η ποσότητα του βιομεθανίου η οποία εγχέεται στο εθνικό δίκτυο διανομής είναι 1235GWh, παρουσιάζοντας μια αύξηση της τάξεως του 73% σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος. Ειδικότερα όσον αφορά τη χρήση του βιοαερίου ως καύσιμο, συνολικά 21.500 οχήματα χρησιμοποιούν το βιοαέριο ως καύσιμο με συνολικό όγκο ο οποίος αγγίζει τις 250GWh.

Από τις 900 σχεδόν μονάδες παραγωγής βιοαερίου, οι 738 επικεντρώνονται στον ηλεκτρισμό και τη θερμότητα. Το Σχήμα 3-5 αποτυπώνει τον αριθμό των μονάδων, οι οποίες εγχύουν βιομεθάνιο στο δίκτυο διανομής και επιβεβαιώνει τη ραγδαία άνοδο των τελευταίων ετών.

#### Number of biomethane injection units

Source : Open Data Réseaux Énergies, analyse Sia Partners



Σχήμα 3-5: Αριθμός μονάδων έγχυσης βιομεθανίου στο εθνικό δίκτυο (Lemonde, 2020)

### 3.2.3 Ιταλία

Όπως ήδη αναφέρθηκε παραπάνω, η Ιταλία είναι μια από τις πλέον ανεπτυγμένες χώρες στον τομέα του βιοαερίου. Ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, από το 2008 και έπειτα η ανάπτυξη είναι ραγδαία. Για την καλύτερη κατανόηση, μπορούμε να χωρίσουμε το εν λόγω διάστημα σε τρεις επιμέρους περιόδους όπως αυτές αναφέρονται παρακάτω (Maggioni, et al., 2018):

- Από το 2008 έως 2012 παρατηρείται μια μεγάλη αύξηση των εγκαταστάσεων παραγωγής βιοαερίου με τη δημιουργία πολλών νέων μονάδων με το συνολικό αριθμό τους να ξεπερνά τα 1.000 και την ισχύ τους να αγγίζει τα 900MWel. Το γεγονός αυτό εδράζεται εν πολλοίς στη γενικότερη πολιτικής της Ιταλίας η οποία επιδοτούσε την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με ένα ποσό της τάξεως των 0,28€/KWh.
- Από το 2013 έως το 2017 η κατάσταση χαρακτηρίζεται από έντονη μεταβλητότητα, καθώς η μείωση των ενισχύσεων, η σύνδεσή τους με το μέγεθος της μονάδος (όσο μικρότερη η μονάδα τόσο μεγαλύτερη η ενίσχυση) και το είδος της πρώτης ύλης (όσο μεγαλύτερος ο όγκος των οργανικών αποβλήτων που αγοράζονται τόσο μεγαλύτερη η ενίσχυση) οδήγησε σε μείωση της κερδοφορίας για τους επενδυτές. Μάλιστα, την περίοδο αυτή εισάγεται σύστημα κατάταξης των μονάδων ανάλογα με τις επιδόσεις που επιτυγχάνουν.
- Από το 2018 και έπειτα η πολιτική ηγεσία της Ιταλίας υιοθετεί μια στρατηγική η οποία ενθαρρύνει ακόμη περισσότερο την παραγωγή βιομεθανίου, καθώς παρά το μεγάλο αριθμό των μονάδων που λειτουργούν, πολύ λίγες είναι αυτές που δραστηριοποιούνται στην παραγωγή βιομεθανίου.

Στον Πίνακα 3-1 που ακολουθεί δίνεται ο συνολικός αριθμός των μονάδων παραγωγής βιοαερίου στην Ιταλία, ανάλογα με τον τύπο τους.

Πίνακας 3-1: Εγκαταστάσεις παραγωγής βιοαερίου στην Ιταλία

Είδος	Αριθμός εγκαταστάσεων
Γεωργία	1.255
Λύματα	74
Αστικά απόβλητα	46
Χ.Υ.Τ.Α.	180
<b>Σύνολο</b>	<b>1.555</b>

### 3.2.4 Ολλανδία

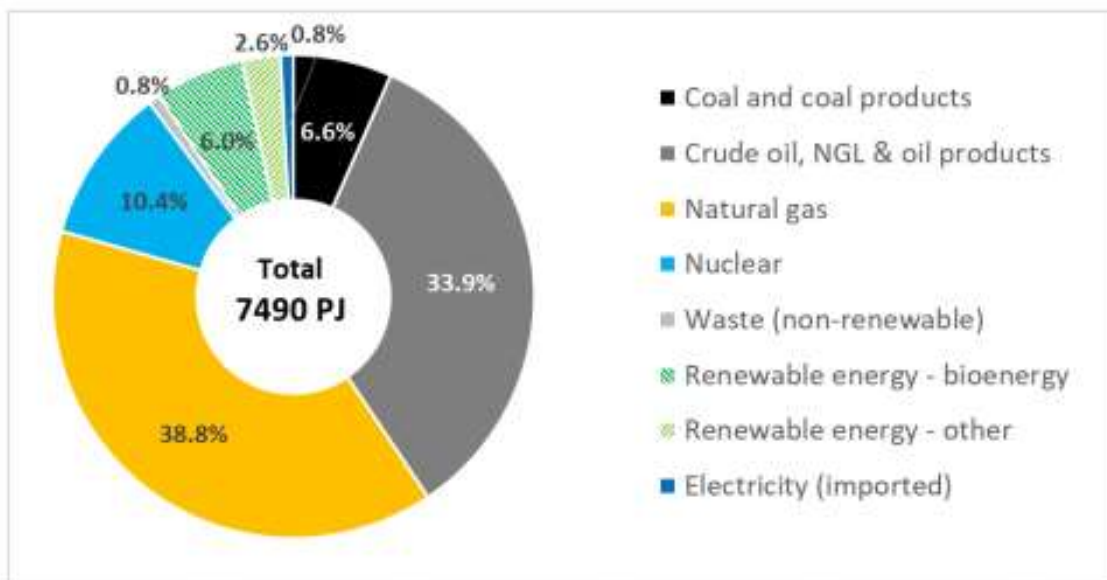
Η Ολλανδία είναι μια χώρα με μεγάλη δυναμική τα τελευταία χρόνια συγκεντρώνοντας το έντονο ενδιαφέρον των επενδυτών. Συνολικά στη χώρα λειτουργούν 250 μονάδες με δυναμικότητα 219MW. Από την παραγόμενη ενέργεια το 56% μετατρέπεται σε θερμότητα, το 33% σε ηλεκτρισμό και η υπόλοιπη χρησιμοποιείται ως καύσιμο. Στρατηγικός στόχος της χώρας σε βάθος δεκαετίας, έως το 2030, είναι η παραγωγή 3,7 δις m<sup>3</sup>βιοαερίου και 2,2 δις m<sup>3</sup> βιομεθανίου σε ετήσια βάση.

### 3.2.5 Ηνωμένο Βασίλειο

Στο ίδιο μοτίβο με την Ολλανδία, το Ηνωμένο Βασίλειο βρίσκεται σε μια διαρκή άνοδο την τελευταία δεκαετία με αποκορύφωμα το 2014 όταν και δημιουργήθηκαν 102 νέες μονάδες,

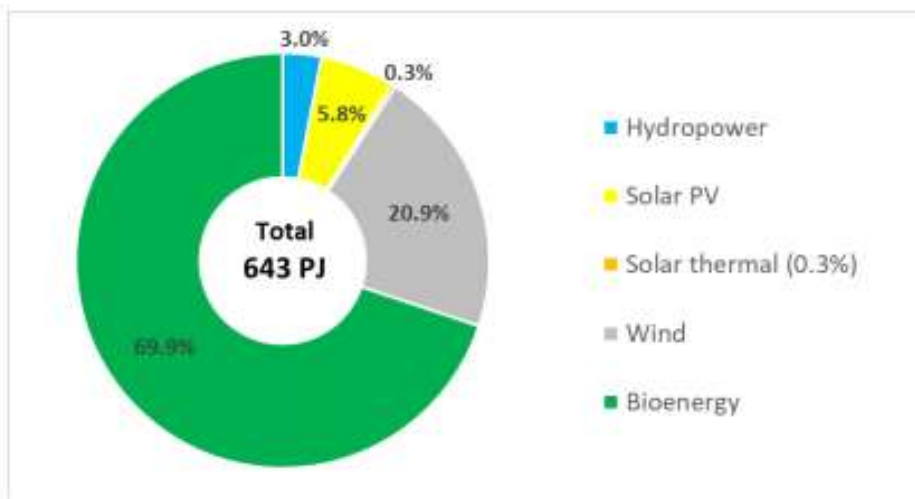
ενώ ο συνολικός αριθμός διαρκώς αυξάνεται. Το μεγαλύτερο ποσοστό εγχέεται απευθείας στο δίκτυο και ένα μικρό ποσοστό χρησιμοποιείται ως καύσιμο κίνησης.

Συνολικά, παρατηρείται μια έντονη στροφή προς τις Α.Π.Ε. με σκοπό τη μείωση των ορυκτών καυσίμων και τον περιορισμό των εκπομπών αερίων ρύπων. Στο Σχήμα 3-6 αποτυπώνεται η σύνθεση της καταναλισκόμενης ενέργειας στο Ηνωμένο Βασίλειο για το έτος 2016.



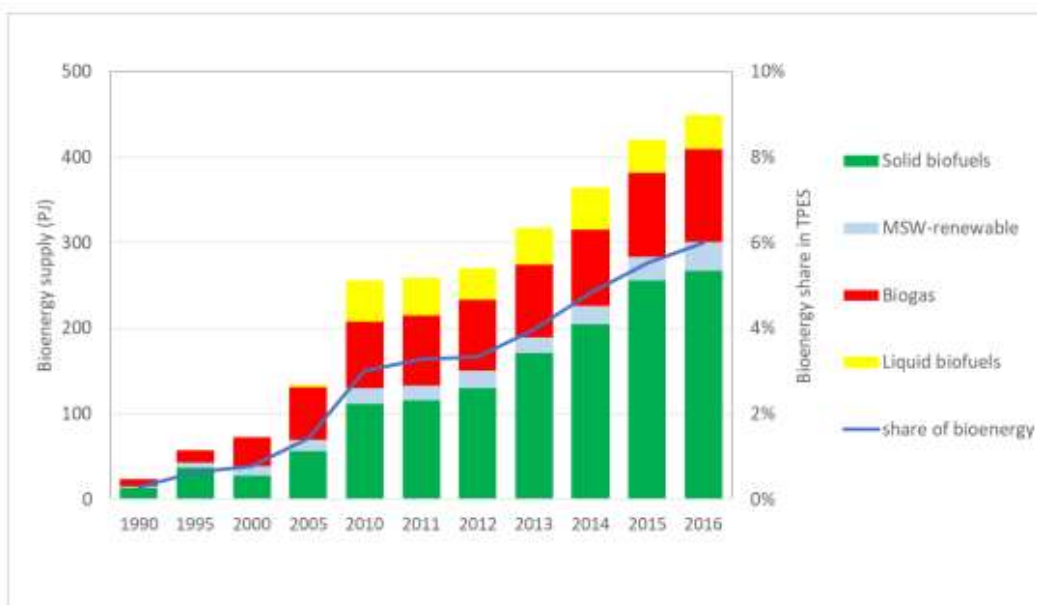
Σχήμα 3-6: Σύνθεση καταναλισκόμενης ενέργειας – Ηνωμένο Βασίλειο

Αντίστοιχα, στο Σχήμα 3-7 δίνεται η σύνθεση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Όπως παρατηρούμε, η βιοενέργεια καταλαμβάνει ένα εξαιρετικά σημαντικό ποσοστό της τάξεως του 70%.



Σχήμα 3-7: Σύνθεση Α.Π.Ε. – Ηνωμένο Βασίλειο

Ειδικότερα όσον αφορά το βιοαέριο, η χρήση του βαίνει διαρκώς αυξανόμενη, όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 3-8, όπου αποτυπώνεται η συμμετοχή των επιμέρους μορφών ενέργειας.



Σχήμα 3-8: Συμμετοχή επιμέρους μορφών ενέργειας



### 3.3 Παγκοσμίως

Τα πολλαπλά πλεονεκτήματα του βιοαερίου έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη ενός μεγάλου φάσματος στρατηγικών σε διάφορες χώρες ανά τον κόσμο. Στα πλαίσια της παρούσας ενότητας παρατίθενται στοιχεία τα οποία αφορούν τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, τον Καναδά και την Κίνα, χώρες οι οποίες παρουσιάζουν έντονη δραστηριότητα στο συγκεκριμένο τομέα.

#### 3.3.1 Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

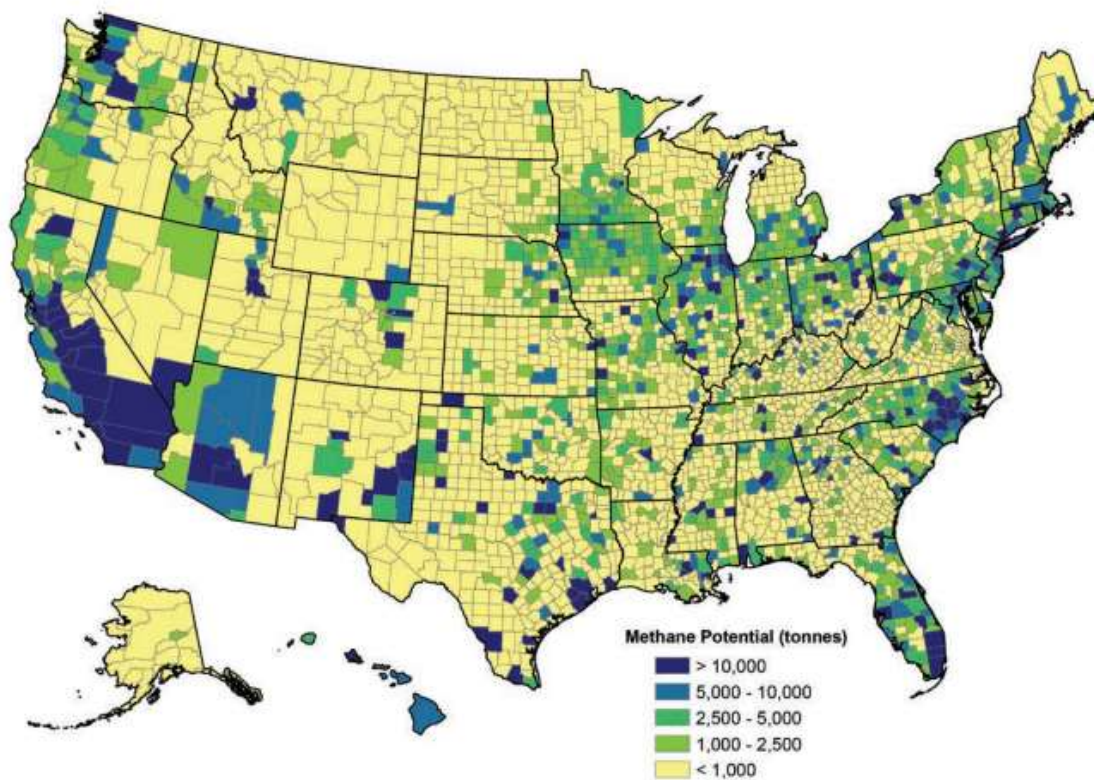
Δεδομένης της τεχνολογικής ανάπτυξης των Η.Π.Α., το βιοαέριο δε θα μπορούσε να αποτελεί εξαίρεση. Εξάλλου, αναφερόμαστε σε μια χώρα με πολύ υψηλές απαιτήσεις σε ενέργεια, γεγονός το οποίο καθιστά επιτακτική την ανάγκη εξεύρεσης εναλλακτικών λύσεων.



Σχήμα 3-9: Μονάδες παραγωγής βιοαερίου στις Η.Π.Α.

Το Σχήμα 3-9 που δίνεται παραπάνω αποτυπώνει τις μονάδες παραγωγής βιοαερίου σε όλο το εύρος της ηπειρωτικής χώρας των Η.Π.Α.. Όπως παρατηρούμε, δεν υπάρχει κάποια ομοιόμορφη κατανομή, αλλά ο κυριότερος όγκος βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα της χώρας. Ωστόσο, οι Η.Π.Α. έχουν μια πολύ ισχυρή δυναμική στο εν λόγω πεδίο.

Στο Σχήμα 3-10 αποτυπώνεται η δυναμική παραγωγής βιομεθανίου. Τα παραλιακά τμήματα της χώρας και ιδίως το νότιο και νοτιοδυτικό τμήμα συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Εξάλλου, η παραγωγή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το είδος της οικονομικής δραστηριότητας της εκάστοτε περιοχής, εάν δηλαδή είναι αγροτική ή κτηνοτροφική περιοχή κλπ.

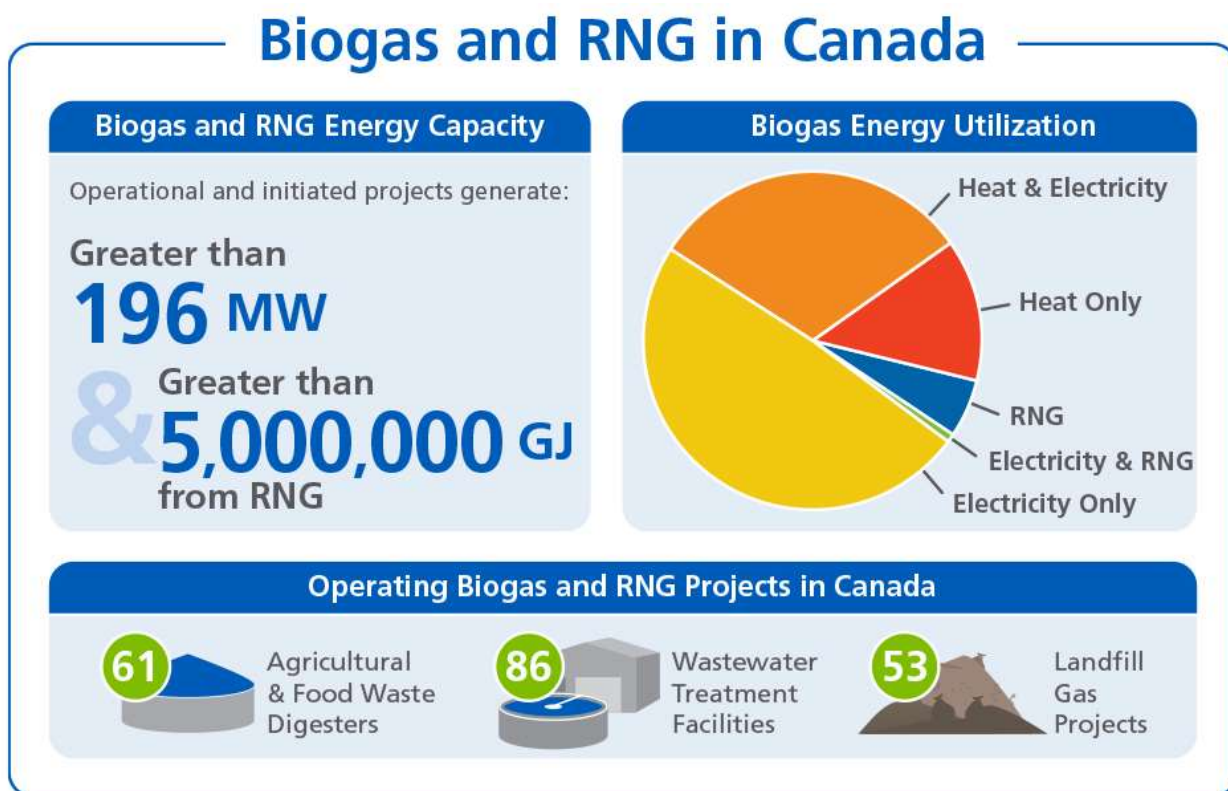


Σχήμα 3-10: Δυναμική μεθανίου – Η.Π.Α.(NREL, 2013)



### 3.3.2 Καναδάς

Ο Καναδάς αποτελεί μια χώρα η οποία εδώ κι πολλά χρόνια έχει χαράξει μια πράσινη στρατηγική στην οποία η βιομάζα και ειδικότερα τα βιοαέρια διαδραματίζουν έναν εξαιρετικά σημαντικό ρόλο. Ως εκ τούτου, πολλές είναι οι μονάδες οι οποίες λειτουργούν στη χώρα. Στο Σχήμα 3-11 που ακολουθεί, παρουσιάζεται το δυναμικό του Καναδά όσον αφορά την παραγωγή βιοαερίου και ανανεώσιμων αερίων (RNG–RenewableNaturalGas). Όπως παρατηρούμε, τη δεδομένη στιγμή λειτουργούν στη χώρα 61 μονάδες επεξεργασίας αγροτικών «αποβλήτων», 86 μονάδες επεξεργασίας λυμάτων και 53 μονάδες επεξεργασίας «προϊόντων» Χ.Υ.Τ.Α., με συνολική δυναμικότητα η οποία αγγίζει τα 196MW. Όσον αφορά τη χρήση της παραγόμενης ενέργειας, ο κυριότερος όγκος χρησιμοποιείται για ηλεκτρισμό και θερμότητα.



Σχήμα 3-11: Βιοαέριο και ανανεώσιμα αέρια – Καναδάς (CBA, 2020)

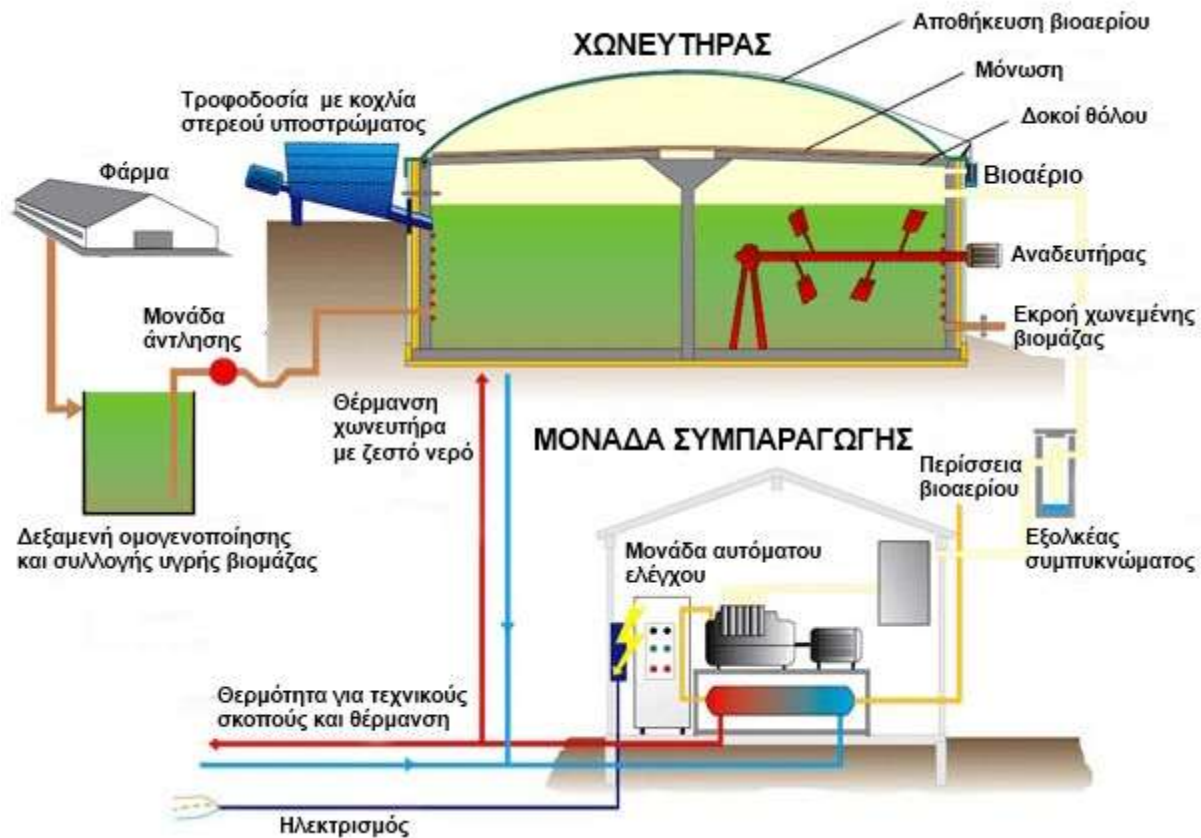


## 4 Τεχνική επισκόπηση

Στο σημείο αυτό το ενδιαφέρον επικεντρώνεται σε περισσότερο τεχνικά ζητήματα, τα οποία αφορούν τις τεχνικές προδιαγραφές ανανεώσιμων αερίων και τις δυνατότητες αποθήκευσης του.

### 4.1 Βασικά μέρη και λειτουργία μονάδων παραγωγής

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, οι μονάδες παραγωγής βιοαερίου θα πρέπει να πληρούν ορισμένες προϋποθέσεις έτσι ώστε να διασφαλισθεί η μέγιστη δυνατή απόδοση και η ασφαλής λειτουργία. Στο παρόν τμήμα αναλύονται τα βασικά μέρη και η λειτουργία των μονάδων παραγωγής αναερόβιας χώνευσης, όπως αυτή απεικονίζεται στο Σχήμα 4-1.



Σχήμα 4-1: Μονάδα παραγωγής βιοαερίου

Ειδικότερα, τα βασικά μέρη της μονάδας είναι τα εξής :

1. Βιοαντιδραστήρας επεξεργασίας λυμάτων
2. Αεροσυμπιεστής για την παροχή αέρα υψηλής πίεσης
3. Φίλτρο της μονάδας παραγωγής
4. Δεξαμενή αποθήκευσης αερίου
5. Μετρητής αερίου
6. Μετρητής pH
7. Διαχωριστήρας CO<sub>2</sub>

Τα λύματα αρχικά συγκεντρώνονται στη δεξαμενή ομογενοποίησης και συλλογής της υγρής βιομάζας, η οποία ακολούθως μέσω αντλιών και με τη βοήθεια κοχλιομεταφορέων προωθούνται στο χωνευτήρα. Οι δεξαμενές ομογενοποίησης συνήθως έχουν μια αποθηκευτική ικανότητα της τάξεως των δύο με τριών ημερών.

Ο βιοαντιδραστήρας αποτελεί ουσιαστικά μια αεριο-στεγανή δεξαμενή για την κατασκευή της οποίας χρησιμοποιούνται ως υλικά αντιδιαβρωτικό σκυρόδεμα ή μέταλλο με επίτηξη γυαλιού. Σε κάθε περίπτωση η θερμομόνωση είναι απαραίτητη. Με σκοπό τη δημιουργία των κατάλληλων συνθηκών για την ανάπτυξη των μικροοργανισμών η θερμοκρασία θα πρέπει να διατηρείται σε μεσόφιλη κατάσταση (30 – 41°C), ενώ σε κάποιες περιπτώσεις επιλέγονται θερμοφιλες συνθήκες (θερμοκρασία ίση με περίπου 55°C). Η ανάμιξη της βιομάζας εντός του χωνευτήρα λαμβάνει χώρα με διάφορους τρόπους και εξαρτάται από το είδος της πρώτης ύλης, την υγρασία και άλλα χαρακτηριστικά. Η ανάμιξη μπορεί να γίνει από επικλινείς και υποβρύχιους αναδευτήρες. Για την κατασκευή των αναδευτήρων χρησιμοποιείται ανοξείδωτο ατσάλι.

Σε περίπτωση που η μονάδα είναι εξοπλισμένη με μονάδα συμπαραγωγής, ο χωνευτήρας μπορεί να θερμανθεί από το νερό ψύξης της γεννήτριας. Αν η εγκατάσταση προορίζεται μόνο για παραγωγή βιοαερίου τότε το θερμό νερό λαμβάνεται από ειδικό λέβητα βιοαερίου (ή φυσικού αερίου). Η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας μίας εγκατάστασης βιοαερίου ισούται συνήθως με 5 – 10% της παραγόμενης ενέργειας.

Όλη η διαδικασία ζύμωσης (χώνευσης) εκτελείται από αναερόβιους μικροοργανισμούς, οι οποίοι εγχέονται μέσα στο χωνευτήρα μόνο μία φορά κατά την εκκίνηση λειτουργίας (εκτός από τις περιπτώσεις που η βιομάζα εμπεριέχει ήδη τα κατάλληλα βακτήρια – π.χ. ζωικά απόβλητα). Ο χωνευτήρας είναι ερμητικά σφραγισμένος, διότι πρέπει να διατηρούνται συνθήκες πλήρους έλλειψης οξυγόνου. Ως προϊόντα της αναερόβιας χώνευσης λαμβάνουμε: βιοαέριο και οργανικό/βιολογικό λίπασμα (υγρό και στερεό).

## **4.2 Παραγωγή και διανομή στο Εθνικό Σύστημα Φυσικού Αερίου**

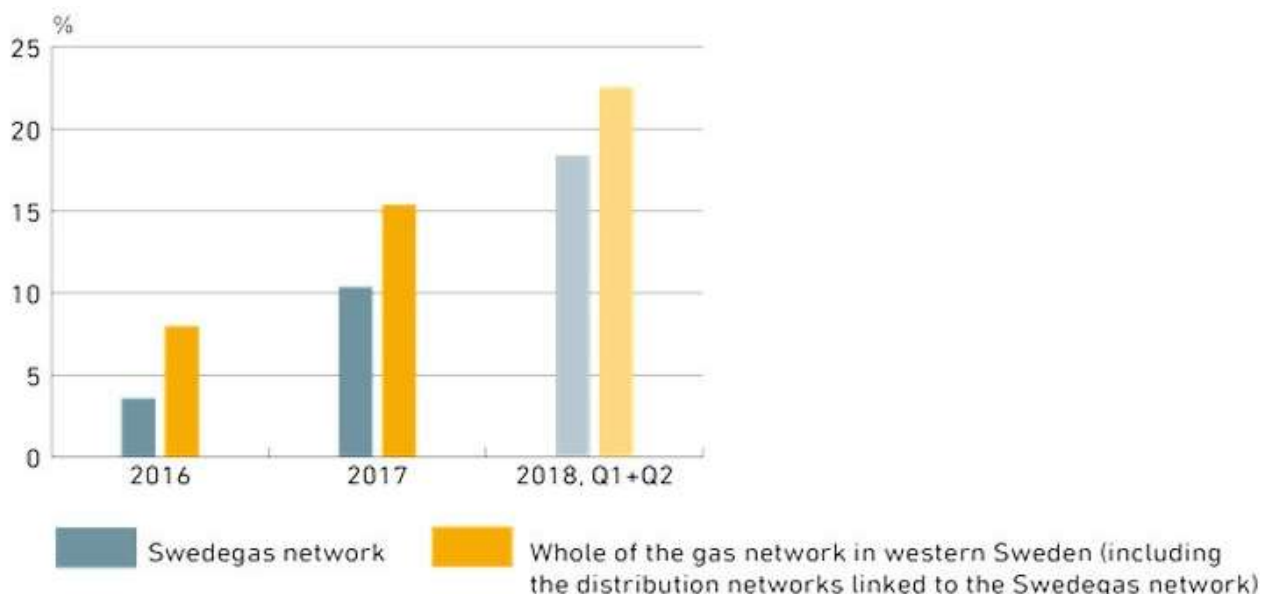
Όπως ήδη αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα της παρούσας εργασίας, το βιοαέριο μπορεί είτε να χρησιμοποιηθεί απευθείας είτε να εγχυθεί στο Εθνικό Σύστημα Φυσικού Αερίου της εκάστοτε χώρας. Για να συμβεί βέβαια αυτό, θα πρέπει να συμπιεστεί για να «φθάσει» στην ίδια πίεση με τους αγωγούς. Το βασικό πλεονέκτημα της εν λόγω προσέγγισης έγκειται στο γεγονός πως κατ' αυτόν τον τρόπο το αέριο μεταφέρεται από τις αγροτικές περιοχές, όπου συνήθως γίνεται η παραγωγή του, στον αστικό ιστό για χρήση από τα νοικοκυριά και τις επιχειρήσεις. Επίσης, κατ' αυτόν τον τρόπο καθίσταται δυνατή η διοχέτευση της περίσσειας παραγόμενης ενέργειας.

Προς αυτήν την κατεύθυνση, πολλές είναι οι χώρες οι οποίες έχουν ενσωματώσει πρότυπα για την έγχυση του βιοαερίου στο δίκτυο. Ενδεικτικά μπορούμε να αναφέρουμε τη Γερμανία, τη Σουηδία και την Ελβετία. Τα εν λόγω πρότυπα ουσιαστικά καθορίζουν τις προδιαγραφές των επιμέρους συστατικών, όπως αυτές αναλύθηκαν παραπάνω.

Στη Γερμανία, για παράδειγμα, υπάρχει εδώ και χρόνια μια συντονισμένη δράση προς τη συγκεκριμένη κατεύθυνση έχοντας ως στόχο την έγχυση 10 δισεκατομμυρίων κυβικών μέτρων σε ετήσια βάση έως το 2030. Για να έχουμε μια τάξη μεγέθους, η συνολική κατανάλωση φυσικού αερίου στη χώρα αγγίζει τα 89 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται: (i) στη διασύνδεση των μονάδων παραγωγής βιοαερίου με το δίκτυο διανομής φυσικού αερίου, (ii) στη σύναψη συμβολαίων με τους παραγωγούς και (iii) στη μεταφορά του βιοαερίου. Μάλιστα, με σκοπό την ενίσχυση της διασύνδεσης, δίνονται επιπλέον κίνητρα στους παραγωγούς οι οποίοι αναλαμβάνουν μόνο το 25% του κόστους

που απαιτείται έως τα 10 χιλιόμετρα. Πέραν αυτού του μεγέθους, τα έξοδα βαρύνουν αποκλειστικά τον παραγωγό. (Volk, 2014)

Στο ίδιο μήκος κύματος, η Σουηδία προσανατολίζεται στην αύξηση της ποσότητας βιοαερίου το οποίο εγχέεται στο εθνικό δίκτυο με ιδιαίτερα θετικά έως τώρα αποτελέσματα. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4-2, το ποσοστό του βιοαερίου στο δίκτυο βαίνει διαρκώς αυξανόμενο.



**Σχήμα 4-2: Ποσοστό βιοαερίου στο εθνικό δίκτυο στη Σουηδία (Πηγή: bioenergyinternational.com)**

Παρόμοια είναι η κατάσταση η οποία παρατηρείται και στην Ελβετία, όπου οι ποσότητες οι οποίες εγχέονται στο δίκτυο αυξάνονται με σταθερούς ρυθμούς. Στόχος είναι η κάλυψη του 30% της συνολικής απαιτούμενης κατανάλωσης αερίου από ανανεώσιμα αέρια έως το 2030.

Ωστόσο, παρά τα προφανή οφέλη, το υψηλό κόστος σύνδεσης στο δίκτυο, πολλές φορές λειτουργεί αποτρεπτικά.

### 4.3 Δυνατότητες αποθήκευσης

Η παραγωγή του βιοαερίου σε κυμαινόμενες ποσότητες εντός του χωνευτήρα και η ανομοιομορφία που παρατηρείται όσον αφορά τη ζήτηση, καθιστούν επιτακτική την ανάγκη για αποθήκευσή του προκειμένου να διασφαλιστεί μια ομαλή ροή. Για το σκοπό αυτό, έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι αποθήκευσης σε διεθνές επίπεδο.

Στην πιο απλή της μορφή, η αποθήκευση του βιοαερίου μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση μιας ειδικής μεμβράνης στο άνω τμήμα του χωνευτήρα. Σε μεγαλύτερης κλίμακας μονάδες ωστόσο, υπάρχουν εγκαταστάσεις με χωριστές δεξαμενές για την αποθήκευση οι οποίες δύνανται να λειτουργούν σε υψηλή, μέση ή χαμηλή πίεση.

Σε κάθε περίπτωση πάντως, κομβικός είναι ο ρόλος της διαστασιολόγησης για την επίτευξη της μέγιστης δυνατής αποδοτικότητας. Παράλληλα, είναι προφανές πως θα πρέπει να διασφαλίζεται η υψηλή αντοχή των εγκαταστάσεως, δεδομένου του γεγονότος πως πολλές φορές βρίσκονται σε εξωτερικούς χώρους, εκτεθειμένες στις καιρικές συνθήκες. Εξάλλου, πριν τη χρήση τους θα πρέπει να γίνεται έλεγχος για τη στεγανότητά τους. Σε όλες τις δεξαμενές θα πρέπει να υπάρχουν βαλβίδες ασφαλείας για την αποφυγή τυχόν φαινομένων υπερπίεσης ή υποπίεσης.

Όσον αφορά τη χωρητικότητά τους, θα πρέπει να καλύπτουν τουλάχιστον το 25% της καθημερινής παραγωγής βιοαερίου της μονάδας. Στο Σχήμα 4-3 απεικονίζονται εγκαταστάσεις πίεσης βιοαερίου και βαλβίδες ασφαλείας.



Σχήμα 4-3: Εγκαταστάσεις πίεσης και βαλβίδες ασφαλείας

Οι δεξαμενές οι οποίες χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο διαθέτουν ένα εύρος υπερπίεσης μεταξύ 0.05 και 05. Mbar, ενώ το υλικό τους αποτελείται από ειδικές μεμβράνες. Η τυπική μορφή μιας εξωτερικής δεξαμενής αποθήκευσης βιοαερίου χαμηλής πίεσης δίνεται στο Σχήμα 4-4.



**Σχήμα 4-4: Δεξαμενή αποθήκευσης χαμηλής πίεσης**

Όταν πρόκειται για μέσες και υψηλές τάσεις, από 5 έως 250 bar, τότε οι δεξαμενές είναι χαλύβδινες. Στην περίπτωση αυτή ωστόσο υπάρχει ένα σαφώς μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο συνήθως δεν προτιμώνται τέτοιου είδους εγκαταστάσεις.



Πέραν των όσων προαναφέρθηκαν, υπάρχει το ενδεχόμενο οι ρυθμοί παραγωγής βιοαερίου να ξεπερνούν κατά πολύ τις ανάγκες για ενέργεια. Για το σκοπό αυτό, οι μονάδες είναι εξοπλισμένες με πυρσούς βιοαερίων, όπως αυτοί οι οποίοι απεικονίζονται στα Σχήματα 4-5 και 4-6.



**Σχήμα 4-5: Πυρσός βιοαερίου 1**



**Σχήμα 4-6: Πυρσός βιοαερίου 2**

Στη διεθνή πρακτική διακρίνονται δύο διαφορετικοί τύποι πυρσών: οι ανοικτοί και οι εσώκλειστοι. Οι μεν πρώτοι, οι ανοικτοί πυρσοί, έχουν ουσιαστικά τη λειτουργία ενός καυστήρα με στοιχειώδη έλεγχο του αερίου. Η απλή τους διάταξη τους κατέστησε εξαιρετικά διαδεδομένους σε βάθος χρόνου. Από την άλλη πλευρά, η δεύτερη κατηγορία πυρσών εγκαθίσταται στο έδαφος και ο καυστήρας ή η σειρά καυστήρων κατά περίπτωση τοποθετούνται εντός πυρίμαχου υλικού.

## 5 Οικονομική προσέγγιση

Τα προηγούμενα κεφάλαια επικεντρώνονται κατά βάση σε τεχνικά στοιχεία όσον αφορά την παραγωγή βιοαερίου. Ωστόσο, η ολοκληρωμένη θεώρηση του ζητήματος προϋποθέτει και μια οικονομική προσέγγιση έτσι ώστε να διασφαλισθεί η βιωσιμότητα τέτοιου είδους επενδύσεων. Για το σκοπό αυτό, στο παρόν κεφάλαιο διερευνώνται τα βασικά στοιχεία κόστους.

### 5.1 Βασικά στοιχεία κόστους

Πολλά είναι τα στοιχεία κόστους τα οποία υπεισέρχονται στην οικονομική ανάλυση μιας μονάδας παραγωγής βιοαερίου, με τα βασικότερα εξ αυτών να παρουσιάζονται στη συνέχεια:

#### 1. Το είδος των πρώτων υλών

Πριν την εισαγωγή τους στη διαδικασία παραγωγής και τον πρωτεύοντα χωνευτήρα, οι κατά περίπτωση πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται απαιτούν συγκεκριμένα επεξεργασία ανάλογα με το είδος τους. Τα ζωικά απόβλητα και τα υποπροϊόντα σφαγείων επί παραδείγματι πρέπει αρχικά να περάσουν από το στάδιο της παστερίωσης και της αδρανοποίησης. Ως εκ τούτου, στο κόστος των εγκαταστάσεων θα πρέπει να συνυπολογίσουμε και μια μονάδα παστερίωσης. Από την άλλη πλευρά βέβαια, τα υποπροϊόντα σφαγείων έχουν gate fee, δηλαδή τέλος εισόδου, γεγονός το οποίο συνεπάγεται επιπλέον έσοδα.

#### 2. Το υλικό του χωνευτήρα

Όσον αφορά την κατασκευή του χωνευτήρα, πολλά είναι τα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται. Άλλες επιλογές γίνονται με μακροπρόθεσμη προοπτική (πχ χωνευτήρας από χάλυβα με εσωτερική επίστρωση από γυαλί) και άλλες αποτελούν μεσοπρόθεσμες λύσεις (πχ χωνευτήρας από μπετό με ειδική επίστρωση).

### 3. Η διαχείριση του υγρού χωνεμένου υπολείμματος

Η πλέον διαδεδομένη λύση όσον αφορά τη διαχείριση του υγρού χωνεμένου υπολείμματος είναι η «έγχυσή» του στις καλλιέργειες στην αυτούσια μορφή του. Ωστόσο, ακόμη αποδοτικότερη μέθοδος είναι ο διαχωρισμός του και η χρήση κλασμάτων στις καλλιέργειες. Από την άλλη πλευρά, το στερεό κλάσμα, δύναται να επεξεργαστεί κατάλληλα για τη χρήση του ως λίπασμα.

### 4. Το υλικό των δεξαμενών απόθεσης των πρώτων υλών

Κατ' αντιστοιχία με τα όσα αναφέρθηκαν σχετικά με το υλικό κατασκευής του χωνευτήρα, το υλικό από το οποίο κατασκευάζονται οι δεξαμενές αποθήκευσης των πρώτων υλών αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο κόστους.

Εν γένει, στην έννοια του κόστους συμπεριλαμβάνεται τόσο το κόστος εγκατάστασης της μονάδας όσο και το κόστος λειτουργίας. Δεδομένου ότι πρόκειται για μακροπρόθεσμη επένδυση, στόχος είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους και αντίστοιχα η μεγιστοποίηση του οφέλους σε βάθος χρόνου.

## 5.2 Συνοπτική τεχνοοικονομική μελέτη

Στα πλαίσια της παρούσας ενότητας, μία τεχνοοικονομική μελέτη μπορεί να αποτυπώσει, με ακόμη μεγαλύτερη λεπτομέρεια, μια μονάδα παραγωγής βιοαερίου. Λαμβάνονται υπ'όψιν δεδομένα από μία υπάρχουσα εταιρεία (AGROENERGY), η οποία δραστηριοποιείται στο πεδίο των ανανεώσιμων και εναλλακτικών πηγών ενέργειας και στους τομείς της βιομάζας και του βιοαερίου.

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας επιλέγεται μια μονάδα εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος της τάξεως του  $1MW_{el}$  και υποθέτουμε πως το παραγόμενο βιοαέριο χρησιμοποιείται κατά βάση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ενδεικτικά, το κόστος κατασκευής μιας τέτοιας μονάδας κυμαίνεται περί τα 4.500.000€, ενώ η ποσότητα πρώτων υλών που μπορεί να επεξεργαστεί αγγίζει τους 100 τόνους σε ημερήσια βάση. Εξ αυτών, το 90% καταλήγει ως υγρό χωνεμένο υπόλειμμα μετά το πέρας της παραγωγικής διαδικασίας.

Η παραπάνω μονάδα έχει τη δυνατότητα να παράξει περί τα  $3.000.000m^3$  βιοαερίου το χρόνο, το οποίο αποτελείται κατά 60% από μεθάνιο και κατά 30% από διοξείδιο του άνθρακα.

Όσον αφορά τα έσοδα της μονάδας από την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη μια τιμή πώλησης στη ΔΕΗ της τάξεως των  $253€/MWh_{el}$ , τότε αυτά μπορούν να υπολογιστούν ως εξής:

$$\begin{aligned} & (0.996MW_{el}) * (0.95 \text{ λόγω απωλειών δικτύου κλπ}) \\ & * (0.96 \text{ λόγω εργασιών συντήρησης κλπ}) \\ & = (0.908MW_{el}) * (24 \text{ ώρες ανά ημέρα}) * (365 \text{ ημέρες το χρόνο}) \\ & = (7.957MWh_{el}) * (253€) = 2.013.162€ \text{ ανά έτος} \end{aligned}$$

Παράλληλα, στα πλαίσια της μονάδος παράγεται και θερμική ισχύς της τάξεως του  $1MW_{th}$ , εκ της οποίας το 30% περίπου χρησιμοποιείται για σκοπούς ιδιοκατανάλωσης και το υπόλοιπο μπορεί να διατεθεί επί παραδείγματι για τηλεθέρμανση.

Επιπλέον, έσοδα προκύπτουν και από τη διάθεση του υγρού χωνεμένου υπολείμματος.

Βέβαια, για τη διαμόρφωση του τελικού οικονομικού αποτελέσματος θα πρέπει να εξετάσουμε και τα έξοδα της μονάδας, τα οποία κατά κύριο λόγο περιλαμβάνουν το κόστος λειτουργίας της μονάδας, το κόστος συντήρησης του μηχανολογικού εξοπλισμού και φυσικά το κόστος αγοράς πρώτων υλών.

Τελικώς, το καθαρό κέρδος της υπό μελέτης μονάδας παραγωγής βιοαερίου εκτιμάται στο 1.000.000€ προ φόρων. Σε κάθε περίπτωση πάντως, η καθετοποίηση της παραγωγής αποτελεί βασική προϋπόθεση για την επίτευξη της μέγιστης δυνατής αποτελεσματικότητας και αποδοτικότητας.

### **5.3 Άλλες διαστάσεις του κόστους**

Παράλληλα με τα παραπάνω, στα πλαίσια της παρούσας εργασίας κρίνεται σκόπιμη μια επισκόπηση της βιβλιογραφίας όσον αφορά μελέτες οι οποίες εστιάζουν σε διαφορετικές παραμέτρους του κόστους παραγωγής βιοαερίου.

Σε μια από τις πρώτες μελέτες στο εν λόγω πεδίο ενδιαφέροντος, οι Kandpal et. al. (Kandpal, et al., 1991) επικεντρώνονται στην ανάπτυξη μιας γενικευμένης συνάρτησης κόστους για την οικονομική αξιολόγηση των μονάδων παραγωγής βιοαερίου. Ειδικότερα, η συνάρτηση κόστους η οποία προτείνεται περιλαμβάνει ένα συσχετισμό μεταξύ του κόστους και της δυναμικότητας του εργοστασίου συγκριτικά με την παραγωγική δυναμικότητα και το κόστος ενός εργοστασίου αναφοράς. Τα οφέλη αποτιμώνται σε όρους ξυλοκαυσίμων.

Στο ίδιο μήκος κύματος, οι Rubab and Kandpal (Rubab & Kandpal, 1996) διερευνούν τη δυνατότητα κατασκευής συναρτήσεων συνολικού κόστους και κόστους ανά μονάδα. Ειδικότερα, γίνεται αναφορά στην καθαρή παρούσα αξία και την περίοδο αποπληρωμής της επένδυσης, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στην έννοια της ευαισθησίας.

Σε κάθε περίπτωση, το μέγεθος της μονάδος διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στο κόστος παραγωγής. Οι Walla and Schneeberger (Walla & Schneeberger, 2008) διερευνούν την επίδραση της δυναμικότητας του εργοστασίου αφενός στο κόστος

παραγωγής βιοαερίου και στο κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και αφετέρου στην ηλεκτρική απόδοση. Παράλληλα, συνυπολογίζεται το κόστος μεταφοράς των πρώτων υλών και των υπολειμμάτων. Τα συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν, καταδεικνύουν μεταξύ άλλων, πως όσο αυξάνεται το μέγεθος μιας μονάδας παραγωγής βιοαερίου, το κόστος ανά μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μειώνεται, η ηλεκτρική απόδοση βελτιώνεται και το κόστος μεταφοράς αυξάνεται. Καλούμαστε λοιπόν να επιλύσουμε ένα πρόβλημα εύρεσης του βέλτιστου μεγέθους της μονάδας με ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση των σχετικών στοιχείων κόστους.

Εξίσου σημαντική είναι και η πρώτη ύλη η οποία χρησιμοποιείται. Σύμφωνα με τους Uellendahl et al. (Uellendahl, et al., 2008) οι πολυετείς καλλιέργειες αποτελούν αποδοτικότερες επιλογές εν συγκρίσει με τις μονοετείς όπως το καλαμπόκι, δεδομένου ότι έχουν σαφώς χαμηλότερες απαιτήσεις όσον αφορά τη φύτευση, τον όγκο λιπασμάτων που χρησιμοποιείται κλπ. Ωστόσο, στην προκειμένη περίπτωση το παραγόμενο προϊόν χαρακτηρίζεται από χαμηλότερα επίπεδα μεθανίου για ακατέργαστες πολυετείς καλλιέργειες. Άρα λοιπόν, όταν πρόκειται για ακατέργαστες πρώτες ύλες, οι πολυετείς καλλιέργειες υπονοούν περιορισμένο κέρδος.





## 6 Νέες τάσεις και προοπτικές

Από τα όσα έχουν ήδη αναφερθεί, γίνεται εύκολα αντιληπτό, πως το βιοαέριο και εν γένει τα ανανεώσιμα αέρια αναμένεται να μας απασχολήσουν έντονα τα επόμενα χρόνια. Στην παρούσα φάση, σχεδόν το 85% της παγκόσμιας ζήτησης καλύπτεται από ορυκτά καύσιμα (πετρέλαιο και παράγωγα πετρελαίου), τα οποία συνεπάγονται υψηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Στα πλαίσια του Πρωτοκόλλου του Κιότο ωστόσο και της Συμφωνίας των Παρισίων επιβάλλεται μια αναθεώρηση του μείγματος καταναλισκόμενης ενέργειας. Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιείται μια ενδελεχής επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας με σκοπό τη διερεύνηση των τάσεων και των προοπτικών του βιοαερίου.

### 6.1 Τεχνολογικές εξελίξεις

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ένα διαρκώς εντεινόμενο ενδιαφέρον προς την κατεύθυνση του βιοαερίου τόσο σε πρακτικό όσο και σε ακαδημαϊκό επίπεδο.

Η ραγδαία τεχνολογική πρόοδος έχει καταστήσει δυνατή την ανάπτυξη διαφόρων μεθόδων και τεχνικών με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας του παραγόμενου βιοαερίου, οι οποίες ταξινομούνται σε φυσικοχημικές και βιολογικές. Τέτοιου είδους διεργασίες αποτελούν μεταξύ άλλων ο διαχωρισμός ένυδρων, ο κρυογονικός διαχωρισμός, ο εμπλουτισμός μεμβρανών και η αναερόβια χώνευση πολλαπλών σταδίων. (Korbag, et al., 2020)

Ιδιαίτερα οι κρυογονικές διεργασίες αποδίδουν προϊόντα υψηλής καθαρότητας, της τάξεως του 95% με 99%. Παρά ταύτα, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων είναι ανεφάρμοστες σε εμπορικό επίπεδο. (Baena-Moreno, et al., 2019)

Παράλληλα, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ένα εξαιρετικά έντονο ενδιαφέρον σχετικά με ζητήματα όπως (Ζαφείρης, 2018):

- Η ανάπτυξη τεχνολογιών αεριοποίησης με σκοπό την παραγωγή συνθετικού αερίου και βιοσυνθετικού αερίου από λιγνοκυτταρινούχες πρώτες ύλες.
- Η ανάπτυξη τεχνολογιών για τη δημιουργία νέων ειδών χωνευτών.

- Η αυτοματοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας του βιοαερίου και η ελαχιστοποίηση της «απόστασης» μεταξύ πρώτης ύλης και τελικού προϊόντος.
- Η ανάπτυξη καινοτόμων συστημάτων όσον αφορά τη διανομή του βιοαερίου.
- Η βελτιστοποίηση των διαδικασιών αναβάθμισης του βιοαερίου.
- Η διάδοση του βιοαερίου ως καύσιμο τόσο στα μέσα μαζικής μεταφοράς όσο και στα γεωργικά οχήματα και μηχανήματα.
- Η παραγωγή υδρογόνου από αναβαθμισμένο βιοαέριο και χρήση του σε κυψέλη καυσίμου (fuel cell) και μικρο-αεριοστροβίλους (micro gas turbine) για παραγωγή ενέργειας.
- Η χρήση ενεργειακών φυτών ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαερίου μέσω των διεργασιών της υγρής και ξηρής ζύμωσης. Η εν λόγω τεχνολογία εφαρμόζεται κατά κύριο λόγο στη Γερμανία.

## 6.2 Εφαρμογές

Εξάλλου, το πολλαπλά οφέλη τα οποία κομίζει το βιοαέριο το καθιστούν μια εξαιρετικά αποτελεσματική επιλογή και στα πλαίσια γεωργικών εργασιών όπως η άλεση, η τροφοδοσία αντλιών νερού, ο καθαρισμός φλοιών κλπ. Παράλληλα, μέσω των έργων παραγωγής βιοαερίου ενισχύεται η τοπική ανάπτυξη και η απασχόληση στην περιφέρεια σε μια εποχή μάλιστα που η ανεργία αποτελεί μείζον πρόβλημα. (Sehgal, 2018)

Ιδιαίτερα σε περιοχές με προβλήματα όσον αφορά την ενεργειακή κάλυψη, όπως η αφρικανική ήπειρος, το βιοαέριο αναδεικνύεται ως η πλέον ενδεδειγμένη λύση, καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή θερμότητας και για φωτισμό, ενώ μπορεί να μετατραπεί και σε ηλεκτρική ενέργεια. Βέβαια, η ανάπτυξη του αερίου βρίσκεται ακόμη σε πολύ πρώιμο στάδιο στην εν λόγω περιοχή, ωστόσο πολλές είναι οι χώρες οι οποίες τα τελευταία χρόνια έχουν εφαρμόσει εθνικά προγράμματα βιοαερίου όπως η Κένυα, η Ουγκάντα, η Αιθιοπία, η Τανζανία, η Ρουάντα, το Καμερούν, η Μπουρκίνα Φάσο και το Μπενίν. Άλλωστε, η εξάπλωση των τεχνολογιών βιοαερίου επιτυγχάνει ένα διπλό στόχο, καθώς επιλύει τόσο το ενεργειακό πρόβλημα όσο και το πρόβλημα διάθεσης των

αποβλήτων για τα οποία δεν υπάρχει κάποια σαφής πολιτική. Παρά ταύτα, υπάρχουν και στοιχεία τα οποία λειτουργούν αποτρεπτικά, όπως το υψηλό κόστος, η έλλειψη επικοινωνίας και ιδιοκτησίας και η γενικότερη επιφυλακτικότητα που επικρατεί όσον αφορά την εισαγωγή νέων τεχνολογιών. Προς αυτή την κατεύθυνση, για την εξάπλωση του βιοαερίου στην επικράτεια των χωρών, κρίνεται σκόπιμη η δανειοδότηση τέτοιων εγχειρημάτων, η παροχή υποστήριξης σε κυβερνητικό επίπεδο, ακόμη και η χρήση προκατασκευασμένων χωνευτών αναερόβιας πέψης. (Roopnarain & Adeleke, 2017)

Εν γένει, αν και η δυναμική για την ανάπτυξη του βιοαερίου στις αναπτυσσόμενες χώρες είναι εξαιρετικά υψηλή, εντούτοις οι περιορισμοί σε υποδομές και κεφάλαια και η έλλειψη στρατηγικής δυσχεραίνουν την κατάσταση. Η υποστήριξη διεθνών φορέων όπως ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών (Ο.Η.Ε.), η Ε.Ε. και η Παγκόσμια Τράπεζα διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο. Ωστόσο, η καθολική αποδοχή του βιοαερίου, σε έργα μικρής και σε έργα μεγάλης κλίμακας απαιτεί μια συντονισμένη δράση. Προς αυτήν την κατεύθυνση θεωρείται πως θα συμβάλλουν οι εθνικές πολιτικές με την ανάπτυξη συμπράξεων δημοσίου και ιδιωτικού τομέα. (Patinvoh & Taherzadeh, 2019)

### **6.3 Ο ρόλος του υδρογόνου**

Σε κάθε περίπτωση, το υδρογόνο προβάλλει ως η πλέον ενδεδειγμένη λύση για την επίτευξη των στόχων οι οποίοι τίθενται σε στρατηγικό επίπεδο στα πλαίσια της Ε.Ε., με σκοπό αφενός τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος άνθρακα και αφετέρου τη διασφάλιση της μέγιστης δυνατής αποτελεσματικότητας όσον αφορά τις πηγές ενέργειες που χρησιμοποιούνται. Δίχως τη συμβολή του καθαρού υδρογόνου είναι εξαιρετικά αμφίβολο πως η Ε.Ε. θα κατορθώσει να καλύψει του εν λόγω στόχους. Τα επόμενα χρόνια λοιπόν αναμένεται να υπάρξει μια έντονη τάση προς την αυξανόμενη χρήση του υδρογόνου.

Στα πλαίσια της Ε.Ε. διαμορφώνεται ένας δεκάλογος προτάσεων, όπως αυτές αποτυπώνονται παρακάτω (Hydrogen Europe, 2020a):

1. Υιοθέτηση μια ενιαίας ορολογίας όσον αφορά το υδρογόνο και το αποτύπωμα άνθρακα σε όλο το εύρος της Ε.Ε. σε συνδυασμό με την ανάπτυξη μιας μεθόδου

υπολογισμού των εκπομπών αερίων ρύπων με σκοπό τη σταδιακή μετάβαση σε μια οικονομία με το υδρογόνο στο επίκεντρο της δραστηριότητας. Το project CertifHy μπορεί να αποτελέσει τη βάση προς αυτή την κατεύθυνση.

2. Θέσπιση του διοξειδίου του άνθρακα ως μια μορφή «νομίσματος» στα πλαίσια μιας οικονομίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Βέβαια, για να επιτευχθεί ο εν λόγω στόχος προϋποτίθεται ένας μηχανισμός ιχνηλάτησης και ελέγχου. Η μετάβαση από τα ορυκτά καύσιμα στο υδρογόνο, απαιτεί μια συντονισμένη δράση.
3. Προώθηση και υποστήριξη προγραμμάτων με σκοπό την ενίσχυση δράσεων και τη θεσμοθέτηση στόχων. Οι εν λόγω στόχοι αναφέρονται τόσο στο καθαρό υδρογόνο όσο και στα μείγματα υδρογόνου, σε βάθος δεκαετίας (έως το 2030) και τριαντακονταετίας (έως το 2050). Ακολούθως είναι αναγκαίο να δοθούν τα κατάλληλα κίνητρα για την επίτευξη των στόχων.
4. Δημιουργία μιας ανταγωνιστικής αγοράς υδρογόνου, με τη θέσπιση συγκεκριμένων κανόνων.
5. Αναθεώρηση της κοινοτικής νομοθεσίας έτσι ώστε να δοθεί ακόμη μεγαλύτερη ώθηση στην ανάπτυξη των ανανεώσιμων αερίων και ειδικότερα του υδρογόνου.
6. Αναθεώρηση της ευρωπαϊκής οδηγίας όσον αφορά την ανάπτυξη υποδομών για εναλλακτικές μορφές ενέργειας με σκοπό την προώθηση του υδρογόνου στον τομέα των μεταφορών. Το υδρογόνο θα πρέπει να προστεθεί στη λίστα των «υποχρεωτικών» καυσίμων.
7. Εγκαθίδρυση μιας ευρύτερης συνεργασίας σε ευρωπαϊκό επίπεδο για την καθολική ενσωμάτωση του υδρογόνου στα πλαίσια της οικονομικής δραστηριότητας. Η εν λόγω συνεργασία, θα πρέπει να στηρίζεται σε τρεις άξονες: την παραγωγή υδρογόνου, τη μεταφορά υδρογόνου και τις εφαρμογές υδρογόνου σε επίπεδο τελικής κατανάλωσης. Ουσιαστικά, θα πρέπει να υπάρξει μια προετοιμασία του «εδάφους» για την ανάπτυξη εφαρμογών υδρογόνου.
8. Άρση των περιορισμών όσον αφορά αφενός τις διαδικασίες παραγωγή υδρογόνου και αφετέρου τις υποδομές παραγωγής υδρογόνου.

9. Παροχή χρηματοδοτικών εργαλείων με σκοπό την υποστήριξη των δράσεων και κατ' επέκταση το ξεκλείδωμα της ευρωπαϊκής αγοράς υδρογόνου.
10. Αναγνώριση της Clean Hydrogen Alliance (CHA) ως πλατφόρμα για την ανάδειξη του ρόλου του υδρογόνου στην πράσινη στρατηγική της Ε.Ε. συνολικά.

Ειδικότερα, σύμφωνα με την Hydrogen Europe (Hydrogen Europe, 2020b), το πρόγραμμα InvestEU, αποτελεί την προμετωπίδα των ευρωπαϊκών προγραμμάτων ενίσχυσης των επενδύσεων για τα έτη 2021 έως 2027, αντικαθιστώντας το European Fund for Strategic Investment (EFSI). Στα πλαίσια του εν λόγω προγράμματος, η βιωσιμότητα κατέχει έναν εξαιρετικά σημαντικό ρόλο. Υπό τη συγκεκριμένη σκοπιά, βασικές προτεραιότητες αποτελούν η ανάπτυξη υποδομών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η προώθηση εναλλακτικών πηγών καυσίμων.

#### **6.4 Η επίδραση της πανδημίας του ιού SARS Cov-2**

Πέρα από το γεγονός πως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν βασικό άξονα στρατηγικής με τη διεθνή κοινότητα να προσανατολίζεται προς αυτή την κατεύθυνση, θα πρέπει επίσης να συνυπολογίσουμε τόσο τις επιδράσεις της χρηματοπιστωτικής κρίσης όσο και της πανδημίας του Covid-19.

Σύμφωνα με την Ελληνική Εταιρεία Ενεργειακής Οικονομίας (Hellenic Association for Energy Economics, 2020), δεδομένης της κατάστασης η οποία επικρατεί, προβλέπεται μια σημαντική ύφεση για το 2020 με παράλληλη αύξηση της ανεργίας και επιδείνωση των δεικτών χρέους. Αναπόφευκτα επηρεάζεται και η αγορά ενέργειας, η οποία στη χώρα μας αντιπροσωπεύει ένα ποσοστό της τάξεως του 3,7% του Ακαθάριστου Εγχωρίου Προϊόντος.

Τα μέτρα τα οποία ελήφθησαν στα πλαίσια της αντιμετώπισης της πανδημίας εκτιμάται ότι θα οδηγήσουν σε μια μείωση κατά 11% στη συνολική κατανάλωση ενέργειας και μια αντίστοιχη μείωση κατά 20% στις εκπομπές αερίων ρύπων.

Στη μετά Covid-19 εποχή πάντως, η αναμενόμενη ύφεση σε διεθνές επίπεδο αναμένεται να καθυστερήσει τη διαδικασία υιοθέτησης του υδρογόνου ως μορφή ενέργειας και τη διάδοσή του, θέτοντας εν αμφιβόλω τη δυναμική του ανάπτυξης. Για το σκοπό αυτό είναι αναγκαία μια συντονισμένη δράση προς αυτή την κατεύθυνση με σκοπό τη

διασφάλιση της ικανοποίησης των στόχων οι οποίοι τίθενται σε στρατηγικό επίπεδο και τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος. Οι επιμέρους δράσεις σε επίπεδο Ε.Ε. περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων (Hydrogen Europe, 2020c):

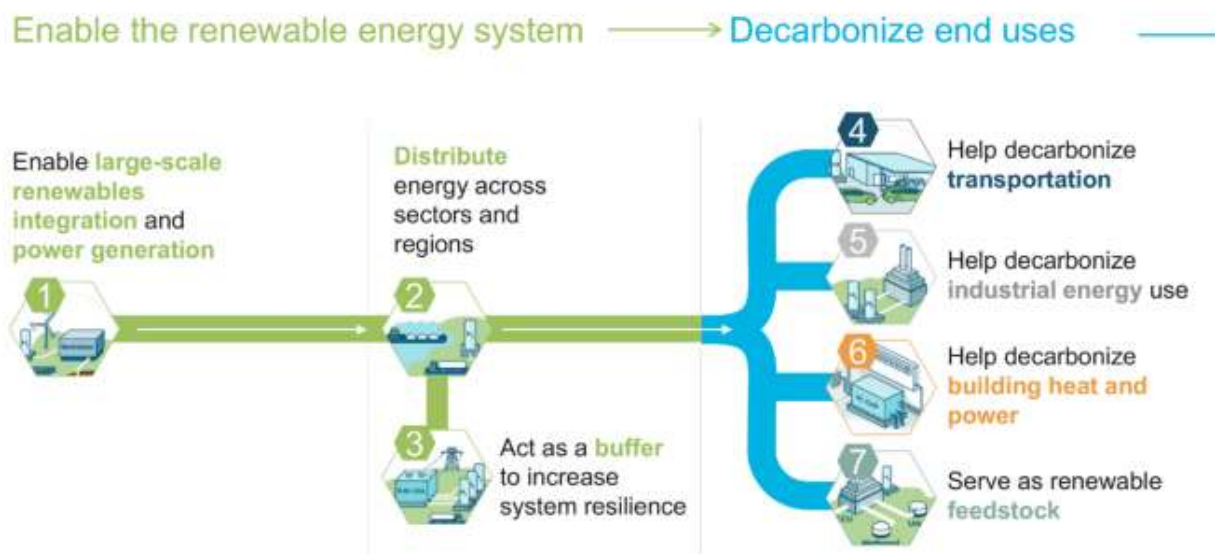
- Τη διαβεβαίωση πως οι στόχοι για το κλίμα και το περιβάλλον θα διατηρηθούν και η εν λόγω πολιτική θα συνεχίσει να υποστηρίζεται.
- Την παροχή υποστήριξης, οικονομικής και όχι μόνο, στους τομείς της ενέργειας, των βιομηχανιών, της θέρμανσης, της ψύξης και της βιομηχανίας με σκοπό την ελαχιστοποίηση του αποτυπώματος άνθρακα σε μεσοπρόθεσμο ορίζοντα (5 έως 10 έτη).
- Την άμεση ενίσχυση της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου έτσι ώστε να αντισταθμιστούν οι απώλειες οι οποίες εκτιμώνται μεταξύ €450-500 εκατομμυρίων ευρώ.
- Την αύξηση του διαθέσιμου προϋπολογισμού για δράσεις έρευνας και καινοτομίας στο εν λόγω κλάδο.

Εμβαθύνοντας στις επιδράσεις της πανδημίας, η αναμενόμενη ύφεση θεωρείται σχεδόν βέβαιο πως θα οδηγήσει τις επιχειρήσεις και τους οργανισμούς σε περικοπές των δαπανών, με τους προϋπολογισμούς να βαίνουν μειούμενοι. Παράλληλα, η έντονη αβεβαιότητα στην αγορά, οδηγεί τους επενδυτές στην αναζήτηση σε περισσότερο «ασφαλείς» επιλογές όπως τα ρευστά διαθέσιμα και ο χρυσός. Η μειωμένη ρευστότητα λοιπόν αναμένεται να κάνει εκ νέου την εμφάνισή της, καθιστώντας επιτακτική την παρέμβαση του των αρμοδίων αρχών με σκοπό την αποκατάσταση της ισορροπίας στην αγορά.

Εξάλλου, οι συνθήκες οι οποίες επικρατούν, οδηγούν σε περαιτέρω μείωση της ζήτησης και κατ' επέκταση της τιμής του πετρελαίου (η οποία βρίσκεται ήδη σε χαμηλά επίπεδα ως αποτέλεσμα της χρηματοπιστωτικής κρίσης), γεγονός το οποίο λειτουργεί εις βάρος των ανανεώσιμων – πράσινων μορφών ενέργειας.

Εν γένει, οι εθνικές κυβερνήσεις των χωρών μελών της Ε.Ε. διαμορφώνουν στρατηγικές ενίσχυσης των οικονομιών με τα μέτρα αντιμετώπισης της πανδημίας να ανέρχονται από 1% - 2% έως και 12% του Α.Ε.Π..

Μπορεί οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα να εκτιμώνται κατά 8% μειωμένες το 2020, ωστόσο, αν δε προωθηθούν οι ανάλογες δράσεις τότε η μείωση αυτή θα είναι παροδική. Η ενεργειακή μετάβαση της Ε.Ε. προϋποθέτει την ευρεία χρήση του υδρογόνου, όχι απλά ως μια εναλλακτική πηγή ενέργειας, αλλά ως ένα απαραίτητο εργαλείο για την επίτευξη των στόχων που τίθενται για το 2050. Το Σχήμα 6-1 που ακολουθεί, αποτυπώνει τη διαδικασία μετάβασης.



Σχήμα 6-1: Ενεργειακή μετάβαση στην Ε.Ε. (Hydrogen Europe, 2020d)

Οι συνέπειες της πρόσφατης χρηματοπιστωτικής κρίσης θα πρέπει να αποτελέσουν οδηγό για τη διαχείριση της πανδημίας, η οποία εξάλλου βρίσκεται ήδη στο δεύτερο κύμα έξαρσης. Οι καθαρές μορφές ενέργειας, οι πράσινες μεταφορές και η καινοτομία όσον αφορά τις υποδομές θα πρέπει να αποτελεί κινητήριο άξονα κάθε προγράμματος ανάκαμψης. Υπό τη συγκεκριμένη θεώρηση, οι μακροχρόνιες στρατηγικές θα πρέπει να αντικατοπτρίζονται ακόμη και στα βραχυπρόθεσμα μέτρα τα οποία λαμβάνονται και περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων τα εξής:

- Αποζημίωση των επιχειρήσεων που πλήττονται από την πανδημία, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στις μικρομεσαίες επιχειρήσεις.

- Επαναπροσανατολισμός της βιομηχανίας με την ανταγωνιστικότητα να τίθεται στο επίκεντρο.
- Στρατηγικές επενδύσεις με σκοπό τη διασφάλιση της δυναμικότητας της Ε.Ε. όσον αφορά την αλυσίδα αξίας του υδρογόνου.
- Προστασία των επενδυτών με σκοπό την αποφυγή, κατά το δυνατόν, των δυσμενών συνεπειών.

Προς αυτήν την κατεύθυνση μπορεί να συμβάλλει επίσης η άρση των περιορισμών όσον αφορά την είσοδο στην αγορά πράσινης ενέργειας, καθώς και η εξάλειψη κάθε μορφής κινήτρων που εστιάζουν στα ορυκτά καύσιμα. Ειδικότερα, τα μέτρα θα πρέπει να απευθύνονται τόσο στις μικρομεσαίες όσο και στις μεγάλες επιχειρήσεις οι οποίες δραστηριοποιούνται στην αγορά του υδρογόνου. Εξάλλου, οι μικρομεσαίες βιομηχανίες αντιπροσωπεύουν ένα σημαντικό ποσοστό της συνολικής αγοράς.

Από τις 161 βιομηχανικές επιχειρήσεις μέλη του Hydrogen Europe, οι 64 είναι πολύ μικρές, μικρές και μεσαίες οντότητες. Παράλληλα, στο Hydrogen Europe εντάσσονται επίσης 79 ερευνητικοί οργανισμοί, 21 εθνικοί οργανισμοί και 4 «υποστηρικτικοί» φορείς. Τα παραπάνω δεδομένα δίνονται στο Σχήμα 6-2 που ακολουθεί.



Σχήμα 6-2: Μέλη Hydrogen Europe (Hydrogen Europe, 2020d)



Συνολικά, την επόμενη δεκαετία, έως το 2030, αναμένονται επενδύσεις της τάξεως των 430 δις €, με το μεγαλύτερο ποσοστό εξ αυτών (περί τα 220 δις €) να απευθύνεται στην παραγωγή υδρογόνου. Τα έργα υποδομών και αποθήκευσης ανέρχονται στα 120 δις€, ενώ τέλος οι εφαρμογές υδρογόνου εκτιμώνται στα 90 δις €. Βέβαια, τα παραπάνω ποσά δεν αντλούνται αποκλειστικά από ιδιωτικά κεφάλαια, καθώς τα 145 δις € καλύπτονται από ενισχύσεις του δημοσίου τομέα.

Σε μια εκτενέστερη ανάλυση, στον Πίνακα 6-1 που ακολουθεί, τα 220 δις € των επενδύσεων παραγωγής υδρογόνου ταξινομούνται σε επιμέρους κατηγορίες.

**Πίνακας 6-1: Επενδύσεις στην παραγωγή υδρογόνου (Hydrogen Europe, 2020d)**

<b>Hydrogen Production</b>	Total Investments up to 2030 (Euro)	Total Support up to 2030 (Euro)
Green Hydrogen production EU, 40 GW electrolyser with new solar + wind	95 billion	45 billion grants 51 billion subordinated loans
Green Hydrogen production Ukraine, 10GW electrolyser with new solar + wind	20 billion	10 billion grants 10 billion subordinated loans
Green Hydrogen production North-Africa, 30 GW electrolyser with new solar + wind	72 billion	36 billion grants 36 billion subordinated loans
Existing hydrogen production, Gas SMR adding Carbon Capturing with 90% CO <sub>2</sub> emission reduction	20 billion	No grants 20 billion subordinated loans
New hydrogen production with coal gasification with nearly 100% CCS in Poland, Bulgaria, Romania and Hungary	12 billion	4 billion grants 8 billion subordinated loans
	220 billion	95 billion grants/subsidies

Όσον αφορά τη ζήτηση για υδρογόνο αυτή εκτιμάται σε 665 TWh σε βάθος δεκαετίας ή διαφορετικά σε 16,9 εκατομμύρια τόνους. Εξ αυτών, οι 173 TWh ή 4,4 εκατομμύρια τόνοι πρόκειται να παράγονται εντός της Ε.Ε., ενώ 118 TWh ή 3 εκατομμύρια τόνοι θα εισάγονται από την Ουκρανία και τη Νότιο Αφρική. Οι δύο παραπάνω πηγές αθροίζουν ένα ποσοστό κάτω του 50% της συνολικής ζήτησης υδρογόνου. Το υπόλοιπο αναμένεται να καλυφθεί από δύο επιμέρους πηγές:

- 324 TWh ή 8,2 εκατομμύρια τόνοι από το μετασχηματισμό του φυσικού αερίου και
- 50 TWh ή 1,3 εκατομμύρια τόνοι από νέο άνθρακα με αεριοποίηση

Σε κάθε περίπτωση, κομβικό ρόλο στα πλαίσια ανάλυσης των τάσεων και προοπτικών διαδραματίζουν οι εφαρμογές υδρογόνου. Έτσι λοιπόν, στη συνέχεια παρουσιάζεται η κατανομή των 16,9 εκατομμυρίων τόνων που αναμένονται το 2030 σε επιμέρους εφαρμογές – χρήσεις.

### 1. Παραδοσιακή χρήση του υδρογόνου ως πρώτη ύλη

Το μεγαλύτερο ποσοστό της ζήτησης για υδρογόνο αφορά την παραδοσιακή χρήση του υδρογόνου ως πρώτη ύλη σε χημικά και διυλιστήρια. Η συνολική δέσμευση υδρογόνου εκτιμάται σε 9,1 εκατομμύρια τόνους. Βέβαια, η εν λόγω μορφή του υδρογόνου δεν απαιτεί πρόσθετες επενδύσεις σε υποδομές και εξοπλισμούς.

### 2. Χρήση του υδρογόνου ως πρώτη ύλη σε νέα βιομηχανικά προϊόντα

Περίπου 2,5 εκατομμύρια τόνοι υδρογόνου αναμένεται να χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη σε νέα βιομηχανικά προϊόντα κατά το 2030. Μια από τις πλέον διαδεδομένες χρήσεις του υδρογόνου αφορά την παραγωγή χάλυβα, καθώς εκτιμάται πως 45 με 55 κιλά υδρογόνου επαρκούν για την παραγωγή ενός τόνου ακατέργαστου χάλυβα. Λαμβάνοντας υπόψη πως η συνολική παραγωγή χάλυβα στην Ε.Ε. ανέρχεται σε 160 εκατομμύρια τόνους το 2019 και εκτιμάται στα 200 εκατομμύρια τόνους το 2030, ένα εκατομμύριο τόνοι υδρογόνου μπορούν να καλύψουν την παραγωγή 20 εκατομμυρίων τόνων χάλυβα. Κατ' αντιστοιχία, 1,5 εκατομμύρια τόνοι υδρογόνου επαρκούν για να καλύψουν την παραγωγή 3 εκατομμυρίων τόνων συνθετικής κηροζίνης και 2 εκατομμυρίων τόνων συνθετικού diesel.

### 3. Χρήση του υδρογόνου για θέρμανση

Ιδιαίτερα σημαντική είναι η χρήση του υδρογόνου για θέρμανση, τόσο για οικιακούς όσο και για βιομηχανικούς σκοπούς, σε αντικατάσταση του φυσικού αερίου ή σε συνδυασμό με αυτό. Η συνολική κατανάλωση φυσικού αερίου εντός της Ε.Ε. το 2030 εκτιμάται σε 2.500 TWh. Ως εκ τούτου, 2 εκατομμύρια τόνοι υδρογόνου επαρκούν για να καλύψουν το 3,3% της συνολικής ζήτησης για φυσικό αέριο.

#### 4. Χρήση του υδρογόνου ως καύσιμο κίνησης

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια διαρκώς εντεινόμενη τάση όσον αφορά τη χρήση του υδρογόνου ως καύσιμο κίνησης με την κατανάλωση να ανέρχεται σε 1,4 εκατομμύρια τόνους το 2030. Για το σκοπό αυτό απαιτείται η μεταφορά του υδρογόνου στα πρατήρια καυσίμων και ως εκ τούτου αναμένεται μια αύξηση των επενδύσεων προς αυτήν την κατεύθυνση.

#### 5. Χρήση του υδρογόνου ως αντιστάθμισμα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στα πλαίσια της Ευρώπης των 28 εκτιμάται σε ένα ποσό της τάξεως των 3.000 TWh το έτος 2030. Εξ αυτών, το 1% μπορεί να καλυφθεί από τη χρήση 1,5 εκατομμυρίου τόνων υδρογόνου.

### **6.5 Το ενεργειακό περιβάλλον της Ελλάδας**

Οι αλλαγές οι οποίες συντελούνται σε διεθνές επίπεδο και ιδιαίτερα στα πλαίσια της Ε.Ε., αναπόφευκτα επηρεάζουν και τη χώρα μας η οποία αν και την παρούσα στιγμή βρίσκεται ακόμη σε πολύ πρώιμα στάδια όσον αφορά την ενεργειακή μετάβαση, αναμένεται να υιοθετήσει μιας σαφώς πιο στοχευμένη στρατηγική τα επόμενα χρόνια. Η άποψη αυτή, εδράζεται αφενός στα συγκριτικά πλεονεκτήματα της χώρας και αφετέρου στην ανάγκη για κάλυψη των μακροπρόθεσμων στόχων για το 2050.

Η Ελλάδα διαθέτει ένα ευρύ φάσμα πηγών ανεκμετάλλευτων οργανικών αποβλήτων, δεδομένου του οικονομικού μοντέλου ανάπτυξης στο οποίο καθοριστικό ρόλο διαδραματίζει η αγροτική και κτηνοτροφική παραγωγή. Ως εκ τούτου, η παραγωγή βιομεθανίου, πέραν των λοιπών πλεονεκτημάτων, συμβάλλει επίσης στη μείωση των εκπομπών ρύπων.

Όσον αφορά τη χρήση του παραγόμενου αερίου, πολλές είναι οι επιλογές οι οποίες διατίθενται. Ενδεικτικά μπορούμε να αναφέρουμε τις εξής:

- Έγχυση στο δίκτυο αερίου: Αποτελεί μια από τις πλέον διαδεδομένες επιλογές στα πλαίσια της Ε.Ε., καθώς το βιοαέριο είναι σε θέση να υποκαταστήσει πλήρως το φυσικό αέριο.

- Οδικές και θαλάσσιες μεταφορές: Ήδη πολλά είναι τα οχήματα τα οποία χρησιμοποιούν ως καύσιμο το φυσικό αέριο. Υπάρχει λοιπόν εύφορο έδαφος για τη χρήση των ανανεώσιμων αερίων προς τη συγκεκριμένη κατεύθυνση. Η ανάμιξη του LNG με υγροποιημένο βιομεθάνιο καθιστά εφικτή την βελτίωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος βαρέων οχημάτων και πλοίων που θα επιλέξουν να στραφούν προς τη συγκεκριμένη κατεύθυνση. Τα τελευταία χρόνια εξάλλου υπάρχει και η ανάλογη στήριξη από την πλευρά της πολιτείας.

Εξίσου σημαντικός είναι και ο ρόλος ο οποίος προδιαγράφεται για το υδρογόνο, λαμβάνοντας υπόψη τη χρησιμότητά του ως μεθόδου αποθήκευσης ενέργειας παραγόμενης από ΑΠΕ. Το υδρογόνο έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί τόσο για έγχυση στο δίκτυο όσο και ως εναλλακτικό καύσιμο.

Στις δεδομένες συνθήκες, το υδρογόνο και εν γένει τα ανανεώσιμα αέρια προβάλλουν ως μια ιδιαίτερα ελκυστική επιλογή όσον αφορά την απολιγνιτοποίηση της παραγωγής ενέργειας. Η διοίκηση της ΔΕΗ έχει δώσει ένα περιθώριο δύο ετών για την επιλογή μείγματος καυσίμου, έχοντας ως στόχο τη μείωση του κόστους το οποίο σχετίζεται με τις εκπομπές ρύπων.

## Συμπεράσματα

Οι διαρκώς αυξανόμενες ενεργειακές ανάγκες σε συνδυασμό με τη μείωση των αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων, τα οποία βρίσκονται σε πεπερασμένες ποσότητες, εκ των πραγμάτων τοποθετούν τα ανανεώσιμα αέρια στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος ως μια εναλλακτική διέξοδο. Η Ε.Ε. δείχνοντας να αντιλαμβάνεται την εν λόγω τάση χαράσσει μια στρατηγική για την ενίσχυση των επενδύσεων σε αέρια όπως το βιομεθάνιο και το υδρογόνο, τόσο σε μεσοπρόθεσμο, όσο και σε μακροπρόθεσμο επίπεδο. Άλλωστε, η ενεργειακή μετάβαση είναι μια ιδιαίτερα σύνθετη διαδικασία.

Ήδη, ένας μεγάλος αριθμός χωρών έχουν ενσωματώσει τα ανανεώσιμα αέρια στο μείγμα ενέργειας, χρησιμοποιώντας κατά κύριο λόγο το υδρογόνο, τόσο σε εφαρμογές, όσο και μέσω της έγχυσής του στο δίκτυο αερίου. Κατ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνονται ταυτόχρονα περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη.

Η χώρα μας ωστόσο, παρά το γεγονός πως έχει υψηλό δυναμικό, βρίσκεται ακόμη σε πολύ πρώιμα στάδια. Κρίνεται, λοιπόν, επιτακτική η ανάγκη μιας συντονισμένης προσπάθειας στο εν λόγω πεδίο, έτσι ώστε να διασφαλισθεί το μέγιστο δυνατό όφελος.

Ειδικότερα εν μέσω πανδημίας, η Ε.Ε. κρούει τον κώδωνα του κινδύνου θέτοντας ως άξονες: (1) τη διαβεβαίωση πως οι στόχοι για το κλίμα και το περιβάλλον θα διατηρηθούν και η εν λόγω πολιτική θα συνεχίσει να υποστηρίζεται, (2) την παροχή υποστήριξης, οικονομικής και όχι μόνο, στους τομείς της ενέργειας, των βιομηχανιών, της θέρμανσης, της ψύξης και της βιομηχανίας με σκοπό την ελαχιστοποίηση του αποτυπώματος άνθρακα σε μεσοπρόθεσμο ορίζοντα (5 έως 10 έτη), (3) την άμεση ενίσχυση της αλυσίδας αξίας του υδρογόνου, έτσι ώστε να αντισταθμιστούν οι απώλειες, οι οποίες εκτιμώνται μεταξύ €450-500 εκατομμυρίων ευρώ και (4) την αύξηση του διαθέσιμου προϋπολογισμού για δράσεις έρευνας και καινοτομίας στο εν λόγω κλάδο.

Η παρούσα εργασία προσεγγίζει το ζήτημα των ανανεώσιμων αερίων από θεωρητικής σκοπιάς. Εξίσου σημαντική λοιπόν θα ήταν και μια εν τη πράξει διερεύνηση του ζητήματος εμβαθύνοντας στα οικονομο-τεχνικά στοιχεία.



## Βιβλιογραφία

Awe, O. et al., 2017. A Review of Biogas Utilisation, Purification and Upgrading Technologies. *Waste Biomass Valor*, 8(2), pp. 267-283.

Baena-Moreno, F. et al., 2019. Biogas upgrading by cryogenic techniques. *Environmental Chemistry Letters*, 17( ), pp. 1251-1261.

Balat, M., 2008. Potential importance of hydrogen as a future solution to environmental and transportation problems. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33(15), pp. 4013-4029.

Brazil Biofuels Annual 2018, 2018. *Global Agricultural Information Network*, : .

CBA, C. B. A., 2020. *biogasassociation.c.* [Ηλεκτρονικό]  
Available at: [https://biogasassociation.ca/index.php/about\\_biogas/projects\\_canada](https://biogasassociation.ca/index.php/about_biogas/projects_canada)  
[Πρόσβαση 14 10 2020].

Damen, K., van Troost, M., Faaij, A. & Turkenburg, W., 2006. A comparison of electricity and hydrogen production systems with CO<sub>2</sub> capture and storage. Part B: Chain analysis of promising CCS options. *Progress in Energy and Combustion Science*, 33( ), pp. 580-609.

Daniel-Gromke, J. et al., 2018. Current Developments in Production and Utilization of Biogas and Biomethane in Germany. *Chemie Ingenieur Technik*, 90(1-2), pp. 17-35.

Derimbas, A., 2017. Future hydrogen economy and policy. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning and Policy*, 12(2), pp. 172-81.

Dunn, S., 2002. Hydrogen futures: toward a sustainable energy system.. *International Journal of Hydrogen Energy*, 27( ), pp. 235-264.

Edwards, P., Kuznetsov, V. & David, W., 2007. Hydrogen energy.. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 365( ), pp. 1043-1056.

European Biogas Association, 2019. *EBA Statistical Report 2018*, Brussels: Renewable Energy House.

Hellenic Association for Energy Economics, 2020. *Green Energy Market Report*, s.l.: HAEE.

Hummel, G., 2001. *The benefits of on-site reforming of natural gas to hydrogen for early alternative fuelling systems.* Washington, National Hydrogen Association (NHA). Hydrogen: The common thread, 12th Annual US Hydrogen Meeting.

Hydrogen Europe, 2020a. *The EU hydrogen strategy: Hydrogen Europe's top 10 key recommendations*, s.l.: Hydrogen Europe.

Hydrogen Europe, 2020b. *Hydrogen in the EU's Economic Recovery Plans*, s.l.: Hydrogen Europe.

Hydrogen Europe, 2020c. Hydrogen Europe paper on the hydrogen sector after Covid-19. *Fuel Cells Bulletin*, 2020(6), pp. 12-13.

Hydrogen Europe, 2020d. *Post Covid-19 and the hydrogen sector: A Hydrogen Europe analysis*, s.l.: Hydrogen Europe.

Kandiyoti, R., Herod, A. & Bartle, K., 2006. Pyrolysis: Thermal breakdown of solid fuels in a gaseous environment. *Solid Fuels and Heavy Hydrocarbons Liquids*, ( ), pp. 36-90.

Kandpal, T., Sinha, C. & Joshi, B., 1991. Economics of family sized biogas plants in India. *Energy Conversion Management*, 32(2), pp. 101-113.

Khan, I. et al., 2017. Biogas as a renewable energy fuel – A review of biogas upgrading, utilisation and storage. *Energy Conversion and Management*, 150( ), pp. 277-294.

Kikkinides, E., 2008. Hydrogen-based energy systems: the storage challenge.. Στο: M. Georgiadis, E. Kikkinides & E. Pistikopoulos, επιμ. *Energy Systems Engineering. Process Systems Engineering*. Weinheim: Wiley-VCH, pp. 85-123.

Korbag, I., Saleh Omer, S., Boghazala, H. & Abusasiyah, M., 2020. <https://www.intechopen.com/>. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.intechopen.com/online-first/recent-advances-of-biogas-production-and-future-perspective>

[Πρόσβαση 25 10 2020].

Lemonde, M., 2020. <https://www.biogasworld.com/>. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <https://www.biogasworld.com/news/biogas-biomethane-market-france/>

[Πρόσβαση 12 10 2020].



- Maggioni, L., Pieroni, C. & Pezzaglia, M., 2018. The biogas and biomethane market in Italy. *Biogas Reports: Gas for energy*, (2), pp. 24-27.
- Meegoda, J., Li, B., Patel, K. & Wang, L., 2018. A Review of the Processes, Parameters, and Optimization of Anaerobic Digestion. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(2224).
- Momirlan, M. & Veziroglu, T., 2002. Current status of hydrogen energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6( ), pp. 141-179.
- Naja, G. et al., 2011. Assessment of biogas potential hazards. *Renewable Energy*, 36(12), pp. 3445-3451.
- Ni, M., Leung, D., Leung, M. & Sumathy, K., 2006. An overview of hydrogen production from biomass. *Fuel Process Technology*, 87( ), pp. 461-472.
- NREL, N. R. E. L., 2013. *Biogas Potential in the United States*, : US Department of Energy.
- Patinvoh, R. & Taherzadeh, M., 2019. Challenges of biogas implementation in developing countries. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 12( ), pp. 30-37.
- Petersson, A. & Wellinger, A., 2009. Biogas upgrading technologies – developments and innovations. *IEA Bioenergy*, Task 37( ), p. .
- Poeschl, M., Ward, S. & Owende, P., 2010. Prospects for expanded utilization of biogas in Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(7), pp. 1782-1797.
- Roopnarain, A. & Adeleke, R., 2017. Current status, hurdles and future prospects of biogas digestion technology in Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67( ), pp. 1162-1179.
- Rubab, S. & Kandpal, T., 1996. A methodology for financial evaluation of biogas technology in India using cost functions. *Biomass and Bioenergy*, 10(1), pp. 11-23.
- Sanchez, C., 2009. Lignocellulosic Residues: Biodegradation and Bioconversion by Fungi.. *Biotechnology Advances*, 27(2), pp. 185-194.
- Schlapbach, L. & Zuttel, A., 2001. Hydrogen–storage materials for mobile applications. *Nature*, 414( ), pp. 353-358.

- Sehgal, J., 2018. Current State and Future Prospects of Global Biogas Industry. Στο: M. abatabaei & H. Ghanavati, επιμ. *Biogas. Biofuel and Biorefinery Technologies*,. s.l.:Springer, p. .
- Shoko, E., McLellan, B., Dicks, A. & Diniz da Costa, J., 2006. Hydrogen from coal: Production and utilisation technologies.. *International Journal of Coal Geology*, 65( ), pp. 213-222.
- Tursi, A., 2019. A Review on Biomass: Importance, Chemistry, Classification, and Conversion. *Biofuel Research Journal*, Τόμος 22, pp. 962-679.
- Uellendahl, H. et al., 2008. Energy balance and cost-benefit analysis of biogas production from perennial energy crops pretreated by wet oxidation. *Water Science & Technology*, 58(9), pp. 1841-1847.
- Veziroglu, T. & Sahin, S., 2008. 21st century's energy: hydrogen energy system.. *Energy Conversion Management*, 49( ), pp. 1820-1831.
- Volk, G., 2014. Germany: Biogas Injection Into the Gas Supply Network in the Federal Republic of Germany. *Renewable Energy Law and Policy Review*, 5(1), pp. 79-84.
- von Helmut, R. & Eberle, U., 2007. Fuel cell vehicles: Status 2007. *Journal of Power Sources*, 165( ), pp. 833-843.
- Walla, C. & Schneeberger, W., 2008. The optimal size for biogas plants. *Biomass and Bioenergy*, 32(6), pp. 551-557.
- Weiland, P., 2003. Production and energetic use of biogas from energy crops and wastes in Germany. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 109( ), pp. 263-274.
- Wellinger, A., Murphy, J. & Baxter, D., 2013. *The Biogas Handbook: Science, production and applications*. 1st επιμ. : Woodhead Publishing.
- Wetzel, F., 1998. Improved handling of liquid hydrogen at filling stations: Review of six years' experience. *International Journal of Hydrogen Energy*, 23( ), pp. 339-348.
- Yang, L. et al., 2014. Progress and perspectives in converting biogas to transportation fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40( ), pp. 1133-1152.

Zhang, J. et al., 2005. A review of heat transfer issues in hydrogen storage technologies. *Journal of Heat Transfer* , 127( ), pp. 1391-1399.

Βουτετάκης, Σ. και συν., 2010. *Υπάρχουσες τεχνολογίες και τελικές χρήσεις του "καυσίμου του μέλλοντος" - H<sub>2</sub>*, Θεσσαλονίκη: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας.

Ζαφείρης, Χ., 2018. *Ενεργειακή Αξιοποίηση του Βιοαερίου: Τάσεις και προοπτικές*, Πικέρμι: Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας .

Μπερεκετίδου, Ο., Οικονομόπουλος, Κ. & Γούλα, Μ., 2005. *Παραγωγή υδρογόνου από βιοαέριο – Οικονομική ανάλυση της διεργασίας*. Θεσσαλονίκη, .