

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών
Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος

Μεταπτυχιακή Διατριβή



**«Ο Ρόλος του Φυσικού Αερίου στους Πυλώνες της Αειφορίας
και οι Ενεργειακές Προοπτικές της Κύπρου - Απομόνωση
και Ταυτοποίηση Μεθανότροφων Μικροοργανισμών»**

Χάρης Σαμανίδης

**Επιβλέπων Καθηγητής
Δρ Σίσσυ Ευθυμιάδου**

Νοέμβριος 2019

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών
Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος**

Μεταπτυχιακή Διατριβή

**«Ο Ρόλος του Φυσικού Αερίου στους Πυλώνες της Αειφορίας
και οι Ενεργειακές Προοπτικές της Κύπρου – Απομόνωση
και Ταυτοποίηση Μεθανότροφων Μικροοργανισμών»**

Χάρης Σαμανίδης

**Επιβλέπων Καθηγητής
Δρ Σίσσυ Ευθυμιάδου**

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών στη Διαχείριση και Προστασία του Περιβάλλοντος από τη Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου.

Νοέμβριος 2019

*τῷ πονοῦντι δ' ἐκ θεῶν οφείλεται
τέκνωμα τοῦ πόνου κλέος*

Αισχύλος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι κλιματικές αλλαγές που σήμερα σχετίζονται με τις εκπομπές των αέριων ρύπων, δεν προκαλούν αρνητικές μεταβολές μόνο στο περιβάλλον αλλά επηρεάζουν με σημαντικό κόστος, οικονομικούς και κοινωνικούς δείκτες. Αν και παρόμοιες κλιματικές συνθήκες επηρέασαν τον πλανήτη και σε παλαιότερες γεωλογικές εποχές, εντούτοις σήμερα αναγνωρίζεται η ανθρωπογενής συνιστώσα της κλιματικής αλλαγής, ως η κύρια αιτία των παθογενειών. Για το λόγο αυτό, η Ευρωπαϊκή Κοινότητα εστιάζει στην έννοια της αειφορίας, η οποία προάγει ένα ανώτερο πρότυπο διαβίωσης στα πλαίσια του τριπτούχου περιβάλλον-οικονομία-κοινωνία και στόχος της είναι, όλες οι χώρες να αναπτύξουν ένα αειφόρο ενεργειακό μοντέλο και να απεξαρτητοποιηθούν από το πετρέλαιο.

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή είχε ως στόχο να αναπτύξει την συμβολή του φυσικού αερίου στην αειφορική ανάπτυξη και στο μετριασμό της κλιματικής αλλαγής. Τα δεδομένα δείχνουν ότι το φυσικό αέριο συμβάλλει με θετικό πρόσημο στους πυλώνες της αειφορίας σε σχέση με το πετρέλαιο και δικαίως σήμερα χαρακτηρίζεται ως «καύσιμο γεφύρωσης» στις προσπάθειες για μετάβαση προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Επίσης στη διατριβή αυτή, προτείνεται μία οικονομική εναλλακτική μέθοδος για την βιομετατροπή του φυσικού αερίου σε βιοκαύσιμα ή άλλα υψηλής αξίας προϊόντα με την χρήση των μεθανότροφων βακτηρίων, συμβάλλοντας έτσι στην επίλυση διαφόρων προβλημάτων (μεταφοράς φυσικού αερίου, διαφυγής του στην ατμόσφαιρα). Για την επίτευξη του στόχου, εφαρμόστηκαν μέθοδοι βιοτεχνολογίας για την απομόνωση μεθανότροφων βακτηρίων από τρία δείγματα που αποτελούνταν από αναερόβια λάσπη, κοπριά και κομπόστ. Για την ταυτοποίηση αναλύθηκαν οι αλληλουχίες του γονιδίου 16S rRNA. Μελετήθηκαν επίσης, η δυναμική της κατανάλωσης των αερίων μεθανίου και οξυγόνου, η δράση του θαλασσινού νερού (οικονομικό βιομέσο) στην ανάπτυξη των βακτηρίων καθώς και η αναστολή του ενζύμου αφυδρογονάση της μεθανόλης (παραγωγή μεθανόλης). Πέραν από τα πιο πάνω, μελετήθηκε η δυνατότητα ανάπτυξης ακραιόφιλων βακτηρίων (Αλκαλόφιλων) (pH 9) από το δείγμα της αναερόβιας λάσπης. Η προτεινόμενη μεθοδολογία μας οδήγησε στην απομόνωση, σε συνθήκες θερμοκρασίας 30°C, του είδους *Chryseobacterium* sp. GUAC 6011 από την αναερόβια λάσπη σε ακραίες τιμές pH, του είδους *Methylomonas koyamae* strain LM6 από την κοπριά και του είδους *Methylomonas* sp. Strain DH-1 από το κομπόστ σε ουδέτερες τιμές pH. Με τη χρήση του θαλασσινού νερού παρουσιάζεται καθυστέρηση στην κατανάλωση του μεθανίου και του οξυγόνου από τα μεθανότροφα βακτήρια, λόγω υψηλής αλατότητας. Μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για

την αναγνώριση της παραγώμενης μεθανόλης δεν έδωσαν αποτελέσματα λόγω αδυναμίας της μεθόδου.

Λέξεις κλειδιά: Αειφορος Ενεργειακή Αναπτυξη, Βιοκαύσημα, Βιομετατροπή , Κλιματική Αλλαγή, Μεθάνιο, Μεθανότροφα Βακτήρια, Φυσικό Αέριο.

SUMMARY

Climate change related to the emissions of the gaseous pollutants does not only affect negatively the environment but also has a significant impact on the economic and social indicators. Although, similar climatic conditions have affected the planet in earlier geological eras, in the present the anthropogenic components of climate change is considered to be the main cause of pathogens. For this reason, the European Community focuses on the concept of sustainability, based on the three pillars – environment, economy, society, which promotes a higher standard of living. The European Community's aim for all European countries is to develop a sustainable energy model without the use of the petroleum.

This dissertation aims to discuss the contribution of natural gas to the development of sustainability and the mitigation of the climate change. The data shows that natural gas contributes in a positive way to the sustainability pillars and today is characterized as "bridge fuel" in the efforts for the transition to renewable energy. In addition, this thesis proposed an economical alternative method for the biotransformation of the natural gas into biofuels or other high value products with the use of methanotrophs bacteria, thereby helping to solve various problems (gas transportation, escape into the atmosphere). To achieve this goal, biotechnology methods were applied in order to isolate methanotrophic bacteria with the use of three samples including anaerobic sludge, manure and compost. The 16S rRNA gene sequences were analyzed for identification. The dynamics of methane and oxygen gas consumption, the effect of seawater (economic biomass) on bacterial growth, and the inhibition of methanol dehydrogenase (methanol production) were also investigated. Additionally, the possibility of growth extremophiles anaerobic bacteria (Alkaliphiles) (pH 9) from the anaerobic sludge sample was examined. The proposed methodology in the temperature conditions of 30°C, led to the isolation of *Chryseobacterium* sp. GUAC 6011 from the anaerobic sludge at extreme pH values (pH 9), the methanotroph *Methylomonas koyamae* strain LM6 from manure and methanotroph *Methylomonas* sp. Strain DH-1 from compost at neutral pH values. The use of seawater demonstrates a delay in

the consumption of methane and oxygen by methanotrophs bacteria, due to the high salinity. The measurements performed for the identification of the methanol production, did not yield any results/ outcomes due to the limitation of the method performed.

Key Words: Biofuels, Biotransformation, Climate Change, Methane, Methanotrophs Bacteria, Natural Gas, Sustainable Energy Development.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό αισθάνομαι την υποχρέωση να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην Καθηγήτρια μου Δρ Σίσσυ Ευθυμιάδου, για την αγαστή συνεργασία την οποία είχαμε και για το αμείωτο ενδιαφέρον της καθόλη τη διάρκεια της συγγραφής της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής. Την ευχαριστώ επίσης για την κατανόηση και την υπομονή που έδειξε στις δυσκολίες που είχαν παρουσιαστεί. Η κυρία Ευθυμιάδου με εξόπλιζε πάντοτε με το απαραίτητο σθένος και δύναμη για να συνεχίσω το δύσκολο έργο μου.

Ιδιαίτερα δε αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω τον Δρ Ιωάννη Βυρίδη, Επίκουρο Καθηγητή στο Τμήμα Χημικών Μηχανικών του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου και υπεύθυνο του Εργαστηρίου Περιβαλλοντικής Μηχανικής, για την παραχώρηση του εργαστηρίου του, για την διεξαγωγή των απαραίτητων εργαστηριακών πειραμάτων που ήταν αναγκαία για την διεκπεραίωση του πονήματος αυτού.

Τέλος, ευχαριστώ όλους που ποικιλοτρόπως με βοήθησαν στην προσπάθεια μου αυτή και ιδιαίτερα την γραμματεία του μεταπτυχιακού προγράμματος «Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος» της Σχολής Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου, κυρία Στάλω Θεοφίλου και κυρία Μαριάννα Προδρόμου που πάντοτε πρόθυμα φρόντιζαν για την ομαλή επίλυση όλων των θεμάτων που προβλημάτιζαν τους φοιτητές.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iii
SUMMARY.....	iv
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	ix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	x
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	xii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ.....	xiii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Καταγραφή προβλήματος.....	8
1.3 Σημασία και αναγκαιότητα της μελέτης.....	17
1.4 Σκοποί και στόχοι.....	19
1.5 Διασαφηνίσεις – προσδιορισμός και διατύπωση των κεντρικών εννοιών.....	20
1.5.1 Η έννοια της «Αειφορίας» και οι δείκτες της.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	23
2.1 Εισαγωγή.....	23
2.2 Το Μεθάνιο – CH ₄	24
2.3 Πηγές ενέργειας σχετιζόμενες με το μεθάνιο.....	28
2.3.1 Φυσικό αέριο.....	28
2.3.2 Βιοαέριο.....	31
2.3.3 Μεθανόλη.....	33
2.4 Φυσικό αέριο και αειφορία.....	35
2.4.1 Φυσικό αέριο και περιβαλλοντικός πυλώνας της αειφορίας.....	36
2.4.2 Φυσικό αέριο και οικονομικός πυλώνας της αειφορίας.....	43
2.4.3 Φυσικό αέριο και κοινωνικός πυλώνας της αειφορίας.....	46
2.5 Βιολογική οξείδωση του μεθανίου.....	48
2.6 Η Κυπριακή πραγματικότητα.....	55
2.7 Φυσικό αέριο - Το παράδειγμα της Ελλάδας.....	62
2.8 Συμπεράσματα.....	67

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	68
3.1 Σκοπός και Στόχοι.....	68
3.2 Ερευνητικά ερωτήματα	69
3.3 Πειραματική διαδικασία.....	69
3.3.1 Συλλογή δειγμάτων.....	70
3.3.2 Το μεθάνιο ως πηγή άνθρακα για την καλλιέργεια μεθανότροφων βακτηρίων.....	70
3.3.3 Προετοιμασία μικροβιολογικού βιομέσου για τον εμπλουτισμό των δειγμάτων σε μεθανότροφους μικροοργανισμούς.....	72
3.3.4 Διαδικασία απομόνωσης μεθανότροφων βακτηρίων.....	73
3.3.5 Μεθοδολογία ελέγχου σύστασης της αέριας φάσης φιαλιδίων.....	78
3.3.6 Μεθοδολογία προετοιμασίας δειγμάτων για έλεγχο παραγόμενης μεθανόλης με τη χρήση του οργάνου CG-FID.....	79
3.3.7 Μεθοδολογία ελέγχου παραγόμενης μεθανόλης.....	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	82
4.1 Ταυτοποίηση μικροοργανισμών.....	82
4.1.1 Δείγμα κωδικός (1): Αναερόβια λάσπη.....	82
4.1.2 Δείγμα κωδικός (2): Κοπριά.....	85
4.1.3 Δείγμα κωδικός (3): Κομπόστ.....	85
4.2 Ρυθμός κατανάλωσης αερίων.....	85
4.3 Ρυθμός παραγωγής μεθανόλης.....	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΖΗΤΗΣΗ	90
5.1 Συμπεράσματα.....	98
5.2 Εισηγήσεις.....	99
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	100
I. Ξένη βιβλιογραφία.....	100
II. Ελληνική βιβλιογραφία.....	128
III. Διαδικτυακές πηγές.....	129

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1: Η ενεργειακή ή θερμαντική αξία διαφόρων καυσίμων και του ουρανίου εκφρασμένη σε Τζάουλ (J) ανά κιλό (Kg) (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: World Nuclear Association, 2018).....	11
Πίνακας 2.1: Παγκόσμια εκτίμηση εκπομπών μεθανίου στην ατμόσφαιρα και οι πηγές που την προκαλούν από 1983 μέχρι το 2001. Στον όρο «Εύρος» παρατίθενται οι τιμές όπως αυτές παρουσιάζονται από τον Denman et al. (2007)(Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: Reay et al., 2010).....	25
Πίνακας 2.2: Η σειρά των παραφινών, η δομή των κοινών αέριων υδρογονανθράκων και επιλεγμένα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: Selley, 1998).....	29
Πίνακας 2.3: Χρήση νερού σε λίτρα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από διαφορετικές πηγές (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: Simkins and Simkins, 2013).....	40
Πίνακας 2.4: Τετραγωνικά μέτρα γης που απαιτούνται για την εγκατάσταση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από διαφορετικές πηγές (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: Simkins and Simkins, 2013).....	41
Πίνακας 2.5: Θέσεις εργασίας που προκύπτουν από τη χρήση διαφορετικών πηγών ενέργειας ανά παραγόμενα ποσά ενέργειας (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: Wei et al.,2010).....	47
Πίνακας 2.6: Ποσοστά θανάτων που προκύπτουν από τη χρήση διαφορετικών πηγών ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: Starfelt και Wikdahl 2011).....	47
Πίνακας 3.1: Τα δείγματα με τους κωδικούς τους που επιλέχθηκαν για την απομόνωση μεθανότροφων βακτηρίων.....	70
Πίνακας 3.2: Πίνακας αλατότητας σε ppt (parts per thousand) σε συνάρτηση με την πυκνότητα και την θερμοκρασία.....	78
Πίνακα 5.1: Τα κύρια χαρακτηριστικά του στελέχους EMGL16-1 σε σύγκριση με τα μεθανοτρόφα βακτήρια του γένους <i>Methylomonas</i> . 1: strain EMGL16-1, 2: <i>M. Lenta</i> , 3: <i>M. Paludis</i> , 4: <i>M. Koyamae</i> , 5: <i>M. Scandinavica</i> , 6: <i>M. Methanica</i> , 7: <i>M. Fodinarum</i> , 8: <i>M. aurantica</i> , NR: δεν έχει αναφερθεί, ND: δεν προσδιορίστηκε (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: Nguyen et al., 2017).....	93

Πίνακα 5.2: Η δράση των διαφόρων χημικών στο ένζυμο MDH και πώς αυτό επηρεάζει την παραγόμενη μεθανόλη (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: Sheets et al., 2016).....	96
---	----

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1.1: Οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα και του μεθανίου και η απότομη ανοδική τους πορεία από τη βιομηχανική επανάσταση (1760-1860) μέχρι και σήμερα (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: IPCC Fourth Assessment Report, Chapter 2, 2007).....	3
Διάγραμμα 1.2: Συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας από ορυκτά καύσιμα και τα ποσοστά συνεισφοράς τους από το 1800-2017. (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: Vaclav, 2017).....	9
Διάγραμμα 1.3: Ο συντελεστής εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO ₂), μετρούμενος σε κιλά CO ₂ που παράγεται ανά μεγαβάτ-ώρα (MWh) ενέργειας από διάφορα ορυκτά καύσιμα. (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: Our World In Data, 2019).....	11
Διάγραμμα 1.4: Ανθρωπογενής και φυσικές πηγές εκπομπών μεθανίου στην ατμόσφαιρα. (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: IEA, 2019).....	15
Διάγραμμα 1.5: Η παγκόσμια συγκέντρωση του μεθανίου (ppb) όπως αυτή καταγράφεται από Earth System Research Laboratory από το 1984 μέχρι σήμερα (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: NOAA, 2019).....	16
Διάγραμμα 1.6: Σχηματική απεικόνιση του μοντέλου DPSIR (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: EEA, 1999).....	22
Διάγραμμα 2.1: Η πηγές και τα ποσοστά έκκλησης μεθανίου στην ατμόσφαιρα στην Αμερική με στοιχεία του 2015 (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: Allison and Mandler, 2018).....	26
Διάγραμμα 2.2: Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που εκλύονται κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση διαφορετικών πηγών (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: Simkins and Simkins, 2013).....	38
Διάγραμμα 2.3: Εκπομπές διοξειδίου του θείου που εκλύονται κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση διαφορετικών πηγών (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: Simkins and Simkins, 2013).....	38
Διάγραμμα 2.4: Εκπομπές οξειδίων του αζώτου που εκλύονται κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση διαφορετικών πηγών (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: Simkins and Simkins, 2013).....	39

Διάγραμμα 2.5: Το μεταβολικό μονοπάτι της οξειδωσης του μεθανίου σε μεθανόλη με τη δράση της MMO.....	51
Διάγραμμα 2.6: Το μεταβολικό μονοπάτι της οξειδωσης της μεθανόλης σε μεθανάλη με τη δράση της MDH.....	52
Διάγραμμα 2.7: Τα μεταβολικά μονοπάτια που λαμβάνουν χώρα για την οξειδωση της φορμαλδεΐδης. HCHO: Φορμαλδεΐδη, HCOOH: Μεθανικό οξύ (formic acid), CO ₂ : Διοξείδιο του άνθρακα, RuMP: Μεταβολική οδός μονοφωσφορικής ριβουλόζης, Serine: Μεταβολική οδός σερίνης, FDH: Φορμική αφυδρογονάση, FaldH: Αφυδρογονάση της φορμαλδεΐδης, H ₄ MPT: Τετραϋδρομεθανοπτερική εξαρτώμενη μεταβολική οξειδωτική οδός, H ₄ F: Τετραϋδροφυλλική εξαρτώμενη μεταβολική οξειδωτική οδός, GSH: γλουταθειόνη / μυκοθειόλη.....	53
Διάγραμμα 2.8: Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Κύπρο σε ποσοστά κατά την περίοδο 2008 μέχρι 2017 (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: European Commission, 2019).....	58
Διάγραμμα 2.9: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από διάφορες πηγές στην Κύπρο κατά την περίοδο 2008 με 2011 (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: EU Energy in Figures – Statistical Pocketbook, 2016).	59
Διάγραμμα 2.10: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από διάφορες πηγές στην Ελλάδα τον Οκτώβριο του 2015 και περίοδο 2008 με 2011 (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: Ανεξάρτητο Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας – Μηνιαίο Δελτίο Ενέργειας, 2019, 2015).....	63
Διάγραμμα 3.1: Τα έξι στάδια που ακολουθήθηκαν για την δημιουργία των βιοαντιδραστήρων για την παραγωγή βιοαερίου.....	72
Διάγραμμα 3.2: Διαγραμματική απεικόνιση της λειτουργίας του αυτοσχέδιου βιοαντιδραστήρα συνεχούς ροής.....	74
Διάγραμμα 3.3: Διαγραμματική απεικόνιση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για την επίτευξη δημιουργίας καθαρής καλλιέργειας μεθανότροφων βακτηρίων. B: Bioreactol, L: Liquid, S: Solid, b: Biomass.....	76
Διάγραμμα 3.4: Τα στάδια της τεχνικής που ακολουθήθηκαν για την δέσμευση της μεθανόλης από το βιομέσο με τη χρήση οργανικού διαλύτη.....	80
Διάγραμμα 4.1 : Διάγραμμα ροής προετοιμασίας δειγμάτων για αποστολή στην MACROGEN.....	83
Διάγραμμα 4.2: Η μεταβολή του διοξειδίου του άνθρακα σε διάστημα 55 ωρών με ανατροφοδότηση στις 25 και 40 ώρες.....	86
Διάγραμμα 4.3: Η μεταβολή του μεθανίου σε διάστημα 55 ωρών με ανατροφοδότηση στις 25 και 40 ώρες.....	86

Διάγραμμα 4.4: Η μεταβολή του οξυγόνου σε διάστημα 55 ωρών με ανατροφοδότηση στις 25 και 40 ώρες.	87
Διάγραμμα 4.5: Δείγματα σε θαλασσινό νερό. Η μεταβολή του διοξειδίου του άνθρακα σε διάστημα 55 ωρών με ανατροφοδότηση στις 25 και 40 ώρες.....	87
Διάγραμμα 4.6: Δείγματα σε θαλασσινό νερό. Η μεταβολή του μεθανίου σε διάστημα 55 ωρών με ανατροφοδότηση στις 25 και 40 ώρες.....	88
Διάγραμμα 4.7: Δείγματα σε θαλασσινό νερό. Η μεταβολή του οξυγόνου σε διάστημα 55 ωρών με ανατροφοδότηση στις 25 και 40 ώρες.....	88

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Καύση του φυσικού αερίου σε ειδικά φουγάρα για την εκτόνωση της πίεσης κατά την εξόρυξη υδρογονανθράκων. (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: https://karmainpact.com/energy-tech-start-up-crusoe-aims-to-turn-gas-flaring-into-useful-power/).....	14
Εικόνα 2.1: Τα οικόπεδα που αδειοδοτήθηκαν στην αποκλειστική οικονομική ζώνη της Κυπριακής Δημοκρατίας για έρευνες υδρογονανθράκων (Εταιρία Υδρογονανθράκων Κύπρου, 2019).	60
Εικόνα 3.1: Αυτοσχέδιος βιοαντιδραστήρας συνεχούς ροής που χρησιμοποιήθηκε στο αρχικό στάδιο εμπλουτισμού των δειγμάτων σε μεθανότροφα βακτήρια.....	74
Εικόνα 3.2: Τα τελικά δείγματα που επιλέχθηκαν για ανακαλλιέργεια σε τρυβλία πετρί για να αποσταλούν στην εταιρία MACROGEN.....	77
Εικόνα 3.3: Τα δείγματα 116, 117 και 118 που στάλθηκαν στην εταιρία MACROGEN για ανάλυση.....	77
Εικόνα 3.4: Τα μέρη του αερίου χρωματογράφου με ανιχνευτή θερμικής αγωγιμότητας.....	79
Εικόνα 3.5: Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την βαθμονόμηση του οργάνου καθώς και οι τιμές όπως αυτές εξάγονται.....	79
Εικόνα 3.6: Τα μέρη του αερίου χρωματογράφου με ανιχνευτή ιονισμού φλόγας. A: Carrier gas He, B: Sample injector, C: Vaporization chamber, D: Capillary column, E: Oven, F: Flame ionization detector, G: Hydrogen, H: Oxygen, I: + 300 polarising voltage – collector electrode.....	81
Εικόνα 4.1 : Η ανακαλλιέργεια του τελικού δείγματος αναερόβιας λάσπης σε τρυβλία πετρί σε διαφορετικές τιμές pH.....	84

Εικόνα 4.2 : Η ανακαλλιέργεια του τελικού δείγματος αναερόβιας λάσπης σε γλυκόζη χωρίς παρουσία μεθανίου.....84

Εικόνα 4.3 : Ο χρόνος ανάσχεσης και η κορυφή της μεθανόλης (100 mM) (ρόζ γραμμή) σε σχέση με τις κορυφές που παρουσιάζει ο οργανικός διαλύτης (μαύρη γραμμή).....89

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ

\$/bbl: Dollar per barrel (Δολάρια ανά βαρέλι).

\$/Mcf: Dollar per mega cubic feet (Δολάρια ανά εκατομμύρια κυβικά μέτρα).

°C: Βαθμοί κελσίου (Celsius).

AGI: American Geosciences Institute (Αμερικανικό Ινστιτούτο Γεωεπιστημών).

Ar: Argon (Αργό).

bcm: Billion cubic meter (Δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα).

BP: Beyond Petroleum.

C₆H₁₄: Hexane (Εξάνιο).

CA: Cellular acetate.

CDC: Κέντρα Ελέγχου και Πρόληψης Ασθενειών (Centers for Disease Control and Prevention).

CH₄: Methane (Μεθάνιο).

CO₂: Carbon Dioxide (Διοξείδιο του άνθρακα).

DNA: Deoxyribonucleic Acid (δεοξυριβονουκλεϊκό οξύ).

EEA: European Environmental Agency (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος).

EESI: Environmental and Energy Information Administration (Αμερικάνικο Ινστιτούτο Περιβαλλοντικών και Ενεργειακών Μελετών).

EIA: Energy Information Administration (Διοίκηση Πληροφοριών Ενέργειας).

EPA: United States Environmental Protection Agency (Οργανισμός Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής).

EPRI: Electric Power Research Institutes (Ερευνητικό Ινστιτούτο Ηλεκτρικής Ενέργειας).

FalDH: Formaldehyde dehydrogenase (Αφυδρογονάση της φορμαλδεΰδης).

FDH: Formic dehydrogenase (Φορμική αφυδρογονάση).

FERC: Federal Energy Regulatory Commission (Ομοσπονδιακή Ρυθμιστική Επιτροπή Ενέργειας).

GC: Gas chromatography (Αέριος χρωματογράφος).

GC-FID: Gas Chromatography – flame ionized detector (Αέρ. Χρωμ. – ανιχνευτής ιονισμού φώγας).

gr/l: Gramm per liter (Γραμμάρια το λίτρο).

Gt/year: Giga tones per year (Γίγατόνοι ανά χρόνο).

HCHO: Formaldehyde (Μεθανάλη).

HCOOH: Formic acid (Μεθανικό οξύ).

HCs: Hydrocarbons (Υδρογονάνθρακες).

HPLC: High Pressure Liquid Chromatography (Υγρή χρωματογραφία υψηλής πίεσης).

IEA: International Energy Agency (Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας).

IETA: International Emissions Trading Association (Διεθνής Ένωση Εμπορίας Εκπομπών).

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change (Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος).

IR: Infrared radiation (Υπέρυθρη ακτινοβολία).

kcal/kg: Kilocalories per kilos (Χιλιοθερμίδες ανά κιλό).

Kg: Kilograms (Κιλά).

KWh: Kilo watt per hour (Χιλιάδες βατ ανά ώρα).

LNG: Liquefied natural gas (Υγροποιημένο φυσικό αέριο).

Mj/Kg: Mega joule per kilos (Εκατομμύρια τζάουλ ανά κιλό).

Mj/Nm³: Mega joule per normal cubic meter (Εκατομμύρια τζάουλ ανά κανονικά κυβικά μέτρα).

ml/h: milliliter per hour (χιλιοστόλιτρα ανά ώρα).

ml/min: milliliters per minutes (χιλιοστόλιτρα ανά λεπτό).

mM: milli Mole

Mt: Mega tones (Μέγα τόνοι).

Mtoe: Million Tonnes of Oil Equivalent (Εκατομμύρια τόνοι ισοδυνάμου πετρελαίου).

MW: Molecular weight (Μοριακό Βάρος).

MWh: Mega watt per hour (Εκατομμύρια βατ την ώρα).

NaCl: Sodium Chloride (Χλωριούχο νάτριο).

NMS: Nitrate mineral salts medium.

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration (Εθνική Υπηρεσία για τους Ωκεανούς και την Ατμόσφαιρα).

NOx: Nitrogen oxides (Οξειδία του αζώτου).

NRDC: Natural Resources Defense Council (Ινστιτούτο Υπεράσπισης των Φυσικών Πόρων).

OGP: International Association of Oil and Gas Producers (Διεθνής Ένωση Παραγωγών Πετρελαίου και Αερίου).

PAHs: Polycyclic aromatic hydrocarbon (Πολύκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες).

pH: Ενεργός οξύτητα.

ppb: Parts per billion (μέρη ανά δισεκατομμύριο).

ppm: Parts per million (μέρη ανά εκατομμύριο).

ppt: Parts per thousands (Μέρη ανά χιλιάδες).

psi: Pounds per Square Inch (Λίβρες ανά τετραγωνική ίντσα).

SEPA: Scottish Environment Protection Agence (Σκωτσέζικος Οργανισμός Προστασίας του Περιβάλλοντος).

SO₂: Sulfur dioxide (Διοξύδιο του θείου).

Tg/year: Terra grams per year (Τρισεκατομμύρια γραμμάρια ανά χρόνο).

TWh: Terra watt per hour (Τρισεκατομμύρια βατ την ώρα).

UNCCD: United Nations Convention to Combat Desertification (Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για την καταπολέμηση της απερίμωσης).

UNEP: United Nations Environment Program (Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον).

v/v: volume per volume percentage (Όγκος ανά όγκο).

VOCs: Volatile organic compounds (Πτητικές οργανικές ενώσεις).

WCED: World Commission on Environment and Development (Παγκόσμια Επιτροπή για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη).

WHO: World Health Organization (Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας).

He: Helium (Ήλιον).

IETA: International Emissions Trading Association (Διεθνείς Ένωσης Εμπορίας Εκπομπών).

M/atm: Molar concentration per atmosphere (Henry's law solubility) (Μοριακή συγκέντρωση ανά ατμόσφαιρα).

μm: Wavelength - micrometer (Μήκος κύματος – μικρόμετρο).

ΑΕΠ: Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν.

Ε.Ε: Ευρωπαϊκή Ένωση.

ΑΠΕ: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

ΔΕΠΑ: Δημόσια επιχείρηση αερίου.

ΣΑΛΑ: Συμβούλιο αποχετεύσεων Λεμεσού – Αμαθούντας.

ΣΚΕ: Σταθμισμένο κόστος ενέργειας.

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

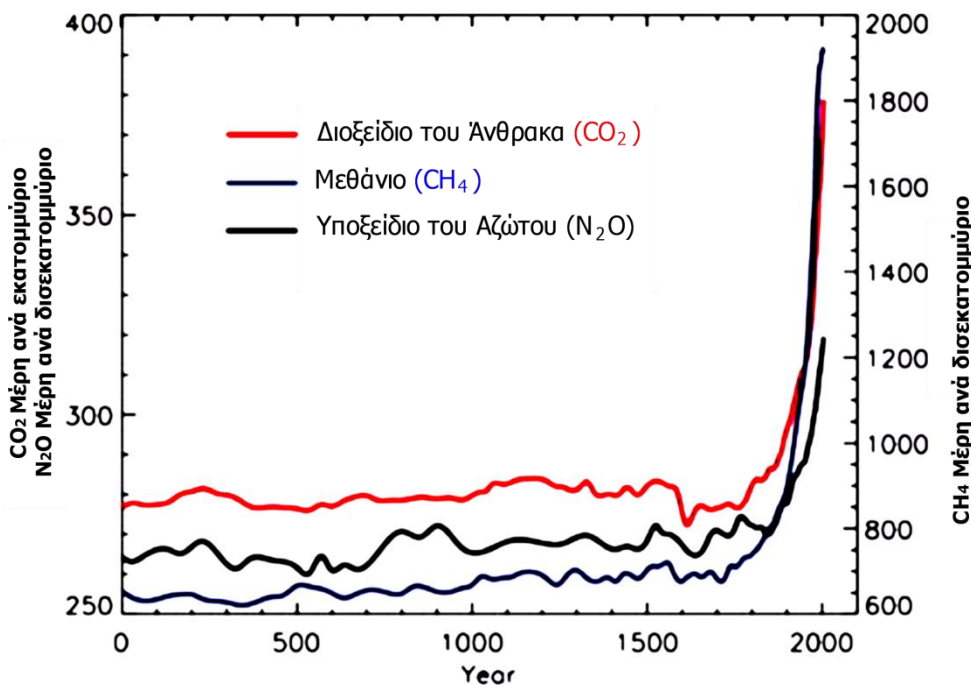
Το φυσικό περιβάλλον στα τεσσεράμισι δισεκατομμύρια χρόνια της ιστορίας του πλανήτη παρουσίασε διαφοροποιήσεις όσον αφορά το κλίμα σε διαφορετικές γεωλογικές περιόδους. Σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία (Alverson et al., 2003, Bradley, 1999) οι διαφοροποιήσεις αυτές, προκύπτουν από «εξωτερικούς» παράγοντες που δεν σχετίζονται με τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες και σε «εσωτερικούς» παράγοντες. Στους εξωτερικούς παράγοντες εμπίπτει η δραστηριότητα του ήλιου αλλά καθώς και η τροχιακές παράμετροι της Γής, δηλαδή η κλίση του άξονα περιστροφής της, η εκκεντρότητα της τροχιάς και η μετάπτωση των ισημερινών. Στους εσωτερικούς παράγοντες περιλαμβάνονται οι διεργασίες αλληλεπίδρασης μεταξύ του συστήματος λιθόσφαιρα-υδρόσφαιρα-ατμόσφαιρα-κρυόσφαιρα και βιόσφαιρας, αλλά και οι αλλοιώσεις που προκύπτουν εξαιτίας των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στο πρωτογενές φυσικό περιβάλλον.

Για την επίδραση των «εξωτερικών» παραγόντων στην κλιματική αλλαγή και στις διακυμάνσεις της συγκέντρωσης του CO₂ , CH₄ και της ηλιακής δραστηριότητας, πλήθος επιστημονικών εργασιών δημοσιεύτηκαν, που πραγματεύονται την φυσική μεταβολή του κλίματος και την περιοδικότητα αυτού να εναλλάσσεται από ψυχρό σε θερμό και αντίστροφα (Tzedakis, 2010, Ruddiman, 2007, Broecker and Stocker, 2006, Masson-Delmotte et al., 2006, Loutre and Berger, 2003, Loutre and Berger, 2000, Berger et al., 1998, Berger and Loutre, 1991, Chroll, 1875, Milankovitch, 1941). Πρώτος, ο Adhémar (1842) μίλησε για την επίδραση των τροχιακών παραμέτρων της Γης στο κλίμα, επισημαίνοντας την σημασία τους στις μακροχρόνιες κλιματικές μεταβολές. Αν και πλήθος εργασιών πιστοποίησαν την μεταβλητότητα του κλίματος ανάλογα με τις περιοδικές συχνότητες σε ψυχρές και θερμές περιόδους και αντίστροφα με βάση

παλαιοκλιματικούς δείκτες, παρόλα αυτά, τις τελευταίες δεκαετίες η επιστημονική κοινότητα βλέπει με σκεπτικισμό την συνεισφορά των «εξωτερικών» παραγόντων στην μεταβολή του κλίματος. Σύμφωνα με τους Scafetta και West (2006), η θέρμανση του πλανήτη την περίοδο 1900-1980 οφείλεται κατά 75% στην ηλιακή ακτινοβολία, ενώ για την περίοδο 1980-2000 μόνο ένα ποσοστό τις τάξεως του 30% οφείλεται στην ηλιακή δραστηριότητα. Σημαντικός αριθμός ερευνητών (Steinhilber et al., 2009, Wanner et al., 2008, Bard and Frank, 2006) εκφράζουν την επιφυλακτικότητά τους ως προς την φυσική ερμηνεία της κλιματικής αλλαγής και την επίδραση της ηλιακής δραστηριότητας σε αυτό. Πιστεύεται ότι, οι μεταβολές της ηλιακής δραστηριότητας δεν έχουν αισθητή επίδραση στο κλίμα κατά το Τεταρτογενές και την υπερθέρμανση του πλανήτη σήμερα και υποστηρίζουν ότι οι «εξωτερικοί» παράγοντες ασκούν μία δευτερεύουσα επίδραση που συμβάλλει μόνο σε μικρές διακυμάνσεις του κλίματος. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι μελέτες της μεταβλητότητας του κλίματος, πραγματοποιούνται με βάση τη μελέτη των κλιματικών δεικτών αλλά και με έμμεσο τρόπο από τις μεταβολές της συγκέντρωσης των κοσμικής ακτινοβολίας ισοτόπων (Οξυγόνου, βυριλλίου, άνθρακα) σε πολιτικούς πάγους και δακτυλίους δέντρων (Wanner et al., 2008, Wang et al., 2005, Fleitmann et al., 2003, Bond et al., 2001, Karlén and Kyulenstierna, 1996).

Οι «εσωτερικοί» παράγοντες που συμβάλλουν στην κλιματική αλλαγή είναι αυτοί που σχετίζονται με την ανθρωπογενή δραστηριότητα και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με την διακυβερνητική επιτροπή για την αλλαγή του κλίματος (IPCC, 2007), από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα παρατηρείται μία αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας η οποία συνεχίζεται μέχρι και τις μέρες μας, με μικρές διακυμάνσεις. Η ίδια επιτροπή επισημάνει επίσης, ότι κατά τον 20^ο αιώνα, ο μέσος ρυθμός θέρμανσης της ατμόσφαιρας ήταν 0,7°C κάθε 100 χρόνια. Σύμφωνα με τον Hegerl et al. (2011) η προαναφερθείσα αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας τα τελευταία 150 χρόνια, αποδίδεται στην αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου και ειδικότερα του διοξειδίου του άνθρακα και του μεθανίου λόγω ανθρωπογενών παραγόντων. Σύμφωνα με την Αμερικανική Εταιρία Χημείας (American Chemistry Society, 2019) η αύξηση των θερμοσκοπικών αερίων (CO₂, CH₄) αποδίδεται κατά μεγάλο ποσοστό στις ανθρώπινες δραστηριότητες και ειδικότερα μετά την βιομηχανική επανάσταση (1760-1860) που παρατηρήθηκε μία υπέρμετρη παραγωγική δραστηριότητα που αποσκοπούσε στη μεγιστοποίηση των καταναλωτικών αγαθών (μηχανές, ενδύματα, τρόφιμα). Με βάση

την ίδιο πηγή επισημαίνεται επίσης ότι, οι συγκεντρώσεις CO₂ και CH₄ δεν είχαν ξεπέρασαν ποτέ τα 280 ppm και 790 ppb αντίστοιχα τους τελευταίους δύο αιώνες. Οι τρέχουσες συγκεντρώσεις CO₂ είναι περίπου 390 ppm και τα επίπεδα CH₄ ξεπερνούν τα 1.770 ppb (Διάγραμμα 1.1). Αναφέρεται επίσης, ότι οι δύο αυτοί αριθμοί είναι κατά πολύ υψηλότεροι από οποιαδήποτε άλλη στιγμή κατά τα τελευταία 650.000 χρόνια.



Διάγραμμα 1.1: Οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα και του μεθανίου και η απότομη ανοδική τους πορεία από τη βιομηχανική επανάσταση (1760-1860) μέχρι και σήμερα (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: IPCC Fourth Assessment Report, Chapter 2, 2007).

Βέβαια, θα πρέπει να αναφερθεί ότι τέτοιου είδους υψηλές τιμές διοξειδίου του άνθρακα έχουν παρατηρηθεί και κατά την περίοδο του Πλειοκαίνου, δηλαδή πριν από 5,2-2,6 εκατομμύρια χρόνια. Σύμφωνα με το Seki et al. (2010) κατά αυτή την γεωλογική περίοδο οι συγκεντρώσεις του CO₂ ανέρχονταν σε 330-400 ppm και οι θερμοκρασίες ήταν υψηλότερες από σήμερα κατά 2-3 βαθμούς κελσίου. Αν και η αύξηση του CO₂ μπορεί να ερμηνευθεί και από ποικίλα γεωλογικά γεγονότα, φυσικές διεργασίες και φυσικής προέλευσης μεταβολές του συστήματος ατμόσφαιρας-υδρόσφαιρας και να συσχετιστεί με αυτά, σύμφωνα με τη Γεωλογική Εταιρία του Λονδίνου (Geological Society of London, 2010) όποια και αν είναι η αιτία αύξησης του CO₂, αυτό επιφέρει και την υπερθέρμανση του πλανήτη, με αλυσιδωτές αρνητικές επιπτώσεις. Μερικές από τις

αρνητικές επιπτώσεις όπως αυτές παρουσιάζονται στην διεθνή βιβλιογραφία είναι η αύξηση της στάθμης της θάλασσας (Alverson et al., 2003), η υποχώρηση του επιπέδου του διαλυμένου οξυγόνου στα ύδατα (Keeling et al., 2010), η αύξηση της οξύτητας των ωκεανών (Caldeira and Wickett, 2003, Barker and Elderfield, 2002) και η δημιουργία της όξινης βροχής. Το 2007 καταγράφετε η ενεργός οξύτητα (pH) των νερών τις βροχής σε 5,68 και τα μαθηματικά μοντέλα κάνουν μία εκτίμηση για το 2100 όπου η ενεργός οξύτητα θα πέσει στο 5,49 (Robert et al., 2008). Σύμφωνα με τον Οργανισμό Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (U.S. Environmental Protection Agency, 2019) η όξινη βροχή είναι σημαντικό να περιοριστεί, λόγω των αρνητικών επιπτώσεων που έχει στα δάση, τα ποτάμια αλλά παράλληλα συμβάλλει και στην υποβάθμιση υλικοτεχνικών υποδομών όπως κτήρια αλλά και στη καταστροφή των ιστορικών μνημείων.

Πέραν από την περιβαλλοντική διάσταση, η αύξηση των θερμοσκοπικών αερίων (CO₂, CH₄) που επηρεάζουν την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη και γενικότερα η κλιματική αλλαγή επηρεάζει και τους άλλους δύο πυλώνες της αειφορίας, πέραν από τον περιβαλλοντικό, που είναι ο κοινωνικός και οικονομικός πυλώνας.

Στον κοινωνικό δείκτη μπορεί να ενταχθεί η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη υγεία των ανθρώπων. Η κλιματική αλλαγή μπορεί να μεταβάλει μία σειρά από δεδομένα που σχετίζονται με την υγεία και την ευημερία των λαών με άμεσο και έμμεσο τρόπο. Στις άμεσες επιπτώσεις εντάσσονται η θερμοκρασία, οι βροχοπτώσεις, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, ενώ στις έμμεσες εντάσσονται η ποιότητα του πόσιμου νερού, οι μεταβολές στα οικοσυστήματα και άλλα (WHO, 2003). Με βάση επιδημιολογικά στοιχεία του 2000, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (2003) αναφέρει ότι το 2,4% των κρουσμάτων διάρροιας παγκόσμιος καθώς και το 6% των κρουσμάτων ελονοσίας σε κάποιες χώρες είναι συνεπακόλουθο της κλιματικής αλλαγής. Σύμφωνα με την ίδια πηγή, η άνοδος της θερμοκρασίας κατά ένα βαθμό κελσίου αναμένετε να επιφέρει αύξηση της θνησιμότητας κατά 1-4% ανάμεσα στους Ευρωπαίους πολίτες. Δηλαδή, σε αύξηση των θανάτων κατά 30,000 περισσότερους κάθε χρόνο έως την δεκαετία του 2030 και κατά 50,000 έως 110,000 θανάτους ετησίως μέχρι τη δεκαετία του 2080. Πέραν από τα πιο πάνω, σύμφωνα με τις υγειονομικές αρχές των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής, η ανθρωπογενής συνιστώσα της κλιματικής αλλαγής μπορεί να συνδέεται και από μία σειρά ασθενειών όπως είναι το άσμα, οι αναπνευστικές

αλλεργίες, οι τροφιμογενείς ασθένειες και λοιμώξεις, οι βλάβες στη ψυχική υγεία, διαταραχές άγχους, νευρολογικές παθήσεις και άλλα. Επηρεαζόμενοι από τις πιο πάνω ασθένειες είναι όλοι οι άνθρωποι και ειδικότερα αυτοί που εντάσσονται στις ευάλωτες ομάδες πληθυσμού όπως παιδιά και ηλικιωμένοι (CDC, 2009).

Όσον αφορά τις ιδιαιτερότητες των οικονομικών στην κλιματική αλλαγή και την διαφοροποίηση αυτών, επηρεάζοντας έτσι τον οικονομικό πυλώνα της αειφορίας, οι απόψεις δίστανται. Σύμφωνα με τους Field και Canziani (2014) για να προσδιορίσουμε αν οι κλιματικές αλλαγές είναι επιζήμιες, μεγάλες ή μικρές εξαρτάτε από τον τομέα, τον τόπο και το χρόνο που εξετάζονται και είναι πολύ δύσκολο να κατανοήσουμε τις πολλές και διαφορετικές πτυχές. Ο Pindyck (2013) υποστηρίζει ότι αυτές οι εκτιμήσεις των οικονομικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής δεν έχουν καμιά βάση στην οικονομική θεωρία. Επίσης, ο Heal (2017) συμπληρώνει ότι, τα μοντέλα που χρησιμοποιούμε σήμερα δεν είναι αρκετά ακριβή για να παρέχουν ποσοτικές γνώσεις επί του ζητήματος και μαζί με τον Pindyck (2013) συμφωνούν ότι οι πολιτικές για το κλίμα πρέπει να χαράζονται με βάση μία πιο διαισθητική προσέγγιση. Από την άλλη, ο Ackerman (2009) σχετικά με τις πολιτικές για το κλίμα πιστεύει ότι, ο φόβος που επικρατεί ότι οι υπέρμετρες προσπάθειες για την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μπορούν να επιφέρουν υψηλό κόστος το οποίο να υπερβαίνει τις εκτιμήσεις σε σχέση με το αναμενόμενο όφελος, είναι απλά μία υπόθεση. Υποστηρίζει επίσης, ότι η λήψη αποφάσεων μόνο όταν το όφελος υπερβαίνει το κόστος είναι ένας εύλογος κανόνας, αλλά επιφανειακός. Ακόμη και αν μία οικονομική ανάλυση εφαρμόζεται με θετικό πρόσημο, εξακολουθεί να έχει μια ενσωματωμένη προκατάληψη. Σύμφωνα με τον Stern (2008, 2007), η αβεβαιότητα στην πιθανότητα η κλιματική αλλαγή να είναι καταστροφική, υπονομεύει τις προσπάθειες για ουσιαστικό υπολογισμό του οφέλους και του κόστους και ο Weitzman σε μία σειρά από εργασίες του (2012, 2010^b, 2009^b, 2009^c, 2009^d), επιρρίπτει την ευθύνη σχετικά με την δυσκολία υπολογισμού του οφέλους και του κόστους στην ικανότητα των ολοκληρωμένων μαθηματικών προτύπων αξιολόγησης, να παρέχουν ακριβείς εκτιμήσεις ώστε να συνεισφέρουν αποτελεσματικά στη διαμόρφωση μίας πολιτικής για την αντιμετώπιση του θέματος. Παντός, ο ίδιος υποδεικνύει ότι έστω και αν οι ζημιές από την κλιματική αλλαγή είχαν μικρή επέλευση, θα μπορούσαν να είναι τόσο ισχυρές με αποτέλεσμα σε κάθε περίπτωση το κόστος να υπερβαίνει το όφελος από την ανάληψη δράσης. Σύμφωνα με τον Phil et al. (2010) μία από τις πολιτικές που εφαρμόζονται στις μέρες

μας, στην προσπάθεια μείωσης των αέριων ρύπων είναι και η επιβολή φόρου. Οι επιβολές αυτές ποικίλουν και δύο από αυτές είναι η αύξηση του φόρου στα καύσιμα (Βενζίνη, γαιάνθρακα, ηλεκτρική ενέργεια) επιβάλλοντας έναν ονομαστικό «Φόρο του Άνθρακα» και η προσέγγιση «cap and trade» που αποτελεί ένα πολύπλοκο μοντέλο που περιλαμβάνει πιστώσεις ρύπων και αντισταθμίσεις. Οι φόροι αυτοί έχουν ως αποτέλεσμα της αύξηση της τιμής όλων των καταναλωτικών αγαθών αφού για την επεξεργασία και την διάθεση τους στα ράφια των καταστημάτων, απαιτείται ενέργεια που προέρχεται από το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο ή το κάρβουνο. Όσον αφορά τον όρο «cap and trade» σύμφωνα με την Διεθνής Ένωση Εμπορίας Εκπομπών (IETA, 2019) και την Ευρωπαϊκή Κομισιόν (2019) αποτελεί ένα σύστημα που ακολουθείται για την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και ένα πρότυπο για τη μέτρηση της περιβαλλοντικής προόδου. Με βάση αυτό το σύστημα τίθεται υποχρεωτικό όριο για κάθε ρυπαντική ουσία αλλά από την άλλη δίδεται και ένας σταθερός αριθμός δικαιωμάτων για κάθε εκπομπό αλλά και την ευκαιρία για εμπορία αερίων του θερμοκηπίου. Για τον ποιο πάνω λόγω ο Nordhaus (2019) περιγράφει την κλιματική αλλαγή ως καζίνο. Αναφέρει χαρακτηριστικά ότι ρίχνουμε τα κλιματικά ζάρια και το αποτέλεσμα που θα φέρουν πιθανός να μην είναι αυτό που περιμένουμε, δηλώνοντας επίσης ότι υπάρχει χρόνος να γυρίσουμε και να φύγουμε πίσω από το καζίνο. Η τιμή αγοράς του άνθρακα το 2010 σύμφωνα με τον Phil et al. (2010) ήταν γύρω στα 17 δολάρια ανά τόνο. Το 2009 η αγορά συναλλαγών άνθρακα ανήλθε στα 136 δισεκατομμύρια δολάρια σε αντίθεση με το 2007 που ήταν στα 58 δισεκατομμύρια. Τα 136 δισεκατομμύρια δολάρια αντιπροσωπεύουν 8,2 δισεκατομμύρια τόνους CO₂, δηλαδή περίπου το 1/4 των συνολικών εκπομπών ανά το παγκόσμιο. Οι αναλυτές πιστεύουν ότι η συναλλαγή του άνθρακα θα μπορούσε να φτάσει μέχρι τα 10 τρισεκατομμύρια δολάρια, δηλαδή μιλάμε για τιμές CO₂ ανά τόνο τα 300 δολάρια. Αυτό θα μπορούσε να ισοδυναμεί με ένα κόστος των 2500 δολαρίων επιπλέον κάθε χρόνο για βενζίνη και επιπλέον δασμό στην ηλεκτρική ενέργεια που θα ανέρχεται σε 30 σέντ ανά KWh. Πάντως ο Iverson et al. (2015) ισχυρίζεται ότι, καλύτερα να πληρώσουμε σήμερα 17,000 δολάρια για να αποτρέψουμε την δαπάνη 1^{ος} δισεκατομμυρίου σε δύο αιώνες από τώρα. Γενικά, οι οικονομολόγοι συγκλίνουν να συμφωνήσουν στο γεγονός ότι το κόστος μετριασμού της κλιματικής αλλαγής είναι μικρότερο του 1% του παγκόσμιου ΑΕΠ που κυμαίνεται μεταξύ 0,3% και 0,7% (Stern and Persson, 2008).

Συνοψίζοντας, με βάση τα πιο πάνω, εξάγετε το συμπέρασμα ότι η κλιματική αλλαγή που προκύπτει από την αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα και του μεθανίου επηρεάζει με αρνητικό πρόσημο τους τρεις αδιαχώριστους πυλώνες της αειφορίας, που είναι ο περιβαλλοντικός, ο κοινωνικός και ο οικονομικός πυλώνας. Πέραν από τις διάφορες θεωρίες για την κλιματική αλλαγή, με βάση τα γεωλογικά δεδομένα και τη θεωρία της φυσικής γίνεται γενικά αποδεκτό ότι η σημερινή αύξηση της θερμοκρασίας συμπίπτει με την ανθρωπογενούς προέλευσης απότομη αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα και η οποία αύξηση θα συμβάλει στην περεταίρω άνοδο της θερμοκρασίας του πλανήτη (Solomon et al., 2007). Η αύξηση αυτή, σύμφωνα με μία νέα μελέτη, ισοδυναμεί με αύξηση της θερμοκρασίας σε 3,2 °C όπως δείχνουν τα μαθηματικά μοντέλα (Andrew, 2018). Από την προαναφερθείσα αναμενόμενη αύξηση της θερμοκρασίας, θα επηρεαστούν περιοχές της Νότιας Ευρώπης. Επίσης έχει αναγνωριστεί ως ευάλωτη περιοχή σε ότι αφορά στις επιπτώσεις της ανθρωπογενούς συνιστώσας της κλιματικής αλλαγής και η ευρύτερη περιοχή της μεσογείου όπου βρίσκονται η Ελλάδα και η Κύπρος (Giorgi, 2006, Hulme et al., 1999). Σύμφωνα με τα Ηνωμένα Έθνη, περίπου 135 εκατομμύρια άνθρωποι ενδέχεται να εκτοπιστούν εξαιτίας της απερήμωσης μέχρι το 2045 (UNCCD, 2019).

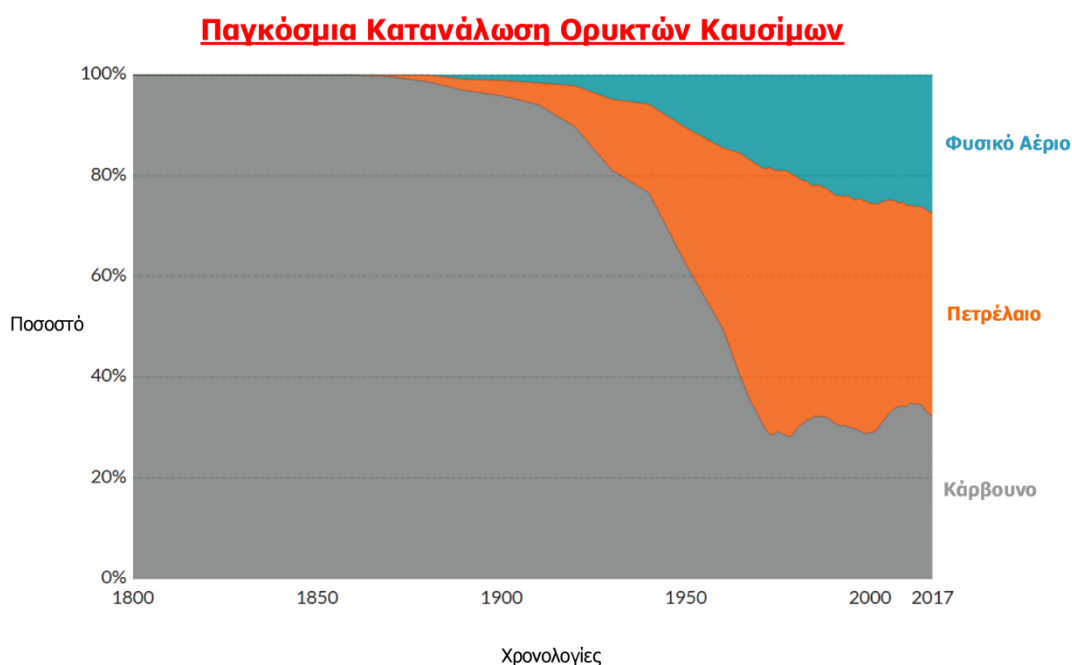
Η άγνοια του περιβαλλοντικού κινδύνου θα πρέπει να ανακοπή και η οριοθέτηση των κινδύνων από την κλιματική αλλαγή θα πρέπει να αποτελούν πρώτο μέλημα μας και μέτρο άμυνας. Επιπλέον στα πλαίσια της κοινωνικής πρόνοιας η όλη θεώρηση του προβλήματος συνιστά μέγιστο αίτημα εκπαίδευσης και σχεδιασμού επιλύσεως του σε εθνικό επίπεδο. Πολύ εύστοχα για σκοπούς εκπαίδευσης και ευαισθητοποίησης ο καθηγητής Paul Crutzen κάποια χρόνια πριν, χαρακτήρισε την τελευταία αυτή περίοδο που ζούμε ως «Ανθρωπόκαινος Περίοδος» (Crutzen, 2002). Ο όρος αυτός επινοήθηκε σε μία περίοδο όπου η ανθρωπότητα συνειδητοποίησε ότι οι δραστηριότητες της επί της γης αλλάζουν τον πλανήτη σε μία κλίμακα συγκρίσιμη με κάποια από τα σημαντικότερα γεγονότα στο γεωλογικό χρόνο. Ως εκ τούτου, ο όρος άρχισε να χρησιμοποιείται ευρέως από τους επιστήμονες (Syvitski et al., 2005) με αποτέλεσμα, το 2008 η Γεωλογική Εταιρία του Λονδίνου να αποφασίζει ότι ο όρος «Ανθρωπόκαινος» θα πρέπει να ενταχθεί στην κλίμακα του γεωλογικού χρόνου (Zalasiewicz et al., 2008).

1.2 Καταγραφή προβλήματος

Με βάση τα στοιχεία του υποκεφαλαίου 1.1 γίνεται αντιληπτό το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής λόγω της αύξηση των θερμοσκοπικών αερίων και συγκεκριμένα του διοξειδίου του άνθρακα και του μεθανίου, καθώς και των αρνητικών επιπτώσεων που επιφέρει η αύξηση αυτή, διαταράσσοντας έτσι τους πυλώνες της αειφορίας (περιβάλλον, κοινωνία, οικονομία). Η αύξηση αυτή, κατά κύριο λόγο οφείλεται στην εφαρμογή, εδώ και δεκαετίες, ενός σπάταλου και ρυπογόνου μοντέλου που επιδεινώνει την οικολογική κρίση. Σύμφωνα με το Αμερικάνικο Ινστιτούτο Περιβαλλοντικών και Ενεργειακών Μελετών (EESI, 2019), τα ορυκτά καύσιμα όπως το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και το κάρβουνο καταλαμβάνουν ακόμη κυρίαρχη θέση ανά το παγκόσμιο ως πηγές για την παραγωγή ενέργειας. Η Υπηρεσία Πληροφοριών για Θέματα Ενέργειας των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (EIA, 2019) αναφέρει ότι, η χρήση των ορυκτών καυσίμων στην παραγωγή ενέργειας το 2018 ανερχόταν στο 78%, ενώ για την Ευρώπη, η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος (European Environment Agency, 2019) μας παρουσιάζει ότι, αν και το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας διπλασιάστηκε από το 2005 μέχρι το 2016 από 7% σε 14%, παρόλα αυτά, η χρήση των ορυκτών καυσίμων παρέμεινε σε υψηλά επίπεδα που ανερχόταν στο 72% το 2016 στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Αυτό πιθανότατα να οφείλεται στην αύξηση του πληθυσμού αφού σύμφωνα με την ίδια πηγή, τα τελευταία χρόνια ο πληθυσμός της Ευρώπης έχει αυξηθεί σημαντικά. Επίσης, γίνεται αναφορά για την εξάρτηση της ΕΕ από τρίτες χώρες στις εισαγωγές ορυκτών καυσίμων και μάλιστα με ελαφρώς ανοδική τάση. Από το 52% το 2005 ανήλθε στο 54% το 2016. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι το μεγαλύτερο ποσοστό αυτών των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας χρησιμεύει για την παραγωγή κυρίως ηλεκτρικής ενέργειας η οποία χαρακτηρίζεται ως ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη, την πρόοδο, την γενική καλυτέρευση του συνολικού τρόπου ζωής και την παγκόσμια οικονομία (Nicolaidis et al., 2018). Σύμφωνα με στοιχεία της Παγκόσμιας Τράπεζας (The World Bank, 2019) η παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από τα ορυκτά καύσιμα σε ποσοστό της τάξεως του 65,236%. Όσον αφορά την Κύπρο, η Eurostat (2019) παρουσιάζει την Κύπρο, ως μία χώρα που είναι πλήρως εξαρτημένη από τις εισαγωγές πετρελαίου και 5^η μεταξύ των 28 χωρών της ΕΕ. Το Αμερικάνικο Ινστιτούτο Υπεράσπισης των Φυσικών Πόρων (NRDC, 2019) παντός, χαρακτηρίζει τα ορυκτά καύσιμα ως «Βρώμικα» και πιστεύει ότι θα πρέπει να «πολεμηθούν». Σύμφωνα με την Perera (2017), η καύση αυτή των ορυκτών καυσίμων δημιουργεί τοξικά

παραπροϊόντα καύσης τα οποία αποτελούν τη σημαντικότερη απειλή για την υγεία και το μέλλον των παιδιών και συνεισφέρουν σημαντικά στην παγκόσμια ανισότητα και την περιβαλλοντική αδικία. Επίσης αναφέρει, ότι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα που προκύπτουν από την καύση αυτή προκαλούν την αλλαγή του κλίματος.

Η παγκόσμια κατανομή στην χρήση των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από το 1800 μέχρι 2017 είναι αυτή όπως παρουσιάζεται στο διάγραμμα 1.2.



Διάγραμμα 1.2: Συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας από ορυκτά καύσιμα και τα ποσοστά συνεισφοράς τους από το 1800-2017. (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: Vaclav, 2017).

Σύμφωνα με τον Vaclav (2016), και με βάση στοιχεία από την Beyond Petroleum (2018), η συνεισφορά των ορυκτών καυσίμων στην παγκόσμια κατανάλωση για το 2017 ήταν στο 27,42% για το φυσικό αέριο, στο 40,16% για το πετρέλαιο και 32,42% για το κάρβουνο. Ένα αιώνα πριν, η συνεισφορά του κάρβουνου για την παραγωγή ενέργειας ανερχόταν σχεδόν στο 100%. Με βάση το διάγραμμα 1.2, παρατηρείτε ότι το κάρβουνο κάποιες δεκαετίες πριν υπερείχε έναντι των άλλων ορυκτών καυσίμων λόγω του ότι η εξόρυξη του είχε μια μακρά παράδοση στο να παρέχει θέσεις εργασίας. Πέραν από αυτό, πολλές αναπτυσσόμενες χώρες χρησιμοποιούσαν τον άνθρακα για να παράγουν ενέργεια φτηνά και με τους δικούς τους πόρους (Lloyd, 2017). Σύμφωνα με

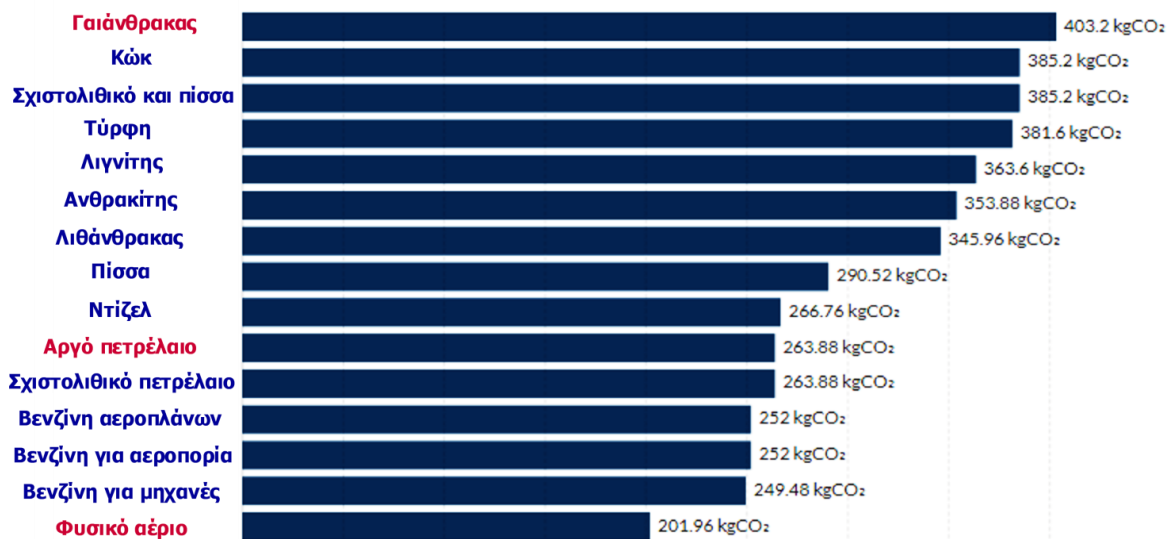
το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο (2019) η εργοδότηση ατόμων στον τομέας της εξόρυξης άνθρακα μόνο στην Ευρωπαϊκή Ένωση ανέρχεται στα 238.000 άτομα.

Ο Betz et al. (2014) ορθά πιστεύει ότι ο τομέας της εξόρυξης του κάρβουνου φαίνεται να είναι σε παρακμή τις τελευταίες δεκαετίες λόγω των κανονισμών για την ποιότητα του αέρα, αφού το ενωσιακό πρόγραμμα επιβάλλει μείωση των αέριων του θερμοκηπίου κατά 80% μέχρι το 2050 (European Parliament, 2019). Από την άλλη, οι Myhrvold και Caldeira (2012), αμφιβάλλουν ότι το μοντέλο χαμηλών ρύπων που προτείνεται θα έχει αποτελέσματα, αφού σύμφωνα με τους ίδιους, οι υποδομές που βασίζονται στο κάρβουνο θα συνεχίσουν να εκπέμπουν σημαντικές ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου μέχρι την σταδιακή κατάργησή τους. Πάντως, με βάση μία πρόσφατη μελέτη, οι Oczkowska και Pellerin-Carlin (2019) ισχυρίζονται ότι αν και η μετάβαση μας από το κάρβουνο σε άλλες μορφές ενέργειας είναι προβληματική για οικονομικούς και πολιτικούς λόγους παρόλα αυτά το κάρβουνο αποτελεί παρελθόν.

Για τον υπολογισμό του ποσοστού των αερίων του θερμοκηπίου που εκλύονται στην ατμόσφαιρα κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων, η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC, 2006), στο κεφάλαιο 2 στην έκδοση για τις κατευθυντήριες γραμμές για τα εθνικά αποθέματα αερίων θερμοκηπίου παραθέτει διάφορες εξισώσεις για τον υπολογισμό διαφόρων παραμέτρων όπως είναι ο υπολογισμός των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου με βάση το καύσιμο ή την τεχνολογία που εφαρμόζεται για την καύση αυτή. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 1.3 που παρουσιάζει το συντελεστής εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε κιλά (Kg) ανά μεγαβάτ-ώρα (MWh) ενέργειας που παράγεται από μια δεδομένη πηγή ορυκτού καυσίμου κατά την καύση του (Our World in Data, 2019), γίνεται αντιληπτό ότι, το φυσικό αέριο αποτελεί το πιο «καθαρό» καύσιμο από τα άλλα μη ανανεώσιμα, δεδομένου ότι κατά την καύση του εκλύονται λιγότερα ποσοστά CO₂. Επίσης, βλέποντας τις τιμές της θερμογόνου δύναμης των ορυκτών καυσίμων (συμπεριλαμβάνεται το υδρογόνο και η μεθανόλη) που παρατίθενται από το Παγκόσμιο Σωματείο για την Πυρηνική Ενέργεια (World Nuclear association, 2018) παρατηρούμε ότι μεταξύ των τριών κύριων ορυκτών καυσίμων (κάρβουνο-πετρέλαιο-φυσικό αέριο), το φυσικό αέριο παρουσιάζει την μεγαλύτερη θερμογόνο δύναμη που κυμαίνεται από 42-55 μέγα-τζάουλ ανά κιλό (Mj/Kg) (Πίνακας 1.1). Παράλληλα, λαμβάνοντας υπόψη και τα οικονομικά στοιχεία, με βάση τις σημερινές τρέχουσες τιμές

(2019) διαπιστώνεται ότι το φυσικό αέριο είναι οικονομικότερο από το αργό πετρέλαιο τύπου “Brent” αφού το αργό έχει 63,37 δολάρια το βαρέλι (\$/bbl) ενώ το φυσικό αέριο είναι στα 10,75 δολάρια ανά εκατομμύρια κυβικά πόδια (\$/Mcf) (IEA, 2019).

Συντελεστής εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, kg CO₂ ανά MWh



Διάγραμμα 1.3: Ο συντελεστής εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), μετρούμενος σε κιλά CO₂ που παράγεται ανά μεγαβάτ-ώρα (MWh) ενέργειας από διάφορα ορυκτά καύσιμα. (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: Our World In Data, 2019).

Ηδρογόνο H ₂	120-142 MJ/Kg
Μεθάνιο CH ₄	50-55 MJ/Kg
Μεθανόλη CH ₃ OH	22,7 MJ/Kg
Αργό Πετρέλαιο	42-47 MJ/Kg
LPG	46-51 MJ/Kg
Φυσικό Αέριο	42-55 MJ/Kg
Γαϊάνθρακας	≈23,9 MJ/Kg
Ριάκτορας Ουρανίου	500 GJ/Kg

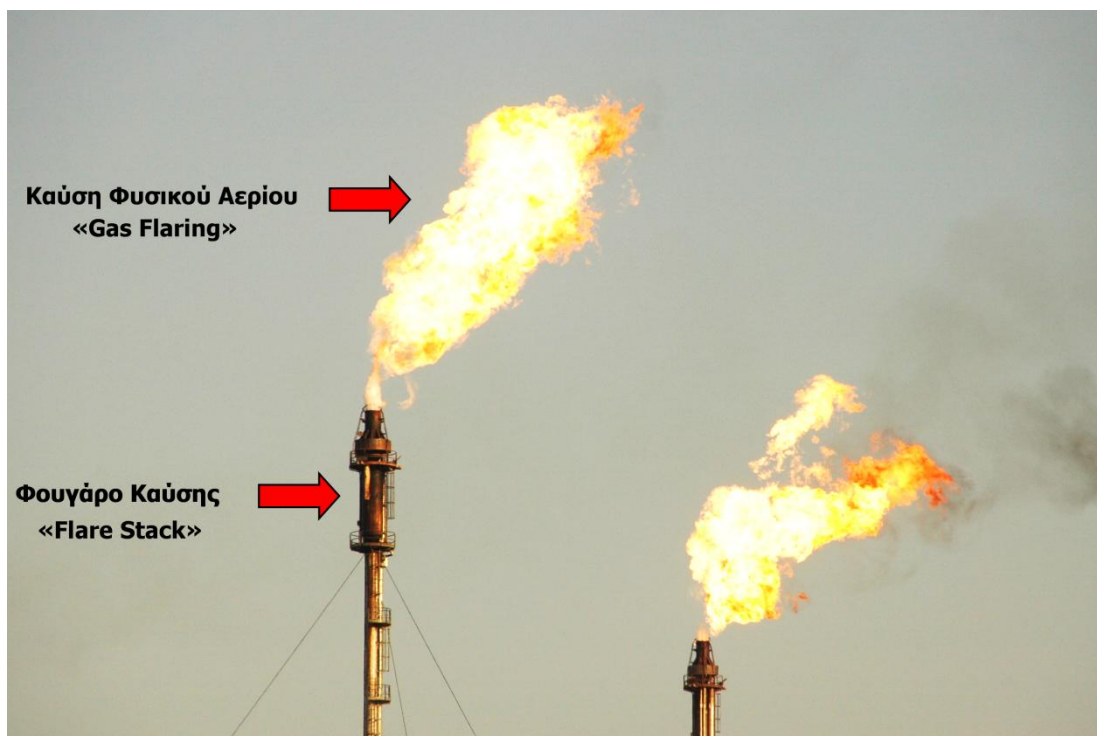
Πίνακας 1.1: Η ενεργειακή ή θερμαντική αξία διαφόρων καυσίμων και του ουρανίου εκφρασμένη σε Τζάουλ (J) ανά κιλό (Kg) (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: World Nuclear Association, 2018).

Με βάση τα πιο πάνω δεδομένα, διαπιστώνεται ότι, αν και το φυσικό αέριο παρουσιάζει πολλαπλά πλεονεκτήματα όσον αφορά την θερμογόνο δύναμη, την τιμή αλλά και την μικρότερη συνεισφορά του στις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα κατά την καύση του, παρόλα αυτά, η συμμετοχή του στην παγκόσμια κατανάλωση ορυκτών καυσίμων ανέρχεται μόλις το 27,42%, όπου ισχυρός «παίκτης» εξακολουθεί να είναι το πετρέλαιο. Πιθανότατα, οι λόγοι που καθιστούν το πετρέλαιο κυρίαρχο καύσιμο έναντι του φυσικού αερίου είναι η φύση του καυσίμου αυτού. Σύμφωνα με το Υπουργείο Ενέργειας και Περιβάλλοντος της Ελλάδος (2019) το Φυσικό Αέριο είναι ένα μείγμα καυσίμων αερίων που βρίσκεται στο υπεδάφους μαζί με άλλα ορυκτά καύσιμα με κύριο συστατικό το μεθάνιο. Λόγω λοιπόν της φύσης του ως αέριο, σε κάποιες περιπτώσεις, οι βιομηχανίες το καίνε ανεξέλικτα (Gas Flaring) σε ειδικές καμινάδες (Ajumwo, 2013) αφού για αυτές δεν έχει καμία χρησιμότητα. Οι Ite και Ibok (2013) αναφέρουν ότι η ανεξέλικτη αυτή καύση (Gas Flaring) πραγματοποιείται πάρα πολύ συχνά στην βιομηχανία του πετρελαίου. Οι λόγοι για την καύση ποικίλουν. Σύμφωνα με τον Ritter et al. (2010), η καύση του αερίου είναι απαραίτητη για θέματα ασφαλείας στην βιομηχανία του πετρελαίου και του φυσικού αερίου. Η καύση αυτή αποτρέπει την ανεξέλικτη διαφυγή του φυσικού αερίου στην ατμόσφαιρα αλλά προστατεύεται και ο εξοπλισμός από τις υψηλές πιέσεις. Βέβαια, θα πρέπει να αναφερθεί ότι, πέραν από τα πιο πάνω θέματα ασφαλείας που προκύπτουν κατά την διαδικασία της εξόρυξης των υδρογονανθράκων, η παραγωγή του πετρελαίου έχει πάντοτε προτεραιότητα έναντι του φυσικού αερίου, με αποτέλεσμα το αέριο να χαρακτηρίζεται ως «waste» και να καίγεται καθ' όλη τη διάρκεια των εργασιών που πραγματοποιούνται στις πλατφόρμες (Hamsö, 2013). Επιπλέον, σύμφωνα με την έκθεση αριθ. 2.79 / 288, Ιανουάριος 2000, της Διεθνούς Ένωσης Παραγωγών Πετρελαίου και Αερίου, η καύση φυσικού αερίου είναι απαραίτητη και κατά τη διάρκεια των "δειγματοληπτικών δοκιμών" και η σημαντικότητα της έγκειται στο γεγονός ότι με αυτό τον τρόπο εξάγονται στοιχεία για την παραγωγικότητα της γεώτρησης. Ένας άλλος σημαντικός λόγος, που έχει αναφερθεί και πιο πάνω, είναι η φύση του υλικού αυτού. Ως αέριο, υπάρχει δυσκολία στην αποθήκευση και την μεταφορά του (Ajumwo, 2013). Όσον αφορά την μεταφορά του, η χρήση αγωγών είναι αναγκαία και όπου δεν υπάρχουν οι υποδομές αυτές αναγκαστικά εφαρμόζονται μέθοδοι για την υγροποίηση του, για μεταφορά και αποθήκευση. Σύμφωνα με το Moon et al. (2014) για μικρές αποστάσεις το φυσικό αέριο διακινείται με αγωγούς στην αέρια φάση του. Για την εμπορία του σε μεγαλύτερες αποστάσεις χρειάζεται η εφαρμογή μεθόδων υγροποίησης όπου και ο

όγκος του αερίου μειώνεται γύρω στο 1/600. Ωστόσο, για την υγροποίηση αυτή χρειάζονται χαμηλές θερμοκρασίες (κάτω από -160 °C) με αποτέλεσμα να καθίσταται η μέθοδος αυτή πολύ ενεργοβόρα. Όσον αφορά τους αγωγούς μεταφοράς του φυσικού αερίου, σύμφωνα με το Rui et al. (2011), η χρήση τους αποτελεί μία οικονομική μέθοδο για τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων. Παρόλα αυτά, σύμφωνα με το περιοδικό «Oil and Gas Journal» (2017) φαίνεται ότι κάποιοι αγωγοί που κατασκευάστηκαν το 2015 και 2016 είχαν εξαιρετικά υψηλό κόστος κατασκευής με βάση παλαιότερα δεδομένα. Πέραν από τα ποιο πάνω, σύμφωνα με την Πρωτοβουλία Ανατολικών Μεσογειακών Σπουδών (Eastern Mediterranean Studies Initiative, 2019) εγείρονται και θέματα εθνικής ασφαλείας για τις χώρες που εμπλέκονται με ενεργειακά θέματα. Σύμφωνα με την ποιο πάνω πηγή, με τα υπάρχοντα στοιχεία και δεδομένα δεν μπορεί να υποστηρικτή η άποψη ότι υπάρχουν «αγωγοί ειρήνης».

Σε μία εκδήλωση στο Άμστερνταμ, ο διευθυντής του Τμήματος Πετρελαίου, Αερίου, Μεταλλείων και Χημικών Προϊόντων του Ομίλου της Παγκόσμιας Τράπεζας Somer Varma, σχετικά με το «gas flaring» (Εικόνα 1.1) δήλωσε ότι «Η καύση φυσικού αερίου σπαταλά τους πόρους και βλάπτει το περιβάλλον ...» (Svensson and Rios, 2009). Αυτό γιατί κάθε χρόνο 150 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα (bcm) αερίων καίγονται. Ο αριθμός αυτός αντιστοιχεί στο 30% της κατανάλωσης φυσικού αερίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Emam, 2015) ενώ ο Elvidge et al. (2009), κάνει αναφορά για 170 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Ο Farina (2010) πιστεύει ότι το πρόβλημα της καύσης του φυσικού αερίου θα αυξηθεί και στα επόμενα χρόνια η καύση αυτή θα ανέρθει στα 200 bcm ετησίως, ενώ άλλες εκθέσεις εκτιμούν ότι τα επίπεδα αυτά θα αυξηθούν ακόμη πιο πολύ. Αυτή η πρακτική επιφέρει σημαντικές επιπτώσεις στην αλλαγή του κλίματος, εξαιτίας των αερίων του θερμοκηπίου. Οι ετήσιες εκπομπές ανέρχονται σε 400 εκατομμύρια τόνους διοξειδίου του άνθρακα λόγω της μεθοδολογίας αυτής (Abdulrahman et al., 2015, Andersen et al., 2012). Υπάρχουν παρατηρήσεις πέραν των 15 χρόνων, που τεκμηριώνουν ότι τα $2,4 * 10^{12}$ m³ αερίων που έχουν καεί παρήγαγαν 5.000 μετρικούς τόνους διοξειδίου του άνθρακα (Elvidge et al., 2009). Σύμφωνα με την Anomohanran (2012), στη Νιγηρία λόγω της καύσης του φυσικού αερίου, 17 δισεκατομμύρια δολάρια χάνονται ετησίως. Οι Arowolo και Adaja (2011) αναφέρουν ότι πάνω από το 65% των κρατικών εσόδων, τα οποία υπολογίζονται σε 2,5 δισεκατομμύρια δολάρια χάνονται με την πρακτική αυτή. Ο Ajumowo (2013) πιστεύει ότι αυτή η δύσκολη κατάσταση μπορεί να μεταβληθεί αν ένα ποσοστό του φυσικού αερίου

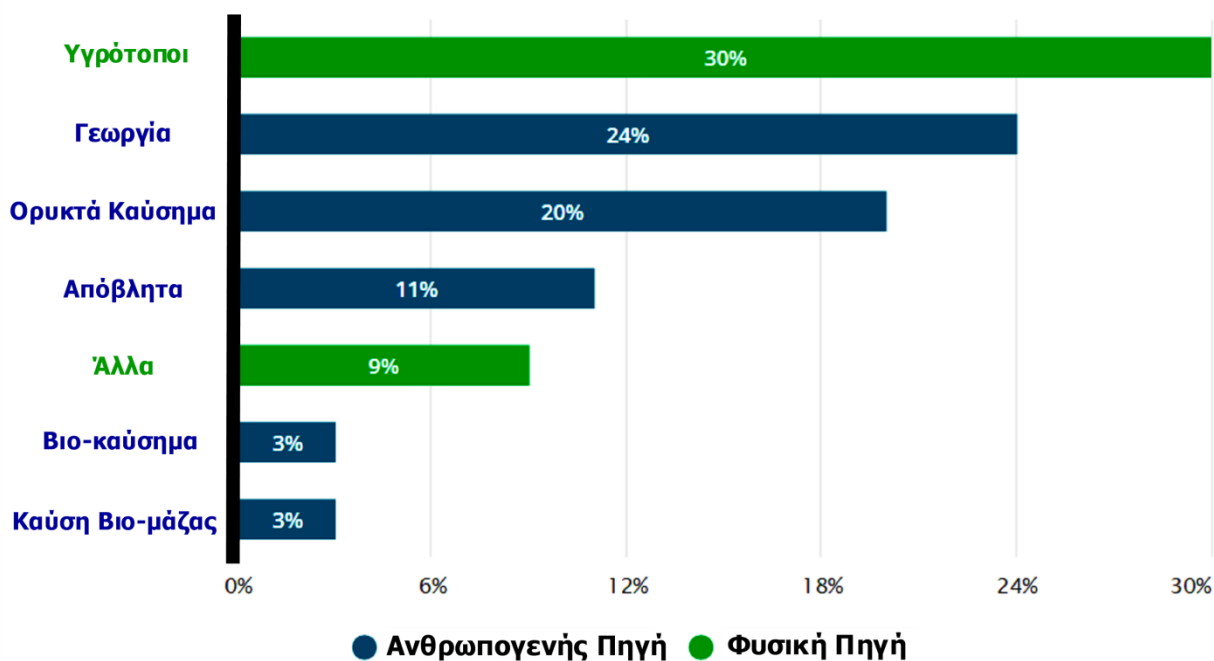
μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια ή χρησιμοποιηθεί για οικιακή χρήση. Δυστυχώς, το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού στην Νιγηρία για παράδειγμα χρησιμοποιεί ξύλα για το μαγείρεμα. Αυτά τα κολοσσιαία ποσοστά φυσικού αερίου μπορούν να δώσουν σημαντικά ποσοστά ενέργειας αν μετατραπούν σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω γεννητριών (Nwanya, 2011). Σύμφωνα με τους αριθμούς που αναφέρθηκαν πιο πάνω, μπορούμε να συνειδητοποιήσουμε ότι η κλίμακα του προβλήματος είναι σαφώς αισθητή.



Εικόνα 1.1: Καύση του φυσικού αερίου σε ειδικά φουγάρα για την εκτόνωση της πίεσης κατά την εξόρυξη υδρογονανθράκων. (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: <https://karmaimpact.com/energy-tech-start-up-crusoe-aims-to-turn-gas-flaring-into-useful-power/>).

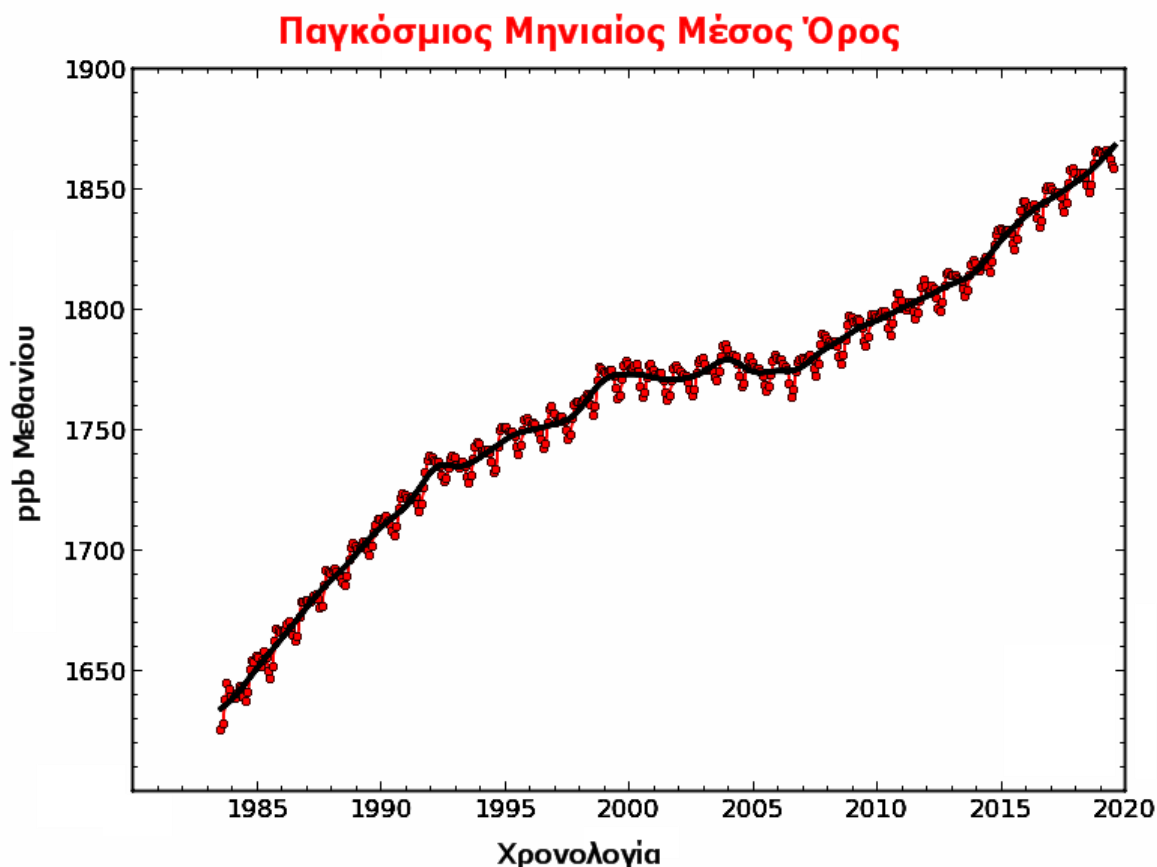
Πέραν από τα τεχνικά θέματα για τα οποία επιβάλλεται η πραγματοποίηση της καύση του φυσικού αερίου, μπορούμε να πούμε ότι ένας ακόμη σημαντικός λόγος για την καύση αυτή είναι η προσπάθεια μείωσης της ανεξέλικτης διάθεσης του φυσικού αερίου στην ατμόσφαιρα για περιβαλλοντολογικούς λόγους. Σύμφωνα με το Συνασπισμό για το Κλίμα και τον Καθαρό Αέρα (Climate & Clean Air Coalition, 2019) το μεθάνιο χαρακτηρίζεται επίσης ως αέριο του θερμοκηπίου που εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων (διαρροές από τα συστήματα φυσικού αερίου, εκτροφή ζώων) καθώς και από φυσικές πηγές όπως οι υγρότοποι. Έχει άμεση επίδραση

στο κλίμα, στην ανθρώπινη υγεία, στις καλλιέργειες και στην ποιότητα και την παραγωγικότητα της βλάστησης. Όσον αφορά το χρόνο ζωής του στην ατμόσφαιρα, το μεθάνιο έχει πολύ μικρότερη διάρκεια ζωής (12 χρόνια) σε σχέση με το διοξείδιο του άνθρακα με αποτέλεσμα να γίνεται αποτελεσματικότερα η παγίδευση της υπέρυθρης ακτινοβολίας (IR). Ανά μονάδα μάζας, ο αντίκτυπος του μεθανίου στην κλιματική αλλαγή σε διάστημα 20 ετών είναι 84 φορές μεγαλύτερος από το CO₂, ενώ για μια περίοδο 100 ετών είναι 28 φορές μεγαλύτερη. Σύμφωνα με την ίδια πηγή, η επιλογή μέτρων για τη μείωση των εκπομπών του μεθανίου μπορεί να μειώσει τη βραχυπρόθεσμη θέρμανση του πλανήτη, να αυξήσει την απόδοση των καλλιεργειών και να αποτρέψει τους πρόωρους θανάτους. Ο Alvarez et al. (2012) πιστεύει ότι, το μεγαλύτερο επιτρεπτό όριο διαφυγής του μεθανίου στην ατμόσφαιρα θα πρέπει να είναι τις τάξεως του 3,2% διαφορετικά αν η διαφυγή αυτή από τις ανθρώπινες δραστηριότητες ξεπεράσει το 3,2%, τότε θα αναιρούνταν όλα τα πλεονεκτήματα του μεθανίου έναντι του γαιάνθρακα. Πάντως, ο Karion et al. (2013) κάνει αναφορά για διαρροές μεθανίου που κυμαίνονται από 6,2% μέχρι 11,7% σε γεωτρήσεις εξόρυξης υδρογονανθράκων. Σε μία νέα έρευνα, ο Muller και Muller (2017) αναφέρουν ότι το ποσοστό που εκλύεται στην ατμόσφαιρα από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες ανέρχεται στο 70% (Διάγραμμα 1.4).



Διάγραμμα 1.4: Ανθρωπογενής και φυσικές πηγές εκπομπών μεθανίου στην ατμόσφαιρα. (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: IEA, 2019).

Όπως και στην περίπτωση του διοξειδίου του άνθρακα, έτσι και το μεθάνιο παρουσιάζει μία ανοδική τάση τις τελευταίες δεκαετίες. Σύμφωνα με την Εθνική Υπηρεσία για τους Ωκεανούς και την Ατμόσφαιρα των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (NOAA, 2019) η μέση τιμή της συγκέντρωσης του μεθανίου στην ατμόσφαιρα το 1999 ήταν 1764,1 ppb, ενώ σήμερα (2019) ανέρχεται στα 1860 περίπου ppb (Διάγραμμα 1.5).



Διάγραμμα 1.5: Η παγκόσμια συγκέντρωση του μεθανίου (ppb) όπως αυτή καταγράφεται από Earth System Research Laboratory από το 1984 μέχρι σήμερα (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: NOAA, 2019).

Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι το πρόβλημα έγκειται στο γεγονός ότι:

- Παρουσιάζονται αυξημένες συγκεντρώσεις των θερμοκηπικών αερίων στην ατμόσφαιρα και συγκεκριμένα του διοξειδίου του άνθρακα και του μεθανίου και τα μαθηματικά μοντέλα δείχνουν περαιτέρω αύξηση για τα επόμενα χρόνια.
- Η αύξηση αυτή του διοξειδίου του άνθρακα και του μεθανίου προκαλεί την υπερθέρμανση του πλανήτη.

- Αν και η χρήση του γαιάνθρακα έχει περιοριστεί τα τελευταία χρόνια παρόλα αυτά το πετρέλαιο εξακολουθεί να αποτελεί τον ισχυρό «παίχτη» στην παγκόσμια ενεργειακή σκακιέρα και η συμμετοχή του στην παγκόσμια κατανάλωση ορυκτών καύσιμων ανέρχεται στο 40,16% προσφέροντας έτσι κατά την καύση του σημαντικά ποσοστά διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.
- Αν και το φυσικό αέριο χαρακτηρίζεται ως ποιο «φιλικό» καύσιμο για το περιβάλλον, με βάση τα ποιο πάνω δεδομένα και αριθμούς και ως αειφόρο μεταβατικό καύσιμο, παρόλα αυτά η συμμετοχή του στην παγκόσμια κατανάλωση ορυκτών καύσιμων ανέρχεται μόλις στο 27,42%.
- Λόγω της φύσης του φυσικού αερίου υπάρχουν δυσκολίες στην μεταφορά και την αποθήκευση του με αποτέλεσμα μεγάλες ποσότητες να χαρακτηρίζονται ως «απόβλητο» και να καίγονται ανεξέλικτα συμβάλλοντας περαιτέρω στην αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα.
- Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται για την υγροποίηση του φυσικού απαιτούν μεγάλα ποσά ενέργειας καθιστώντας τις δαπανηρές και εντείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.
- Η παρουσία του μεθανίου στην ατμόσφαιρα χαρακτηρίζεται πολύ ποιο επικίνδυνη από αυτήν του διοξειδίου του άνθρακα αφού ένα μόριο μεθανίου απορροφά περισσότερη υπέρυθη ακτινοβολία απ' ότι ένα μόριο διοξειδίου του άνθρακα.
- Έλλειψη νέων μεθοδολογιών για την δέσμευση ή την μετατροπή του μεθανίου σε άλλα προϊόντα.
- Η εξάρτηση από ένα μόνο είδος καυσίμου δεν συμβάλλει στην ενεργειακή ασφάλεια και οι παγκόσμιες ανακατατάξεις μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τον οικονομικό και κοινωνικό πυλώνα της αειφορίας όσον αφορά την ενέργεια. Η Κύπρος είναι μία από αυτές τις χώρες που είναι πλήρως εξαρτημένες από το πετρέλαιο και επηρεάζεται από τις διαφοροποιήσεις των τιμών του πετρελαίου.

1.3 Σημασία και αναγκαιότητα της μελέτης

Η Ευρωπαϊκή ένωση λαμβάνοντας υπόψη τις βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες αρνητικές επιπτώσεις που προκύπτουν από την κλιματική αλλαγή αλλά και στα

τεράστια κοινωνικά και οικονομικά προβλήματα που επιφέρει, προσπάθησε να υλοποίηση στρατηγικές που έχουν ως βασική αρχή τους τη προστασία του περιβάλλοντος και την θέσπιση μέτρων για την μείωση των θερμοσκοπικών αερίων, δημιουργώντας έτσι ένα νομοθετικό πλαίσιο για την πρόληψη και την ιεράρχηση των απαιτούμενων ενεργειών, προς την επίτευξη του στόχου. Ο στόχος είναι η μείωση των αέριων ρύπων κατά 20% που σχετίζονται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου μέχρι το 2020 με βάση το πρόγραμμα «HORIZON 2020» καθώς επίσης και την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, με συνεισφορά αυτών κατά 20%, όπως καθορίζει η οδηγία 2009/28/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23^{ης} Απριλίου του 2009. Πέραν από τα προγράμματα της Ε.Ε. για την μείωση των αέριων εκπομπών, στις 12 Δεκεμβρίου του 2015 επιτεύχθηκε και μία παγκόσμια συμφωνία για την κλιματική αλλαγή, η οποία τέθηκε σε εφαρμογή στις 4 Νοεμβρίου του 2016 με 195 χώρες να συνυπογράφουν. Στόχος της απόφασης αυτής, που χαρακτηρίζεται ως «Συμφωνία των Παρισίων», είναι όλες οι χώρες να συμβάλλουν στην μείωση των αέριων εκπομπών, καταθέτοντας ολοκληρωμένα εθνικά σχέδια. Μακροπρόθεσμος στόχος της συμφωνίας αυτής είναι να συγκρατηθεί η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη κάτω από 2°C. Με βάση τη συμφωνία αυτή θα γνωστοποιούνται τα δεδομένα της προόδου, με σκοπό την εξασφάλιση της διαφάνειας για την επίτευξη του στόχου, που είναι η μείωση των αέριων ρύπων, εμποδίζοντας έτσι την υπερθέρμανση του πλανήτη. Συγκεκριμένα ο στόχος για την Ε.Ε. είναι η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μέχρι το 2030 κατά 40% σε σχέση με το 1990 (European Council, 2018). Η Κύπρος, ως κράτος μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης θα πρέπει να εναρμονιστεί πλήρως με τις τρέχουσες νομοθεσίες και δράσεις της Ένωσης. Η σημασία της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής έγκειται στο γεγονός ότι θα συμβάλει στην ερευνητική προσπάθεια που γίνεται για παραγωγή υψηλής αξίας προϊόντων, και συγκεκριμένα βιοκαυσίμων, όπως είναι η μεθανόλη, από αέριους ρύπους όπως είναι το μεθάνιο, κύριο συστατικό του φυσικού αερίου και του βιοαερίου. Η μετατροπή του φυσικού αερίου σε υγρά βιοκαύσιμα με οικονομικές μεθόδους θα μπορούσε να επιλύσει το πρόβλημα της καύσης του φυσικού αερίου στην πετρελαϊκή βιομηχανία, της μεταφοράς του, αλλά και να περιορίσει τις διαρροές στην ατμόσφαιρα. Επίσης, στη παρούσα εργασία θα αναπτυχθεί ο θετικός ρόλος του φυσικού αερίου στους πυλώνες της αειφορίας και πώς η μετάβαση μας σε αυτό θα μπορούσε να βοηθήσει στην επίτευξη των εθνικών στόχων όπως αυτοί έχουν τεθεί από την διεθνή κοινότητα. Η σπουδαιότητα της παρούσας εργασίας εστιάζεται στο γεγονός ότι προτείνει την εφαρμογή μεθόδων βιοτεχνολογίας

για την βιομετατροπή του μεθανίου, ενός σημαντικού ρύπου, σε βιοκαύσιμα (μεθανόλη) με τη χρήση μεθανότροφων μικροοργανισμών σε βιοαντιδραστήρες. Πέραν από την ενίσχυση της διεθνούς βιβλιογραφίας από την μεθοδολογία που προτείνεται στο παρόν πόνημα, η συμβολή της μεθόδου στις ενεργειακές προοπτικές της Κύπρου υπό μία διαφορετική οπτική γωνία είναι εφικτή.

1.4 Σκοπός και στόχοι

Ο σκοπός της διατριβής αυτής είναι να παρουσιάσει την θετική συμβολή του φυσικού αερίου στους τρεις αδιαχώριστους πυλώνες της αειφορίας ενισχύοντας έτσι τα επιχειρήματα στην προσπάθεια μετάβασης μας από το πετρέλαιο στο φυσικό αέριο. Η Κυπριακή Δημοκρατία στα επόμενα χρόνια ενδέχεται να παίξει σημαντικό ενεργειακό ρόλο στη μεσόγειο και την Ευρώπη αφού σημαντικά αποθέματα φυσικού αερίου έχουν αναγνωρισθεί, μετά από διερευνητικές γεωτρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί σε αδειοδοτημένα οικόπεδα στην αποκλειστική οικονομική της ζώνη από διεθνείς εταιρίες. Επίσης, να ενισχύσει την διεθνή επιστημονική βιβλιογραφία που πραγματεύεται την μετατροπή του μεθανίου σε καύσιμα με την χρήση βιολογικών μεθόδων και πιο συγκεκριμένα με τη χρήση αερόβιων βακτηρίων όπως είναι οι μεθανότροφοι μικροοργανισμοί, αφού μικρός αριθμός μελετών έχουν διεξαχθεί σε αυτόν τον τομέα. Απώτερος στόχος είναι η απομόνωση και ταυτοποίηση μεθανότροφων μικροοργανισμών και τη χρήση τους σε βιοαντιδραστήρα για την βιολογική παραγωγή βιοκαυσίμων αξιοποιώντας το μεθάνιο και τον ατμοσφαιρικό αέρα. Οι μεθανότροφοι μικροοργανισμοί είναι βακτήρια που μπορούν και μεταβολίζουν ενώσεις ενός άνθρακα, όπως είναι το μεθάνιο, χρησιμοποιώντας μεταβολικά μονοπάτια δίνοντας υψηλής αξίας προϊόντα ως αποτέλεσμα του μεταβολισμού αυτού. Ένα ενδιάμεσο προϊόν του μεταβολισμού αυτού αποτελεί η μεθανόλη, ενός προϊόντος που η ζήτησή του ανά το παγκόσμιο αυξάνεται και το οποίο σήμερα παράγεται με μεθόδους οι οποίες απαιτούν μεγάλα ποσά ενέργειας και εντείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Πέραν από τα πιο πάνω, η αξιοποίηση της μεθοδολογίας αυτής με τη χρήση μεγάλης κλίμακας βιοαντιδραστήρων θα μπορούσε να ενισχύσει της ενεργειακές προοπτικές της Κύπρου και υπό αυτή τη σκοπιά, συμβάλλοντας έτσι στην ενίσχυση όχι μόνο του περιβαλλοντικού πυλώνα της αειφορίας αλλά και του οικονομικού-κοινωνικού και να ανοίξει το δρόμο για την εφαρμογή βιοσιμότερων μεθόδων στην παραγωγή εναλλακτικών καυσίμων.

1.5 Διασαφηνίσεις – προσδιορισμός και διατύπωση των κεντρικών εννοιών

Λόγω του ότι, γίνεται συχνά η χρήση όρων όπως «Αειφόρος», «Δείκτες αειφορίας» και «Πυλώνες της αειφορίας», κρίνεται αναγκαία η αποσαφήνιση του όρου «Αειφορία». Η επεξήγηση του όρου αυτού έχει ως σκοπό να θέσει ένα γενικά αποδεκτό πλαίσιο και να καθορίσει μία κοινή βάση επικοινωνίας εξαλείφοντας έτσι όποιες πιθανές ασάφειας μπορεί να εμπεριέχει ο όρος. Με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία εξάγεται ένας γενικά αποδεκτός ορισμός που με βάση αυτόν μπορούν να εξακριβωθούν οι αρχές που πρεσβεύουν την έννοια αυτή.

1.5.1 Η έννοια της «Αειφορίας» και οι δείκτες της

Η διεθνής κοινότητα θέλοντας να αναθεωρήσει λανθασμένες πρακτικές του παρελθόντος και να στραφεί προς ορθολογιστικότερες, που έχουν να κάνουν με όλες τις εκφάνσεις της ζωής στο πλανήτη, προσπαθεί να εντάξει νέες έννοιες στο τρόπο ζωής μας όπως είναι αυτή της «αειφορίας». Η λέξι «αειφορία» ετυμολογικά προκύπτει από το επίρρημα «αεί» που σημαίνει πάντοτε-αιωνίως και το ρήμα «φέρω» (Μπαμπινιώτης, 2002), δηλαδή υποδηλώνει αυτόν που φέρει για πάντα, αποδίδει για πάντα. Ο Αγγελίδης κ.ά. (2004) αναφέρει ότι η χρήση του όρου αυτού έγινε για πρώτη φορά από τον Σοφοκλή θέλοντας να δηλώσει εκείνων που είναι ζωντανός και ακμαίος («αιθαλείς»).

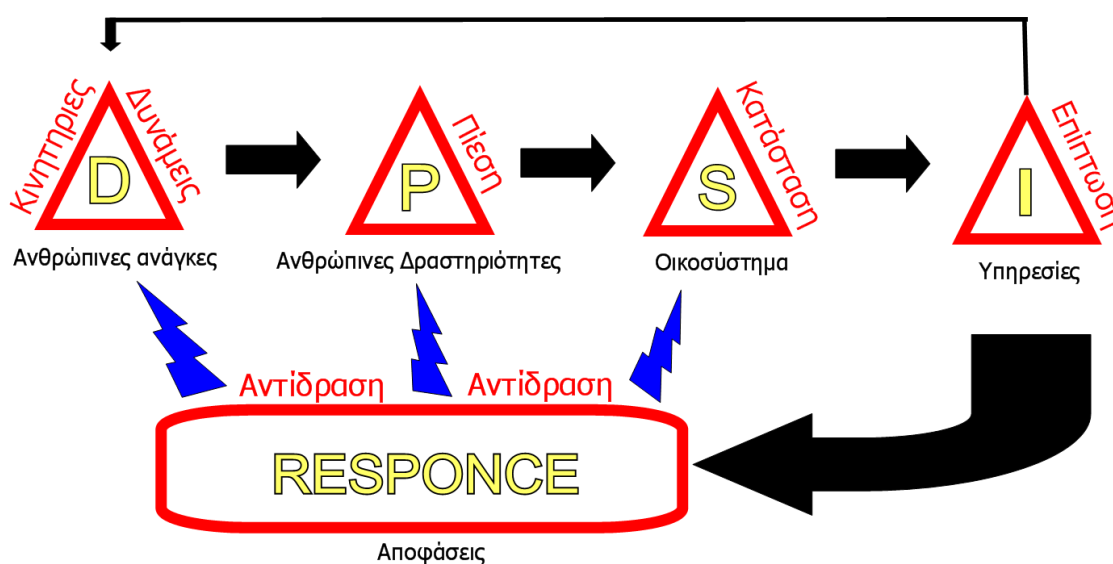
Η έννοια «αειφορία» στη ξένη βιβλιογραφία μεταφράζεται ως «sustainable» και «sustainability» και σύμφωνα με τον Heinberg (2010) εισάγεται για πρώτη φορά το 1713 από το Γερμανό Hans Carl von Carlowitz στο βιβλίο του *Sylvicultura Oeconomica*. Μετέπειτα, η έννοια αυτή χρησιμοποιείται από Άγγλους και Γάλλους δασολόγους και υιοθετείται πλέον από την δασοπονία ως όρος. Το 1972 επανερχόμαστε με τον όρο «αειφορική ανάπτυξη» με τη «Διακήρυξη της Στοκχόλμης» (Κυριακίδης και Μπόζου, 2011). Εφαλτήριο για την συζήτηση των περιβαλλοντικών ορίων που πρέπει να τίθενται, αποτέλεσε το βιβλίο με τίτλο «The Limits to Growth» για το οποίο οι συγγραφείς του άντλησαν πληροφορίες από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Μασαχουσέτης (Φλογαΐτης, 2006, Γεωργόπουλος, 1998). Το 1983 η Παγκόσμια Επιτροπή για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (WCED) συνήλθε για να συζητήσει

θέματα που αφορούν την υποβάθμιση του περιβάλλοντος και το 1987 η ίδια επιτροπή δημοσιεύει το «Brundland Report» όπου σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία (Sneddon et al., 2006, Schubert et al., 2005, Bebbington, 2001, Mebratu, 1998, Mitcham, 1995, Dixon and Fallon, 1989), με βάση αυτή την έκθεση, εγκαθιδρύεται και επίσημα η ιδέα της «αειφορίας» και ο όρος «αειφορική ανάπτυξη».

Για την Αειφορική Ανάπτυξη (sustainable development) έχουν προταθεί πάρα πολλοί ορισμοί μεταξύ εκείνων και ο ορισμός του Norton (1992) ο οποίος υποστηρίζει ότι η αειφορική ανάπτυξη είναι η ευημερία της κοινωνίας η οποία εξαρτάται από το οικονομικό σύστημα και τις αλλαγές στην οικολογία. Παντός, σύμφωνα με το Report «Our Common Future» της Παγκόσμιας Επιτροπής για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (WCED, 1987) δεν μπορεί να υπάρξει ξεκάθαρος ορισμός και προτείνεται ένας γενικά αποδεκτός, που με απλά λόγια αναφέρει ότι αειφορική ανάπτυξη είναι η διατήρηση των ισορροπιών μέσα στο χώρο, όσο το δυνατόν, σε απεριόριστο χρόνο. Οι Σιάρδος και Κουτσούρης (2004) υποστηρίζουν ότι για την επίτευξη του σκοπού αυτού θα πρέπει να ικανοποιούνται τρεις κύριες και αδιαχώριστες διαστάσεις, η περιβαλλοντική, η οικονομική και η κοινωνική διάσταση, ενώ οι Καρβούνης και Γεωργακέλλος (2003) εντάσσουν και την πολιτική διάσταση αφού η έννοια επηρεάζεται από αυτήν, λόγω του μεγάλου πολιτικού ενδιαφέροντος (Parris and Kates, 2003). Θα πρέπει να αναφερθεί ότι λόγω της ευρύτητας της έννοιας και της ασάφειας του ορισμού, δεν μπορούν να εξακριβωθούν οι αρχές που πρεσβεύουν την έννοια αυτή (Tietenberg and Lewis, 2008) με αποτέλεσμα ο όρος να αμφισβητείται (Livesey, 2002). Για την καλύτερη κατανόηση του όρου «αειφορική ανάπτυξη» και για την κάλυψη των ασαφειών που πλαισιώνουν τον όρο, παράλληλα με αυτόν, εισήχθησαν στις περιβαλλοντικές επιστήμες και οι λεγόμενοι «Δείκτες». Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (European Environmental Agency, 1999) οι δείκτες αυτοί χαρακτηρίζονται ως ένα δυναμικό και χρήσιμο εργαλείο. Ο Stokland et al. (2003) πιστεύει ότι οι δείκτες αναπτύχθηκαν λόγω της ανάγκης για δόμηση των πληροφοριών σε μία λογική σειρά ούτως ώστε να μπορούν να εξάγονται συγκρίσιμα συμπεράσματα. Επίσης, ο Pillman (2002) ισχυρίζεται ότι με τη χρήση των δεικτών αυτόν μπορούν να δομηθούν οι περιβαλλοντικές πληροφορίες με τον καλύτερο τρόπο ούτως ώστε να μπορούν να δείξουν την υφιστάμενη κατάσταση ή συγκεκριμένα περιβαλλοντικά προβλήματα και να αποκαλύψουν τις αιτίες και τις συνέπειες, ενώ παράλληλα να μας δώσουν αποτελεσματικές απαντήσεις για την δυναμική και την τάση που υφίσταται μεταξύ όλων αυτών των στοιχείων. Πέραν από τα πιο πάνω, οι Daniels και Walker (1996) πιστεύουν ότι οι δείκτες αυτοί βοηθούν

επίσης στην οικοδόμηση των απαραίτητων γνώσεων για την λήψη πολιτικών αποφάσεων και την εφαρμογή αποτελεσματικών επιστημονικών μεθόδων για την επίτευξη της βιωσιμότητας και άλλων κοινωνικών στόχων.

Για την εφαρμογή των περιβαλλοντικών δεικτών, μεταξύ άλλων, χρησιμοποιούνται δύο κύρια μοντέλα, κοινώς αποδεκτά. Το PSR (Pressure – State – Response) και το DPSIR (Drive force – Pressure – State – Impact - Response), (Διάγραμμα 1.6), (Stokland et al., 2003).



Διάγραμμα 1.6: Σχηματική απεικόνιση του μοντέλου DPSIR (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: EEA, 1999).

Σύμφωνα με τη Eurostat (1999) το μοντέλο DPSIR που αναπτύχθηκε από τον Anthony Friend το 1970 χαρακτηρίζεται ως το καταλληλότερο μοντέλο για την εφαρμογή του σε περιβαλλοντικές πληροφορίες και χρησιμοποιείται ευρέως από όλες σχεδόν της Ευρωπαϊκές χώρες, τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (EEA) και τον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (OECD).

Τα στοιχεία που συνθέτουν το μοντέλο DPSIR (Carr et al., 2007, Kristensen, 2004, EEA, 1999, EPA, 1995) είναι:

- **Κινητήριες Δυνάμεις (Drivers):** Είναι οι παράγοντες (κοινωνικοί, οικονομικοί, οικολογικοί) που προκαλούν αλλαγές στο σύστημα και μπορεί να έχουν θετική ή αρνητική επίδραση στην «Πίεση».
- **Πίεση (Pressures):** Το σύστημα επηρεάζεται άμεσα από τις πιέσεις που προκαλούν οι ανθρώπινες δραστηριότητες.
- **Κατάσταση (State):** Είναι η κατάσταση στην οποία βρίσκεται το σύνολο των χαρακτηριστικών του συστήματος που επηρεάζεται από τις πιέσεις σε μία χρονική στιγμή.
- **Επιπτώσεις (Impacts):** Είναι οι επιπτώσεις που παρατηρούνται στα οικοσυστήματα μετά την εξάσκηση της πίεσης.
- **Αντίδραση (Responses):** Είναι οι προσπάθειες που καταβάλλονται ούτως ώστε να επιλυθούν τα προβλήματα που εκδηλώνονται με τις επιπτώσεις.

Κεφάλαιο 2

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μία προσπάθεια αποσαφήνισης του θεωρητικού πλαισίου στο τομέα που πραγματευόμαστε με σκοπό την καλύτερη κατανόηση των παραμέτρων που το συνθέτουν. Για την επίτευξη του στόχου αυτού η χρήση σύγχρονων επιστημονικών άρθρων και αναφορών γίνεται αναγκαία για την ολοκλήρωση της βιβλιογραφικής ανασκόπησης. Πολύ εύστοχα οι Xiao και Watson (2017) πιστεύουν ότι για να ωθηθούν τα σύνορα της γνώσης θα πρέπει να ξέρουμε που ακριβώς είναι αυτά τα σύνορα. Σύμφωνα με τους ίδιους, η σπουδαιότητα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης στην επιστημονική έρευνα, έγκειται στο γεγονός ότι, με βάση αυτήν, κατανοείται το εύρος και το βάθος ενός υπό μελέτη θέματος και έτσι εντοπίζονται τα πιθανά κενά που θα πρέπει να διερευνηθούν περαιτέρω. Από την άλλη ο Peré et al. (2015) πιστεύει ότι,

με την βιβλιογραφική μελέτη μπορούμε να αξιολογήσουμε την εγκυρότητα αλλά και την ποιότητα μίας μελέτης και να αποκαλύψουμε αδυναμίες, ασυνέπειες και αντιφάσεις. Χωρίς την πραγματοποίηση μίας επισταμένης μελέτης στην υπάρχουσα βιβλιογραφία, ο Hart (2018) αναφέρει ότι, είναι πολύ δύσκολο να διεξαχθεί μία νέα μελέτη για την ανάπτυξη νέων μεθοδολογιών στο πρόβλημα που πραγματεύεται όσο μικρό και αν είναι αυτό. Για το λόγο αυτό, ο Snyder (2019) δηλώνει ότι η βιβλιογραφική ανασκόπηση θα πρέπει να βασίζεται σε πηγές που είναι έγκυρες, αξιόπιστες και επαναλαμβανόμενες. Μια καλά διεξαχθείσα βιβλιογραφική ανασκόπηση ως ερευνητική μέθοδος, σύμφωνα με τους Webster και Watson (2002), δημιουργεί μια σταθερή βάση για την προώθηση της γνώσης και διευκολύνει την ανάπτυξη της θεωρίας.

2.2 Το Μεθάνιο – CH₄

Σύμφωνα με το Σκωτσέζικο Οργανισμό Προστασίας του Περιβάλλοντος (SEPA, 2019) το μεθάνιο είναι ένα άχρωμο και άοσμο σε χαμηλές συγκεντρώσεις αέριο, όπου σε υψηλότερες συγκεντρώσεις παρουσιάζει μία γλυκιά μυρωδιά. Στις περιπτώσεις που η συγκέντρωση του αερίου αυτού με τον αέρα είναι πέραν του 5-15% τότε το μίγμα μεθανίου-αέρα που προκύπτει είναι εκρηκτικό. Το μεθάνιο ανήκει στην ομάδα εκείνη των χημικών ουσιών γνωστών ως «πτητικές οργανικές ενώσεις» (VOCs). Ο Οργανισμός Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών (EPA, 2019) δίνει ξεκάθαρα τον ορισμό των πτητικών οργανικών ενώσεων που νοείται κάθε ένωση άνθρακα, με εξαίρεση το μονοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του άνθρακα, το ανθρακικό οξύ, τα μεταλλικά καρβίδια ή τα ανθρακικά άλατα και το ανθρακικό αμμώνιο, η οποία συμμετέχει στις ατμοσφαιρικές φωτοχημικές αντιδράσεις. Οι οργανικές αυτές χημικές ενώσεις λόγω της σύνθεσης τους εξατμίζονται κάτω από φυσιολογικές ατμοσφαιρικές συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης. Ο Γεντεκάκης (2003) διαχωρίζει το μεθάνιο από την τάξη των ατμοσφαιρικών ρύπων γνωστή ως «Υδρογονάνθρακες» (HCs) που χαρακτηρίζονται ως VOCs, λόγω του ότι το μεθάνιο ουσιαστικά δεν συμμετέχει στις φωτοχημικές αντιδράσεις. Από φυσικοχημικής άποψης το μεθάνιο έχει σημείο τήξεως τους -182,5 °C και σημείο ζέσεως τους -161,5 °C ενώ η σταθερά του Henry για το συγκεκριμένο αέριο στους 25 °C είναι $1,29 \cdot 10^{-3} \text{ M/atm}$ ($1,27 \cdot 10^{-5} \text{ mol m}^{-3} \text{ Pa}^{-1}$) στους 25 και παρουσιάζει χαμηλή υδατοδιαλυτότητα. Επίσης, απορροφά την υπέρυθη ακτινοβολία στις ζώνες 7-13 μm και για το λόγο αυτό συμβάλλει στην υπερθέρμανση του πλανήτη (Bastviken, 2009).

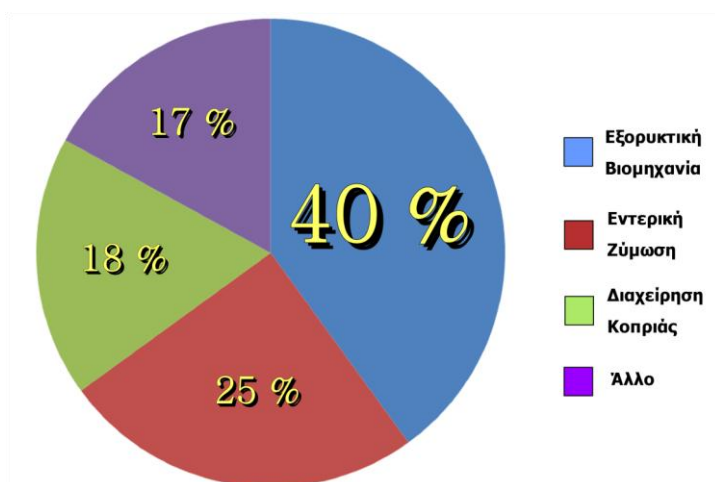
Σύμφωνα με τον Reay et al. (2010) το μεθάνιο στην ατμόσφαιρα προκύπτει από δύο είδους κύριες πηγές. Τις φυσικές πηγές εκπομπής και τις ανθρωπογενής πηγές εκπομπής. Στις φυσικές πηγές συγκαταλέγονται οι υγροβιότοποι, οι τερμίτες, οι ωκεανοί, οι υδρίτες, τα άγρια ζώα, οι πυρκαγιές και άλλα, ενώ στις ανθρωπογενής πηγές εκπομπής, κατά κύριο λόγο, η έκκλιση του μεθανίου στην ατμόσφαιρα προκύπτει λόγω της εξορυκτικής δραστηριότητας αλλά και την εκτροφή των ζώων (πίνακας 2.1).

Φυσικές Πηγές	Tg CH₄ per Year	Εύρος
Υγροβιότοποι	174	100–231
Τερμίτες	22	20–29
Ωκεανοί	10	4–15
Υδρίτες	5	4–5
Γεωλογικές Διεργασίες	9	4–14
Άγρια Ζώα	15	15
Πυρκαγιές	3	2–5
ΟΛΙΚΟ:	238	149-319

Ανθρωπογενείς Πηγές	Tg CH₄ per Year	Εύρος
Γαιάνθρακας	36	30–46
Βιομηχανία Πετρελαίου	61	52–68
Αποβλητα και ΧΥΤΑ	54	35–69
Εκτροφή Ζώων	84	76–92
Καλλιέργειες Ρυζιού	54	31–83
Καύση Βιομάζας	47	14–88
ΟΛΙΚΟ:	336	238-446

Πίνακας 2.1: Παγκόσμια εκτίμηση εκπομπών μεθανίου στην ατμόσφαιρα και οι πηγές που την προκαλούν από 1983 μέχρι το 2001. Στον όρο «Εύρος» παρατίθενται οι τιμές όπως αυτές παρουσιάζονται από τον Denman et al. (2007)(Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: Reay et al., 2010).

Σύμφωνα με τον Jeffrey et al. (2019) οι υγρότοποι αποτελούν τη μεγαλύτερη φυσική πηγή μεθανίου, η παραγωγή του οποίου προκύπτει μέσω πολύπλοκων διαδικασιών και πολύ λίγες μελέτες έχουν ποσοτικοποιήσει ταυτόχρονα τις τρεις κυριότερες οδούς ροής στην ατμόσφαιρα. Οι τρεις κύριες οδοί εισόδου του μεθανίου στην ατμόσφαιρα σύμφωνα με τον Borges and Abril (2011) προκύπτουν μέσω ξαφνικής απελευθέρωσης παγιδευμένου σε θύλακες μεθανίου, μέσω μοριακή διάχυση (κατευθείαν από τα ιζήματα ή / και τη στήλη του ύδατος) και μέσω των φυτικών αγγείων. Η απελευθέρωση αυτή ο Christenses et al. (2003) πιστεύει ότι επηρεάζεται από τις διακύμανσης της θερμοκρασίας καθώς και το ύψος της στήλης του ύδατος, ενώ ο MacDonald et al. (1998) αναφέρει ότι η διαθεσιμότητα σε θρεπτικά συστατικά παίζει καθοριστικό ρόλο. Πάντως η αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα και η αύξηση της θερμοκρασίας πιστεύεται ότι θα αυξήσει τις εκπομπές μεθανίου από τους υγρότοπους κατά 78% (Shindell et al., 2004). Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι, πρώτος ο Alessandro Volta παρατήρησε την απελευθέρωση εύφλεκτων φυσαλίδων μεθανίου από τα ρηχά ιζήματα της λίμνης Maggiore όπου και περιγράφει σε επιστολή του το 1776 τα πειράματα του στον Πατέρα Campi (Reeburgh, 2003). Όσον αφορά τις ανθρωπογενείς πηγές, η βιομηχανία του πετρελαίου ευθύνεται για το μεγαλύτερο ποσοστό διαρροών μεθανίου στην ατμόσφαιρα καθώς και η εκτροφή ζώων. Σύμφωνα με το Πρόγραμμα για το Περιβάλλον των Ηνωμένων Εθνών (UNEP, 2019), η βιομηχανία του πετρελαίου και του φυσικού αερίου είναι μια από τις μεγαλύτερες ανθρωπογενείς πηγές εκπομπών μεθανίου (Διάγραμμα 2.1).



Διάγραμμα 2.1: Η πηγές και τα ποσοστά έκκλισης μεθανίου στην ατμόσφαιρα στην Αμερική με στοιχεία του 2015 (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: Allison and Mandler, 2018).

Το Αμερικανικό Ινστιτούτο Γεωεπιστημών (AGI, 2018) αναφέρει ότι στην Αμερική μόνο το 40% των εκπομπών του μεθανίου στην ατμόσφαιρα προκύπτει από την εξορυκτική βιομηχανία ορυκτών καυσίμων και ακολουθεί η εκτροφή των ζώων με συνεισφορά 25% αφού διαμέσου την εντερικής ζύμωσης εκλύονται σημαντικά ποσά μεθανίου. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι Allison και Mandler (2018) πιστεύουν ότι ο καθορισμός των σχετικών εκπομπών μεθανίου από διαφορετικές πηγές είναι πάρα πολύ δύσκολος, ενώ ο Heath et al. (2015), όσον αφορά την βιομηχανία του πετρελαίου και του φυσικού αερίου, αναφέρει ότι η αδυναμία αυτή έγκειται στην πολυπλοκότητα των συστημάτων που χρησιμοποιούνται αλλά και στην μεταβλητότητα των εκπομπών αυτών στις διάφορες εγκαταστάσεις. Επίσης, ο Zavala-Araiza, et al. (2015) κάνει αναφορά για τις έκτακτες εκπομπές που προκύπτουν λόγω βλάβης και οι οποίες ανιχνεύονται και επισκευάζονται άρα δεν μπορούν να μετρηθούν. Η Kang et al. (2016) παραθέτει ακόμη μία πιθανή πηγή μεθανίου στην ατμόσφαιρα. Σύμφωνα με την ίδια, βάση πρόσφατων μετρήσεων μεθανίου σε εγκαταλελειμμένα φρέατα πετρελαίου / φυσικού αερίου φαίνεται ότι τα πηγάδια αυτά αποτελούν μία σημαντική πηγή μεθανίου. Σε μία παλαιότερη αναφορά ο Kirchgessner et al. (1997) θεωρεί ότι οι παγκόσμιες εκπομπές μεθανίου που προκύπτουν από την βιομηχανία των ορυκτών καυσίμων δεν έχουν ποσοτικοποιηθεί επαρκώς και σε πολλές περιπτώσεις ούτε και σε επίπεδο χώρας.

Όσον αφορά τις εκπομπές του μεθανίου που προκύπτουν από την κτηνοτροφία λόγω της εντερικής ζύμωσης που πραγματοποιείται στο γαστρεντερικό σωλήνα των ζώων, μία σειρά μελετών (Tian et al., 2016, Saunio et al., 2016, Ripple et al., 2014, Caro et al., 2014) τονίζει την τεράστια συμβολή του κλάδου αυτού, τόσο σε τοπικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο, στην έκκλιση μεθανίου στην ατμόσφαιρα. Σύμφωνα με μία νέα μελέτη (Yo et al., 2018) η κτηνοτροφία θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως η μεγαλύτερη ανθρωπογενής πηγή μεθανίου σε παγκόσμια κλίμακα. Για να αντιληφτούμε την κλίμακα του προβλήματος, ο Svinuraj (2018) αναφέρει ότι μόνο στην Ζιμπάμπουε τα τελευταία 35 χρόνια, οι εκπομπές μεθανίου στην ατμόσφαιρα από την εντερική ζύμωση, από όλες τις κατηγορίες των ζώων, ανήλθαν μεταξύ 158,3 Gt/year και 204,3 Gt/year, ενώ στην κίνα, σύμφωνα με τους Fu and Yu (2010) τα ποσοστά αυτά ανήλθαν μεταξύ 11.2 Tg/year και 13.3 Tg/year με το Peng et al. (2016) να κάνει αναφορά για την δεύτερη μεγαλύτερη ανθρωπογενή πηγή μεθανίου στην κίνα, μετά την βιομηχανία του γαιάνθρακα. Βέβαια, θα πρέπει να αναφερθεί ότι η εντερική παραγωγή μεθανίου επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως τα επίπεδα τροφής που προσλαμβάνονται

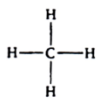
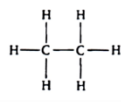
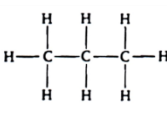
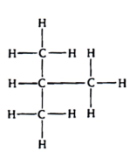
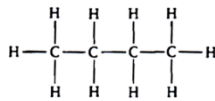
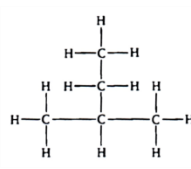
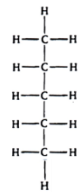
από τα ζώα, ο τύπος των υδατανθράκων που εμπεριέχονται στην τροφή, ο τρόπος επεξεργασίας της τροφής, το ποσοστό της σε λιπίδια και μεταβολές στη εντερική μικροχλωρίδα (Johnson and Johnson, 1995). Η παραγωγή του μεθανίου από την εντερική ζύμωση καταγράφεται σε ειδικούς θαλάμους, όπου και τοποθετούνται τα ζώα και με βάση το ποσοστό μεθανίου που υπάρχει την ατμόσφαιρα σε συνδυασμό με το παραγόμενο εξάγεται και καταγράφεται η ημερήσια παραγωγή μεθανίου (Chwalibog et al., 2004).

2.3 Πηγές ενέργειας σχετιζόμενες με το μεθάνιο

Στο παρόν υποκεφάλαιο θα αναπτυχθούν περιληπτικά οι πηγές ενέργειας που σχετίζονται με το μεθάνιο, εστιάζοντας κυρίως στο φυσικό αέριο, το βιοαερίο και τη μεθανόλη, μίας και τα πιο πάνω θα μας απασχολήσουν στην μεθοδολογία της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής.

2.3.1 Φυσικό αέριο

Το φυσικό αέριο όπως λέει και το όνομα του είναι ένα αέριο το οποίο συνδέεται με την με την εξορυκτική βιομηχανία του πετρελαίου και χαρακτηρίζεται ως «υδρογονάνθρακας» μαζί με το αργό πετρέλαιο. Η σύσταση του αερίου αυτού ποικίλη. Κυρίως αποτελείται από υδρογονάνθρακες της σειράς των παραφινών με κυρίαρχο συστατικό το μεθάνιο το οποίο είναι ένα άχρωμο, ισχυρά εύφλεκτο, χημικά μη δραστικό και ελαφρύ αέριο με σχετική πυκνότητα 0,554. (Πίνακας 2.2) (Selley, 1998). Σύμφωνα με το Γεωργακόπουλο (2004) στις παραφίνες ανήκουν τα κανονικά αλκάνια (n-Alkanes) τα οποία περιλαμβάνουν τους κορεσμένους υδρογονάνθρακες οι οποίοι παρουσιάζονται σε αλυσίδες από αριθμό ανθράκων από 1 μέχρι 40. Ανάλογα με τον αριθμό ανθράκων εμφανίζονται σε τρεις διαφορετικές καταστάσεις. Από 1 μέχρι 4 άνθρακες έχουμε τους αέριους υδρογονάνθρακες (C1-C4), από 5 μέχρι 15 έχουμε τους υγρούς (C5-C15) και τέλος έχουμε τις φυσικές παραφίνες με αριθμό ανθράκων από 16 και πάνω (\geq C16). Οι γραμμικοί αυτοί κορεσμένοι υδρογονάνθρακες έχουν γενικό χημικό τύπο C_nH_{2n+2} . Ο Selley (1998) αναφέρει ότι με την αύξηση του μοριακού βάρους (MW) η αφθονία των βαρύτερων αυτών αλκανίων μειώνεται.

Όνομα	Χημικός Τύπος	Δομή	MW	Σημείο Βρασμού σε Ατμοσφαιρικές Συνθήκες (Κελσίου)	Διαλυτότητα (g/10 ⁰ g νερού)
Μεθάνιο	CH ₄		16,04	-162	24,4
Αιθάνιο	C ₂ H ₆		30,07	-89	60,4
Προπάνιο	C ₃ H ₈		44,09	-42	62,4
Ισο-Βουτάνιο	C ₄ H ₁₀		58,12	-12	48,9
n-Βουτάνιο	C ₄ H ₁₀		58,12	-1	61,4
Ισο-Πεντάνιο	C ₅ H ₁₂		72,15	30	47,8
n-Πεντάνιο	C ₅ H ₁₂		72,25	36	38,5
n-Εξάνιο	C ₆ H ₁₄		86,17	69	9,5

Πίνακας 2.2: Η σειρά των παραφινών, η δομή των πιο κοινών αέριων υδρογονανθράκων και επιλεγμένα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: Selley, 1998).

Βέβαια, θα πρέπει να αναφερθεί ότι στην σύσταση του φυσικού αερίου μπορεί να υπάρχουν και συστατικά που δεν εμπίπτουν στην κατηγορία των υδρογονανθράκων, τα οποία είναι το υδρόθειο (H₂S), το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το νερό (H₂O), το άζωτο (N₂) και το ήλιο (He). Η παρουσία του υδρόθειου και του διοξειδίου του άνθρακα

στο φυσικό αέριο το καθιστά «Sour» ενώ η μη παρουσία των δύο πιο πάνω αερίων το καθιστά ως «Sweet» (Maddox and Cannon, 1992). Ο όρος «Sour» χρησιμοποιείται για να περιγράψει το μη επιθυμητό φυσικό αέριο αφού σύμφωνα με τον Van der Lei (2013) το υδρόθειο και το διοξείδιο του άνθρακα μπορούν να προκαλέσουν περιβαλλοντική βλάβη ή να επηρεάσουν αρνητικά τον τεχνολογικό εξοπλισμό που χρησιμοποιείται διαβρώνοντας τον. Επίσης, ο Sastri (2014) αναφέρει ότι, η διέλευση τέτοιας ποιότητας φυσικού αερίου (sour) από τους αγωγούς πετρελαίου μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή στοιχειακού θείου, το οποίο μπορεί να φράξει και να καταστρέψει τον αγωγό, με αποτέλεσμα, για την απόφραξη να χρειάζεται η χρήση ισχυρών οξέων. Σύμφωνα με τον Orazem (2014), η χρήση οξέων μαζί με το θείο και το σίδηρο, από τον οποίον αποτελούνται οι σωληνώσεις, οδηγεί σε αλυσιδωτές αντιδράσεις με αποτέλεσμα την παραγωγή υδρογόνου ενός ισχυρά εκρηκτικού αερίου.

Ο σχηματισμός του φυσικού αερίου λαμβάνει χώρα στο φλοιό της Γής, όταν η οργανική ύλη που συσσωρεύεται σε αυτόν μετασχηματίζεται, λόγω λιθοστατικών πιέσεων και αύξησης της θερμοκρασίας (Stanislav, 1999), όπου και στη συνέχεια απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα ή συσσωρεύονται στα ανώτερα στρώματα του φλοιού της γης (Liang et al., 2012). Σύμφωνα με την εταιρία Halliburton (2001), το φυσικό αέριο μπορεί να διαχωριστεί σε δύο τύπους. Το «βιογενές» και το «θερμογενετικό» φυσικό αέριο. Το βιογενές αέριο είναι το αποτέλεσμα της βακτηριακής δραστηριότητας κατά τα αρχικά στάδια της διαγένεσης. Ως διαγένεση, χαρακτηρίζεται η διαδικασία κατά την οποία το σύστημα, που αποτελείται από τα ιζήματα που περιέχουν άλατα και νεκρή ή/και ζωντανή οργανική ύλη, που αποτίθενται σε περιβάλλοντα με παρουσία νερού, τείνουν να μεταβούν σε μία σταθερότερη κατάσταση. Η διαγένεση, λαμβάνει χώρα σε βάθος μερικών εκατοντάδων μέτρων με τη δράση αερόβιων και αναερόβιων βακτηρίων με αποτέλεσμα τη δημιουργία του «κυρογόνου» (Kytrogen), ενός πολύ-συμπυκνώματος (Tissot και Welte, 1978). Αυτός ο τύπος αερίου εμφανίζεται σε διάφορα περιβάλλοντα όπου σε αυτά συμπεριλαμβάνονται και τα ποτάμια. Υπολογίζεται ότι περίπου το 20% του γνωστού φυσικού αερίου ανά το παγκόσμιο προκύπτει λόγω βιογενετικών διεργασιών (Halliburton, 2001). Σύμφωνα με τους Schoell (1983) και Stahl (1974) το βιογενές αέριο διαφέρει από το θερμογενετικό αφού το δεύτερο δημιουργείται σε βαθύτερους γεωλογικούς σχηματισμούς και ο Sherwood et al. (2013) αναφέρει ότι σήμερα εντοπίζεται σε μικρότερα βάθη λόγω των τεκτονικών γεγονότων και της διάβρωσης των υπερκείμενων πετρωμάτων. Ποιο συγκεκριμένα, ο Whitchell (1994)

αναφέρει ότι το θερμογενετικό αέριο προκύπτει από την θερμο-καταλυτική διάσπαση των σύνθετων οργανικών μορίων με αποτέλεσμα την δημιουργία των αλκανίων με αριθμό ανθράκων από 1 μέχρι 5 και ο Hunt et al. (1996) δηλώνει ότι η διάσπαση αυτή πραγματοποιείται στο μητρικό πέτρωμα όπου βρίσκεται το κηρογόνο. Καθώς η διαδικασία αυτή της διάσπασης του κηρογόνου μεταβαίνει από πρώιμα στάδια σε ώριμα, δημιουργούνται τα αλκάνια που στο τέλος το κηρογόνο μετατρέπεται σε μεθάνιο ως τελικό προϊόν.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι με την ανάπτυξη των νέων τεχνολογιών στην πετρελαϊκή βιομηχανία δίνονται μεγαλύτερες δυνατότητες στην αναζήτηση και την εξόρυξη του φυσικού αερίου. Σύμφωνα με την Reeder (2009) οι τεχνολογικές βελτιώσεις που παρουσιάστηκαν τα τελευταία χρόνια στον τομέα των πετρελαίων φαίνονται οικονομικά αποδοτικότερες δημιουργώντας έτσι ένα πιο ασφαλές πλαίσιο για περεταίρω ανάπτυξη του τομέα της εξόρυξης του φυσικού αερίου. Ο Jackson et al. (2014) πιστεύει ότι οι νέες μη συμβατικές μέθοδοι εξόρυξης όπως είναι για παράδειγμα η οριζόντια γεώτρηση και η υδραυλική διάρρηξη συμβάλλουν στην ανάπτυξη της οικονομίας αλλά μπορούν επίσης οι μεθοδολογίες αυτές να βοηθήσουν στην μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

2.3.2 Βιοαέριο

Ο πληθυσμός στην Ευρωπαϊκή Ένωση όπως έχει αναφερθεί και στο υποκεφάλαιο 1.2 παρουσιάζει μία σταθερή αύξηση. Σύμφωνα με την ιστοσελίδα «ο κόσμος μας σε στοιχεία» (Our World in Data, 2019) και σε συνεργασία με το πανεπιστήμιο της Οξφόρδης, παρουσιάζονται πληθυσμιακά στοιχεία ανά το παγκόσμιο. Τα στοιχεία αυτά δεικνύουν μία ραγδαία αύξηση του πληθυσμού, όχι μόνο στην Ευρώπη αλλά σε όλο τον πλανήτη και ειδικότερα στην Ασία. Ως συνεπακόλουθο αυτού, οι ενεργειακές ανάγκες να αυξάνονται ραγδαία ανά το παγκόσμιο με το Weiland (2010) να αναφέρει ότι μέχρι στιγμής το 88% των ενεργειακών αναγκών ικανοποιείται επί του παρόντος από τα ορυκτά καύσιμα. Σύμφωνα με την Lane (2018) το 2017 είχαμε αύξηση του 2% στις ενεργειακές ανάγκες γεγονός που οφείλεται στην οικονομική ανάπτυξη καθώς και στη συμπεριφορά των καταναλωτών. Όταν η ζήτηση σε ενέργεια αυξάνεται τότε και οι τιμές επηρεάζονται ανοδικά (Just Energy, 2019) και ο House (2007) παραθέτει τους

προβληματισμούς και τις ανησυχίες του για την αύξηση αυτή των τιμών και την βιωσιμότητα του συστήματος και εξήγηση την ανάγκη για εναλλακτικές πηγές ενέργειας. Στο πλαίσιο αυτό, ο Weiland (2010) πιστεύει ότι το βιοαέριο από απόβλητα, υπολείμματα και ενεργειακές καλλιέργειες θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στο μέλλον και το χαρακτηρίζει ως μια ευέλικτη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας (ως βιοκαύσιμο), η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων στην παραγωγή ενέργειας και θερμότητας. Επίσης πιστεύει ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως καύσιμο αέριο στα οχήματα και να χρησιμοποιηθεί και ως πρώτη ύλη για την παραγωγή χημικών ουσιών και υλικών. Σύμφωνα με την Angelidaki et al. (1993) το βιοαέριο προκύπτει μετά από μία πολύπλοκη διαδικασία ζύμωσης. Η διαδικασία αυτή χωρίζεται σε διάφορα στάδια όπου διαφορετικές κοινοπραξίες μικροβίων αλληλεπιδρούν συντροφικά για την αποικοδόμηση της οργανικής ύλης κάτω από αναερόβιες συνθήκες. Ο Walsh et al. (1988) παραθέτει ένα γενικά αποδεκτό ορισμό και ορίζει το βιοαέριο ως το τελικό προϊόν που προέρχεται από την αναερόβια χώνευση της οργανικής ύλης και περιλαμβάνει κυρίως μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα καθώς και άλλα στοιχεία. Σύμφωνα με το Lopez et al. (2012), άλλα στοιχεία που προκύπτουν από την αναερόβια χώνευση είναι τα οργανικά οξέα, οι αλκοόλες, το υδρογόνο και ενώσεις που προέρχονται από την αποικοδόμηση των πρωτεϊνών όπως σουλφίδια και αμμωνία. Για την παραγωγή του βιοαερίου ο Chynoweth (1987) αναφέρει ότι η χρήση κλειστών αντιδραστήρων (χωνευτήρες) είναι αναγκαία όπου εσωτερικά πραγματοποιούνται όλες οι διαδικασίες της αναερόβιας χώνευσης. Η Χρήση των αναερόβιων χωνευτήρων, σύμφωνα με τον Abatzoglou και Boivin (2008) έχει αποφέρει σημαντικά βιομηχανικά προϊόντα ή υποπροϊόντα που η εμπορική τους αξία έχει αυξηθεί λόγω του υψηλού ενεργειακού τους περιεχομένου και τα σημαντικά έσοδα που επιφέρουν. Στους αντιδραστήρες αυτούς σύμφωνα με τους ποιο πάνω, μεταξύ άλλων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν γεωργικά απόβλητα, ζωική κοπριά, απόβλητα βιομηχανίας τροφίμων κ.α. Το βιοαέριο που παράγεται στους βιο-αντιδραστήρες αυτούς, με τα προαναφερθέντα υλικά, είναι πλούσιο σε μεθάνιο που κυμαίνεται μεταξύ 35% και 75% κατά όγκο και η θερμαντική του αξία κυμαίνεται μεταξύ 15 και 30 Mj/Nm³. Πέραν από την παραγωγή ενέργειας από το βιοαέριο, με την εφαρμογή μεθόδων αναερόβιας χώνευσης παρουσιάζονται πολλαπλά οφέλη, αφού με την εφαρμογή της μεθοδολογίας αυτής μειώνονται οι οσμές, το τελικό προϊόν της ζύμωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα (Weiland, 2010) και μειώνεται σημαντικά ο όγκος των αποβλήτων (Molino et al., 2013). Βέβαια, πέραν από τα θετικά από την εφαρμογή της

μεθοδολογίας αυτής, θα πρέπει να αναφερθεί ότι υπάρχουν περιπτώσεις όπου παρατηρείται έκκλιση βιοαερίου στην ατμόσφαιρα με αρνητικές συνέπιες στο περιβάλλον. Σύμφωνα με τους Bögjesson και Berglund (2007) η παραγωγή βιοαερίου με την προαναφερθείσα μέθοδο, μπορεί να προκαλέσει ανεξέλικτες απώλειες μεθανίου στην ατμόσφαιρα από ελαττωματικά χωνευτήρια και μικρές απώλειες ακόμη και από αυτά που λειτουργούν βάσει τις ορθές προδιαγραφές. Τέλος, ο Asam et al. (2011) πιστεύει ότι, η τεχνολογία της αναερόβιας χώνευσης μπορεί και καλύπτει την έννοια της αειφορίας.

2.3.3 Μεθανόλη

Σύμφωνα με τη μη κερδοσκοπική, εκπαιδευτική και επιστημονική οργάνωση «Ίδρυμα για την Μεθανόλη» (Methanol Foundation, 2019), η οποία προωθεί την χρήση της χημικής ουσίας μεθανόλης, ως μίας καθαρής πηγής ενέργειας, μας περιγράφει ότι η μεθανόλη, είναι μία υγρή, υδατοδιαλυτή, διαυγής χημική ουσία που είναι ευκόλως βιοδιασπώμενη, η οποία έχει γενικό χημικό τύπο CH_3OH και αποτελεί το απλούστερο μέλος μιας ομάδας οργανικών χημικών ουσιών, τις αλκοόλες. Σύμφωνα με την ίδια πηγή η μεθανόλη θα μπορούσε να αποτελεί ένα ελκυστικό εναλλακτικό καύσιμο για την τροφοδοσία μηχανών εσωτερικής καύσης για την παραγωγή έργου και ενέργειας, για τις εστίες της κουζίνας αλλά και για την θέρμανση των σπιτιών αφού παρουσιάζει περιβαλλοντικά και οικονομικά πλεονεκτήματα. Είδη από το 1973 οι Reed και Lerner σε μία εκτεταμένη εργασία τους, παρουσιάζουν την μεθανόλη ως ένα εύελκτο καύσιμο που μπορεί να παραχθεί από το φυσικό αέριο (Reed and Lerner, 1973). Πολλές μελέτες παρουσιάζουν την μεθανόλη ως την χημική εκείνη ουσία, η οποία θα μπορούσε ως ενεργειακή πρώτη ύλη να σπρώξει την οικονομία σε μία εποχή όπου η χρήση των ορυκτών καυσίμων θα είναι μηδαμινή (Geoppert et al., 2014, Geoppert et al., 2012, Olah et al., 2011, Olah et al., 2009). Θα πρέπει όμως να αναφερθεί, ότι η αλόγιστη χρήση της μεθανόλης χωρίς τα απαραίτητα μέτρα προστασίας, μπορεί να προκαλέσει προβλήματα υγείας, αφού σύμφωνα με τους Dasgupta και Klein (2014) η ουσία αυτή είναι μια τοξική αλκοόλη της οποίας δεν θα πρέπει να εισπνέονται οι ατμοί της. Οι Bruschen και Wynne (2000) αναφέρουν ότι η μεθανόλη χρησιμοποιείται συνήθως από την χημική βιομηχανία τόσο ως διαλύτης όσο και ως αντιδραστήριο αφού σχηματίζει οξειοτροπικά μίγματα με πολλές ουσίες και ιδιαίτερα εστέρες. Χρησιμοποιείτε επίσης στα αντιψυκτικά (Jean et al., 2007), στα προϊόντα καθαρισμού (Dasgupta and Wahed,

2014), ως πρόσθετο σε μείγματα νιζελ-βιοντίζελ για την βελτίωση των ρεολογικών ιδιοτήτων με αποτέλεσμα το μείγμα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί και κάτω από χαμηλές θερμοκρασίας τον χειμώνα αλλά και να ενισχύσει την παρουσία του οξυγόνου με αποτέλεσμα την καλύτερη καύση και την μείωση των εκπομπών αέριο σωματιδίων (Qi et al., 2010). Έχει παρατηρηθεί ότι η προσθήκη της μεθανόλης σε λάδι που προέρχεται από συγκεκριμένα φυτά για την παραγωγή βιοκαυσίμων, κατά την καύση του βιοκαυσίμου αυτού παρουσιάστηκαν μειωμένες εκπομπές ρύπων όπως το μονοξείδιο του άνθρακα κ.α. (Kumar et al., 2003). Επίσης, η μεθανόλη χρησιμοποιείται για την παραγωγή της φορμαλδεΐδης ενός σημαντικού χημικού για την βιομηχανία (Koivikko et al. 2011).

Σε μία σύγχρονη έκδοση από τις «Εθνικές Ακαδημίες Επιστημών, Μηχανικής και Ιατρικής (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2019) που πραγματεύεται την εκμετάλλευση των αέριο ρύπων, παρουσιάζονται διάφορες μεθοδολογίες για την μετατροπή του μεθανίου σε μεθανόλη. Σύμφωνα με το Holmen (2009) παντός, για να επιτευχθεί η άμεση μετατροπή του μεθανίου σε άλλα προϊόντα απαιτούνται υψηλές θερμοκρασίες λόγω της κινητικής και θερμοδυναμικής του κατάστασης και παρουσία καταλύτη και σε ορισμένες περιπτώσεις τα προϊόντα που παράγονται είναι πιο δραστικά από το μεθάνιο. Πολλές μελέτες πραγματοποιήθηκαν το πρόβλημα της άμεσης μετατροπής του μεθανίου σε πολύτιμα προϊόντα (Gunsalus et al., 2017, Kondratenko et al., 2017, Ravi et al., 2017, Wang et al., 2017, Schwach et al., 2017 Karakaya and Kee, 2016) αλλά παρόλα αυτά δεν έχουμε οδηγηθεί στην ανάπτυξη κατάλληλων βιομηχανικών διεργασιών. Συγκεκριμένα, η ανάπτυξη καταλυτών για την μετατροπή του μεθανίου σε μεθανόλη υπήρξε υψηλός στόχος στην επιστημονική κοινότητα εδώ και 50 χρόνια, που παρά την έντονη έρευνα, παρουσιάζονται προβλήματα στην εφαρμογή κατάλληλων μεθοδολογιών στην βιομηχανία. Σύμφωνα με την Lemonidou et al. (2003) η χημική αυτή ουσία που παρασκευάζεται από το φυσικό αέριο και χρησιμοποιείται για την παρασκευή άλλων βασικών προϊόντων, η ζήτηση της το 2000 ανήλθε σε 36 εκατομμύρια μετρικούς τόνους ενώ ο Bergins et al. (2015) σε μία νεότερη έρευνα για την ευρωπαϊκή αγορά αναφέρει ότι το 75% της ζήτησης της μεθανόλης που ανέρχεται σε 8,5 εκατομμύρια τόνους στη Ευρωπαϊκή Ένωση εισάγεται από τρίτες χώρες. Σύμφωνα με την ιστοσελίδα «IHS Markit» (2019) κατά την επόμενη πενταετία, η κατανάλωση μεθανόλης αναμένεται να αυξηθεί με μέσο ρυθμό περίπου 4%

ετησίως. Η συνεχιζόμενη αυξανόμενη παγκόσμια παραγωγή φορμαλδεΐδης αναμένεται να οδηγήσουν την ανάπτυξη της αγοράς μεθανόλης μέχρι το 2022.

Η επιστημονική κοινότητα βλέποντας τα προβλήματα που παρουσιάζονται κατά την εφαρμογή των υφιστάμενων μεθόδων στην μετατροπής του μεθανίου σε υψηλής αξίας προϊόντα, όπως αυτά παρουσιάζονται πιο πάνω, έστρεψε το βλέμμα της προς την εφαρμογή νέων μεθόδων και τεχνολογιών για την βιολογική μετατροπή του μεθανίου σε μεθανόλη. Σύμφωνα με το Ge et al. (2014) η μετατροπή του μεθανίου σε υγρά καύσιμα έχει πολλαπλά ωφέλει λόγω του ότι με την μετατροπή αυτή μειώνεται το κόστος αποθήκευσης, μεταφοράς και διανομής. Για την επίτευξη του στόχου αυτού προτείνονται οι βιολογικές μέθοδοι μετατροπής, που παρουσιάζονται ιδιαίτερα ελκυστικές σε σχέση με τις θερμοχημικές και οι οποίες εμφανίζονται ιδιαίτερα αποτελεσματικές στη μετατροπή του μεθανίου κάτω από ήπιες συνθήκες λειτουργίας των βιοαντιδραστήρων για αυτή τη μετατροπή. Σύμφωνα με την ίδια πηγή, οι μικροοργανισμοί που χρησιμοποιούνται για την βιομετατροπή αυτή, παρουσιάζουν εξαιρετική ικανότητα να προσαρμόζονται σε διαφορετικά περιβάλλοντα και να αναπτύσσονται ακόμη και σε συνθήκες περιβάλλοντος. Με βάση τα πιο πάνω αντιλαμβάνεται κανείς τα πλεονεκτήματα της βιομετατροπής, που αποτελεί μία πιο οικονομική μέθοδο.

2.4 Φυσικό αέριο και αειφορία

Στο παρόν υποκεφάλαιο θα γίνει μία προσπάθεια να παρουσιασθή συνοπτικά η θετική συμβολή του φυσικού αερίου στους τρεις αδιαχώριστους πυλώνες της αειφορίας (περιβάλλον - οικονομία - κοινωνία) με βάση την διεθνή βιβλιογραφία. Επίσης, θα παρατεθούν συγκριτικά δεδομένα με άλλες πηγές ενέργειας, για την αξιολόγηση της θετικής ή της αρνητικής συνεισφοράς του φυσικού αερίου στην αειφόρο ανάπτυξη, ειδικότερα στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αφού σύμφωνα με στατιστικά της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Statistical Pocketbook, 2014), η Κύπρος που είναι και η χώρα ενδιαφέροντος στην παρούσα διατριβή, χρησιμοποιεί πέραν του 80% ορυκτά καύσιμα και συγκεκριμένα πετρέλαιο, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Πέραν από τα πιο πάνω, εστιάζουμε στην ηλεκτρική ενέργεια, γιατί σύμφωνα με τους Jansson και Udo (2003) το ηλεκτρικό δίκτυο αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές υποδομές στον κόσμο που επηρεάζει με θετικό πρόσημο τη κοινωνική, την οικονομική

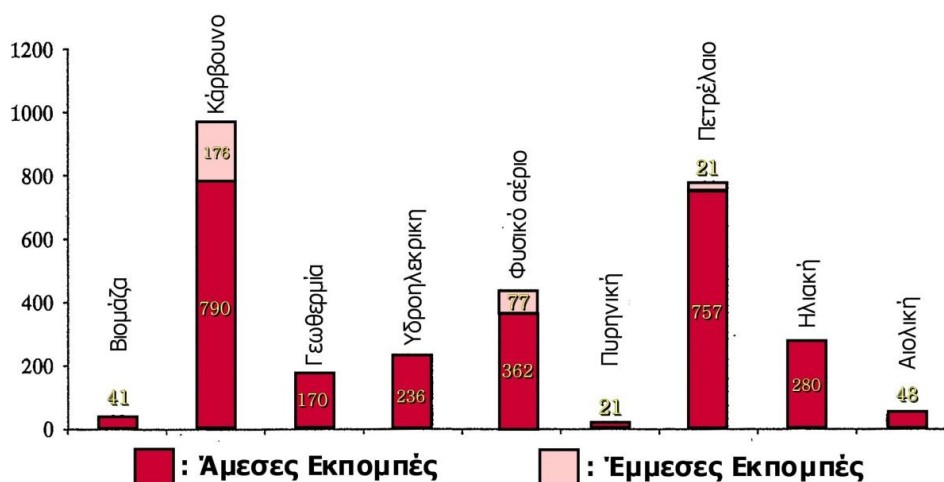
αλλά και την τεχνολογική ανάπτυξη των σύγχρονων κοινωνιών. Παρόλα αυτά όμως, τις τελευταίες δεκαετίες λόγω της αύξησης του πληθυσμού και της αύξησης της ενεργειακής ζήτησης, οδηγηθήκαμε σε παρατηρήσιμες αλλαγές σε παγκόσμιο επίπεδο όσον αφορά το κλίμα. Σύμφωνα με το Ερευνητικό Ινστιτούτο Ηλεκτρικής Ενέργειας (EPRI, 2003) οι παρατηρήσιμες αυτές αλλαγές στο κλίμα που σχετίζονται με την ενέργεια (δηλαδή: την εξάντληση των πόρων, την πυρηνική διάδοση, τα απόβλητα, τα επικίνδυνα αέρια, την μόλυνση υδάτων) απαιτούν δράσεις για τη διερεύνηση εναλλακτικών οδών για την επίτευξη της αειφορίας στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας. Πάντως, σύμφωνα με την ποιο πάνω πηγή, στόχος της βιομηχανίας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η καθολική ηλεκτροδότηση έως το 2050 με ελάχιστο επίπεδο κατανάλωσης ανά άτομο τα 1,000 kWh το χρόνο. Αυτό πιστεύεται θα επιφέρει βελτίωση στην ποιότητα της ζωής των ανθρώπων και θα καλύψει τις βασικές τους ανάγκες. Τέλος, πιστεύεται ότι η ηλεκτρική ενέργεια, στα επόμενα χρόνια θα αποτελέσει την απαραίτητη βάση και τη λύση για την επίτευξη της παγκόσμιας αειφόρου ανάπτυξης. Ο Liang et al. (2012) αναφέρει ότι οι νέες τεχνολογίες επιτρέπουν σήμερα στο φυσικό αέριο να αποτελέσει το μέσω εκείνο για την επίτευξη της αειφόρου ανάπτυξης στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας και να αποτελέσει την ιδανικότερη γέφυρα μεταξύ ορυκτών καυσίμων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

2.4.1 Φυσικό αέριο και περιβαλλοντικός πυλώνας της αειφορίας

Αν και πολλά στοιχεία για την συνεισφορά του φυσικού αερίου και του μεθανίου στους πυλώνες της αειφορίας έχουν παρουσιαστή και ποιο πάνω, συνοπτικά μπορούμε να πούμε ότι το φυσικό αέριο παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των άλλων καυσίμων, με σημαντικά θετική συνεισφορά στο περιβαλλοντικό πυλώνα. Σύμφωνα με μελέτη του Riva et al. (2006) που πραγματεύεται τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η χρήση του φυσικού αερίου σε σύγκριση με άλλα ορυκτά καύσιμα, εξάγεται το συμπέρασμα ότι το εν λόγω καύσιμο παρουσιάζει καλύτερες περιβαλλοντικές επιδόσεις. Ο Burgis et al. (2006) αναφέρει ότι σήμερα, οι σύγχρονες τεχνολογίες παρέχουν μια ευκαιρία για το φυσικό αέριο να προσφέρει πολύ περισσότερα ακόμη και σε εμπορικούς πελάτες (για ψύξη και θέρμανση) πέραν από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, συμβάλλοντας έτσι στην περεταίρω μείωση της χρήσης των άλλων ορυκτών καυσίμων όπως το πετρέλαιο και το κάρβουνο περιορίζοντας έτσι και το περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Οι Schneider και Bogdan (2007)

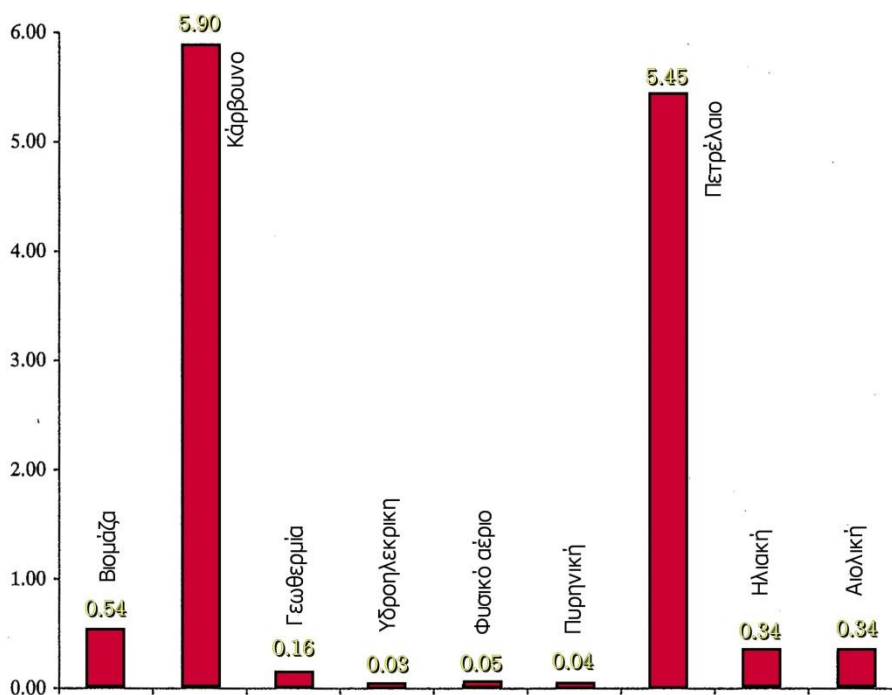
πιστεύουν ότι η χρήση καυσίμων χαμηλής ποιότητας, όπως χαρακτηρίζουν το πετρέλαιο και το κάρβουνο έχει σαν αρνητική συνέπεια την αύξηση των ρύπων στην ατμόσφαιρα λόγω της παρουσίας θείου και ασφαλτένιων στα προαναφερθέντα καύσιμα. Οι ρύποι που εκλύονται κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το διοξείδιο του θείου και τα οξείδια του αζώτου βάζουν σε προβληματισμό την επιστημονική κοινότητα. Σύμφωνα με την πιο πάνω πηγή η χρήση του φυσικού αερίου, ακόμη και ο συνδυασμός φυσικού αερίου και πετρελαίου θα μπορούσε να συμβάλλει στην μείωση εκπομπής ρυπαντών στην ατμόσφαιρα ελαχιστοποιώντας έτσι το οικολογικό κόστος. Ο Portman et al. (2012) σε έρευνά του παρουσιάζει τους πιο πάνω αέριους ρυπαντές να έχουν αρνητική επίδραση στο όζον με αποτέλεσμα τις αλυσιδωτές δυσμενείς επιπτώσεις στο παγκόσμιο κλίμα και τους ωκεανούς. Ειδικότερα ο Daniel et al. (2010) εφιστά την προσοχή στα οξείδια του αζώτου και ιδιαίτερα στο υποοξείδιο του αζώτου και υπογραμμίζει ότι ο έλεγχος των ανθρωπογενών αυτών αέριων ρύπων μπορεί να μειώσει την περαιτέρω καταστροφή του όζοντος. Σύμφωνα με τον Breeze (2017) η δημιουργία όξινης βροχής από την χρήση των ορυκτών καυσίμων που κατά την καύση τους εκλύουν διοξείδιο του θείου και οξείδια του αζώτου είναι εφικτή. Η όξινη βροχή είναι υπεύθυνη για την οξίνιση των ποταμών και λιμνών ενώ παράλληλα επηρεάζει αρνητικά και τη βλάστηση. Τα οξείδια του αζώτου είναι επίσης μερικώς υπεύθυνα για το φωτοχημικό νέφος, το οποίο είναι επικίνδυνο στον άνθρωπο. Η Carlin (2003) ορίζει τη όξινη βροχή ως οποιαδήποτε βροχόπτωση που έχει ενεργό οξύτητα από 5,5 και κάτω ($\text{pH} \leq 5.5$). Σχετικά με την όξινη βροχή ο Speight (2007) αναφέρει ότι η χρήση του φυσικού αερίου δεν συμβάλλει σημαντικά στην δημιουργία όξινης βροχής καθώς απελευθερώνει λιγότερα οξείδια του αζώτου και ως εκ τούτου η καύση φυσικού αερίου περιορίζει το φαινόμενο αυτό. Οι Simkins και Simkins (2013) με βάση δεδομένα από υπηρεσίες και οργανισμούς, παρουσιάζουν την συνεισφορά της βιομάζας, του γαιάνθρακα, της γεωθερμίας, της υδροηλεκτρικής ενέργειας, του φυσικού αερίου, της πυρηνικής ενέργειας, του πετρελαίου, της ηλιακής ενέργειας και τέλος της αιολικής ενέργειας στις εκπομπές αέριων ρύπων (Διάγραμμα 2.2, 2.3, 2.4).

ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO₂ - gr/kwh



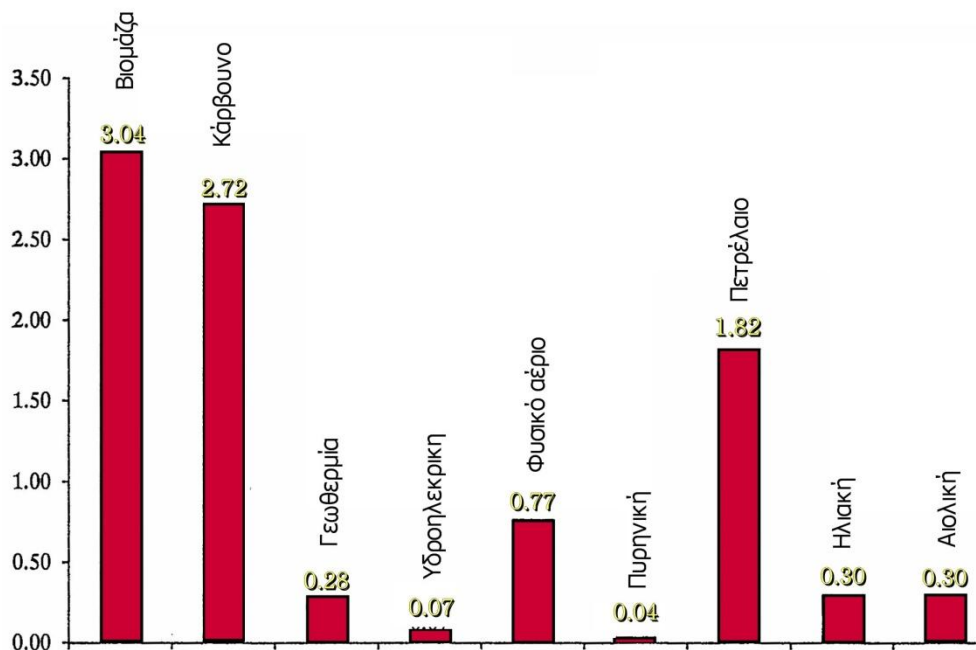
Διάγραμμα 2.2: Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που εκλύονται κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση διαφορετικών πηγών (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: Simkins and Simkins, 2013).

ΕΚΠΟΜΠΕΣ SO₂ - gr/kwh



Διάγραμμα 2.3: Εκπομπές διοξειδίου του θείου που εκλύονται κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση διαφορετικών πηγών (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: Simkins and Simkins, 2013).

ΕΚΠΟΜΠΕΣ NO_x - gr/kwh



Διάγραμμα 2.4: Εκπομπές οξειδίων του αζώτου που εκλύονται κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση διαφορετικών πηγών (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: Simkins and Simkins, 2013).

Με βάση τα διαγράμματα 2.2, 2.3 και 2.4 διαπιστώνεται ότι το φυσικό αέριο παρουσιάζει μειωμένες εκπομπές αέριων ρύπων κατά την καύση του σε σύγκριση με το πετρέλαιο και το κάρβουνο, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις παρουσιάζει χαμηλότερες πιέσεις στο περιβάλλον ακόμη και από την βιομάζα όσον αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Πέραν όμως από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, σύμφωνα με τους Holdren και Smith (2000), η αντικατάσταση της βενζίνης ως καύσιμο και στα συμβατικά ιδιωτικά οχήματα αλλά και οχήματα μεταφορών με συμπιεσμένο φυσικό αέριο, μπορεί να επιφέρει περεταίρω μείωση των ρυπαντών που εκλύονται στην ατμόσφαιρα. Πέραν από την θετική περιβαλλοντική συνεισφορά του φυσικού αερίου, με τη χρήση του στα οχήματα, οι Holdren και Smith (2000) εισάγουν παράλληλα και το οικονομικό στοιχείο. Σύμφωνα με τους ίδιους, το φυσικό αέριο δίνει την δυνατότητα οικονομικού ανεφοδιασμού, ελάχιστης συντήρησης οχημάτων και χαμηλό κόστος μετατροπής.

Σύμφωνα με την Sohns et al. (2016) η χρήση νερού στην πετρελαϊκή βιομηχανία είναι απαραίτητη. Το νερό χρησιμοποιείται σε όλα τα στάδια της εξόρυξης του πετρελαίου και του φυσικού αερίου είτε για την διεξαγωγή της γεώτρησης είτε για πλύσιμο. Βέβαια, ανάλογα με την μέθοδο της εξόρυξης, τη γεωλογία της περιοχής και άλλα, η ποσότητες του νερού ποικίλουν. Αν και η Sohns et al. (2016) αναφέρει ότι στη η πετρελαϊκή βιομηχανία δεν δαπανούνται σημαντικά ποσά νερού σε σύγκριση με άλλους κλάδους όπως η γεωργία, οι Simkins and Simkins (2013) πιστεύουν ότι για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας δαπανούνται μεγάλες ποσότητες νερού. Επίσης, η Sprang et al. (2014) πιστεύει ότι γενικότερα για την παραγωγή ενεργειακών πόρων απαιτούνται σημαντικές ποσότητες νερού και ειδικά γλυκού νερού. Σημειώνει επίσης ότι, η σχετική επιβάρυνση των υδατικών πόρων διαφοροποιείται καθώς ο τομέας της ενέργειας αλλάζει ή επεκτείνεται ή όταν εφαρμόζει συνδυασμό τεχνολογιών για την παραγωγή καυσίμων και ηλεκτρικής ενέργεια (Πίνακας 2.3).

Κατανάλωση Νερού σε Λίτρα Ανα Κιλοβατόρα την Ώρα

Πηγές Ενέργειας	L/kwh
Βιομάζα	196.0
Κάρβουνο	0.4
Γεωθερμία	5.3
Υδροηλεκτρική	17.0
Φυσικό αέριο	0.2
Πυρηνική	0.4
Ηλιακή	0.0
Αιολική	0.0
Πετρέλαιο	9300.0

Πίνακας 2.3: Χρήση νερού σε λίτρα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από διαφορετικές πηγές (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: Simkins and Simkins, 2013).

Συνολικά υπολογίζεται ότι για την παγκόσμια παραγωγή ενέργειας περίπου 52 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα γλυκού νερού καταναλώνονται ετησίως για την παγκόσμια παραγωγή ενέργειας. Σύμφωνα με μία τεχνική έκθεση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (2013) για την υδραυλική διάρρηξη σχιστολίθου που πραγματοποιείται για την εξόρυξη του φυσικού αερίου, αναφέρει ότι σημαντικές ποσότητες νερού

χρησιμοποιούνται και χάνονται στα πηγάδια εξόρυξης αφού σύμφωνα με τους Montgomery και Smith (2010) η χρήση νερού ως βασικού υγρού για την υδραυλική διάρρηξη αποτελεί μία πρόσφατη εξέλιξη στις μεθοδολογίες της πετρελαϊκής βιομηχανίας. Πρέπει να αναφερθεί επίσης, ότι μεγάλες ποσότητες νερού δαπανούνται και σε άλλες μεθοδολογίες όπως για παράδειγμα για την καλλιέργεια σπαρτών που θα χρησιμοποιηθούν ως βιοκαύσιμα.

Με βάση τα δεδομένα του πίνακα 2.3 διαπιστώνεται ότι το φυσικό αέριο έχει την μικρότερη κατανάλωση νερού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενώ σημαντικό είναι επίσης να αναφερθεί ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με την βοήθεια του ανέμου και του ήλιου εμφανίζουν μηδενική κατανάλωση νερού.

Οι Simkins και Simkins (2013) εντάσσουν ως δείκτη αειφορίας στον περιβαλλοντικό πυλώνα και τη χρήση γης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η χρήση γης που απαιτείται για την εγκατάσταση μονάδων και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζονται στον πίνακα 2.4.

Χρήση Γης

Πηγές Ενέργειας	Km ² /twh
Βιομάζα	533
Κάρβουνο	4
Γεωθερμία	18–74
Υδροηλεκτρική	152
Φυσικό αέριο	0.35
Πυρηνική	0.5
Πετρέλαιο	45
Ηλιακή	45
Αιολική	72

Πίνακας 2.4: Τετραγωνικά μέτρα γης που απαιτούνται για την εγκατάσταση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από διαφορετικές πηγές (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: Simkins and Simkins, 2013).

Όπως διαπιστώνεται από τον πίνακα 2.4, το φυσικό αέριο, συγκριτικά με το κάρβουνο και το πετρέλαιο απαιτεί την λιγότερη χρήση γης, ενώ από τις ανανεώσιμες πηγές όπως η ηλιακή και η αιολική, απαιτούνται περισσότερα τετραγωνικά μέτρα για την

εγκατάσταση μονάδων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η υψηλή απαίτηση σε γη για την παραγωγή ενέργειας από τη βιομάζα και οι πολύ χαμηλές απαιτήσεις σε γη για τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας. Η σπουδαιότητα της γης παρουσιάζεται από τους Barr (2003) και Overbeek (2009). Καθώς ο πληθυσμός στο πλανήτη αυξάνεται, παράλληλα αυξάνεται και ο ανταγωνισμός για την καλλιεργήσιμη γη, όχι μόνο για την παραγωγή τροφίμων αλλά και για την καλλιέργεια φυτών που προορίζονται για την παραγωγή βιοκαυσίμων. Σύμφωνα με τον Patel (2009), η γη που χρησιμοποιείται και για άλλους σκοπούς πέραν της παραγωγής τροφής μπορεί να επιφέρει αρνητικά αποτελέσματα και στον κοινωνικό πυλώνα της αειφορίας μαζί με τον περιβαλλοντικό. Ο Patel (2009) πιστεύει ότι η χρήση γης για άλλους σκοπούς πέραν της παραγωγής τροφής μπορεί να επηρεάσει την επισιτιστική ασφάλεια τόσο σε εθνικό όσο και σε διεθνή επίπεδο. Μία σειρά από νέες μελέτες (Skog and Steinnes, 2016, Amundson et al., 2015, Seto et al., 2011) παρουσιάζουν το πρόβλημα της μετατροπής της γεωργικής γης για άλλες χρήσεις που συμπερασματικά υποδεικνύουν και τη λήψη κοινωνικών μέτρων και τη προστασία της γεωργικής γης. Σύμφωνα με τις προαναφερθείσες μελέτες τα προβλήματα που παρουσιάζονται από την μετατροπή των γεωργικών εκτάσεων σε αστικές, χαρακτηρίζονται ως μη αναστρέψιμα. Για παράδειγμα, οι Fthenakis και Kim (2009) υπολογίζουν ότι για την αποκατάσταση τη γης που χρησιμοποιήθηκε για την εξόρυξη γαιάνθρακα χρειάζονται 30 χρόνια το ελάχιστο με μέγιστο τα 250 χρόνια, ενώ για την χρήση της πυρηνικής ενέργειας η γη δεσμεύεται για 10.000 χρόνια. Οι Simkins και Simkins (2013) αναφέρουν ότι η χρήση γης για παραγωγή ενέργειας μπορεί να επηρεάσει την άγρια ζωή, να επιμολύνει το έδαφος με διάφορους ρυπαντές και να επηρεάσει γενικά το οικοσύστημα και τους υδρόβιους οργανισμούς. Όσον αφορά την βιομάζα, αν και αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας εντούτοις στο δείκτη που πραγματευόμαστε παρουσιάζει μειονεκτήματα. Οι υψηλές απαίτησης σε γη οφείλονται στο γεγονός ότι η γη χρειάζεται για την καλλιέργεια της βιομάζας που αυτό βέβαια εξαρτάται από το είδος της βιομάζας, το έδαφος, και το κλίμα. Πάντως, η βιομάζα δεν συνηθίζεται να χρησιμοποιείται άμεσα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργεια αλλά για την παραγωγή αιθανόλης (Fthenakis και Kim, 2009). Όσον αφορά το φυσικό αέριο αν και τα στοιχεία δείχνουν ότι με τη χρήση του δεσμεύεται λιγότερη γη παρόλα αυτά θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και ο παράγοντας «διανομή». Σύμφωνα με την Ομοσπονδιακή Ρυθμιστική Επιτροπή Ενέργειας (FERC, 2015) της Αμερικής, καθορισμένα απαγορευτικά μέτρα

τηρούνται για θέματα ασφαλείας όπου εκτάσεις γης δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιπτώσεις όπου υφίστανται αγωγοί διέλευσης φυσικού αερίου.

Με βάση τα πιο πάνω δεδομένα που βασίζονται στην διεθνή βιβλιογραφία εξάγεται το συμπέρασμα ότι ορθός το φυσικό αέριο μπορεί να διαδραματίσει το ρόλο ενός μεταβατικού καύσιμου προς την πορεία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συμβάλλοντας έτσι με θετικό πρόσημο στον περιβαλλοντικό πυλώνα της αειφόρας αφού η καύση του για την παραγωγή ενέργειας σε σύγκριση με το πετρέλαιο παρουσιάζει πολλαπλά ωφέλει. Ακόμη και οι έμμεσες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και ανησυχίες που σχετίζονται με την εξορυκτική διαδικασία του φυσικού αερίου όπως για παράδειγμα τα μεγάλα ποσοστά λάσπης που εξάγονται από την γεωτρητική διαδικασία και τα χημικά που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία του πετρελαίου (Rose, 2009) σύμφωνα με την Stephenson et al. (2012) επισκιάζονται γιατί το φυσικό αέριο μπορεί να αποτελέσει την κινητήρια δύναμη για περαιτέρω οικονομική ανάπτυξη.

2.4.2 Φυσικό αέριο και οικονομικός πυλώνας της αειφορίας

Ακόμη ένας σημαντικός πυλώνας της αειφορίας πέραν από τον περιβαλλοντικό είναι και ο οικονομικός. Με βάση τα δεδομένα του υποκεφαλαίου 2.4.1, η χρήση του φυσικού αερίου εμφανίζεται με θετικό πρόσημο στο περιβαλλοντικό πυλώνα της αειφορίας έναντι των άλλων ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το ερώτημα που τίθεται είναι αν η χρήση του μπορεί να επηρεάσει θετικά και τον οικονομικό πυλώνα της αειφορίας. Σύμφωνα με τον Hefner (1995) η ενέργεια που απαιτείται σήμερα σε όλες τις πτυχές των δραστηριοτήτων μας, αποτελεί βασικό συστατικό για την οικονομική ανάπτυξη. Πιστεύει επίσης, ότι η βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη θα πρέπει να στηρίζεται σε ενεργειακά συστήματα που είναι ανταγωνιστικά, περισσότερο αποδοτικά, λιγότερο δαπανηρά και να έχουν μικρό περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Με βάση μία πιο σύγχρονη μελέτη των Lund και Hevrlund (2012) επισημάνεται η σχέση μεταξύ ενέργειας και οικονομίας. Σύμφωνα με αυτή τη μελέτη, η ανάπτυξη του τομέα της ενέργεια στα πλαίσια της αειφορίας μπορεί να συμβάλει με θετικό πρόσημο στον οικονομικό πυλώνα σε περιόδους οικονομικής κρίσης δημιουργώντας νέες θέσεις εργασίας, ενδυναμώνοντας έτσι την οικονομική ανάπτυξη. Ειδικότερα οι επενδύσεις που σχετίζονται με την μείωση των ορυκτών καυσίμων και τις εκπομπές αέριων ρύπων πέραν από την δημιουργία νέων θέσεων εργασίας επηρεάζουν

με θετικό πρόσημο και τις δημόσιες δαπάνες. Αν και η ηλιακή και η αιολική ενέργεια αποτελούν λύσεις φιλικότερες προς το περιβάλλον εντούτοις με βάση στοιχεία της Υπηρεσία Πληροφοριών για Θέματα Ενέργειας των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (EIA, 2018) οι νέες τεχνολογίες αυτές είναι οικονομικά αποδοτικότερες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γαιάνθρακα αλλά όχι και από το φυσικό αέριο. Από την άλλη ο Safari et al. (2019) αναφέρει ότι η χρήση του φυσικού αερίου στην προσπάθεια επίτευξης ενός αειφόρου μέλλοντος, πέραν από κοινωνικές, τεχνολογικές, γεωγραφικές και πολιτικές προκλήσεις, εμφανίζει και οικονομικές. Ως εκ τούτου, για την εφαρμογή του καταλληλότερου μοντέλου από οικονομικής άποψης, θα πρέπει να αξιολογούνται πολλοί παράμετροι όπως μεταξύ άλλων οι υπάρχουσες υποδομές, οι τοπικές απαιτήσεις σε ενέργεια και οι εθνικές πολιτικές για την ενέργεια. Οι Simkins και Simkins (2013) αναφέρουν ότι τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για να εντάσσονται στα πλαίσια της αειφορίας θα πρέπει να είναι οικονομικά και αυτό πρέπει να αντανακλάτε και πάνω στο σταθμισμένο κόστος ενέργειας. Ως Σταθμισμένο Κόστος Ενέργειας (ΣΚΕ) σύμφωνα με τον Ragheb (2017) ορίζεται ως η τιμή της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας που εκφράζεται σε σέντ ανά κιλοβατώρα λαμβάνοντας υπόψη το κόστος κατασκευής, λειτουργίας, συντήρησης της μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και το κόστος των καυσίμων. Ο Govindan et al. (2018), εντάσσει στον ορισμό και τις οικονομικές συνθήκες της ζωής, τους κινδύνους που προκύπτουν καθώς και τις οικονομικές επιστροφές αλλά και τους συντελεστές απόδοσης. Στον πίνακα 2.5 παρουσιάζονται οι τιμές της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από διάφορες πηγές. Με βάση των πίνακα συμπεραίνεται ότι το φυσικό αέριο αποτελεί το οικονομικότερο καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενώ από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας η ηλιακή παρουσιάζει υψηλό σταθμισμένο κόστος.

Πέραν από την τιμή του φυσικού αερίου που παρουσιάζεται οικονομικότερο από τα άλλα ορυκτά καύσιμα θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και το έμμεσο οικονομικό κόστος που μπορεί να πρόκυψη λόγω καταστροφής τεχνολογικού εξοπλισμού. Σύμφωνα με τους Richardson και Brughone (2018) τα απρόοπτα συμβάντα που προκαλούν καταστροφές και οφείλονται τόσο σε ανθρώπινο σφάλμα αλλά όσο και σε αστοχία εξοπλισμού, ανάλογα με το πεδίο, το μέγεθος και τη θέση που προκύπτουν αυτές οι καταστροφές, πέραν από τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, τους φυσικούς πόρους και το οικοσύστημα, έχουν και οικονομικές συνέπειες. Για παράδειγμα ο Cohen (2010) περιγράφει το πολύπλευρο κόστος που προκύπτει και ειδικότερα το οικονομικό σε

περιπτώσεις όπου παρουσιάζονται διαρροές πετρελαίου. Μεγάλα ποσά δαπανούνται για την αποκατάσταση του περιβάλλοντος σε τέτοιες περιπτώσεις.

Η σύνδεση της οικονομικής ανάπτυξης με την κατανάλωση του φυσικού αερίου μελετήθηκε από τους Apergis και Payne (2010) οι οποίοι έθεσαν κάτω από το μικροσκόπιο 67 χώρες. Σύμφωνα με τη μελέτη αυτή, η συσχέτιση στη χρήση του φυσικού αερίου με την οικονομική ανάπτυξη παρουσιάζεται αρκετά σημαντική. Τα βραχυπρόθεσμα μοντέλα αιτιότητας δείχνουν ότι υπάρχει αμφίδρομη συνάφεια μεταξύ της κατανάλωσης του φυσικού αερίου και της οικονομικής ανάπτυξης, όπου η αύξηση στη κατανάλωση έχει θετική επίδραση στην οικονομική ανάπτυξη με αντίστοιχη θετική ανάδραση από την οικονομική ανάπτυξη στην κατανάλωση του φυσικού αερίου. Επίσης, σε μελέτη του Kum et al. (2012) παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ κατανάλωσης φυσικού αερίου, εγχώριου ακαθάριστου προϊόντος και οικονομικής ανάπτυξης χρησιμοποιώντας στοιχεία από επτά χώρες (Καναδά, Γαλλία, Γερμανία, Ιταλία, Ιαπωνία, Ηνωμένο Βασίλειο και Ηνωμένες πολιτείες Αμερικής) για περίοδο από το 1970 μέχρι το 2008. Για τη Γαλλία, τη Γερμανία και τις Ηνωμένες πολιτείες Αμερικής τα μαθηματικά μοντέλα δεικνύουν αμφίδρομη αιτιότητα ενώ οι άλλες χώρες εμφανίζονται με ευνοϊκό ή ουδέτερο πρόσημο. Επίσης θα πρέπει να αναφερθεί η θετική συμβολή της χρησιμοποίησης του φυσικού αερίου στον οικονομικό πυλώνα και για τις αναπτυσσόμενες χώρες. Σύμφωνα με το Gabriel et al. (2012), η αποφυγή της καύσης του φυσικού αερίου (gas flaring) στα πηγάδια εξόρυξης πετρελαίου στην Νιγηρία και η αξιοποίηση του, δεν θα βοηθούσε μόνο το περιβάλλον, αλλά θα παρείχε οικονομικά ωφέλει όχι μόνο για τον λαό αλλά και για την ίδια τη χώρα.

Ακόμη μία παράμετρος που πρέπει να αναφερθεί είναι η σχέση μεταφοράς ορυκτών καυσίμων και κόστους. Σύμφωνα με τον Liang et al. (2012) η μεταφορά του πετρελαίου έναντι του φυσικού αερίου παρουσιάζεται «επικίνδυνη» και επομένως πιο δαπανηρή. Σύμφωνα με την ίδια πηγή η μεταφορά του πετρελαίου με πετρελαιοφόρα ή με αγωγούς από περιοχές με συγκρούσεις μπορεί να επηρεάσει την αγορά καθιστώντας την τιμή του πετρελαίου μη σταθερή. Το 40% του παγκόσμιου πετρελαίου διέρχεται από χιλιάδες μίλια αγωγούς οι οποίοι είναι δύσκολο να προστατευθούν. Έτσι ο Kumar et al. (2011) αναφέρει ότι το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG) θα μπορούσε να αποτελέσει ένα εναλλακτικό καύσιμο που παρουσιάζει οικονομικά πλεονεκτήματα και μεγαλύτερη ασφάλεια κατά τη μεταφορά του.

Τέλος μπορούμε να πούμε ότι με τη χρήση του φυσικού αερίου και τον μετριασμό των εκπομπών των αέριων ρύπων περιορίζονται και τα πρόστιμα προς τις χώρες μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης που καθορίζονται από αυτήν, με βάση τις νομοθεσίες και τις δράσεις της ούτως ώστε όλες οι χώρες να εναρμονιστούν και να εφαρμόζουν αειφόρες πρακτικές (EEA, 2016).

2.4.3 Φυσικό αέριο και κοινωνικός πυλώνας της αειφορίας

Με βάση τα στοιχεία που παρουσιάζονται στα υποκεφάλαια 2.4.1 και 2.4.2 εξάγεται το συμπέρασμα ότι το φυσικό αέριο συμβάλλει με θετικό πρόσημο στον περιβαλλοντικό και οικονομικό πυλώνα της αειφορίας. Η θετική συνεισφορά του φυσικού αερίου σε συγκεκριμένους δείκτες στον περιβαλλοντικό ή τον οικονομικό πυλώνα, μπορεί παράλληλα να επηρεάζει και κάποιον άλλο δείκτη στον κοινωνικό πυλώνα ταυτόχρονα. Για παράδειγμα, η χρήση του φυσικού αερίου όπως παρουσιάστηκε πιο πάνω, μπορεί να συμβάλει στον οικονομικό πυλώνα με αύξηση των θέσεων εργασίας με αποτέλεσμα να επηρεάζεται ταυτόχρονα και ο κοινωνικός πυλώνας. Από την άλλη, η θετική συμβολή του φυσικού αερίου στον περιβαλλοντικό πυλώνα μπορεί να επηρεάζει ταυτόχρονα και πάλι τον κοινωνικό πυλώνα αφού υπάρχει αμφίδρομη σχέση μεταξύ περιβάλλοντος και υγείας. Ο Wei et al. (2010) πραγματοποίησε μία μελέτη σχετικά τα μέσα ποσοστά απασχόλησης ανά παραγόμενη ενέργεια (KWh) κατά την περίοδο ζωής και λειτουργία μία μονάδας παραγωγής ενέργειας, συγκρίνοντας διαφορετικές πηγές, όπως τα ορυκτά καύσιμα και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αν και τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής δεν παρουσιάζονται ιδιαίτερα θετικά για το φυσικό αέριο που παρουσιάζει μικρό ποσοστό εργοδότησης ανά παραγόμενη κιλοβατώρα έναντι των ανανεώσιμων πηγών (πίνακας 2.5), εντούτοις δηλώνεται ότι η παραγωγή ενέργειας από καθαρές πηγές δημιουργεί τις προϋποθέσεις εκείνες για την δημιουργία νέων θέσεων εργασίας. Από την άλλη ο Weber (2012), αναφέρει ότι η ραγδαία ζήτηση του φυσικού αερίου θα επιφέρει και την αυξημένη στη ζήτηση εργατικού δυναμικού, δημιουργώντας ένα ελπιδοφόρο μέλλον για αύξηση των θέσεων εργασίας αλλά και του εισοδήματος. Ο Akella et al. (2009) αναφέρει ότι τα οφέλη από την δημιουργία θέσεων εργασίας δημιουργούν ένα θετικό «πολλαπλασιαστικό αποτέλεσμα» και πέραν από τις ευκαιρίες για εργασία, στον κοινωνικό πυλώνα της αειφορίας, εντάσσει και τους δείκτες «υγεία», «επιλογή καταναλωτών» και «τεχνολογική πρόοδο». Για τον δείκτη «υγεία» οι Starfelt και Wikdahl (2011) παρουσιάζουν τις αρνητικές επιπτώσεις στην

υγεία ως θανάτους ανά ποσά παραγόμενης ενέργειας (TWh) συγκρίνοντας διαφορετικές πηγές για την παραγωγή της ενέργειας αυτής. Σύμφωνα με την ίδια μελέτη, η ποιο πάνω αναλογία (Θάνατοι/ TWh) ορίζεται όχι σε πολύ στενά πλαίσια και συνδέεται με θανάτους λόγω ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ακτινοβολίας, ποσοστά καρκίνων και άλλα, ανεξάρτητος ηλικίας εργαζομένων (πίνακας 2.6).

Δημιουργία Θέσεων Εργασίας

Πηγές Ενέργειας	Δουλειές /gwh
Βιομάζα	0.21
Κάρβουνο	0.11
Γεωθερμία	0.25
Υδροηλεκτρική	0.27
Φυσικό αέριο	0.11
Πυρηνική	0.14
Πετρέλαιο	0.11
Ηλιακή	0.87
Αιολική	0.17

Πίνακας 2.5: Θέσεις εργασίας που προκύπτουν από τη χρήση διαφορετικών πηγών ενέργειας ανά παραγόμενα ποσά ενέργειας (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: Wei et al.,2010)

Ποσοστά Θανάτων

Πηγές Ενέργειας	Θάνατοι/twh
Βιομάζα	12.00
Κάρβουνο	26.00
Υδροηλεκτρική	0.10
Φυσικό αέριο	4.00
Πυρηνική	0.04
Πετρέλαιο	36.00
Ηλιακή	0.44
Αιολική	0.15

Πίνακας 2.6: Ποσοστά θανάτων που προκύπτουν από τη χρήση διαφορετικών πηγών ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: Starfelt και Wikdahl 2011).

Με βάση τον πίνακα 2.6 συμπεραίνεται ότι το φυσικό αέριο επηρεάζει με θετικό πρόσημο τον δείκτη «υγεία» του κοινωνικού πυλώνα σε σχέση με το πετρέλαιο και τον γαιάνθρακα αφού κατά την χρήση του, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, προκύπτουν μικρότερα ποσοστά θανάτων. Βέβαια, σύμφωνα με τον Colbom et al. (2011) η χρήση χημικών κατά τη διάρκεια της εξόρυξης του φυσικού αερίου μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την υγεία των εργαζομένων αφού το ενδοκρινικό σύστημα είναι εξαιρετικά ευαίσθητο ακόμη και σε χαμηλά επίπεδα έκθεσης. Μεταξύ άλλων, η έκθεση σε χημικά σχετιζόμενα με την εξόρυξη ορυκτών καυσίμων επιφέρει ορμονικές διαταραχές, αναπνευστικές διαταραχές, ναυτία και άλλα.

Οι Simkins και Simkins (2013) σε μία έρευνα που πραγματοποίησαν το 2011 σε ένα δείγμα 900 καταναλωτών παρουσίασαν την αποδοχή του κοινού όσον αφορά τις διαφορετικές πηγές ενέργειας και το αντίκτυπο που έχουν στην ποιότητα ζωής. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής έδειξαν ότι οι καταναλωτές πιστεύουν ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και ειδικότερα η αιολική και ηλιακή ενέργεια έχουν θετικότερο αντίκτυπο στην ποιότητα ζωής σε αντίθεση με το πετρέλαιο και τον γαιάνθρακα, ενώ το φυσικό αέριο βρίσκεται κάπου στη μέση. Ακόμη ένα σημαντικό στοιχείο που πρέπει να αναφερθεί, είναι οι προβληματισμοί της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ενεργειακή ασφάλεια και την εξάρτηση από την εισαγωγή ορυκτών καυσίμων. Ο Damikos et al. (2009) αναφέρει ότι το 70% του εισαγόμενου φυσικού αερίου στην ΕΕ χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και μέχρι το 2030 η ζήτηση αυτή θα αυξηθεί 5 ή 6 φορές περισσότερο από την εγχώρια παραγωγή φυσικού αερίου με αποτέλεσμα το κόστος για τα μέτρα της ενεργειακής ασφάλειας (ανεφοδιασμού) να μετακυλύετε στους καταναλωτές.

2.5 Βιολογική οξείδωση του μεθανίου

Όπως έχει παρουσιαστεί και σε άλλα υποκεφάλαια το μεθάνιο είναι το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου και του βιοαερίου και ως πηγή ενέργειας χρησιμοποιείται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών αλλά και για την επίτευξη ενός βιώσιμου αειφόρου ενεργειακού μέλλοντος. Σύμφωνα με το Ge et al. (2014) η μετατροπή του μεθανίου σε υγρά ενεργειακά προϊόντα παρέχει επιπλέον πλεονεκτήματα όπως για παράδειγμα η μείωση του κόστους αποθήκευσης, μεταφοράς και διανομής. Ο Aimen et al. (2018) από την άλλη αναφέρει ότι η συμβατικές μέθοδοι δέσμευσης και διάθεσης του μεθανίου

είναι τεχνικά δαπανηρές και προβληματικές. Έτσι, σε σύγκριση με τις θερμοχημικές διεργασίες, η βιολογική μετατροπή του μεθανίου θα μπορούσε να έχει πολλά πλεονεκτήματα, όπως η υψηλή απόδοση στην παραγωγή προϊόντων και η χρήση φιλικών προς το περιβάλλον διαδικασιών μετατροπής. Ο Bastviken(2009) πιστεύει ότι, ποσά ενέργειας μπορούν κερδηθούν από την οξείδωση του μεθανίου στην παρουσία οξυγόνου ή άλλου ισχυρού οξειδωτικού και ο λόγος είναι η χημική δομή του μεθανίου. Σύμφωνα με τους Dodds και Whiles (2010) το μεθάνιο αν και είναι μία απλή ένωση δεν μπορεί να μεταβολιστεί από τους περισσότερους μικροοργανισμούς. Ορισμένα όμως εξειδικευμένα αερόβια βακτήρια που ονομάζονται μεθυλότροφα βακτήρια, μπορούν και παράγουν την απαραίτητη ενέργεια που χρειάζονται, οξειδώνοντας απλές ενώσεις που περιέχουν ομάδες μεθυλίου και μονοξειδίου του άνθρακα. Ποιο συγκεκριμένα, τα βακτήρια εκείνα που χρησιμοποιούν το μεθάνιο ως την μοναδική πηγή άνθρακα για την παραγωγή ενέργειας, αναφέρονται στη βιβλιογραφία ως μεθανότροφα βακτήρια. Σύμφωνα με την πιο πάνω πηγή, τα μεθανότροφα βακτήρια παίζουν σημαντικό ρόλο στο κύκλο του άνθρακα και είναι η κύρια αιτία που οι συγκεντρώσεις του μεθανίου στην ατμόσφαιρα παραμένουν σε χαμηλά επίπεδα. Ποιο συγκεκριμένα, ο Singh et al. (2010) αναφέρει ότι τα μεθανότροφα βακτήρια αποτελούν το μοναδικό βιολογικό μέσο για την μείωση έως και 15 % του ατμοσφαιρικού μεθανίου. Σύμφωνα με τον Anthony (1984) τα μεθανότροφα βακτήρια ανήκουν στην οικογένεια των αρνητικών κατά Gram βακτηρίων. Σημαντικός αριθμός μελετών (Barcena et al., 2010, Dubey, 2005, Durisch-Kaiser et al., 2005, Lindner et al., 2007, Tsubota et al., 2005) έδειξε ότι η οικογένεια των βακτηρίων αυτών λόγω της φύσης τους, μπορούν να εμφανιστούν σε διαφορετικούς οικοτόπους και σε ένα ευρύ φάσμα ενεργούς οξύτητας, θερμοκρασίας, αλατότητας και παρουσίας οξυγόνου. Ποιο συγκεκριμένα, οι Hanson και Hanson (1996) αναφέρουν ότι μεθανότροφα βακτήρια μπορούν να απομονωθούν από τα απόβλητα, τους βάλτους, τους υγροτόπους, τις λίμνες, ακόμη και από την εντερική χλωρίδα των μηρυκαστικών. Ο Op den Camp et al. (2009) χωρίζει τα βακτήρια αυτά σε δύο κύριες κατηγορίες. Τα «Τύπου I», τα «Τύπου II».

Σύμφωνα με τον Aimen et al. (2018) τα «Τύπου I» μεθανότροφα βακτήρια κυριαρχούν σε περιβάλλοντα όπου η παρουσία του μεθανίου βρίσκεται σε χαμηλές συγκεντρώσεις σε σχέση με το οξυγόνο, ενώ το άζωτο και ο χαλκός βρίσκονται σε υψηλές συγκεντρώσεις. Χαρακτηριστικό στα βακτήρια αυτά είναι η παρουσία ενδοκυτταροπλασματικής μεμβράνης σε όλο το κύτταρο υπό μορφή δίσκων σε δεσμίδες και

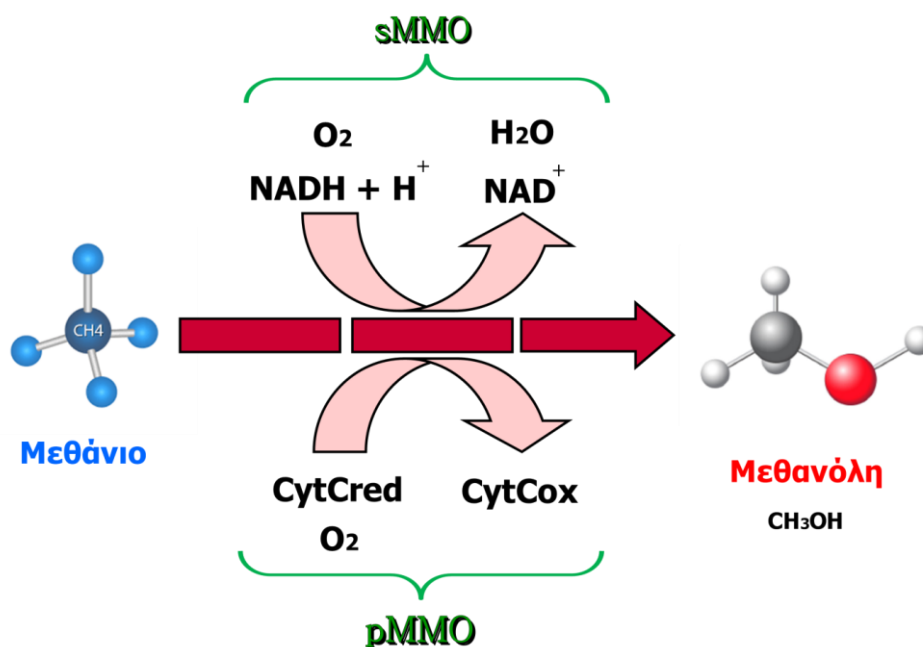
τα φωσφορολιπίδια τους αποτελούνται από 14 και 16 άτομα άνθρακα. Για την εξασφάλιση της απαραίτητης ενέργειας ακολουθούν το μεταβολικό μονοπάτι της Μονοφωσφορικής Ριβουλόζης (RuMP). Επίσης οι Hanson και Hanson (1996) αναφέρουν ότι τα βακτήρια αυτά ανήκουν στην κλάση των Γ-πρωτεοβακτηρίων.

Τα «Τύπου II» μεθανότροφα βακτήρια κυριαρχούν σε περιβάλλοντα όπου η παρουσία του μεθανίου βρίσκεται σε υψηλές συγκεντρώσεις σε σχέση με το οξυγόνο ενώ το άζωτο και ο χαλκός βρίσκονται επίσης σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Χαρακτηριστικό στα βακτήρια αυτά η παρουσία ενδο-κυτταροπλασματικής μεμβράνης που σε αντίθεση με τα τύπου I, η μορφή δίσκων σε δεσμίδες παρουσιάζεται κατά μήκος της περιφέρειας του κυττάρου και τα φωσφορολιπίδια τους αποτελούνται από 18 άτομα άνθρακα. Για την εξασφάλιση της απαραίτητης ενέργειας ακολουθούν το μεταβολικό μονοπάτι της Σερίνης (serine) (Aimen et al., 2018). Επίσης οι Hanson και Hanson (1996) αναφέρουν ότι τα βακτήρια αυτά ανήκουν στην κλάση των Α-πρωτεοβακτηρίων.

Σύμφωνα με τον Knief (2015), υπάρχει ακόμη μία ομάδα μεθανότροφων βακτηρίων, τα «Τύπου X» που μοιάζουν με τα «Τύπου I» αλλά η διαφοροποίηση τους έγκειται στο γεγονός ότι τα τύπου X εμφανίζουν το ένζυμο καρβοξυλάση της 1-5 διφωσφορικής ριβουλόζης, μπορούν να αναπτυχθούν σε υψηλότερες θερμοκρασίες (45 °C) απ' ό,τι τα τύπου I και τύπου II και τα φωσφορολιπίδια τους αποτελούνται από 16 άτομα άνθρακα.

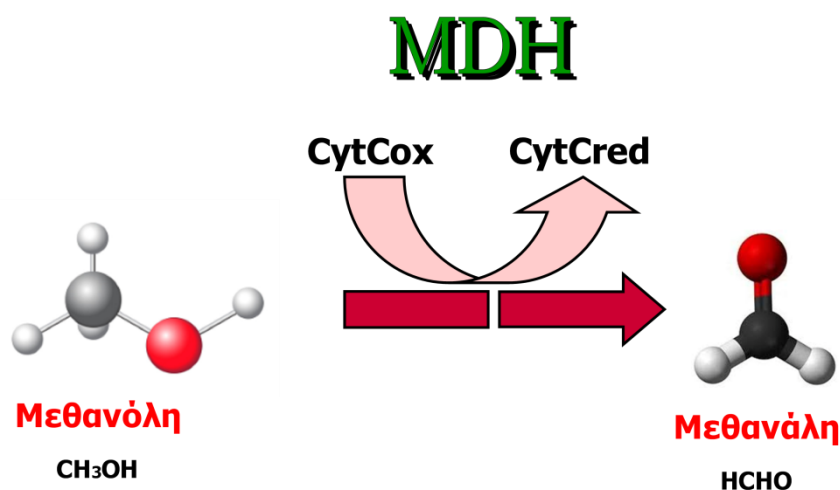
Για την επίτευξη της οξειδωσης του μεθανίου στα μεθανότροφα βακτήρια χρειάζεται η παρουσία ενζύμων. Σύμφωνα με τον Pandey et al. (2014) το ένζυμο «Μονοοξυγενάση Μεθανίου» (MMO) είναι υπεύθυνο για την οξειδωση του μεθανίου, η παρουσία του οποίου αναγνωρίζεται μόνο στα μεθανότροφα βακτήρια. Το ένζυμο αυτό παρουσιάζεται σε δύο μορφές, την διαλυτή μορφή (κυτοπλασματική) (sMMO) και την σωματιδιακή μορφή που υπάρχει στην μεμβράνη του κυττάρου (pMMO). Θα πρέπει να αναφερθεί ότι η διαλυτή μορφή της MMO εμφανίζεται μόνο σε ορισμένα γένη βακτηρίων (Murrell et al., 2000^a, 2000^b). Σύμφωνα με τον Aimen et al. (2018) και η δύο μορφές του ενζύμου MMO συμβάλλουν στην οξειδωση του μεθανίου σε μεθανόλη με τη χρήση ενός άτομο οξυγόνου να πηγαίνει στη δημιουργία νερού ενώ άλλο άτομο οξυγόνου να πηγαίνει στη δημιουργία μεθανόλης, με τη συμμετοχή δύο ηλεκτρονίων και δύο πρωτονίων. Οι Park και Lee (2013) αναφέρουν ότι η σημαντική διαφορά μεταξύ

pMMO και sMMO είναι στον τρόπο μεταφοράς των ηλεκτρονίων. Στην πρώτη περίπτωση (pMMO) η μεταφορά ηλεκτρονίων πραγματοποιείται με καταλυτική μεταφορά δια μέσου του κυτοχρώματος C (πρωτεΐνη μεταφορά ηλεκτρονίων) ενώ στην δεύτερη περίπτωση (sMMO) πραγματοποιείται με την χρήση του συνενζύμου NADH (μη πρωτεϊνικό μόριο απαραίτητο για να επιτελεστεί μία ενζυμική αντίδραση) (Διάγραμμα 2.5).



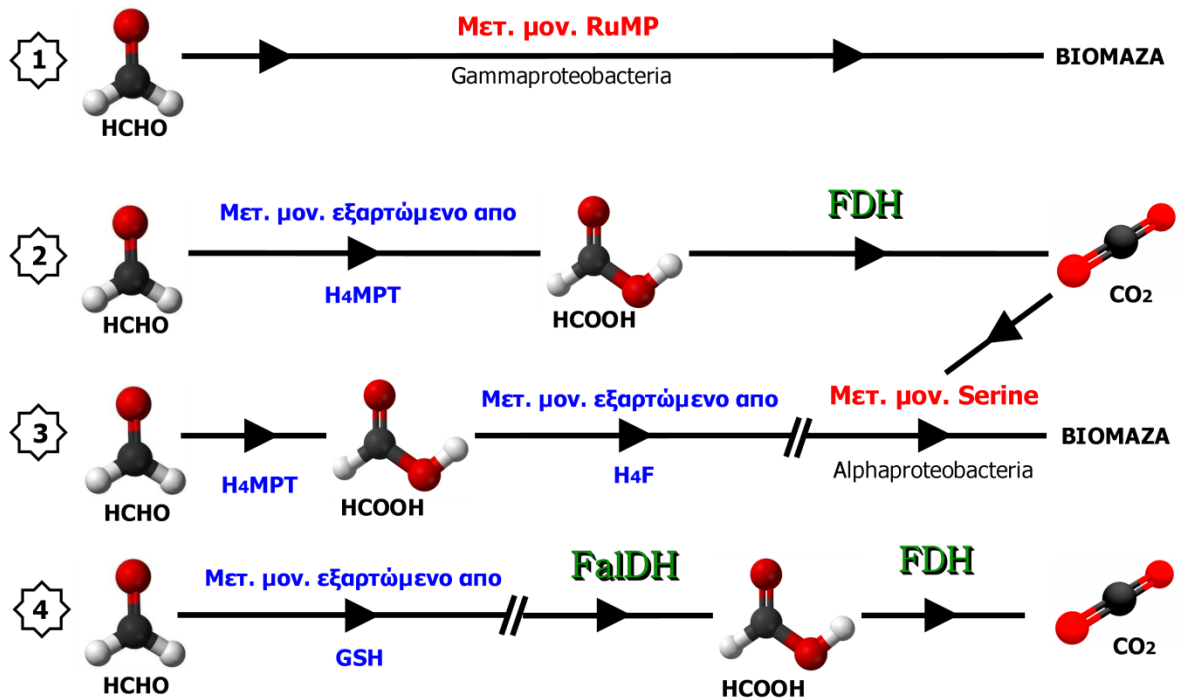
Διάγραμμα 2.5: Το μεταβολικό μονοπάτι της οξειδωσης του μεθανίου σε μεθανόλη με τη δράση της MMO.

Εφόσον το μεθάνιο οξειδωθεί και παραχθεί η μεθανόλη, ακολούθως λαμβάνει χώρα άλλη ενζυμική αντίδραση κατά την οποία η μεθανόλη οξειδώνεται περαιτέρω σε μεθανάλη (φορμαλδεΰδη). Σύμφωνα με τους Hanson και Hanson (1996) η ενδογενής και εξωγενής μεθανόλη οξειδώνεται σε φορμαλδεΰδη με τη δράση του περιπλασμικού ενζύμου «Αφυδρογονάση μεθανόλης» (MDH). Ηλεκτρόνια μεταφέρονται από την οξειδωμένη μεθανόλη διαμέσου της MDH στο οξειδωμένο κυτόχρωμα C, ανάγοντας το, με τελικό αποτέλεσμα το σχηματισμό της μεθανάλης (φορμαλδεΰδης) (Διάγραμμα 2.6).



Διάγραμμα 2.6: Το μεταβολικό μονοπάτι της οξείδωσης της μεθανόλης σε μεθανάλη με τη δράση της MDH.

Ακολουθώς, για το σχηματισμό βιομάζας, διοξειδίου του άνθρακα και χημικών ενώσεων, τα περισσότερα μεθανότροφα βακτήρια εμφανίζουν περισσότερες από μία οδούς οξείδωσης της φορμαλδεΐδης, οι οποίες οδοί ακολουθούνται για διαφορετικούς σκοπούς κάθε φορά, όπως για παράδειγμα την δημιουργία ενέργειας για τις απαιτήσεις του κυττάρου είτε για αποτοξικοποίηση των κυττάρων από την φορμαλδεΐδη (Vorhold et al., 2002). Οι μεταβολικοί οδοί με βάση την διεθνή βιβλιογραφία παρουσιάζονται ως πολύπλοκες βιοχημικές αντιδράσεις που προκύπτουν στα κύτταρα με την συμμετοχή πολλών χημικών ουσιών, που σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμη και σήμερα, οι μηχανισμοί κάτω από του οποίους πραγματοποιούνται οι αντιδράσεις αυτές είναι άγνωστοι (Διάγραμμα 2.7)(Kalyuzhnaya et al., 2015, Ge et al., 2014, Fei et al., 2014, Park and Lee, 2013, Kato et al., 2006, Vorhold et al., 2002, Hanson and Hanson, 1996). Σύμφωνα με το Kalyuzhnaya et al. (2015) παρόλο που οι μεθανότροφοι μικροοργανισμοί έχουν μελετηθεί εδώ και δεκαετίες, παρόλα αυτά εξακολουθούν να υπάρχουν σημαντικά κενά στις γνώσεις μας, για αυτή τη σημαντική ομάδα βακτηρίων. Για το λόγο αυτό, τα μεταβολικά μονοπάτια που παρουσιάζονται στο διάγραμμα 2.7 είναι απλοποιημένα. Εμφανίζονται μόνο τα αρχικά αντιδρώντα και τα τελικά προϊόντα του κάθε μεταβολικού μονοπατιού καθώς και τα ένζυμα που λαμβάνουν μέρος, χωρίς να γίνεται αναφορά στις πολύπλοκες ενδιάμεσες βιοχημικές αντιδράσεις.



Διάγραμμα 2.7: Τα μεταβολικά μονοπάτια που λαμβάνουν χώρα για την οξείδωση της φορμαλδεΐδης. HCHO: Φορμαλδεΐδη, HCOOH: Μεθανικό οξύ (formic acid), CO₂: Διοξείδιο του άνθρακα, RuMP: Μεταβολική οδός μονοφωσφορικής ριβουλόζης, Serine: Μεταβολική οδός σερίνης, FDH: Φορμική αφυδρογονάση, FaIDH: Αφυδρογονάση της φορμαλδεΐδης, H₄MPT: Τετραϋδρομεθανοπτερίνη εξαρτώμενη μεταβολική οξειδωτική οδός, H₄F: Τετραϋδροφυλλική εξαρτώμενη μεταβολική οξειδωτική οδός, GSH: γλουταθειόνη / μυκοθειόλη.

Σύμφωνα με τον Vorhold et al. (2002) αναγνωρίζονται τέσσερα διαφορετικά μεταβολικά μονοπάτια για την οξείδωση της φορμαλδεΐδης σε διοξείδιο του άνθρακα (Διάγραμμα 2.7) κάποια εκ των οποίων παρουσιάζονται περισσότερο πολύπλοκα από κάποια άλλα. Τα τέσσερα μεταβολικά μονοπάτια διαχωρίζονται ως εξείς:

1. Κυκλική οξειδωτική οδός της μονοφωσφορικής ριβουλόζης (RuMP).
2. Οξείδωση της φορμαλδεΐδης που εξαρτάται από το συνένζυμο τετραϋδρομεθανοπτερίνη (H₄MPT) με τη δράση του ενζύμου της Φορμικής αφυδρογονάσης (FDH).
3. Οξείδωση της φορμαλδεΐδης που εξαρτάται από το τετραϋδροφυλλικό οξύ (H₄F) με τη δράση του ενζύμου της Φορμικής αφυδρογονάσης.

4. Οξειδωση της φορμαλδεΰδης που εξαρτάται από οργανικές ενώσεις (θειόλες: γλουταθειόνη / μυκοθειόλη)(GSH) με τη δράση του ενζύμου αφυδρογονάση της φορμαλδεΰδης και του ενζύμου της Φορμικής αφυδρογονάσης.

Η γνώση των ποιο πάνω μεταβολικών μονοπατιών κρίνεται πολύ αναγκαία, γιατί με την αναγνώριση των ενζύμων και των χημικών ουσιών που λαμβάνουν χώρα στις βιοχημικές αντιδράσεις μπορούμε να επέμβουμε εξωτερικά με τη χρήση δομικά ανάλογων συστατικών, για την αδρανοποίηση/αναστολή συγκεκριμένων ενζύμων, και την διακοπή του μεταβολικού μονοπατιού σε συγκεκριμένα σημεία για την παραγωγή υψηλής αξίας προϊόντων στοχευμένα.

Εκμεταλλεόμενοι το μεταβολικό μονοπάτι της ειδικής αυτής ομάδας των βακτηρίων (μεθανότροφων) μπορούμε να παράξουμε ένα ευρύ φάσμα από υψηλής αξίας προϊόντα, πέραν από την οικονομική δέσμευση του μεθανίου. Σύμφωνα με τον Strong et al. (2015) τα μεθανότροφα βακτήρια, δεν χρησιμοποιούν το μεθάνιο ως πηγή άνθρακα μόνο για να παράξουν βιομάζα και άλλα προϊόντα αλλά επίσης να δημιουργήσουν μέσω των προϊόντων τους, της κατάλληλης συνθήκες για την ανάπτυξη και άλλων βακτηριακών φυλών (φαινόμενο συντροφισμού). Με βάση την ίδια πηγή, το 2013 ο Οργανισμός Προηγμένων Ερευνητικών Προγραμμάτων του Υπουργείου Ενέργειας των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής χρηματοδότησε ερευνητικά προγράμματα ύψους 34 εκατομμυρίων δολαρίων για την βιομετατροπή του μεθανίου σε καύσιμα. Πέραν από την παραγωγή των βιοκαυσίμων, τα μεθανότροφα βακτήρια παράγουν και ένα ευρύ φάσμα άλλων προϊόντα όπως είναι: πρωτεΐνες, βιοπολυμερή (PHA), εκτοΐνη, λιπίδια, βιταμίνη B12, φορμαλδεΰδη, πτητικά λιπαρά οξέα, ένζυμα και άλλα. Η εφαρμογή μεθόδων βιοτεχνολογίας για τη μεγιστοποίηση των προϊόντων που παράγονται κατά την οξειδωση του μεθανίου θα μπορούσε να επιφέρει σημαντικά οφέλη σε πολλούς τομείς. Η αυξανόμενη ζήτηση σε ζωοτροφές πλούσιες σε θρεπτική συστατικά και πρωτεΐνες οδήγησαν την επιστημονική κοινότητα να μελετήσει το ενδεχόμενο της συνεισφοράς των μεθανότροφων βακτηρίων και προς αυτή την κατεύθυνση. Ο Kuźniar et al. (2019) για παράδειγμα, προσδιόρισε τα θρεπτικά στοιχεία και τα ποσοστά των λιπαρών οξέων που περιέχονται στη βιομάζα των μεθανότροφων βακτηρίων. Σύμφωνα με τον ποιο πάνω ερευνητή, οι μικροοργανισμοί παίζουν σημαντικό ρόλο στη διατροφή των ζώων και η βιομάζα τους θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να ενισχύσει σε μικροστοιχεία τις ζωοτροφές. Από την άλλη, ο Strong et al. (2016) αναφέρει ότι η εκτοΐνη για

παράδειγμα, αποτελεί ένα από τα πιο πολύτιμα βιοπροϊόντα που μπορούν οι μικροοργανισμοί και συνθέτουν. Η παραγωγή της εκτοΐνη σε παγκόσμια κλίμακα ανέρχεται σε 15,000 τόνους το χρόνο και η τιμή της στην φαρμακευτική βιομηχανία ανέρχεται σε 1000 δολάρια το κιλό. Ο Cantera et al. (2017) παρουσίασε για πρώτη φορά ότι το μεθανότροφο στέλεχος *Methylobacterium alcaliphilum* 20Z μπορεί να συνθέσει αποτελεσματικά εκτοΐνη κάτω από συνεχή τροφοδοσία με μεθάνιο. Ο Fei et al. (2018) διερεύνησε το μεθανότροφο στέλεχος *Methylobacterium buryatense* 5GB1 για την παραγωγή λιπιδίων που αποτελούν το βασικό συστατικό για την παραγωγή του βιοντίζελ. Σύμφωνα με τον ποιο πάνω ερευνητή, η διαδικασία της βιομετατροπής είναι μία υποσχόμενη τεχνολογία μετατροπής του μορίου του μεθανίου σε βιοκαύσιμα, η οποία θα μπορούσε να ενθαρρύνει την περαιτέρω διερεύνηση και διασαφήνιση των μηχανισμών που κρύβονται πίσω από την μετατροπή αυτή.

Τέλος, με βάση τα ποιο πάνω, γίνεται αντιληπτό ότι με την χρήση των μεθανότροφων βακτηρίων μπορούν να προκύψουν πολλαπλά οφέλη στα πλαίσια της αειφορίας. Όμως, θα πρέπει να αναφερθεί επίσης ότι, σύμφωνα με τον Strong et al. (2015), το μέλλον όλων αυτών των βιοδιεργασιών για την παραγωγή των προαναφερθέντων προϊόντων βασίζεται στην αξία τους καθώς και στο κέρδος που προσφέρουν έναντι των συμβατικών μεθόδων χρησιμοποίησης του μεθανίου. Επίσης, οι μέθοδοι που αναφέρονται στην διεθνή βιβλιογραφία για την παραγωγή προϊόντων από τους μεθανότροφους, θα πρέπει να βρίσκουν εφαρμογή και σε μεγάλης, βελτιστοποιημένης κλίμακας βιοαντιδραστήρες.

2.6 Η Κυπριακή πραγματικότητα

Με βάση τα δεδομένα του κεφαλαίου 1 έχει αναγνωριστεί το πρόβλημα της ανθρωπογενούς συνιστώσας της κλιματικής αλλαγής και οι επιπτώσεις που την ακολουθούν. Οι άμεσες επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή, είναι φανερό ότι μπορούν να επηρεάσουν δυσμενώς και την Κύπρο αφού τα συμπτώματα της κατανέμονται σε ολόκληρο τον πλανήτη. Σύμφωνα με τους Giorgi (2006) και Hulme et al. (1999) οι προβλέψεις για την ευρύτερη περιοχή της μεσογείου είναι ιδιαίτερα ανησυχητικές αφού χαρακτηρίζεται ως ιδιαίτερα ευάλωτη η περιοχή αυτή από την κλιματική αλλαγή λόγω του ότι βρίσκεται στα όρια της ζώνης όπου επικρατούν ημιομηκικές συνθήκες. Μία σειρά από μοντέλα (Zanis et al., 2009, Giorgi and Lionello,

2008, Giorgi and Bi, 2005, Pal et al., 2004) που προσομοιάζουν της εκπομπές αέριων ρύπων στην περιοχή της μεσογείου έδειξαν ότι κατά το τέλος του 21^{ου} αιώνα η θερμοκρασία θα σημειώσει σημαντική άνοδο, ενώ παράλληλα το ύψος του υετού θα μειωθεί. Ποιο συγκεκριμένα, για το ύψος του υετού ο Zerefos et al. (2010) αναφέρει ότι σημαντική μείωση του υετού θα παρατηρηθεί στα ανατολικά και στα νότια τμήματα της μεσογείου. Επίσης, οι Kuhlitsch et al. (2010) και Diffenbough et al. (2007) αναφέρουν ότι στην περιοχή της μεσογείου θα αυξηθεί δραματικά η ένταση των θερμών εισβολών, με τους Goubanova και Li (2007) να κάνουν λόγο για σημαντικά αυξημένες περιόδους ξηρασίας. Κάτω από αυτές τις συνθήκες ο Giannakopoulos et al. (2009^a) τονίζει τους κίνδυνους που προκύπτουν από την κλιματική αλλαγή στην αύξηση της εκδήλωσης των δασικών πυρκαγιών, ενώ από την άλλη οι Μπάης και Καρακώστας (2010) να μιλάνε για πλημμυρικά φαινόμενα που θα πλήξουν τις παράκτιες περιοχές της μεσογείου λόγω αύξησης του όγκου του νερού των ωκεανών λόγω απορρόφησης της θερμότητας. Επίσης, οι ίδιοι ερευνητές κάνουν λόγο και για αρνητικές συνέπειες στην ποιότητα και την ποσότητα του νερού, αφού με την μείωση των παγετώνων και του χιονιού μειώνεται και η τροφοδοσία των επιφανειακών λεκανών, λιμνών, ποταμών και υδροφόρου ορίζονται με αποτέλεσμα να ενισχύεται ο κίνδυνος της ερημοποίησης. Με βάση τα ποιο πάνω, αντιλαμβανόμαστε ότι ο κίνδυνος από την κλιματική αλλαγή είναι οφθαλμοφανής και όχι πολύ μακριά μας. Όσον αφορά την Κύπρο συγκεκριμένα, ο Ζαχαριάδης (2012) πιστεύει ότι η κλιματική αλλαγή θα επηρεάσει έντονα και ποικιλοτρόπως την Κύπρο. Σύμφωνα με τον ίδιο, οι επιπτώσεις που σχετίζονται με τον περιβαλλοντικό πυλώνα επηρεάζουν άμεσα και τον οικονομικό πυλώνα και την ευημερία των πολιτών. Για παράδειγμα, η μείωση των υδατικών πόρων θα έχει ως αποτέλεσμα την οικονομική επιβάρυνση των οικιακών και βιομηχανικών καταναλωτών που θα ανέρχεται μεταξύ 16 και 32 εκατομμύρια Ευρώ μέχρι το 2030. Επίσης, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας θα προκαλέσει την διάβρωση των εδαφών και θα επιφέρει ζημιές σε αεροδρόμια, οδικά δίκτυα, εργοστάσια καθώς και σε κατοικίες. Στον τομέα της γεωργίας θα παρουσιαστούν επίσης προβλήματα, αφού οι συνθήκες ξηρασίας θα μπορούσαν να μειώσουν την παραγωγή κατά 40% ενώ στην κτηνοτροφία οι συνθήκες καύσου θα καταπονούσε τα ζώα με αποτέλεσμα την εμφάνιση ασθενειών. Στον ενεργειακό τομέα θα παρατηρηθεί το πρόβλημα της αυξημένης ζήτησης σε ηλεκτρικό ρεύμα για σκοπούς κλιματισμού όπου εκτιμάτε ότι η απώλεια ευημερίας θα ανέρχεται στα 200 εκατομμύρια Ευρώ μέχρι το 2030. Η κλιματική αλλαγή προβλέπεται να επηρεάσει αρνητικά και τον τουριστικό τομέα αφού

οι ακραίες θερμοκρασίες θα μπορούσαν να μειώσουν το τουριστικό ρεύμα προς την Κύπρο. Όσον αφορά την δημόσια υγεία γίνεται λόγος για προβλήματα υγείας στις ευάλωτες ομάδες πληθυσμού λόγω των υψηλών θερμοκρασιών ενώ δεν αποκλείεται και το ενδεχόμενο εμφάνισης ασθενειών που σχετίζονται με τα ζεστά κλίματα. Τέλος, αναγνωρίζονται οι αρνητικές επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρει η κλιματική αλλαγή στην βιοποικιλότητα και στα δάση. Οι αυξημένες θερμοκρασίες θα μπορούσαν να διαταράξουν το οικοσύστημα και να μειώσουν την αφθονία των ειδών και την κατανομή τους.

Με βάση τα πιο πάνω γίνονται κατανοητοί οι κίνδυνοι που προοιωνίζονται για τις περιοχές της ανατολικής μεσογείου και ειδικότερα για την Κύπρο από την κλιματική αλλαγή. Η ΕΕ αντιλαμβάνομενη τις δυσμενείς εξελίξεις που μπορεί να προκύψουν, θέσπισε μέτρα για τον μετριασμό των αναμενόμενων επιπτώσεων, που δεν αφορούν αποκλειστικά μόνο την Κύπρο αλλά και όλες τις Ευρωπαϊκές χώρες οι οποίες οφείλουν να εναρμονιστούν με τα μέτρα και τις δράσεις που εφαρμόζει η ΕΕ. Σύμφωνα με το Τμήμα Περιβάλλοντος της Κύπρου οι στόχοι που έχει θέσει η ΕΕ για τα κράτη μέλη για το 2030, είναι η μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου κατά 40% σε σχέση με το 2005 ενώ για την Κύπρο αναμένεται το ποσοστό αυτό να καθοριστεί μεταξύ 20-25% σε σχέση με το 2005. Με βάση την Έκθεση «Επισκόπηση της εφαρμογής της περιβαλλοντικής πολιτικής της Ε.Ε - 2019» για την Κύπρο, που κατατέθηκε στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, η Κύπρος δεν είναι σε θέση να συμβάλλει αποτελεσματικά στον μετριασμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου βάση τους δεσμευτικούς εθνικούς στόχους που τέθηκαν από την ΕΕ. Σύμφωνα με την έκθεση αυτή η Κύπρος το 2017 παρουσίασε εκπομπές θερμοσκοπικών αερίων κατά 3 ποσοστιαίες μονάδες υψηλότερες από τα ετήσια δικαιώματα εκπομπής. Για το 2030 ο εθνικός στόχος της Κύπρου είναι η μείωση των εκπομπών κατά 5% σε σύγκριση με το 2005 ενώ για το 2030 ο στόχος βάση του κανονισμού είναι η μείωση κατά 24% σε σχέση με το 2005. Αν και οι στόχοι είναι δεσμευτικοί, παρόλα αυτά η Κύπρος προβλέπεται να μην επιτύχει τους στόχους της για το 2020 και 2030 κατά ένα μεγάλο ποσοστό. Σύμφωνα με την έκθεση αυτή, για το 2030 η Κύπρος δεν θα επιτύχει το στόχο της για 47 ποσοστιαίες μονάδες. Ωστόσο, πιστεύεται ότι, με επιπρόσθετα μέτρα η κατάσταση μπορεί να βελτιωθεί. Το γεγονός ότι η Κύπρος δεν μπορεί να ακουμπήσει τους εθνικούς στόχους πιθανότατα να οφείλεται στη μη εφαρμογή πολιτικών για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς και η εξάρτηση της από το πετρέλαιο. Σύμφωνα

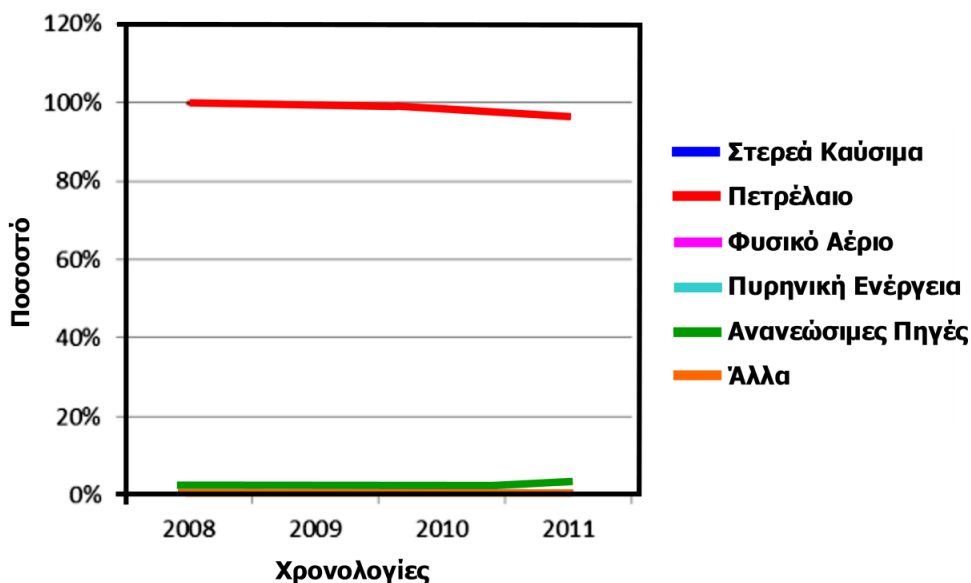
με την Eurostat (2019) η Κύπρος βρίσκεται στην εικοστή τέταρτη θέση μεταξύ των 28 χωρών μελών στην χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το 2008 το ποσοστό σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ανερχόταν σε περίπου 5% ενώ για το 2017 η χρήση ανανεώσιμων πηγών ανερχόταν σε περίπου 10% ενώ οι εθνικοί στόχοι είχαν τεθεί στο 13% για το 2020 (Διάγραμμα 2.8).



Διάγραμμα 2.8: Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Κύπρο σε ποσοστά κατά την περίοδο 2008 μέχρι 2017 (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: European Commission, 2019).

Όσον αφορά το πετρέλαιο, μία σειρά από μελέτες (Zachariadis and Pashourtidou, 2007, Koroneos et al., 2005, Mirasgedis et al., 2004, Zervos et al., 2004) παρουσίασαν τα βασικά ενεργειακά χαρακτηριστικά της Κύπρου, οι οποίες κατέδειξαν τον μεγάλο βαθμό εξάρτησης μας από το πετρέλαιο κατά ποσοστό που ξεπερνά το 90% λόγω του ότι η Κύπρος δεν διαθέτει εγχώριους ενεργειακούς πόρους (Διάγραμμα 2.9). Σύμφωνα με μία νέα μελέτη του Mesimeris et al. (2019) που πραγματεύεται τα ολοκληρωμένα εθνικά ενεργειακά και κλιματικά σχέδια της Κύπρου για την περίοδο 2021-2030, αναφέρει ότι η Κύπρος κατέχει το μεγαλύτερο μερίδιο στην κατανάλωση ορυκτών καυσίμων στην ΕΕ και οι εισαγωγές σε ορυκτά καύσιμα προορίζονται για την παραγωγή κύριος ηλεκτρικής ενέργειας όπου και η Κυπριακή Δημοκρατία δαπανά πάνω από το 8 % του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος για την κάλυψη του κόστους, ενώ παράλληλα οι ενεργειακές ανάγκες συνεχώς αυξάνονται. Σύμφωνα με το WorldData.Info (2019) οι χώρες της ΕΕ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούν τους ορυκτούς υδρογονάνθρακες σε ποσοστό μόλις 42,9% που σε σχέση με την Κύπρο το ποσοστό αυτό είναι σχεδόν το μισό. Επίσης, με βάση την ίδια πηγή, η συνολική κατανάλωση σε ηλεκτρική ενέργεια στην Κύπρο ανέρχεται σε 4,36

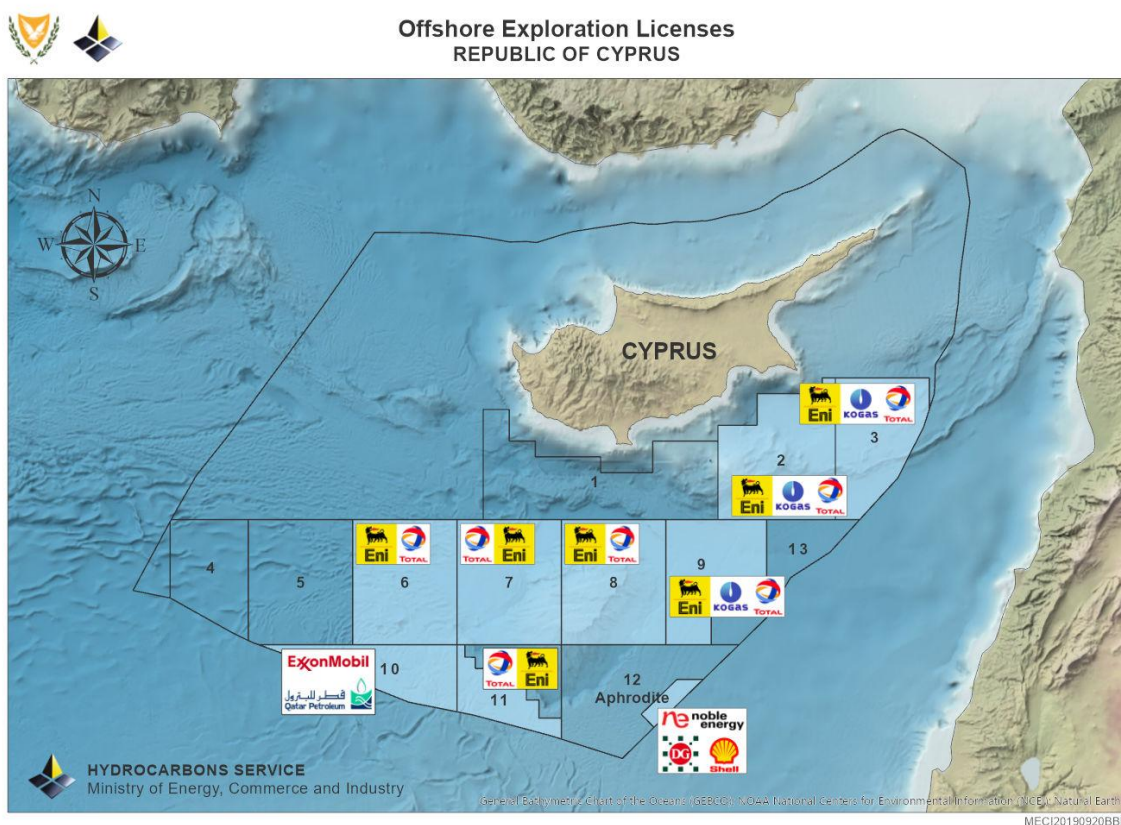
δισεκατομμύρια kWh ετησίως και ο μέσος όρος κατανάλωσης κατά κεφαλή ανέρχεται σε 3,662 kWh, αριθμός πολύ μεγάλος σε σύγκριση με τις χώρες της ΕΕ που ο μέσος όρος κατανάλωσης ανέρχεται σε 5,510 kWh.



Διάγραμμα 2.9: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από διάφορες πηγές στην Κύπρο κατά την περίοδο 2008 με 2011 (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: EU Energy in Figures – Statistical Pocketbook, 2016).

Η απεξάρτηση της Κύπρου από το πετρέλαιο και η χρήση άλλων πηγών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όπως για παράδειγμα η χρήση του φυσικού αερίου, θα μπορούσε να επιφέρει πολλαπλά ωφέλει στους πυλώνες της αειφορίας όπως αυτοί αναπτύσσονται στο υποκεφάλαιο 2.4 και να διευρύνει τις ενεργειακές προοπτικές της Κύπρου η οποία στο μέλλον θα μπορούσε να αποτελέσει ενεργειακό κόμβο διαμέσου της Ελλάδος στην ΕΕ. Σύμφωνα όμως με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2019), επί του παρόντος το φυσικό αέριο δεν παρέχεται στην Κύπρο. Ωστόσο, τον Δεκέμβριο του 2011 ανακαλύφθηκαν κοιτάσματα αέριων υδρογονανθράκων στην θαλάσσια περιοχή της Ανατολική Μεσόγειο. Για σκοπούς διαχείρισης και χάραξης πολιτικής που αφορά τον τομέα της ενέργειας, η Κυπριακή Δημοκρατία δημιούργησε την «Εταιρία Υδρογονανθράκων Κύπρου» και την «Δημόσια Επιχείρηση Φυσικού Αερίου». Σύμφωνα με την Εταιρία Υδρογονανθράκων Κύπρου (2019), η οποία είναι υπεύθυνη για την αξιοποίηση των υδρογονανθράκων της Κύπρου και την μεγιστοποίηση των εσόδων από τις ανακαλύψεις φυσικού αερίου προς όφελος του κράτους και της κοινωνίας, η

Δημοκρατία χάραξε 13 οικόπεδα εντός της αποκλειστικής της οικονομικής ζώνης εκ των οποίων κάποια αδειοδοτήθηκαν σε διεθνείς εταιρίες για την πραγματοποίηση ερευνητικών γεωτρήσεων με βάση τα γεωφυσικά δεδομένα. Από το 2013 μέχρι σήμερα αδειοδοτήθηκαν συνολικά 9 οικόπεδα με το οικόπεδο 12 (Αφροδίτη) να παρουσιάζει σημαντικά αποθέματα φυσικού αερίου η αξιοποίηση των οποίων είναι οικονομικά βιώσιμη. Σύμφωνα με την Εταιρία Υδρογονανθράκων εκτιμάτε ότι οι ποσότητες του φυσικού αερίου στο οικόπεδο Αφροδίτη, είναι της τάξεως των 4,5 τρισεκατομμυρίων κυβικών πόδια.



Εικόνα 2.1: Τα οικόπεδα που αδειοδοτήθηκαν στην αποκλειστική οικονομική ζώνη της Κυπριακής Δημοκρατίας για έρευνες υδρογονανθράκων (Εταιρία Υδρογονανθράκων Κύπρου, 2019).

Με βάση τα πιο πάνω δεδομένα, η Εταιρία Υδρογονανθράκων Κύπρου (2019) μελετά και τη δυνατότητα κατασκευής και λειτουργίας ενός χερσαίου σταθμού υγροποίησης φυσικού αερίου στην περιοχή του Βασιλικού στη Λεμεσό. Πέραν από τα πιο πάνω, σύμφωνα με τον Tsangas et al. (2018) το 2017, η Κύπρος, η Ελλάδα, η Ιταλία και το Ισραήλ συμφώνησαν στην δημιουργία αγωγού μεταφοράς φυσικού αερίου από την

Κύπρο και το Ισραήλ στην Ευρώπη. Η κατασκευή του αγωγού αυτού που εμπίπτει στο έργο EastMed πιστεύεται ότι θα ολοκληρωθεί το 2025 και θα ανοίξει το δρόμο στην Κυπριακή Δημοκρατία να ενταχθεί στους παραγωγούς φυσικού αερίου δίνοντας έτσι νέα δυναμική στις ενεργειακές προοπτικές τόσο της Κύπρου όσο και της Ε.Ε.

Η διάθεση του φυσικού αερίου στην κυπριακή αγορά και η χρήση του τόσο στη βιομηχανία όσο και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θα επέφερε πολλαπλά ωφέλει όπως αυτά έχουν αναπτυχθεί και προηγουμένως και θα συνέβαλλε στην αιεφόρο ενεργειακή ανάπτυξη, δίνοντας έτσι νέες ενεργειακές προοπτικές. Σύμφωνα με τον Οικονομίδα κ.α. (2013) οι πρόσφατες ανακαλύψεις τόσο στην αποκλειστική οικονομική ζώνη της Κύπρου αλλά και του Ισραήλ αναβαθμίζουν την μεσόγειο καθιστώντας την ως μία περιοχή η οποία θα αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα ενεργειακά κέντρα αφού πέραν από το φυσικό αέριο πιστεύεται ότι υπάρχουν και κοιτάσματα πετρελαίου που ανέρχονται σε 3,7 δισεκατομμύρια βαρέλια. Σύμφωνα με την ίδια πηγή, η Κύπρος με βάση τα κοιτάσματα που έχει, θα μπορούσε να αναβαθμιστεί όχι μόνο οικονομικά αλλά και ενεργειακά και στρατηγικά και θα μπορεί πλέον να αποτελεί εναλλακτικό προμηθευτή στην παγκόσμια ενεργειακή αγορά. Η συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες σε ενέργεια δεν θα μπορούν πλέον να καλυφθούν από παραδοσιακούς προμηθευτές όπως η Ρωσία και η Βόρεια Αφρική και η ανατολική μεσόγειος θα μπορούσε να αποτελέσει πλέον σημαντικό προμηθευτή στην Ευρώπη. Ο Πουλλικκάς (2009) αναφέρει επίσης ότι με την εισαγωγή άλλων πηγών ενέργειας θα ανακουφιστεί σημαντικά η ενεργειακή οικονομία της Κύπρου καθώς επίσης θα βελτιωθεί και ο συντελεστής ελαστικότητας της πρωτογενούς ενέργειας. Ο ίδιος ερευνητής πιστεύει ότι το φυσικό αέριο θα αποτελέσει σημαντικό ρυθμιστικό παράγοντα στο ενεργειακό ισοζύγιο της Κύπρου. Ο Οικονομίδης κ.α. (2013) πιστεύει ότι με την ανακάλυψη των κοιτασμάτων φυσικού αερίου και με τα αποθέματα που αναμένονται, δίνεται η δυνατότητα στην Κύπρο να καλύψει καθολικά τις ενεργειακές της ανάγκες για μεγάλο χρονικό διάστημα και να καταστήσει το κατά κεφαλήν εισόδημα των Κυπρίων το υψηλότερο στην ΕΕ. Βέβαια, ο Πουλλικκάς (2013) αναφέρει ότι για την επίτευξη των ποιο πάνω, θα πρέπει η Κύπρος να εκπονήσει και να εφαρμόσει ένα φιλόδοξο και αξιόπιστο εθνικό σχέδιο.

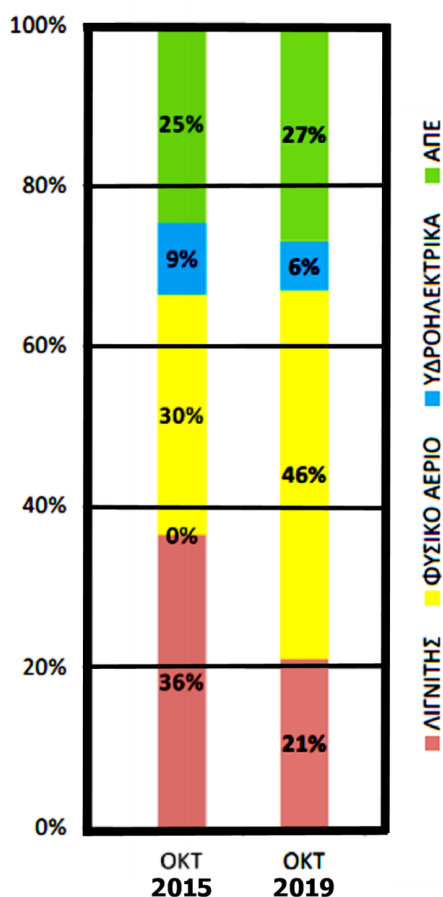
Πέραν από τα θετικά που παρουσιάζονται σε θεωρητικό επίπεδο με την άφιξη του φυσικού αερίου στην Κύπρο, θα πρέπει να αναφερθεί ότι η κατασκευή θαλάσσιου

αγωγού που θα συνδέει την Κύπρο με τις αγορές κατανάλωσης παρουσιάζεται προβληματική λόγω μεγάλου βάθους και ανωμαλιών στο υποθαλάσσιο έδαφος. Στην περίπτωση όπου οι αξιολογήσεις δείξουν ότι το κόστος κατασκευής ενός τέτοιου αγωγού είναι απαγορευτικό τότε απομένει η τεχνολογία της μετατροπής του φυσικού αερίου σε LNG. Με την μεθοδολογία που προτείνεται στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή αυξάνονται περαιτέρω οι ενεργειακές προοπτικές της Κύπρου. Η χρήση μεθανότροφων βακτηρίων σε βιοαντιδραστήρες για την μετατροπή του φυσικού αερίου σε υγρά καύσιμα θα μπορούσε να αποτελέσει τη λύση στα τεχνικά προβλήματα που προκύπτουν αλλά και να αποτελέσει μία άλλη ποιο οικονομική εναλλακτική. Η Κύπρος θα μπορούσε να απορροφήσει κονδύλια για την ανάπτυξη της έρευνας στον τομέα αυτό. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2019), στα πλαίσια των ερευνητικών προγραμμάτων για την περίοδο 2014-2020, η Ε.Ε αποδέσμευσε κονδύλια 6 δισεκατομμυρίων Ευρώ περίπου για την έρευνα σε μορφές ενέργειας εξαιρουμένων της πυρηνικής, ενώ το 2015 η επιτροπή ενέκρινε το «Στρατηγικό Σχέδιο Ενέργειας» το οποίο πιστεύεται ότι θα συμβάλλει στην αντιμετώπιση των προκλήσεων και θα καταστήσει την Ευρώπη παγκόσμιο πρωτοπόρο στα αποδοτικά ενεργειακά συστήματα. Με την εφαρμογή νέων, πρωτοποριακών τεχνολογιών στον τομέα των εναλλακτικών πηγών ενέργειας δημιουργούνται νέες βιομηχανικές ευκαιρίες οι οποίες θα ωθήσουν την ανάπτυξη και την απασχόληση.

2.7 Φυσικό αέριο - Το παράδειγμα της Ελλάδος

Η Ελλάδα είναι μία χώρα κράτος μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης από το 1981 (Ευρωπαϊκή Ένωση, 2019) και η θέση της στον Ευρωπαϊκό χώρο είναι εξαιρετικά σημαντική από γεωπολιτική άποψη. Η Ελλάδα αποτελεί την νότια απόληξη της Ευρώπης η οποία ακουμπά την Ασία και την Αφρική στο χώρο της Ανατολικής Μεσογείου, της Εγγύς και Μέσης Ανατολής. Συνορεύει με την Αλβανία, το κράτος των Σκοπίων, την Βουλγαρία και στα ανατολικά με την Τουρκία και έχει έκταση 131,957 τετραγωνικά χιλιόμετρα (Μαλλιάρης – Παιδεία, 1998). Σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή (2014), με βάση την απογραφή του 2011 ο μόνιμος πληθυσμός της χώρας ήταν 10.816.286 άτομα από τα οποία 5.303.223 ήταν άντρες (ποσοστό 49,0 %) και 5.513.063 γυναίκες (ποσοστό 51,0%). Όσον αφορά το ενεργειακό της καθεστώς, σύμφωνα με τους Mondol και Koumpetsos (2013), η Ελλάδα παράγει ενέργεια που αντιστοιχεί σε 9,86 εκατομμύρια τόνους ισοδυνάμου πετρελαίου (Mtoe) ενώ ποσά

ενέργειας που αντιστοιχούν σε 25,16 Mtoe προκύπτουν από την εισαγωγή ορυκτών καυσίμων. Η συνολική παροχή πρωτογενούς ενέργειας αντιστοιχεί σε 30,42 Mtoe και η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε TWh ανέρχεται σε 64,31. Υπολογίζεται ότι η Ελλάδα, συμβάλλει στην ανθρωπογενή συνιστώσα της κλιματικής αλλαγής με την παραγωγή 97,81 Mt διοξειδίου του άνθρακα το χρόνο με βάση στοιχεία του 2001. Με βάση νεότερα δεδομένα του 2019 που παρουσιάζονται από τον Ανεξάρτητο Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (2019), για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα συμμετέχουν τέσσερις πηγές ενέργειας. Σύμφωνα με την ίδια πηγή, ο Λιγνίτης συμμετέχει στην συνολική παραγωγή ενέργειας σε ποσοστό 21%, το φυσικού αέριο σε ποσοστό 46%, η υδροηλεκτρική ενέργεια σε 6% και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε ποσοστό 27% (Διάγραμμα 2.10).



Διάγραμμα 2.10: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από διάφορες πηγές στην Ελλάδα τον Οκτώβριο του 2015 και περίοδο 2008 με 2011 (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: Ανεξάρτητο Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας – Μηνιαίο Δελτίο Ενέργειας, 2019, 2015).

Με βάση το διάγραμμα 2.10 που παρουσιάζει την συμμετοχή του λιγνίτη, του φυσικού αερίου, της υδροηλεκτρικής ενέργειας και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, διαπιστώνεται ότι η Ελλάδα έχει κάνει σημαντικά άλματα από το 2015 μέχρι το 2019 όσον αφορά την μείωση της χρήσης των στερεών καυσίμων και συγκεκριμένα του λιγνίτη σε μία προσπάθεια μετάβασής της σε πιο καθαρές μορφές ενέργειας. Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι, για την αντιστάθμιση από την μείωση της χρήσης του λιγνίτη, η χρήση του φυσικού αερίου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, παρουσιάζει μία σταθερή αύξηση που σήμερα ανέρχεται σε 46 % σε σχέση με το 2015 που το ποσοστό αυτό ήταν της τάξεως του 30%. Επίσης, παρουσιάζεται και μία μικρή αύξηση της τάξης του 2% από το 2015 μέχρι το 2019 στην χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Αν και η Ελλάδα λόγω της έκτασής της, θα μπορούσε να επεκταθεί περισσότερο στη χρήση των ΑΠΕ για κάλυψη των αναγκών της, παρόλα αυτά η χρήση τους εμφανίζεται μικρή. Σύμφωνα με τον Doukas et al. (2006) το δυναμικό της Ελλάδας για την ανάπτυξη βιώσιμων τεχνολογιών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι πάρα πολύ υψηλό. Παρόλα αυτά, η προώθηση των τεχνολογιών αυτών και η χρήση των ΑΠΕ υπήρξε χαμηλή, αφού σύμφωνα με τους Mondol και Koumpetsos (2013), η οικονομική κρίση επηρέασε αρνητικά την παγκόσμια ανάπτυξη στον τομέα της βιώσιμης ενέργειας και του επενδυτικού ενδιαφέροντος στον τομέα αυτό.

Σύμφωνα με την Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας της Ελλάδος, η είσοδος του φυσικού αερίου στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας επέφερε σημαντικά πλεονεκτήματα όσον αφορά το περιβάλλον. Η μείωση στη χρήση των συμβατικών καυσίμων και η αύξηση στη χρήση του φυσικού αερίου συνέβαλε στη μικρή μείωση της έντασης των εκπομπών του CO₂ και σε σημαντική μείωση των εκπομπών SO₂ και NO_x. Πέραν από αυτό, η χρήση του φυσικού αερίου συμβάλλει και στην μείωση της παραγόμενης αιωρούμενης τέφρας που προκύπτει από την καύση του λιγνίτη στις λιγνιτομονάδες. Σύμφωνα με τον Arditsoglou et al. (2004), η αιωρούμενη τέφρα που εκλύεται στην ατμόσφαιρα, κατά την καύση του λιγνίτη, που είναι φορέας σημαντικού αριθμού ιχνοστοιχείων, καθιστούν τον λιγνίτη καρκινογόνο αφού εκλύονται επίσης και πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακων (PAHs). Η Vita et al. (2009) αναφέρει ότι ο ελληνικός λιγνίτης είναι χαμηλής ποιότητας και θερμαντική αξία που κυμαίνεται από 900 μέχρι 2300 kcal / kg.

Σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (2019) της Ελλάδος με την ελευθεροποίηση της αγοράς στον τομέα της ενέργειας και του φυσικού αερίου επιταχύνεται η αύξηση της ανταγωνιστικότητας, η δυνατότητα επέκτασης των δικτύων μεταφοράς φυσικού αερίου τόσο στο εσωτερικό όσο και διασυνοριακά, αυξάνονται οι επιλογές των καταναλωτών, βελτιώνεται η ενεργειακή απόδοση, εξοικονομείτε ενέργεια, μειώνεται το μερίδιο των ορυκτών καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και προστατεύεται το περιβάλλον. Ο Giamourides (2009) αναφέρει ότι, κύριος προμηθευτής της Ελλάδα σε φυσικό αέριο είναι η Αλγερία (Sonatrach) και η Ρωσία (Sojuzgazexport) και για την διανομή του στους καταναλωτές υπεύθυνη είναι η Δημόσια Εταιρεία Αερίου της Ελλάδας (ΔΕΠΑ). Η παρουσία του φυσικού αερίου στον Ελλαδικό χώρο παρουσιάζεται πολύ σημαντική που θα μπορούσε να καταστήσει την Ελλάδα ενεργειακό κόμβο προς τα βαλκάνια και την Ευρωπαϊκή Ένωση αναβαθμίζοντας την έτσι ως ένα ισχυρό ενεργειακό παροχέα . Σύμφωνα με τη ΔΕΠΑ (2019) η Ελλάδα με την άφιξη του φυσικού αερίου επένδυσε σε ενεργειακές υποδομές που θα συμβάλλουν στην αειφόρο ανάπτυξη. Όπως αναφέρεται, είδη έχουν κατασκευαστή πάνω από 6.000 χιλιόμετρα δικτύου μεταφοράς και σταθμός υγροποιημένου φυσικού αερίου στη Ρεβυθούσα. Επίσης, η ΔΕΠΑ προχώρησε και στην διασύνδεση με την Τουρκία μέσω Κομοτηνής και ανέπτυξε συνεργασίες με μεγάλες διεθνείς εταιρίες για την επέκταση του δικτύου διανομής σε διάφορες περιοχές για την σύνδεση στο σύστημα ακόμη περισσότερων καταναλωτών. Με τον τρόπο αυτό, η Ελλάδα κατάφερε να αναπτύξει την εσωτερική αγορά και να καλύψει όλους τους τομείς της οικονομικής δραστηριότητας. Πέραν από τα ποιο πάνω, λόγω της κομβικής και γεωστρατηγικής της θέσης η Ελλάδα θα μπορεί στο μέλλον να αξιοποιήσει το πλεονέκτημά της αυτό για πραγματοποίηση έργων διασύνδεσης με υφιστάμενες υποδομές γειτονικών χωρών αυξάνοντας έτσι τις ενεργειακές της προοπτικές και το ενεργειακό της καθεστώς. Είδη, σχεδιάζεται να επεκταθεί το σύστημα σε Ιταλία και Βουλγαρία. Με βάση τα ποιο πάνω, ο Christodoulakis et al. (2000) πιστεύει ότι η επέκταση του δικτύου αγωγών φυσικού αερίου θα βοηθήσει την ανταγωνιστικότητα και την ευελιξία του ελληνικού ενεργειακού συστήματος για την ικανοποίηση των απαιτήσεων των καταναλωτών ενώ θα μπορούν να επιτευχθούν και νέες συμφωνίες με τον βιομηχανικό τομέα. Έτσι, θα προωθηθεί και η ορθολογική χρήση της ενέργειας, με ταυτόχρονη βελτίωση των υποδομών.

Σύμφωνα με τη μελέτη του Angelis-Dimakis et al. (2012) το φυσικό αέριο έγινε γνωστό στους οικιακούς καταναλωτές την τελευταία δεκαετία και για το λόγο αυτό το μερίδιο χρήσης του εξακολουθεί να είναι χαμηλό. Παρόλα αυτά, με τον Κανονισμό Αδειών (ΦΕΚ.Β' 464/19.04.2010) (Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, 2019) δίδεται η δυνατότητα για παραχώρηση άδειων σε ιδιώτες για τη δημιουργία ανεξάρτητων συστημάτων φυσικού αερίου, διαχείρισης, διανομής και άλλα, αυξάνοντας έτσι την δυναμική για περαιτέρω επενδύσεις στον τομέα της θέρμανσης και της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ιδιώτες και εταιρίες. Αυτή η εξέλιξη, θα μπορεί να ευρύνει τις χρήσεις του φυσικού αερίου και να αυξήσει τους χρήστες. Ο Economidou (2012), που σύγκρινε την χρήση του φυσικού αερίου έναντι της γεωθερμίας για σκοπούς θέρμανσης, παρουσίασε ότι το φυσικό αέριο παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα για την θέρμανση σχολικών μονάδων στη Ελλάδα και προτείνει την επέκταση της χρήσης του, αφού συμβάλλει στη μείωση των αέριων ρύπων και στην εξοικονόμηση φυσικών πόρων. Η χρήση του φυσικού αερίου επεκτείνεται και στα οχήματα αφού σύμφωνα με τους Nanaki και Koroneos (2013) από το 2000 η ΕΕ προωθεί την χρήση εναλλακτικών καυσίμων όπως είναι το φυσικό αέριο για χρήση στα οχήματα. Σύμφωνα με τη μελέτη των ποιο πάνω ερευνητών τα υβριδικά οχήματα παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών με βάση οικονομικά και περιβαλλοντικά κριτήρια. Η χρήση του φυσικού αερίου στα οχήματα θα μπορούσε να μειώσει τα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκύπτουν από το κυκλοφορικό σε αστικές περιοχές. Πέραν από τα οχήματα ιδιωτικής χρήσης το φυσικό αέριο θα μπορούσε να εισχωρήσει και στον τομέα των μεταφορών. Οι Tzanatos και Nikitakos (2013) πιστεύουν ότι, η χρήση του φυσικού αερίου στις θαλάσσιες επιβατικές μεταφορές θα μπορούσε να επιφέρει σημαντικά ωφέλη. Η μετάβαση από το πετρέλαιο στο φυσικό αέριο φαίνεται να μπορεί να μείωση κατά δέκα φορές τις εκπομπές αέριων ρύπων ενώ η μείωση των καυσαερίων μπορεί να μειωθεί κατά 85% αποφεύγοντας έτσι μία ζημία στο περιβάλλον που θα αντιστοιχούσε σε περίπου 220 εκατομμύρια ευρώ το χρόνο. Κάτω από αυτές τις συνθήκες πιστεύεται ότι δημιουργείται ένα ευνοϊκό οικονομικό περιβάλλον για τις εγχώριες επιχειρήσεις που ασχολούνται με τον τομέα αυτό καθώς επίσης ενθαρρύνονται οι επένδυσης για την δημιουργία εγκαταστάσεων ανεφοδιασμού.

Σύμφωνα με τα ποιο πάνω δεδομένα και με στοιχεία του Ινστιτούτου Ενέργειας Νοτιοανατολικής Ευρώπης (2019) η χρήση του φυσικού αερίου στη Ελλάδα επιφέρει πολλαπλά ωφέλη τόσο για το κράτος όσο και για την κοινωνία και συμβάλλει

σημαντικά στις προσπάθειες για αιωφόρο ενεργειακή ανάπτυξη. Τα μαθηματικά μοντέλα δείχνουν ότι η χρήση του στην Ελλάδα τα επόμενα χρόνια θα αυξηθεί σημαντικά. Πέραν από τα περιβαλλοντικά ωφέλει που προκύπτουν από την χρήση του φυσικού αερίου, επηρεάζεται με θετικό τρόπο και ο κοινωνικός και ο οικονομικός πυλώνας της αιεφορίας. Με βάση τις έρευνες, προβλέπεται σημαντική ανάπτυξη του τομέα της ενέργειας και συγκεκριμένα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με δυνατότητα εξαγωγής της σε γειτονικές χώρες. Επίσης, το φυσικό αέριο ως καύσιμο γεφύρωσης μπορεί να εξισορρόπηση το φορτίο και να δημιουργήσει επενδύσεις οι οποίες θα μπορούν να προσφέρουν οικονομικά πακέτα στους καταναλωτές στα πλαίσια της ελεύθερης αγοράς. Επίσης, πιστεύεται ότι με το φυσικό αέριο μπορούν να χαραχθούν καλύτερες ενεργειακές πολιτικές και να ανθήσουν οι ενεργειακές επενδύσεις που προβλέπεται να ανέλθουν τα 45,5 δισεκατομμύρια ευρώ.

2.8 Συμπεράσματα

Με βάση την ανάλυση της επιστημονικής βιβλιογραφίας καθώς και από τα δεδομένα που προκύπτουν από το παράδειγμα της Ελλάδος στη χρήση του φυσικού αερίου εξάγεται το συμπέρασμα ότι η μετάβαση μας από το πετρέλαιο στο φυσικό αέριο παρουσιάζει πολλαπλά οφέλη, με κύρια, αυτά που αντικατοπτρίζονται στον περιβαλλοντικό, κοινωνικό και οικονομικό πυλώνα της αιεφορίας. Με τη χρήση του φυσικού αερίου μπορεί να περιοριστή η ανθρωπογενής συνιστώσα της κλιματικής αλλαγής και να βελτιωθούν οι κοινωνικοί και οικονομικοί δείκτες όπως αυτοί παρουσιάζονται στα ποιο πάνω υποκεφάλαια. Η παρουσία του φυσικού αερίου και η έναρξη χρήσης του στην Κύπρο θα μπορούσε να συμβάλει στην περεταίρω οικονομική άνθηση του νησιού και να διευρύνει τις ενεργειακές του προοπτικές συμβάλλοντας παράλληλα και στην ενεργειακή ασφάλεια της Ευρώπης. Με την ανακάλυψη νέων κοιτασμάτων υδρογονανθράκων στον ελληνικό χώρο και με την συμβολή της Κύπρου, η Ελλάδα θα μπορούσε στο μέλλον αποτελέσει τον ενεργειακό κόμβο προς όλη την Ευρώπη και τα βαλκάνια με θετικές κοινωνικοοικονομικές προεκτάσεις. Πέραν από τα ποιο πάνω, η Κύπρος θα μπορούσε να εξασφαλίσει Ευρωπαϊκά κονδύλια για περεταίρω έρευνα στον τομέα του φυσικού αερίου για την μετατροπή του σε υγρά καύσιμα. Η μετατροπή του μεθανίου σε βιοκαύσιμα με τη εφαρμογή μεθόδων βιοτεχνολογίας και την βοήθεια βακτηρίων σήμερα αποτελεί πρόκληση. Με την απορρόφηση κονδυλίων από την ΕΕ σε θέματα έρευνας στον τομέα αυτό, η Κύπρο θα μπορούσε, πέραν από

ενεργειακό κέντρο να αποτελέσει και παγκόσμιο ερευνητικό κέντρο σε θέματα βιομετατροπής μεθανίου. Μία τέτοια εξέλιξη θα είχε ως αποτέλεσμα την περαιτέρω ανάπτυξη των δημόσιων και ιδιωτικών πανεπιστημίων όπου ερευνητές από όλο τον κόσμο θα επέλεγαν την Κύπρο για τις έρευνες τους. Η ενεργειακές προοπτικές της Κύπρου και προς τον τομέα της παραγωγής μεθανόλης από την βιομετατροπής του μεθανίου παρουσιάζονται ελπιδοφόρες.

Κεφάλαιο 3

Μεθοδολογία

3.1 Σκοπός και Στόχοι

Με την ανακάλυψη των υδρογονανθράκων στην αποκλειστική οικονομική ζώνη της Κυπριακής Δημοκρατίας και τα υψηλά αποθέματα φυσικού αερίου που αναγνωρίζονται, δίνεται η δυνατότητα στην Κύπρο να εφαρμόσει μία αειφόρο ενεργειακή πολιτική αλλά και να παίξει καθοριστικό ρόλο στο ενεργειακό περιβάλλον της Ευρώπης. Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι να ερευνήσει και να παρουσιάσει την πιθανότητα μετατροπής του φυσικού αερίου σε υψηλής αξίας προϊόντα και χημικά με την εφαρμογή μεθόδων βιοτεχνολογίας. Η μεθοδολογία που προτείνεται ενδέχεται να επιφέρει σημαντικά ευρήματα που θα ενισχύσουν την διεθνή βιβλιογραφία καθώς επίσης και οι εργαστηριακές δοκιμές να αποτελέσουν το έναυσμα για την εφαρμογή μίας νέας μεθόδου η οποία να εμφανίζεται ανταγωνιστική σε σχέση με τις υφιστάμενες μεθόδους δέσμευσης και μετατροπής του φυσικού αερίου σε βιοκαύσιμα, διευρύνοντας έτσι τις ενεργειακές προοπτικές της Κύπρου και στο τομέα αυτό. Ο στόχος της διατριβής είναι η απομόνωση και ο μοριακός χαρακτηρισμός στελεχών μεθανότροφων βακτηρίων με τη χρήση του γονιδίου 16S rRNA καθώς και η παραγωγή μεθανόλης από τα πιθανά απομονωθέντα είδη μεθανότροφων βακτηρίων

μέσω της αναστολή του ενζύμου MDH που είναι υπεύθυνο για την οξείδωση της μεθανόλης σε μεθανάλη.

3.2 Ερευνητικά ερωτήματα

Τα ερωτήματα που τίθενται και επιδιώκεται να απαντηθούν είναι:

- Μπορούν να απομονωθούν μεθανότροφα βακτήρια από σημεία όπου υπάρχει παρουσία μεθανίου;
- Η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί μπορεί επιφέρει τον εμπλουτισμό των δειγμάτων σε μεθανότροφα βακτήρια;
- Μπορούν να απομονωθούν ακραιόφιλα αλκαλιφιλικά μεθανότροφα βακτήρια;
- Μπορούν να αναγνωριστούν μεθανότροφα είδη με τη χρήση του γονιδίου 16S rRNA αφού πραγματοποιηθεί εκχύλιση του DNA;
- Μπορεί να ανιχνευτή η μεθανόλη με την χρήση υψηλής τεχνολογίας οργάνων και συγκεκριμένα με αέριο χρωματογράφο (GC);
- Τα ποσοστά της παραγόμενης μεθανόλης είναι ικανοποιητικά για την εφαρμογή της μεθόδου και σε μεγάλης κλίμακας βιοαντιδραστήρα;
- Μπορεί να μετρηθεί η σύσταση των αερίων που χρησιμοποιούνται για την καλλιέργεια των μεθανότροφων βακτηρίων, όπως το μεθάνιο και το οξυγόνο;
- Μπορούμε να διακόψουμε το μεταβολικό μονοπάτι των μεθανότροφων βακτηρίων στο σημείο εκείνο που παράγεται η μεθανόλη με τη δράση του χλωριούχου νατρίου στο ένζυμο MDH;

3.3 Πειραματική διαδικασία

Στην παρούσα πειραματική διαδικασία εφαρμόζονται μέθοδοι μικροβιολογίας για την απομόνωση και μελέτη μόνο αερόβιων μεθανότροφων βακτηρίων αφού σύμφωνα με τους Haynes και Gonzalez (2014) αναερόβια μεθανότροφα βακτήρια δεν έχουν απομονωθεί ακόμη ως καθαρές καλλιέργειες αν και συνυπάρχουν μαζί με τα αερόβια σε ιζήματα θαλασσών και γλυκών νερών.

3.3.1 Συλλογή δειγμάτων

Για την πραγματοποίηση των πειραμάτων συλλέχθηκαν τρία διαφορετικά δείγματα από περιβάλλοντα όπου αναγνωρίζεται η παρουσία μεθανίου. Όλα τα δείγματα συλλέχθηκαν σε σωλήνες των 50 ml τύπου falcon. Το πρώτο δείγμα με κωδικό (1) συλλέχθηκε από αναερόβιο αντιδραστήρα τύπου IC (Internal circulation bioreactor) που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία λυμάτων από γαλακτοβιομηχανία και αποτελεί αναερόβια κοκκώδη λάσπη. Το δεύτερο δείγμα με κωδικό (2) συλλέχθηκε από κτηνοτροφική μονάδα και αποτελεί κοπριά αγελάδων. Τέλος, το τρίτο δείγμα με κωδικό (3) συλλέχθηκε από το Συμβούλιο Αποχετεύσεων Λεμεσού – Αμαθούντας (ΣΑΛΑ) και αποτελεί κομπόστ.

Δείγματα	
Κωδικός	
(1)	Αναερόβια κοκκώδη λάσπη
(2)	Κοπριά
(3)	Κομπόστ

Πίνακας 3.1: Τα δείγματα με τους κωδικούς τους που επιλέχθηκαν για την απομόνωση μεθανότροφων βακτηρίων.

3.3.2 Το μεθάνιο ως πηγή άνθρακα για την καλλιέργεια μεθανότροφων βακτηρίων

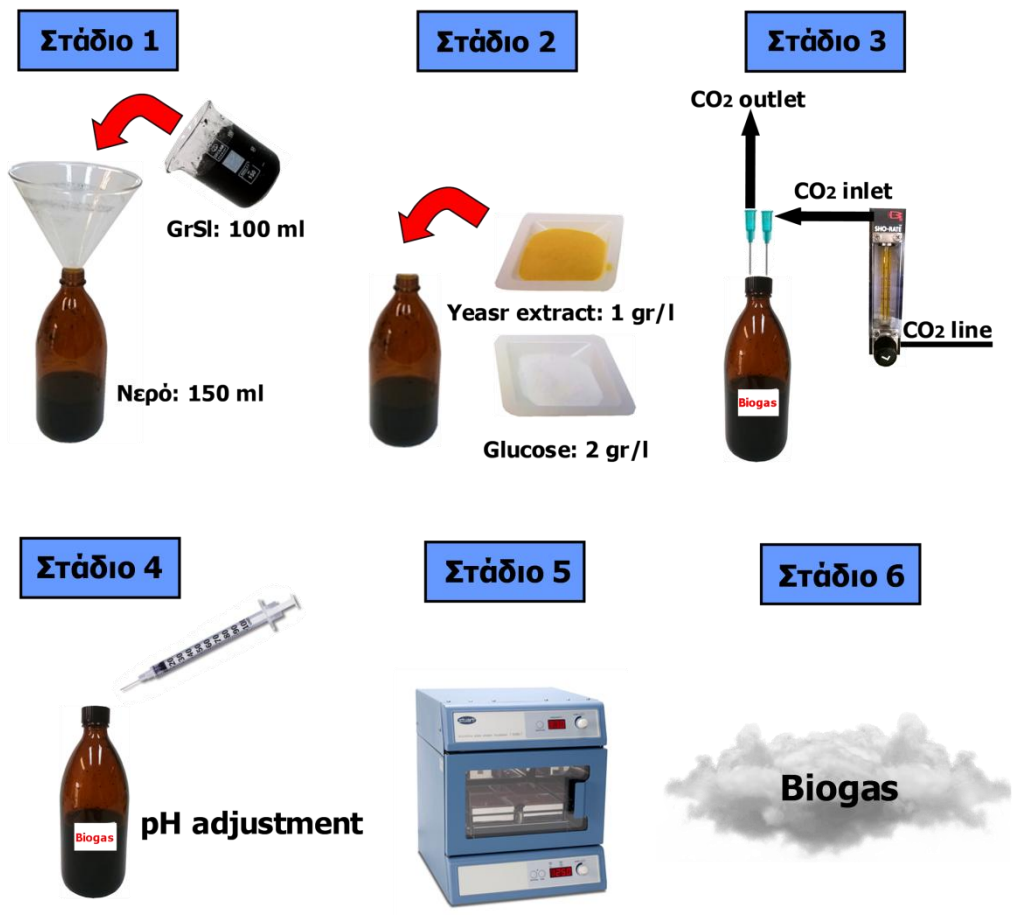
Τα μεθανοτρόφα βακτήρια οξειδώνουν το μεθάνιο ως κύρια πηγή άνθρακα για την παραγωγή ενέργειας. Για τις διεργασίες εμπλουτισμού των δειγμάτων σε μεθανότροφα βακτήρια αλλά και για την διαδικασία απομόνωσης καθαρής καλλιέργειας χρησιμοποιήθηκαν δύο πηγές μεθανίου. Χρησιμοποιήθηκε φιάλη μεθανίου (CH_4 : 100%) καθώς και βιοαέριο η σύσταση του οποίου σε CO_2 : CH_4 ήταν 60%:40%.

Για την παραγωγή του βιοαερίου δημιουργήθηκαν τέσσερις μικρής κλίμακας βιοαντιδραστήρες. Χρησιμοποιήθηκαν μπουκάλια των 500 ml όπου γεμίστηκαν με 100 ml αναερόβια λάσπη (granular sludge) και 150 ml κατάλληλου βιομέσου. Επίσης χρησιμοποιήθηκε γλυκόζη 2 gr/l και εκχύλισμα ζύμης (yeast extract) 1 gr/l.

Η παρασκευή του υγρού βιομέσου για την ανάπτυξη των μεθανογενών βακτηρίων έγινε με βάση την συνταγή που προτάθηκε από τον Wolfe (2011). Για την παρασκευή ενός λίτρου βιομέσου χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα χημικά: NH_4Cl 1gr, NaCl 0.6gr, NaHCO_3 5gr, KH_2PO_4 0.3gr, K_2HPO_4 0.3gr, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.16gr, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.009gr. Στο κύριο διάλυμα βιομέσου προστέθηκαν 10ml από συμπυκνωμένο διάλυμα βιταμινών του οποίου για την παρασκευή ενός λίτρου (vitamin stock solution) χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες βιταμίνες: p-aminobenzoic acid 10mg, nicotinic acid 10mg, calcium pantothenate 10mg, pyridoxine 10mg, riboflavin 10mg, thiamine 10mg, biotin 5mg, folic acid 5mg, a-lipoic acid 5mg, και B12 5mg. Επίσης, στο κύριο διάλυμα βιομέσου προστέθηκαν και 10ml από συμπυκνωμένο διάλυμα με ιχνοστοιχεία του οποίου για την παρασκευή ενός λίτρου (trace element stock solution) χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα χημικά: trisodium nitrilotriacetic acid 1.5gr, $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ 0.8gr, NaSeO_3 0.2gr, $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.1gr, $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.1gr, $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.1gr, $\text{NaWO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.1gr, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.1gr, $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.1gr, H_3BO_3 0.01gr, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.01gr.

Για την ενεργοποίηση της λάσπης και την επίτευξη των αναερόβιων συνθηκών, τα μπουκάλια σφραγίστηκαν αεροστεγώς με πώματα και ελαστικά διαφράγματα και με τη βοήθεια βελόνας, μέσω του διαφράγματος, διοχετεύτηκε στα μπουκάλια διοξείδιο του άνθρακα 100%. Ακολούθως, προστέθηκαν στα μπουκάλια 3ml κυστεΐνης υδροχλωρικής από αρχικό διάλυμα 0,2M και 0,8ml $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ από αρχικό διάλυμα 0,2M. Τα ποιο πάνω χημικά χρησιμοποιούνται ως αναγωγικοί παράγοντες (reducing agents).

Τέλος, το pH ρυθμίστηκε στο 7 με τη χρήση υδροχλωρικού οξέως (2M) και υδροξειδίου του νατρίου (2M). Η ρύθμιση του pH κρίνεται ως απόλυτα αναγκαία αφού σύμφωνα με τους Paramaguru et al. (2017) και Jayaraj et al. (2014) το pH έχει σημαντική επίδραση στην παραγωγή βιοαερίου, όπου μπορεί και αναστέλλει τη δραστηριότητα των βακτηριδίων. Τιμές pH=7 χαρακτηρίζονται ως βέλτιστες αφού σε τέτοιες τιμές η απόδοση του συστήματος είναι μέγιστη. Ακολούθως οι βιοαντιδραστήρες τοποθετήθηκαν σε επωαστήριο με κίνηση (100 στροφές ανά λεπτό) και θερμοκρασία 35 °C αφού σύμφωνα με τον Cioabla et al. (2012) η βέλτιστη θερμοκρασία για την ανάπτυξη μεσοφιλικών βακτηρίων για την παραγωγή βιοαερίου είναι 35 °C (Διάγραμμα 3.1).



Διάγραμμα 3.1: Τα έξι στάδια που ακολουθήθηκαν για την δημιουργία των βιοαντιδραστήρων για την παραγωγή βιοαερίου.

3.3.3 Προετοιμασία μικροβιολογικού βιομέσου για τον εμπλουτισμό των δειγμάτων σε μεθανότροφους μικροοργανισμούς

Για τον εμπλουτισμό και την καλλιέργεια των μεθανότροφων βακτηρίων χρησιμοποιήθηκε διαφορετικής σύστασης βιομέσο από αυτό που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη των μεθανογόνων στους βιοαντιδραστήρες, αφού κάθε ομάδα μικροοργανισμών χρειάζεται και το κατάλληλο θρεπτικό βιομέσο για να αναπτυχθεί. Σύμφωνα με την εταιρία Merck (2019) για την καλλιέργεια διαφορετικών μικροοργανισμών απαιτείται συγκεκριμένο θρεπτικό μέσο κάθε φορά που θα προάγει το κατάλληλο βιοχημικό περιβάλλον για τη διατήρηση όλων των χαρακτηριστικών των μικροοργανισμών για την περεταίρω χρησιμοποίησή τους σε διάφορες εφαρμογές.

Για τον εμπλουτισμό των δειγμάτων καθώς και για την καλλιέργεια και απομόνωση μεθανότροφων βακτηρίων χρησιμοποιήθηκε υγρό βιομέσο τύπου NMS όπως αυτό έχει προταθεί από τους Dedysh και Dunfield (2014). Για την παρασκευή ενός λίτρου βιομέσου χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα χημικά: KNO_3 1gr, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1gr, $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$ 0.717gr, KH_2PO_4 0.272gr, $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.2gr, ferric ammonium EDTA 0.004gr. Επίσης, στο κύριο διάλυμα βιομέσου προστέθηκε και 0,1% (v/v) από συμπυκνωμένο διάλυμα με ιχνοστοιχεία του οποίου για την παρασκευή ενός λίτρου (trace element stock solution) χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα χημικά: Na_2EDTA 0.5gr, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.2gr, H_3BO_3 0.03gr, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.01gr, $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 0.003gr, $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0.02gr, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.03gr, $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.002gr, $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.003gr.

Το pH του υγρού βιομέσου για σκοπούς εμπλουτισμού και απομόνωσης μεθανότροφων μικροοργανισμών ρυθμιστικέ στο 6,8. Για την δημιουργία στερεών καλλιεργειών χρησιμοποιήθηκε το βιομέσο που προτάθηκε από τους Dedysh και Dunfield (2014) με την περεταίρω προσθήκη 18 gr/l αγαρόζης (agarose). Βέβαια, θα πρέπει να αναφερθεί ότι μελετήθηκε και η δυνατότητα απομόνωσης μεθανότροφων βακτηρίων με τη χρήση του προαναφερθέντος βιομέσου σε ένα εύρος από pH που κυμαινόταν από 4 μέχρι 9. Επίσης, ελέγχθηκε και η δυνατότητα ανάπτυξης μεθανότροφων βακτηρίων σε τρυβλία πετρί με την προσθήκη γλυκόζης στο προαναφερθέν βιομέσο, εν απουσία μεθανίου σε αερόβιες συνθήκες.

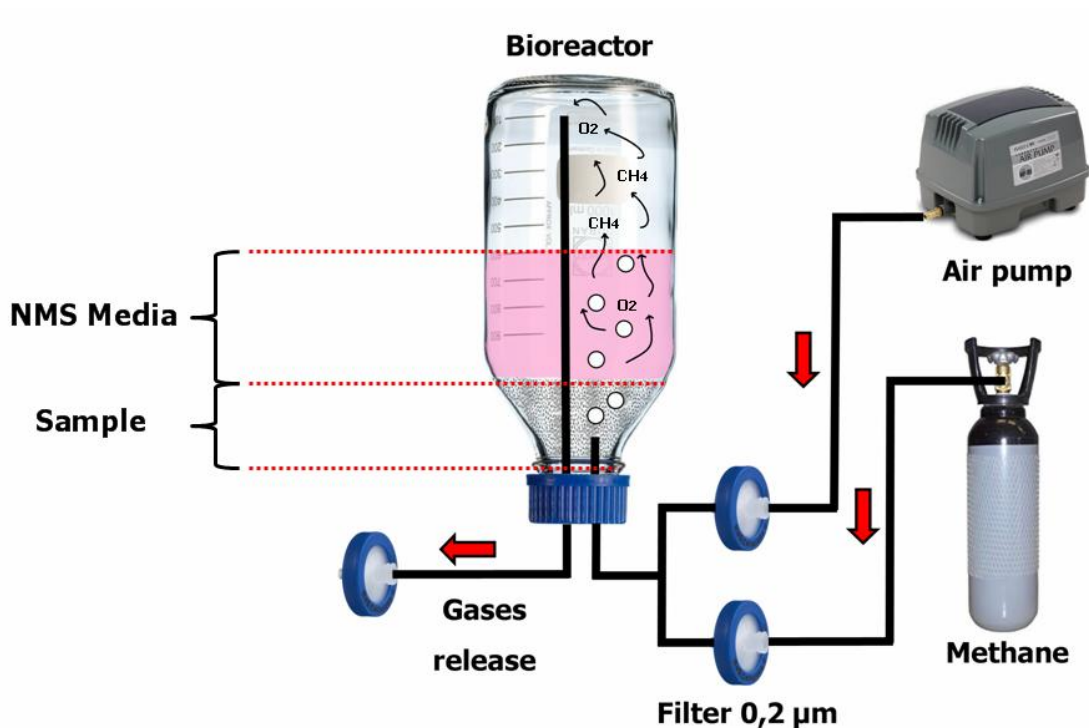
3.3.4 Διαδικασία απομόνωσης μεθανότροφων βακτηρίων

Αρχικά τα τρία δείγματα των 50ml με κωδικούς (1), (2) και (3) τοποθετήθηκαν σε τρεις αυτοσχέδιους βιοαντιδραστήρες συνεχούς ροής (Εικόνα 3.1) των 2 λίτρων οι οποίοι ακολούθως γέμισαν με 1 λίτρο βιομέσου. Η σύσταση του βιομέσου περιγράφεται στην υποενότητα 3.3.3. Να αναφερθεί ότι, όλες οι διατάξεις των βιοαντιδραστήρων καθώς και το βιομέσο, πριν χρησιμοποιηθούν, αποστειρώθηκαν στο αυτόκαυστο στους 121 °C και σε πίεση ατμού τα 15 psi για 20 λεπτά (Atlas, 2004). Ακολούθως, οι βιοαντιδραστήρες συνδέθηκαν με την φιάλη του μεθανίου (CH_4 : 100%) καθώς και με αντλία παροχής ατμοσφαιρικού αέρα (N_2 : O_2 -80%:20%) όπου ενδιάμεσα παρεμβάλλονται φίλτρα (cellulose acetate) διαμέτρου 0,2 μm (Εικόνα 3.2) για να αποφευχθεί η επιμόλυνση των δειγμάτων. Η ροή των αερίων ρυθμίστηκε στα 150 ml/h για το μεθάνιο και 150 ml/h για τον ατμοσφαιρικό αέρα. Τα δείγματα παρέμειναν στους

αντιδραστήρες για περίοδο μίας εβδομάδας για να εμπλουτιστούν τα δείγματα σε μεθανότροφους. Αυτό αποτέλεσε το πρώτο στάδιο εμπλουτισμού των δειγμάτων σε μεθανότροφους.



Εικόνα 3.1: Αυτοσχέδιο βιοαντιδραστήρα συνεχούς ροής που χρησιμοποιήθηκε στο αρχικό στάδιο εμπλουτισμού των δειγμάτων σε μεθανότροφα βακτήρια.



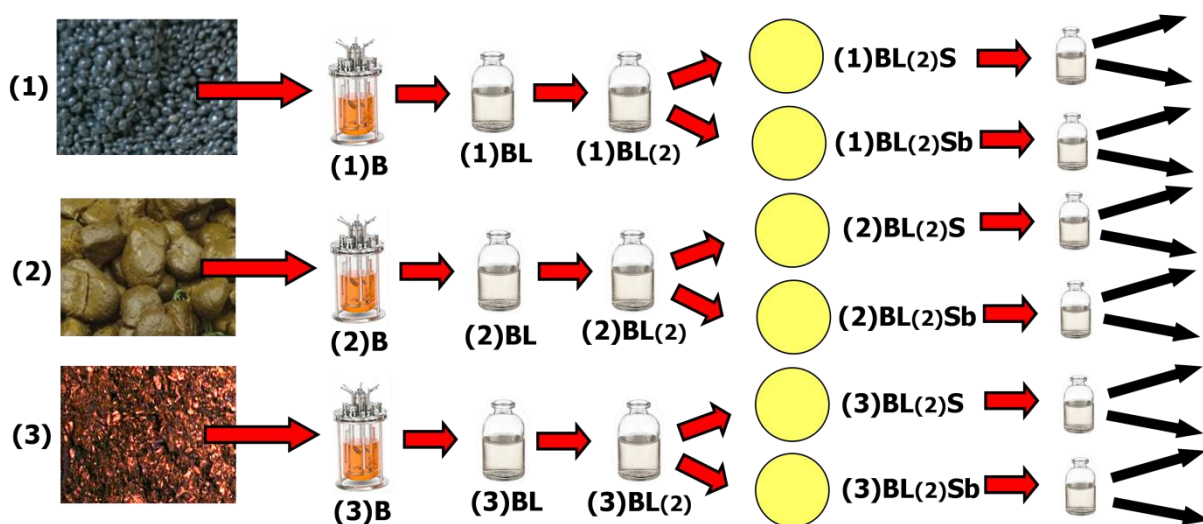
Διάγραμμα 3.2: Διαγραμματική απεικόνιση της λειτουργίας του αυτοσχέδιου βιοαντιδραστήρα συνεχούς ροής.

Μετά το πέρας της μίας εβδομάδας, συλλέχθηκαν δείγματα από τους τρεις βιοαντιδραστήρες και τοποθετήθηκαν ξεχωριστά σε φιαλίδια ορού (serum bottle) των 125 ml. Ο λόγος όγκου της υγρής προς την αέρια φάση ήταν 60% : 40%, δηλαδή είχαμε συνολικό όγκο υγρού 50ml (δείγμα μαζί με βιομέσο). Από τον κάθε βιοαντιδραστήρα συλλέχθηκαν δείγματα των 5ml που αντιπροσωπεύουν τα νέα δείγματα (1)B, (2)B και (3B) αντίστοιχα. Τα τρία νέα δείγματα των 5ml τοποθετήθηκαν ξεχωριστά σε φιαλίδια ορού μαζί με 45ml βιομέσου. Το pH του βιομέσου ήταν ρυθμισμένο σε 6,8. Ακολούθως τα φιαλίδια ορού σφραγίστηκαν και σε αυτά διοχετεύτηκε βιοαέριο και ατμοσφαιρικός αέρας. Γινόταν προσπάθεια ούτως ώστε σε όλα τα δείγματα η σύσταση της αέριας φάσης να είναι περίπου η ίδια. Η σύσταση της αέριας φάσης σε αέρια ήταν περίπου H₂: 0,5%, O₂: 20%, N₂: 50% , CH₄: 20%, CO₂: 9.5%. Ακολούθως, τα φιαλίδια τοποθετήθηκαν σε επωαστήρα σε θερμοκρασία 30 °C, με συνεχή ανάδευση (100 rpm).

Από τα τρία φιαλίδια ορού (1)BL, (2)BL, και (3)BL που δημιουργήθηκαν, μετά το πέρας της μίας εβδομάδας συλλέχθηκαν δείγματα (1ml) και ανακαλλιεργήθηκαν ξανά όπως περιγράφεται πιο πάνω σε ξεχωριστά φιαλίδια. Δηλαδή, δημιουργήθηκαν τρία νέα φιαλίδια (1)BL₍₂₎, (2)BL₍₂₎ και (3)BL₍₂₎ όπου η υγρή φάση τους αποτελείτο από το 1ml των δειγμάτων και 49ml βιομέσου.

Μετά το πέρας μία εβδομάδας από τα δείγματα (1)BL₍₂₎, (2)BL₍₂₎ και (3)BL₍₂₎ δημιουργήθηκαν στερεές καλλιέργειες σε τρυβλία πετρί αφού μεταφέρθηκε σε αυτά μικροποσότητα από την υγρή φάση των δειγμάτων με πιπέτα. Τα νέα δείγματα είχαν κωδικούς (1)BL₍₂₎S, (2)BL₍₂₎S και (3)BL₍₂₎S αντίστοιχα. Η επίστρωση έγινε με την βοήθεια των loops. Χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές μικροβιολογίας όπως αυτές περιγράφονται από τον Lammert (2007). Επίσης, δημιουργήθηκαν τρυβλία πετρί όπου έγινε επίστρωση βιομάζας βακτηρίων με τη βοήθεια των loops. Αυτό πραγματοποιήθηκε αφού συλλέχθηκε από το κάθε φιαλίδιο ποσότητα υγρού (2,5ml) η οποία τοποθετήθηκε σε erpendorf tubes των 2,5 ml. Τα erpendorf φυγοκεντρίθηκαν στις 14,000 στροφές για 3 λεπτά και το υπερκείμενο υγρό απορρίφτηκε όπου στον πυθμένα παρέμεινε η βιομάζα των βακτηρίων όπου και χρησιμοποιήθηκε για επίστρωση. Τα νέα δείγματα είχαν κωδικό(1)BL₍₂₎S_b, (2)BL₍₂₎S_b και (3)BL₍₂₎S_b. Τα τρυβλία πετρί ακολούθως τοποθετήθηκαν σε αναερόβιο δοχείο όπου διοχετεύτηκε σε αυτό ποσότητα βιοαερίου και ατμοσφαιρικού αέρα.

Μετά την εμφάνιση αποικιών από βακτήρια στα τρυβλία πετρί, πραγματοποιήθηκε απόξεση μίας μόνο αποικίας η οποία επανατοποθετείτο σε φιαλίδια για ανακαλλιέργεια σε υγρή φάση. Η πιο πάνω διαδικασία πραγματοποιήθηκε αρκετές φορές, δηλαδή από στερεές καλλιέργειες σε υγρές και αντίστροφα ούτως ώστε να επιτευχθεί ο καθαρισμός των βακτηρίων και να οδηγηθούμε σε μία καθαρή καλλιέργεια. Δημιουργήθηκαν εκατοντάδες φιαλίδια, αφού κάθε φορά από το τρυβλία πετρί δεν χρησιμοποιείται για ανακαλλιέργεια μόνο μία αποικία βακτηρίων, αλλά πολλές, σε ξεχωριστά φιαλίδια, οι οποίες διαχωρίζονταν ανάλογα με το χρώμα και την μορφολογία (Διάγραμμα 3.3).



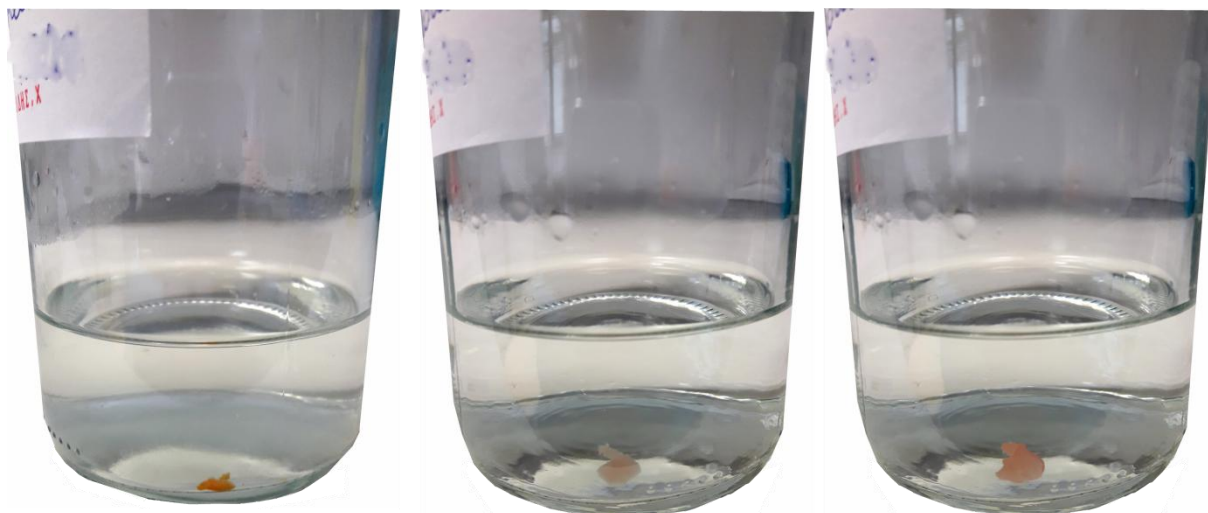
Διάγραμμα 3.3: Διαγραμματική απεικόνιση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για την επίτευξη δημιουργίας καθαρής καλλιέργειας μεθανότροφων βακτηρίων. B: Bioreactor, L: Liquid, S: Solid, b: Biomass.

Μετά από προσπάθεια μηνών, επιλέχθηκαν τρία δείγματα διαφορετικού χρώματος, ένα από κάθε δείγμα, τα οποία ανακαλλιεργήθηκαν σε τρυβλία πετρί. (Εικόνα 3.2).

Το δείγμα από την αναερόβια λάσπη όπου η βιομάζα του είχε σκούρο πορτοκαλί χρώμα, ανακαλλιεργήθηκε σε τρυβλία πετρί και σε διαφορετικές τιμές pH (4-9) καθώς και σε γλυκόζη (5 gr/l) σε pH 6,8 χωρίς την παρουσία μεθανίου. Σε pH 9 αναπτύχθηκαν οι περισσότερες αποικίες βακτηρίων όπου και το δείγμα αυτό κρατήθηκε για ανάλυση του γονιδίου 16S rRNA μαζί με το δείγμα από την κοπριά και το κομπόστ. Μετά από απόξεση των αποικιών από τα τρυβλία, δημιουργήθηκαν 3 τελικά δείγματα με

κωδικούς 116, 117 και 118. Οι αποικίες τοποθετήθηκαν σε cryovials των 2ml μαζί με γλυκερόλη και βιομέσο σε αναλογία 50:50 όπου και στάλθηκαν στη εταιρία MACROGEN για ανάλυση του 16S rRNA γονιδίου (Εικόνα 3.3).

ΤΕΛΙΚΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ



Αναερόβια Λάσπη

Κοπριά

Κομπόστ

Εικόνα 3.2: Τα τελικά δείγματα που επιλέχθηκαν για ανακαλλιέργεια σε τρυβλία πετρί για να αποσταλούν στην εταιρία MACROGEN.



116: Αναερόβια λάσπη

117: Κοπριά

118: Κομπόστ

Εικόνα 3.3: Τα δείγματα 116, 117 και 118 που στάλθηκαν στην εταιρία MACROGEN για ανάλυση.

Τέλος, μαζί με τα τρία τελικά δείγματα, δημιουργήθηκαν εκ νέου τρεις νέες υγρές καλλιέργειες όπου, αντί βιομέσου χρησιμοποιήθηκε θαλασσινό νερό αφού πρώτα αποστειρώθηκε. Με τη χρήση του θαλασσινού νερού (παρουσία χλωριούχου νατρίου) έγινε μία προσπάθεια να μελετηθεί η αδρανοποίηση/αναστολή του ενζύμου MDH για την παραγωγή μεθανόλης. Η αλατότητα του θαλασσινού νερού μετρήθηκε έμμεσα με τη βοήθεια πυκνομέτρου (υδρόμετρο) όπου καταγράφηκε τιμή πυκνότητας 1.028. Η θερμοκρασία του θαλασσινού νερού ήταν 22°C. Η αλατότητα καθορίστηκε σε 40 ppt με την βοήθεια πινάκων που παρουσιάζουν την αλατότητα ως συνάρτηση της πυκνότητας και της θερμοκρασίας (Πίνακας 3.2).

		Θερμοκρασία Νερού																
Πυκνότητα		15	16	17	18	18.5	19	19.5	20	20.5	21	21.5	22	22.5	23	23.5	24	24.5
	Αλατότητα ppt																	
	1.027	36.3	36.6	36.9	37.3	37.4	37.6	37.7	37.9	38.1	38.3	38.5	38.6	38.8	39.0	39.2	39.4	39.6
	1.028	37.6	37.9	38.2	38.5	38.7	38.9	39.1	39.2	39.4	39.6	39.8	40.0	40.2	40.4	40.6	40.7	40.9
	1.029	38.9	39.2	39.5	39.9	40.0	40.2	40.4	40.6	40.7	40.9	41.1	41.3	41.5	41.7	41.9	42.1	42.3

Πίνακας 3.2: Πίνακας αλατότητας σε ppt (parts per thousand) σε συνάρτηση με την πυκνότητα και την θερμοκρασία.

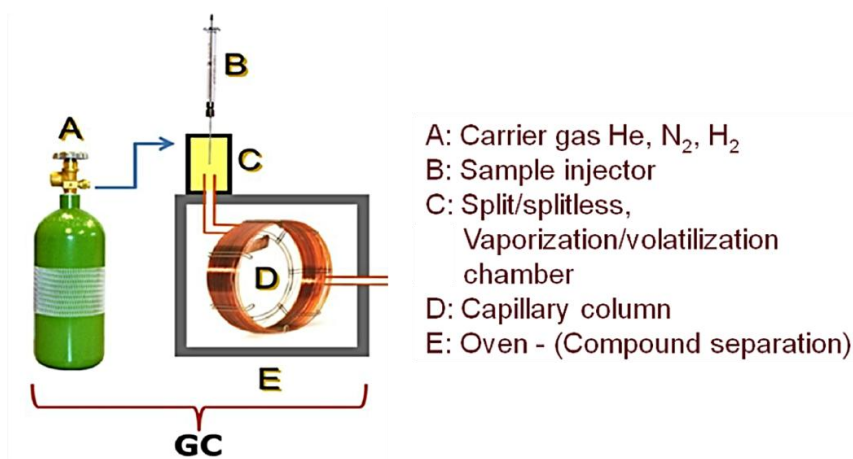
3.3.5 Μεθοδολογία ελέγχου σύστασης της αέριας φάσης φιαλιδίων

Για τον καθορισμό της σύστασης της αέριας φάσης των φιαλιδίων ορού έγινε η χρήση του οργάνου GC-TCD (Gas Chromatography – Thermal Conductivity Detector) (Agilent Technology 7820A) (Εικόνα 3.4).

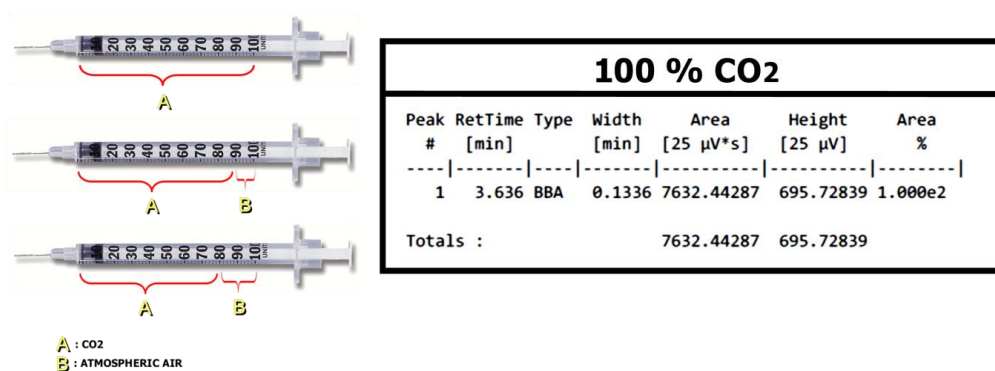
Ο αέριος χρωματογράφος χρησιμοποιήθηκε, αφού πρώτα έγινε η βαθμονόμηση του με διάφορες συγκεντρώσεις αερίων (υδρογόνο, μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα, άζωτο, οξυγόνο) και δημιουργήθηκαν οι καμπύλες βαθμονόμησης για το κάθε αέριο (Εικόνα 3.5).

Η τριχοειδής στήλη που χρησιμοποιήθηκε ήταν ShinCarbon ST. Ως φέρον αέριο χρησιμοποιήθηκε αέριο αργό (Ar) η ροή του οποίου καθορίστηκε σε 35 ml/min. Η

τροφοδοσία του οργάνου γινόταν με 1 ml αέριου δείγματος με τη βοήθεια σύριγγας. Κατά την έναρξη της μέτρησης οι θερμοκρασίες του οργάνου καταγράφονται ως εξής: φούρνος στήλης 60 °C, βαλβίδα εισόδου δείγματος (inlet) 125 °C και θερμοκρασία ανιχνευτή 250 °C. Ο χρόνος ανάσχεσης σε λεπτά των αερίων υδρογόνου, οξυγόνου, αζώτου, μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα είναι 0.530, 1.090, 1.130, 2.589 και 3.658 αντίστοιχα.



Εικόνα 3.4: Τα μέρη του αέριου χρωματογράφου με ανιχνευτή θερμικής αγωγιμότητας.

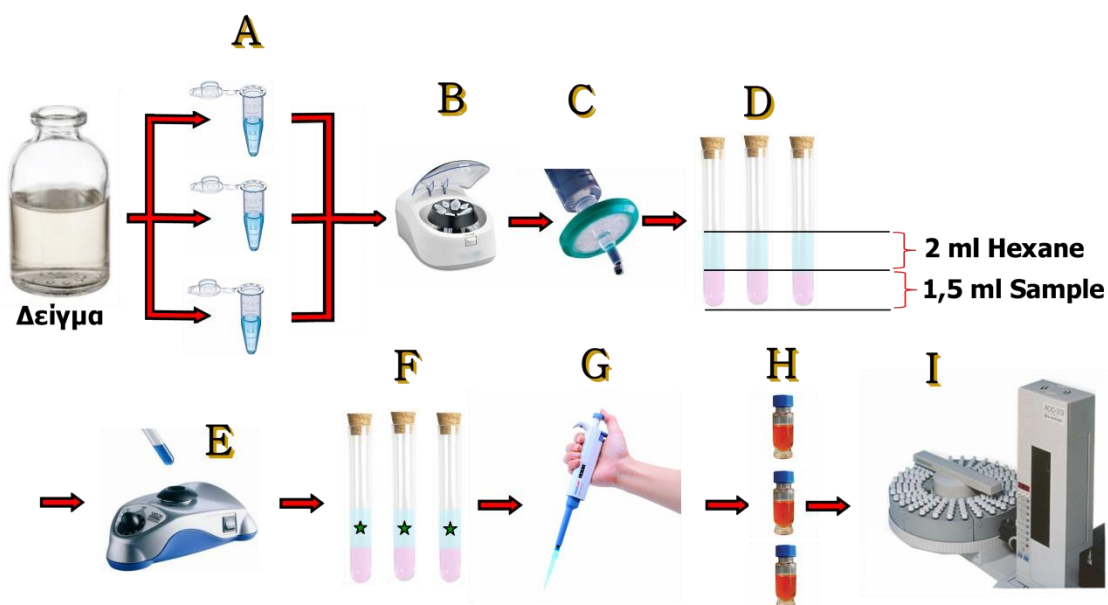


Εικόνα 3.5: Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την βαθμονόμηση του οργάνου καθώς και οι τιμές όπως αυτές εξάγονται.

3.3.6 Μεθοδολογία προετοιμασίας δειγμάτων για έλεγχο παραγόμενης μεθανόλης με τη χρήση του οργάνου CG-FID

Για τον έλεγχο της παραγόμενης μεθανόλης τα τρία δείγματα επεξεργάστηκαν με την μέθοδο της εκχύλισης για τον διαχωρισμό και την απομόνωση της μεθανόλης από την

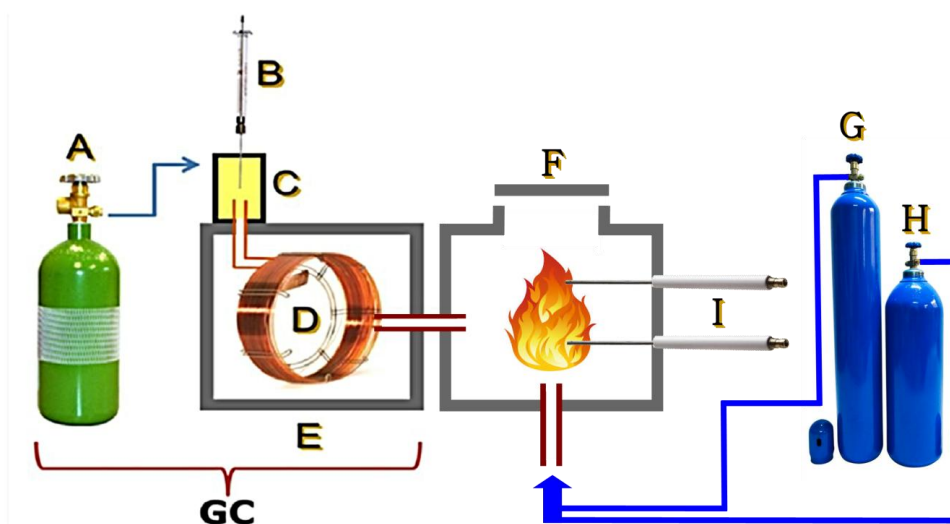
υγρή φάση του βιομέσου. Για τον διαχωρισμό της μεθανόλης πραγματοποιήθηκε υγρή προς υγρή εκχύλιση (liquid-liquid extraction) και ως εκχυλιστικό μέσο χρησιμοποιήθηκε ο οργανικός διαλύτης εξάνιο (C_6H_{14}) αφού σύμφωνα με τον Iglesias (2007) το εξάνιο αποτελεί κατάλληλο μέσο για δέσμευση της μεθανόλης. Για την μεταφορά της μεθανόλης στην οργανική στοιβάδα και την ανάκτηση της μαζί με τον οργανικό διαλύτη ακολουθήθηκε η εξής τεχνική: Ποσότητα υγρού (4.5 ml) λήφθηκε από κάθε δείγμα χωριστά και διαμοιράστηκε σε τρία erpendorfs των 2 ml. Ακολούθως τα erpendorfs φυγοκεντρήθηκαν (14,000 rpm, 3 λεπτά) για να καθιζάνουν τα αιωρούμενα σωματίδια και η βιομάζα των βακτηρίων. Μετά το πέρας της φυγοκέντρησης το υπερκείμενο υγρό από το κάθε erpendorf συλλέχθηκε με σύριγγας και φιλτραρίστηκε με φίλτρα (CA) 0.45 μ m. Ακολούθως τα τρία δείγματα του 1.5 ml τοποθετήθηκαν σε τρεις δοκιμαστικούς σωλήνες με 2 ml εξανίου, οι οποίοι οδηγήθηκαν για ισχυρή ανάδευση με τη βοήθεια vortex (3 λεπτά). Τέλος, από το υπερκείμενο υγρό (οργανικός διαλύτης) του κάθε δοκιμαστικού σωλήνα, λήφθηκε ποσότητα 1 ml με τη βοήθεια πιπέτας και τοποθετήθηκε σε φιαλίδιο ορού κατάλληλο για το όργανο GC-FID. Η πιο πάνω μεθοδολογία ακολουθήθηκε για το κάθε δείγμα χωριστά. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνουμε την δημιουργία τριών δειγμάτων για έλεγχο μεθανόλης αυξάνοντας έτσι την ακρίβεια (Διάγραμμα 3.4).



Διάγραμμα 3.4: Τα στάδια της τεχνικής που ακολουθήθηκαν για την δέσμευση της μεθανόλης από το βιομέσο με τη χρήση οργανικού διαλύτη.

3.3.7 Μεθοδολογία ελέγχου παραγόμενης μεθανόλης

Για την μέτρηση της παραγόμενης μεθανόλης στα παρασκευασμένα δείγματα έγινε η χρήση του οργάνου GC-FID (Gas Chromatography – Flame Ionization Detector) (Agilent Technology 7890A) (Εικόνα 3.6).



Εικόνα 3.6: Τα μέρη του αέριου χρωματογράφου με ανιχνευτή ιονισμού φλόγας. A: Carrier gas He, B: Sample injector, C: Vaporization chamber, D: Capillary column, E: Oven, F: Flame ionization detector, G: Hydrogen, H: Oxygen, I: + 300 polarising voltage – collector electrode.

Ο αέριος χρωματογράφος χρησιμοποιήθηκε, αφού πρώτα έγινε η βαθμονόμηση του με διάφορες συγκεντρώσεις μεθανόλης και δημιουργήθηκαν οι καμπύλες βαθμονόμησης.

Η τριχοειδής στήλη που χρησιμοποιήθηκε ήταν Agilentn19091J-413. Ως φέρον αέριο χρησιμοποιήθηκε αέριο ήλιο (He) η ροή του οποίου καθορίστηκε σε 25 ml/min. Η ροή του υδρογόνου και του αέρα καθορίστηκε σε 25 ml/min και 300 ml/min αντίστοιχα. Η τροφοδοσία του οργάνου γινόταν με 1 μl υγρού επεξεργασμένου δείγματος με τη βοήθεια της σύριγγας του αυτόματου συλλέκτη (Auto sampler). Κατά την έναρξη της μέτρησης οι θερμοκρασίες του οργάνου καταγράφονται ως εξής: φούρνος στήλης 40 °C για 5 λεπτά, ακολούθως αυξάνεται μέχρι τους 150 °C με ρυθμό 5 °C ανά λεπτό και στη συνέχεια αυξάνεται μέχρι τους 250 °C με ρυθμό 20 °C ανά λεπτό. Η βαλβίδα εισόδου δείγματος (inlet) ήταν στους 220 °C ενώ η θερμοκρασία του ανιχνευτή στους 250 °C. Ο χρόνος ανάσχεσης σε λεπτά της μεθανόλης ήταν 1.250.

Κεφάλαιο 4

Αποτελέσματα

4.1 Ταυτοποίηση μικροοργανισμών

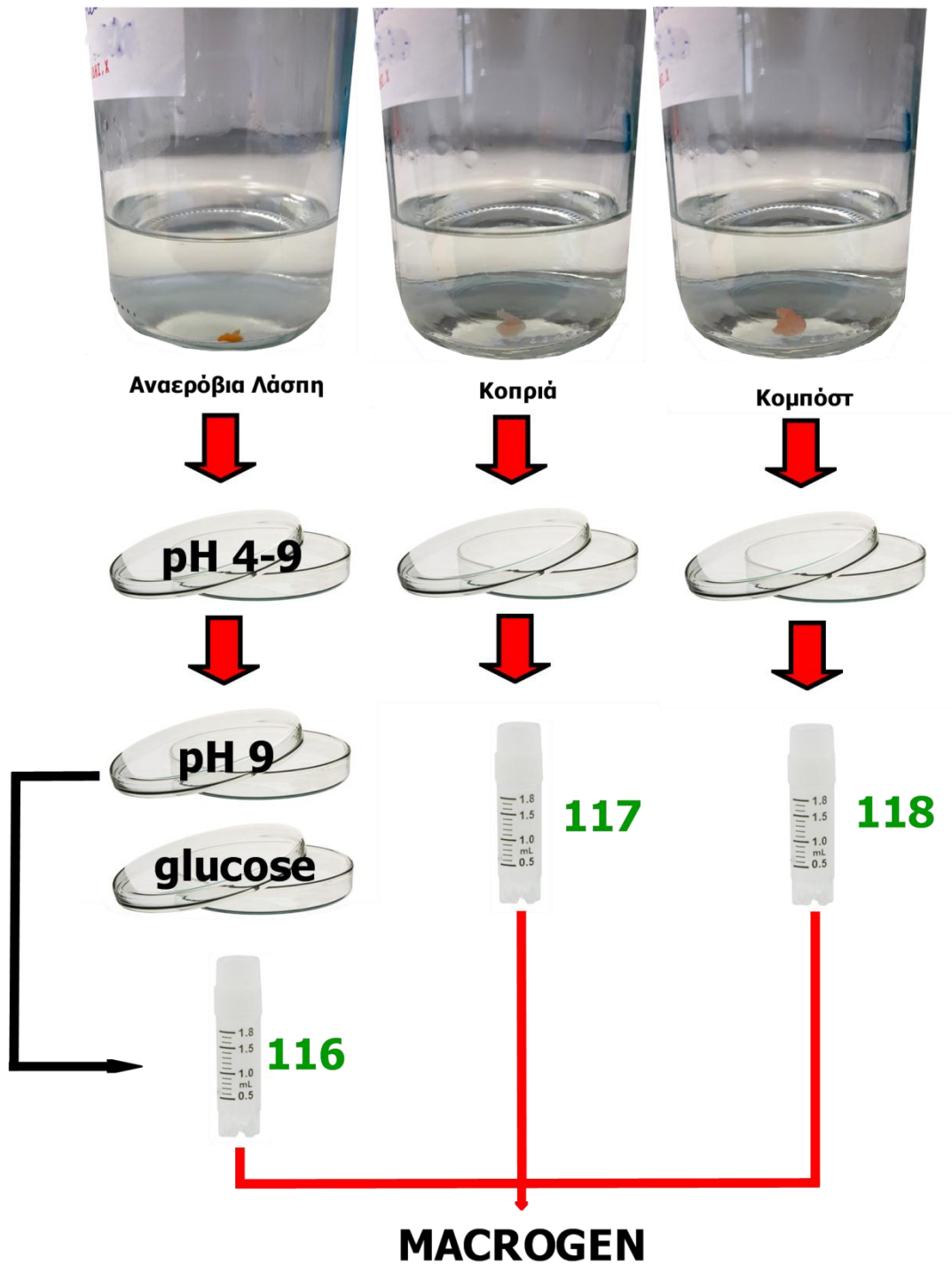
Η εφαρμογή της μεθοδολογίας όπως αυτή περιγράφεται στο κεφάλαιο 3, μας οδήγησε στην επιτυχή απομόνωση και ταυτοποίηση τριών μεθανότροφων βακτηρίων. Βασιζόμενοι στην ανάλυση της αλληλουχίας των βάσεων του γονιδίου που κωδικοποιεί το 16S ριβοσωμικό RNA, ταυτοποιήθηκαν τρία είδη βακτηρίων, δύο εκ των οποίων ανήκουν στο γένος *Methylomonas*, ενώ το τρίτο είδος ανήκει στο γένος *Chryseobacterium*. Για την ταυτοποίηση των μικροοργανισμών έγινε σύγκριση των rDNA αλληλουχιών του 16S rRNA με αλληλουχίες αναφοράς όπως αυτές είναι καταχωρημένες σε βάσεις δεδομένων. Ποιο συγκεκριμένα πληροφορίες αντλήθηκαν από τη βάση δεδομένων του Εθνικού Κέντρου Βιοτεχνολογικών Πληροφοριών των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (NCBI) (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>).

4.1.1 Δείγμα κωδικός (1): Αναερόβια λάσπη

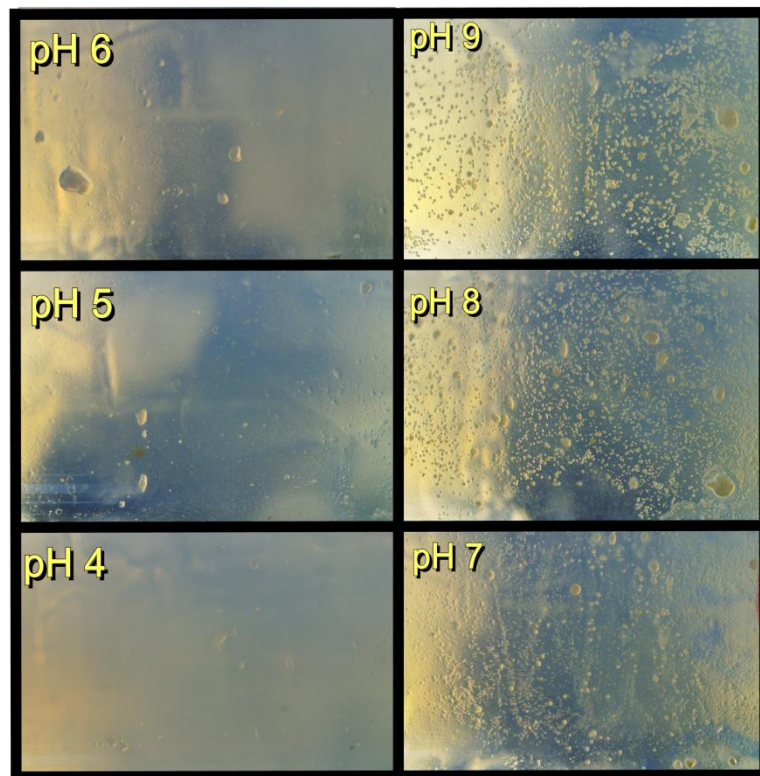
Όπως αναφέρθηκε και στο υποκεφάλαιο 3.3.4 το τελικό δείγμα από την αναερόβια λάσπη όπου η βιομάζα του είχε σκούρο πορτοκαλή χρώμα, ανακαλλιεργήθηκε σε τρυβλία πετρί σε διαφορετικές τιμές pH (4-9) καθώς και σε γλυκόζη (5 gr/l) σε pH 6,8 χωρίς την παρουσία μεθανίου (Διάγραμμα 4.1). Όπως φαίνεται στην εικόνα 4.1 σε pH 9 αναπτύχθηκαν οι περισσότερες αποικίες βακτηρίων. Έτσι, από την καλλιέργεια με pH 9 στάλθηκε δείγμα στην MACROGEN για ανάλυση του 16S rRNA.

Το τελικό δείγμα από την αναερόβια λάσπη ανακαλλιεργήθηκε επίσης σε τρυβλία πετρί με γλυκόζης (5 gr/l) σε pH 6,8 χωρίς την παρουσία μεθανίου. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το τελικό δείγμα από την αναερόβια λάσπη μπορεί να αναπτυχθεί σε γλυκόζη (Εικόνα 4.2)

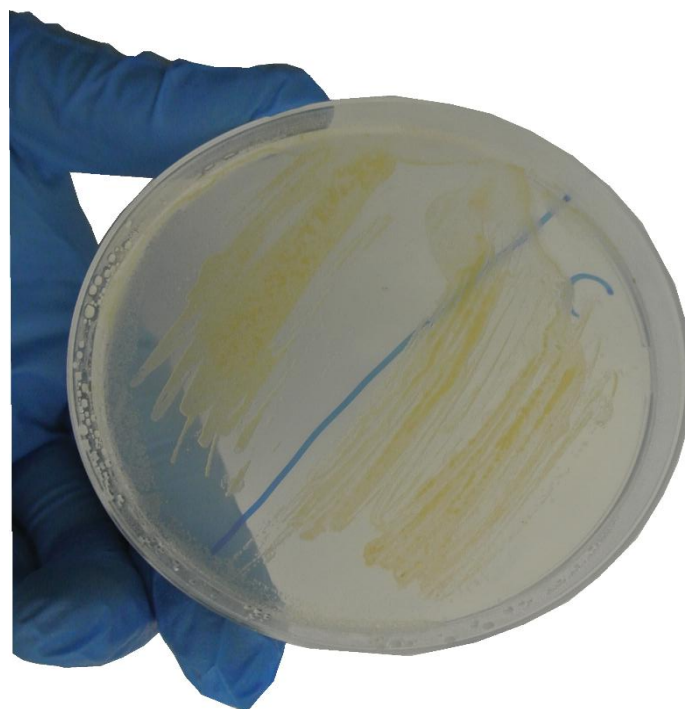
ΤΕΛΙΚΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ



Διάγραμμα 4.1 : Διάγραμμα ροής προετοιμασίας δειγμάτων για αποστολή στην MACROGEN.



Εικόνα 4.1 : Η ανακαλλιέργεια του τελικού δείγματος αναερόβιας λάσπης σε τρυβλία πετρί σε διαφορετικές τιμές pH.



Εικόνα 4.2 : Η ανακαλλιέργεια του τελικού δείγματος αναερόβιας λάσπης σε γλυκόζη χωρίς παρουσία μεθανίου.

Από την ανάλυση των αλληλουχιών του 16S rRNA προκύπτει ότι οι βάσεις του δείγματος 116 παρουσιάζουν ποσοστό συσχέτισης κατά 92% με το είδος *Chryseobacterium* sp. GUAC 6011.

4.1.2 Δείγμα κωδικός (2): Κοπριά

Από την ανάλυση των αλληλουχιών του 16S rRNA προκύπτει ότι οι βάσεις του δείγματος 117 παρουσιάζουν ποσοστό συσχέτισης κατά 99% με το είδος *Methylomonas Koyamae* strain LM6.

4.1.3 Δείγμα κωδικός (3): Κομπόστ

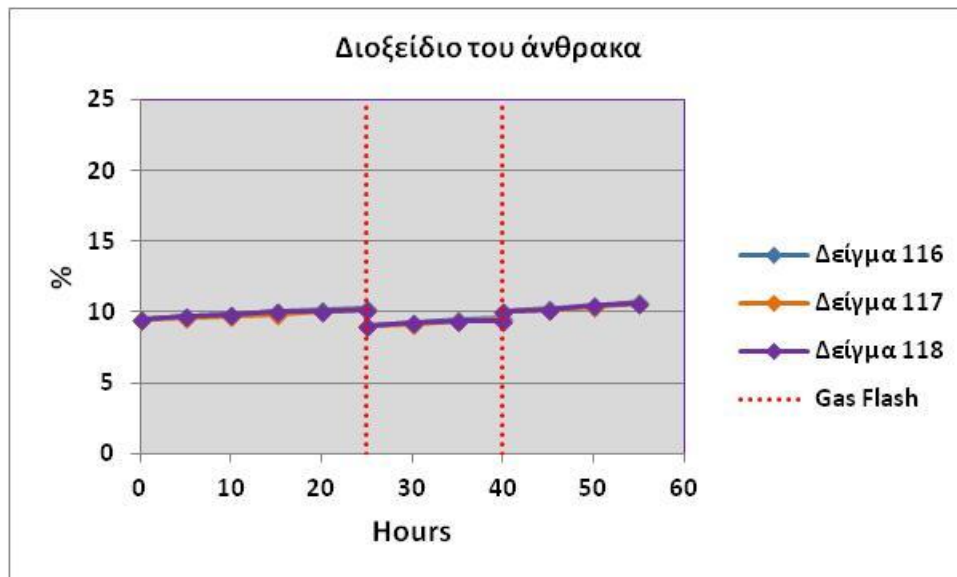
Από την ανάλυση των αλληλουχιών του 16S rRNA προκύπτει ότι οι βάσεις του δείγματος 118 παρουσιάζουν ποσοστό συσχέτισης κατά 98% με το είδος *Methylomonas* sp. Strain DH-1.

4.2 Ρυθμός κατανάλωσης αερίων

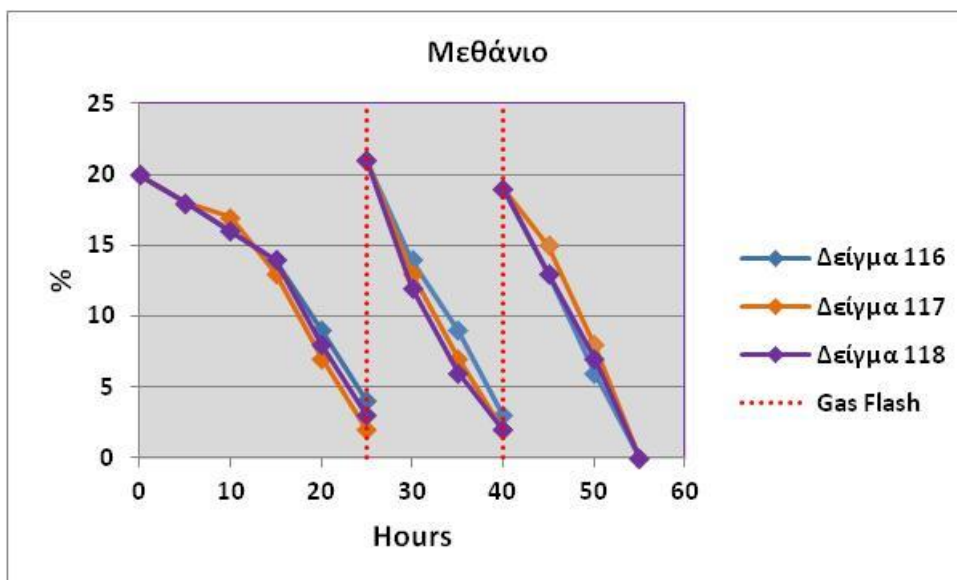
Από τα αποτελέσματα του GC-TCD προκύπτει ότι και στα τρία δείγματα (116, 117, 118) παρατηρείται μεταβολή της σύστασης της αέρια φάσης. Ποιο συγκεκριμένα σε όλα τα δείγματα παρατηρείται μείωση (κατανάλωση) του μεθανίου σε περίοδο 24 ωρών. Επίσης, παρατηρείται μείωση (κατανάλωση) του οξυγόνου το οποίο καταναλώνεται ταχύτερα από το μεθάνιο. Όσον αφορά το διοξείδιο του άνθρακα, παρατηρείται ασθενής αύξηση (παραγωγή) στη συγκέντρωση του. Να αναφερθεί ότι, με την πάροδο του χρόνου παρατηρείται αύξηση του ρυθμού κατανάλωσης του μεθανίου και του οξυγόνου (Διάγραμμα 4.2, 4.3, 4.4).

Τα δείγματα 116, 117 και 118 που ανακαλλιεργήθηκαν σε νέες υγρές καλλιέργειες όπου αντί βιομέσου, χρησιμοποιήθηκε θαλασσινό νερό για την αδρανοποίηση/αναστολή του ενζύμου MDH έδωσαν αρνητικά αποτελέσματα. Από τα αποτελέσματα του GC-TCD προκύπτει ότι η σύσταση της αέριας φάσης δεν διαφοροποιείται σε διάστημα 24 ωρών

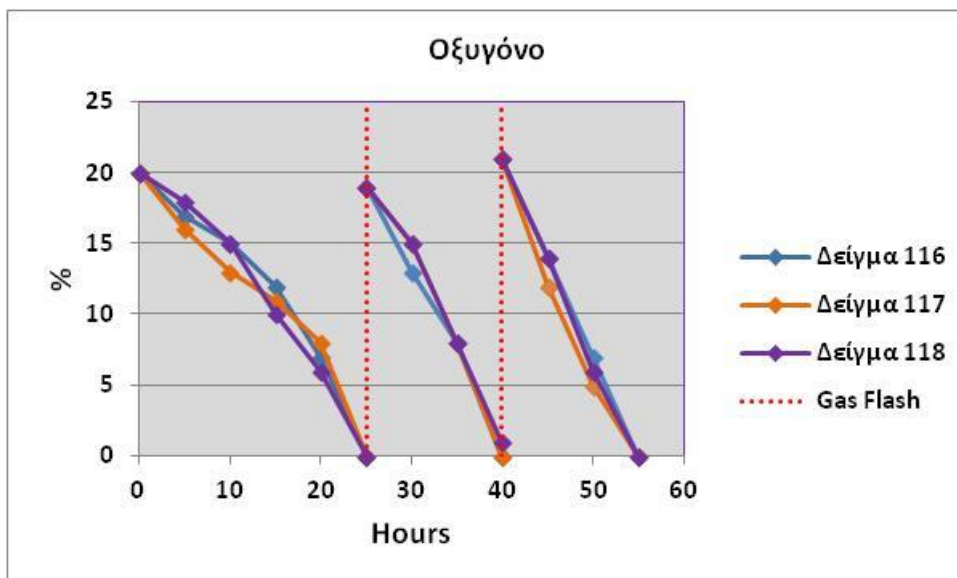
όπως παρατηρείται στα ίδια δείγματα που καλλιεργήθηκαν σε κατάλληλο βιομέσο (Διάγραμμα 4.4, 4.5, 4.6).



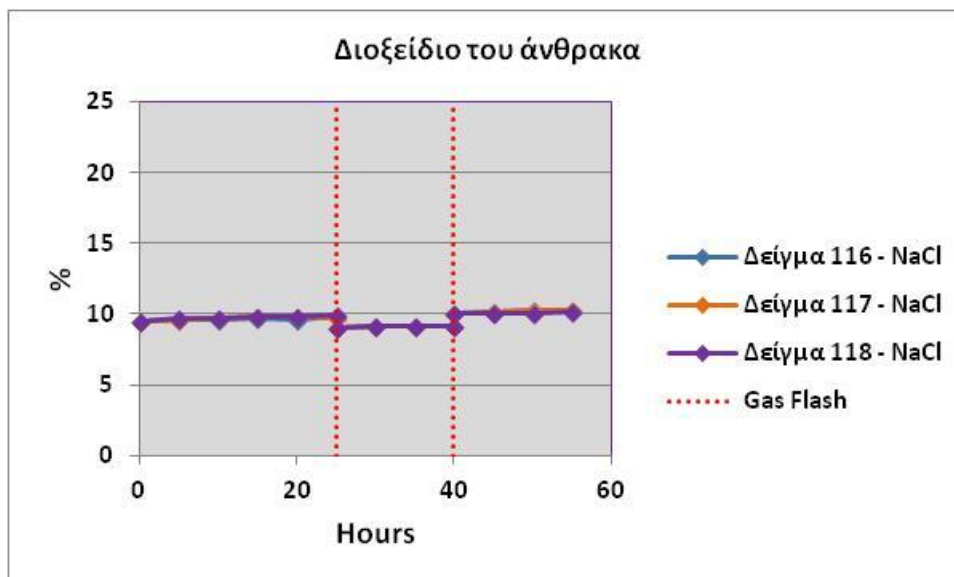
Διάγραμμα 4.2: Η μεταβολή του διοξειδίου του άνθρακα σε διάστημα 55 ωρών με ανατροφοδότηση στις 25 και 40 ώρες.



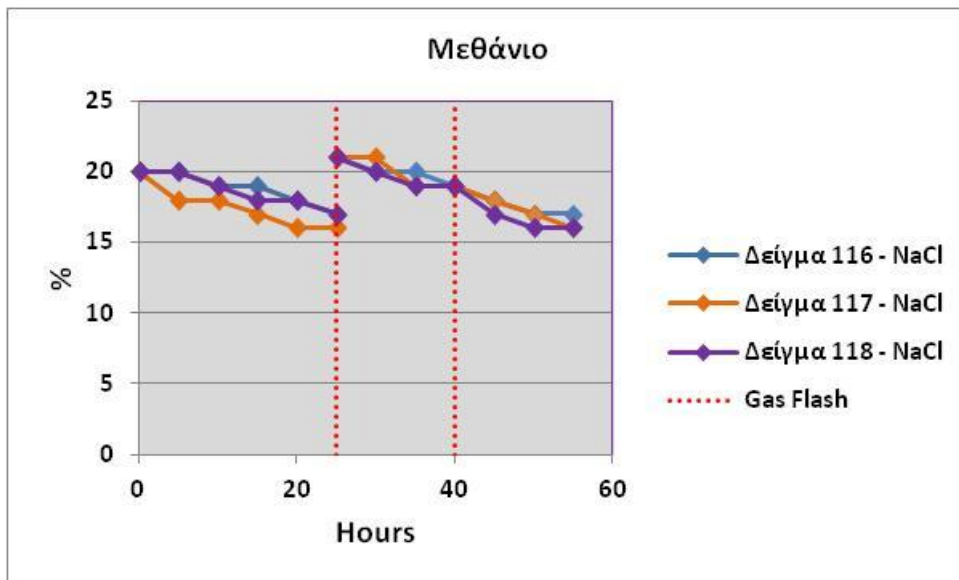
Διάγραμμα 4.3: Η μεταβολή του μεθανίου σε διάστημα 55 ωρών με ανατροφοδότηση στις 25 και 40 ώρες.



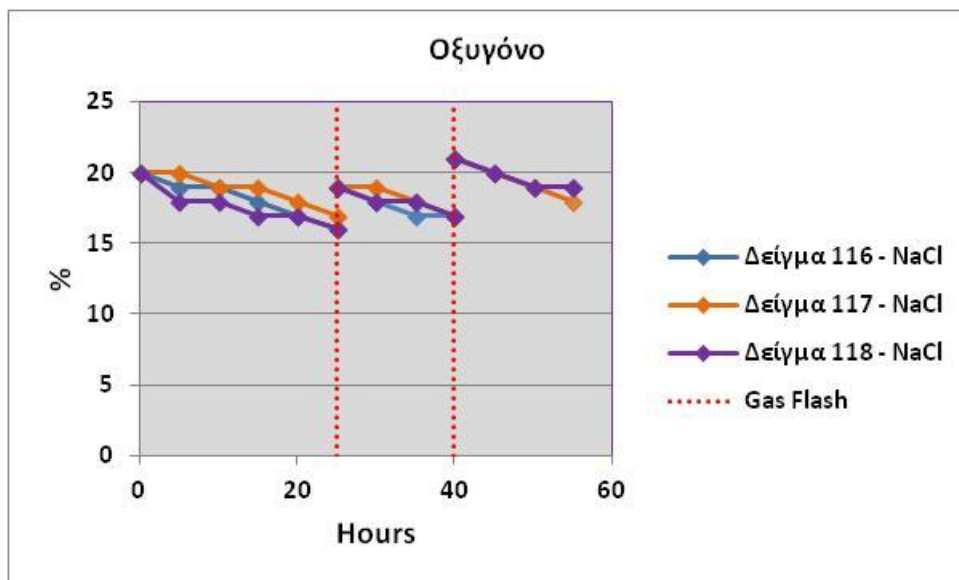
Διάγραμμα 4.4: Η μεταβολή του οξυγόνου σε διάστημα 55 ωρών με ανατροφοδότηση στις 25 και 40 ώρες.



Διάγραμμα 4.5: Δείγματα σε θαλασσινό νερό. Η μεταβολή του διοξειδίου του άνθρακα σε διάστημα 55 ωρών με ανατροφοδότηση στις 25 και 40 ώρες.



Διάγραμμα 4.6: Δείγματα σε θαλασσινό νερό. Η μεταβολή του μεθανίου σε διάστημα 55 ωρών με ανατροφοδότηση στις 25 και 40 ώρες.

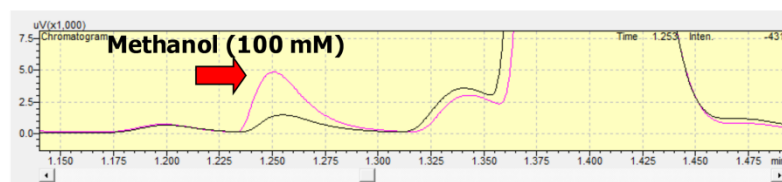


Διάγραμμα 4.7: Δείγματα σε θαλασσινό νερό. Η μεταβολή του οξυγόνου σε διάστημα 55 ωρών με ανατροφοδότηση στις 25 και 40 ώρες.

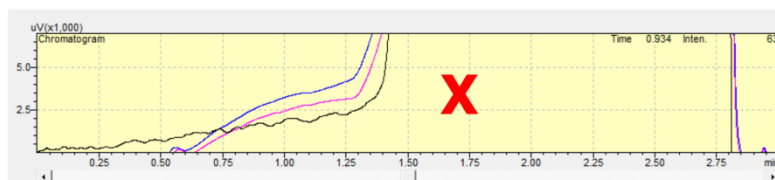
4.3 Ρυθμός παραγωγής μεθανόλης

Με την εφαρμογή της μεθοδολογία όπως αυτή παρουσιάζεται στα υποκεφάλαια 3.3.6 και 3.3.7 δεν επιτεύχθηκε η αναγνώριση της μεθανόλης. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε δεν επέτρεπε την αναγνώριση της μεθανόλης σε χαμηλές συγκεντρώσεις αφού η ευαισθησία του οργάνου δεν επέτρεπε την εξαγωγή αποτελέσματος. Επίσης, στο χρόνο ανάσχεσης της μεθανόλης (1.250 λεπτά) παρουσιάζεται κορυφή από τον διαλύτη που χρησιμοποιήσαμε (εξάνιο) (Εικόνα 4.3).

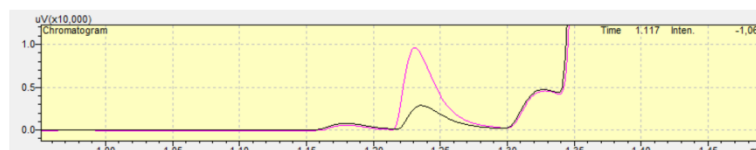
Κανονική Μέθοδος



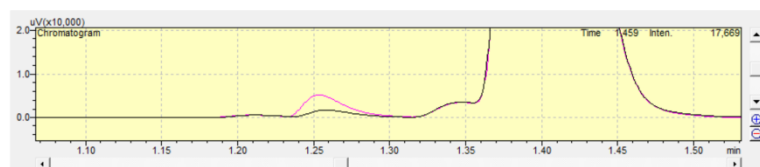
Splitless (κανονική μέθοδος: split)



3 μ L (Κανονική μέθοδος 1 μ L)



Αύξηση Flow 15



Αύξηση Θερμοκρασίας 60 (Κανονική 40)



Εικόνα 4.3 : Ο χρόνος ανάσχεσης και η κορυφή της μεθανόλης (100 mM) (ρόζ γραμμή) σε σχέση με τις κορυφές που παρουσιάζει ο οργανικός διαλύτης (μαύρη γραμμή).

Η παρουσία κορυφής από το διαλύτη στο χρόνο ανάσχεσης της μεθανόλης δυσκολεύει την αναγνώριση αφού πιθανός να υπάρχει αλληλοεπικάλυψη μεταξύ των δύο κορυφών μεθανόλης – εξανίου. Έγινε προσπάθεια διαφοροποίησης της μέθοδος εκεί όπου επιτρεπόταν.

Κεφάλαιο 5

Συζήτηση

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την μελέτη των επιστημονικών πηγών, καταδεικνύουν ότι η μεγέθυνση των ρυπάνσεων καθώς και η διόγκωση των μολύνσεων δεν υποβιβάζουν καίρια μόνο το περιβάλλον αλλά επηρεάζουν αρνητικά το ποιο πολύτιμο αγαθό, την υγεία του ανθρώπου. Οι προβλεπόμενες κλιματικές αλλαγές που σχετίζονται με τις εκπομπές των αέριων ρύπων, δεν προκαλούν αρνητικές μεταβολές μόνο στο περιβάλλον αλλά επηρεάζουν με σημαντικό κόστος, οικονομικούς και κοινωνικούς δείκτες. Αν και παρόμοιες κλιματικές συνθήκες επηρέασαν τον πλανήτη και σε παλαιότερες γεωλογικές εποχές, εντούτοις σήμερα αναγνωρίζεται η ανθρωπογενής συνιστώσα της κλιματικής αλλαγής ως η κύρια αιτία των παθογενειών, όπως αυτές αναπτύσσονται στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή. Η πρόκληση του νέου αιώνα, είναι αν θα καταφέρει ο άνθρωπος να διατηρήσει και να βελτιώσει την δημόσια υγεία καθώς και το περιβάλλον, το οποίο αποτελεί ζωτικό χώρο λειτουργίας των οικοσυστημάτων. Η διεθνής κοινότητα αναγνώρισε τους κινδύνους που προοιωνίζονται από τη μη λήψη μέτρων στο πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής, καθώς και τις ευπάθειες που θα μας απασχολήσουν στον κοντινό μέλλον. Για το λόγο αυτό σήμερα η διεθνής και επιστημονική κοινότητα εστιάζει στην έννοια της αειφορίας, η οποία προάγει ένα ανώτερο πρότυπο διαβίωσης στα πλαίσια του τριπτύχου περιβάλλον-οικονομία-κοινωνία.

Μετά την βιομηχανική επανάσταση και την καθιέρωση της «μηχανής», παρουσιάστηκε ταχεία οικονομική ανάπτυξη και καλύτερευση των συνθηκών διαβίωσης, ενώ παράλληλα οδηγηθήκαμε και στην αύξηση ζήτησης ενεργειακών πόρων. Το ενεργειακό μοντέλο σήμερα βασίζεται στους ορυκτούς υδρογονάνθρακες και κυρίως στο πετρέλαιο το οποίο χαρακτηρίζεται ως καύσιμο με υψηλό συντελεστή εκπομπής αέριων ρύπων. Ο στόχος της ΕΕ σήμερα είναι να αναπτύξει ένα αειφόρο ενεργειακό μοντέλο και να απεξαρτητοποιηθεί από το πετρέλαιο. Με βάση την βιβλιογραφική ανασκόπηση προκύπτει ότι ο στόχος αυτός μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση του φυσικού αερίου, το οποίο χαρακτηρίζεται ως το καθαρότερο καύσιμο από τις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η μελέτη των επιστημονικών άρθρων έδειξε ότι το φυσικό αέριο συμβάλλει με θετικό πρόσημο στους πυλώνες της αειφορίας σε σχέση με το πετρέλαιο και δικαίως σήμερα χαρακτηρίζεται ως «καύσιμο γεφύρωσης» στις προσπάθειες για καθολική μετάβαση προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Όσον αφορά το ενεργειακό μοντέλο της Κύπρου, αποδεικνύεται σπάταλο και καταστροφικό για το περιβάλλον. Η ενεργειακές ανάγκες της Κύπρου σήμερα καλύπτονται πλήρως από το πετρέλαιο με αποτέλεσμα οι εθνικοί στόχοι που τίθενται από την Ε.Ε για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου να μην επιτυγχάνονται. Με βάση το παράδειγμα της Ελλάδος, πιστεύεται ότι η ενεργειακές προοπτικές της Κύπρου θα αναβαθμιστούν με την χρήση του φυσικού αερίου, οι εθνικοί στόχοι θα επιτευχθούν και η αειφόρος ενεργειακή ανάπτυξη θα επιτύχει. Πέραν από τα ποιο πάνω, οι ποσότητες φυσικού αερίου που αναγνωρίζονται στην αποκλειστική οικονομική ζώνη της Κύπρου θα παίξουν καθοριστικό ρόλο, ούτως ώστε η Κύπρος να αποτελέσει ενεργειακό κόμβο στην ανατολική μεσόγειο. Τέλος, η είσοδος του φυσικού αερίου στην Κύπρο, θα ανοίξει το δρόμο στην επιστημονική κοινότητα της Κύπρου, να μελετήσει νέες τεχνολογίες για την μετατροπής του φυσικού αερίου, με οικονομικούς τρόπους, σε υψηλής αξίας προϊόντα όπως είναι τα βιοκαύσιμα.

Για την επίτευξη της βιομετατροπής του μεθανίου σε βιοκαύσιμα ή άλλα υψηλής αξίας προϊόντα, η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή προτείνει την εφαρμογή μεθόδων βιοτεχνολογίας για την βιολογικής μετατροπής του μεθανίου με τη δράση μεθανότροφων βακτηρίων. Σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία η μεθοδολογία αυτή παρουσιάζεται ιδιαίτερα υποσχόμενη αφού το φυσικό αέριο (μεθάνιο) είναι μία οικονομική πηγή άνθρακα για τα βακτήρια (Oh et al., 2019, Pieja et al., 2017), ενώ η

δέσμευση του με αυτό τον τρόπο, συμβάλλει με θετικό πρόσημο στις προσπάθειες για περιορισμό της κλιματικής αλλαγής αφού το μεθάνιο αποτελεί τον δεύτερο πιο σημαντικό αέριο ρύπο (Cantera et al., 2018). Πέραν από τα πιο πάνω, σύμφωνα με τον Hwang et al. (2018) η εφαρμογή μεθόδων βιολογικής μετατροπής παρουσιάζει πολλαπλά πλεονεκτήματα, πέραν από το ότι είναι οικονομικότερη από τις συμβατικές χημικές μεθόδους.

Η μεθοδολογία που προτείνεται στο κεφάλαιο 3 εμφανίζεται επιτυχής στην απομόνωση μεθανότροφων βακτηρίων για την επίτευξη του στόχου, που είναι η παραγωγή βιοκαυσίμων. Ποιο συγκεκριμένα, επιτεύχθηκε η απομόνωση καθώς και η ταυτοποίηση τριών ειδών μεθανότροφων βακτηρίων μετά από ανάλυση των αλληλουχιών του 16S rRNA γονιδίου. Σύμφωνα με τους Γύπα και Μεντή (2014) η υπομονάδα 16S του ριβοσωματικού RNA χρησιμοποιείται επιτυχώς στις μέρες μας για την ταξινόμηση των βακτηρίων. Η μεθοδολογία μας οδήγησε στην απομόνωση και ταυτοποίηση τριών μικροοργανισμών, οι δύο εκ των οποίων ανήκουν στο γένος *Methylomonas* (*Methylomonas Koyamae* strain LM6 και *Methylomonas* sp. Strain DH-1) ενώ ο τρίτος στο γένος *Chryseobacterium* (*Chryseobacterium* sp. GUAC 6011).

Σύμφωνα με τον Nguyen et al. (2017) το γένος *Methylomonas* ανήκει στην οικογένεια *Methylococcaceae* στην υποκατηγορία των Γ-πρωτεοβακτηρίων και πρόκειται για ραβδωτά ή υπό μορφή κόκκων Gram αρνητικά βακτήρια. Στελέχη των βακτηρίων αυτών έχουν απομονωθεί από διάφορα περιβάλλοντα όπως λίμνες, ποτάμια, υγρές λάσπες, ενεργοποιημένες λάσπες, υγρά απόβλητα, από καλλιέργειες ρυζιού καθώς και από νερά αποχέτευσης. Ο Ogiso et al. (2011) προσθέτει επίσης, ότι το γένος αυτό ανήκει στα τύπου I μεθανότροφα βακτήρια, δηλαδή για την οξείδωση του μεθανίου ακολουθείται το μεταβολικό μονοπάτι της μονοφωσφορικής ριβουλόζης, ενώ στελέχη του έχουν απομονωθεί και από ιζήματα με γλυκό νερό καθώς και από απορροές μεταλλίων γαιάνθρακα. Κατά την ανάπτυξή τους, οι αποικίες βακτηρίων παρουσιάζουν ροζ, πορτοκαλή ή κόκκινο χρώμα λόγω της παραγωγής καροτενοειδών χρωστικών ουσιών. Ο πρώτος μεθανότροφος μικροοργανισμός απομονώθηκε από τον Söhngen το 1906 και ονομάστηκε *Bacillus methanicus* ενώ στη συνέχεια μετονομάστηκε σε *Methylomonas methanica* από τους Whittenbury και Krieg το 1984. Σήμερα περιγράφονται οκτώ είδη στο γένος *Methylomonas*: *M. Methanica*, *M. Aurantiaca*, *M. Fodinarum*, *M. Scandinavica*, *M. Koyamae*, *M. paludis*, *M. lenta* και *M. denitrificans* (Nguyen et al., 2017).

Όσον αφορά το είδος *Methylomonas Koyamae* που επιτεύχθηκε η απομόνωσή του, ο Ogiso et al. (2011) αναφέρει ότι, πείρε το όνομα του προς τιμή του Ιάπωνα βιο-γεω-χημικού Tadashiro Koyama για την έρευνα του όσον αφορά το μεταβολισμό του μεθανίου σε εδάφη και ιζήματα λιμνών. Ανήκει στην κατηγορία των μεθανότροφων τύπου I αρνητικών κατά Gram βακτηρίων. Ως μοναδική πηγή άνθρακα μεταβολίζει το μεθάνιο αλλά και τη μεθανόλη. Η βέλτιστες συνθήκες ανάπτυξης των βακτηρίων αυτών είναι σε θερμοκρασία 30°C και pH 6,5, ενώ στην παρουσία χλωριούχου νατρίου παρατηρείται αδρανοποίηση/αναστολή.

Στον πίνακα 5.1 παρουσιάζονται οι βέλτιστες συνθήκες ανάπτυξης οκτώ ειδών του γένους *Methylomonas*.

Χαρακτηριστικά	1	2	3	4	5	6	7	8
Πλάτος κυττάρου	0.8	0.6–0.9	1.0–1.5	0.8–1.1	0.6–0.8	0.5–1.0	0.7–1.0	0.5–0.8
Μήκος κυττάρου	1.3–2.5	1.3–2.0	1.0–4.0	1.2–2.5	1.5–1.7	0.5–2.0	0.8–1.2	0.8–1.5
Μορφολογία	Rods	Rods	Rods	Rods	Rod-like ovoids	Rods	Rods	Rods
Δημιουργία αλυσίδων	–	–	+	–	+	–	+	+
ρMMO	+	+	+	+	+	+	+	+
sMMO	+	v	–	–	NR	v	NR	NR
πχαF	+	NR	+	+	NR	+	NR	NR
π#H	ND	+	+	+	NR	+	NR	NR
Κινητικότητα	+	+	–	+	+	+	+	+
Θερμοκρασιακό εύρος	10–45	15–28	8–30	10–40	5–30	10–37	10–35	15–40
Κατάλληλη θερμοκρασία	30–37	20	20–25	30	17	25–30	25	35
Εύρος pH	5.5–7.5	6.3–7.8	3.8–7.3	5.5–7.0	5.0–9.0	5.5–9.0	5.5–9.0	5.0–9.0
Κατάλληλο pH	6.5	6.8–7.3	5.8–6.4	6.5	6.8–7.6	7	7	6.5
Χρωστικές	White to pink	White to pink	Pale pink	Pink-orange	Pink	Pink	Orange	Orange
Ανάπτυξη σε χαμηλό N	+	–	+	+	NR	v	+	+
Ανάπτυξη σε NaCl	+	+	–	–	+	+	+	+
Ανάπτυξη σε 1% μεθανόλη	+	–	+	+	+	+	+	+
DNA (G + C mol%)	ND	47	48.5	57.1	53.8	52	58	56.5

Πίνακα 5.1: Τα κύρια χαρακτηριστικά του στελέχους EMGL16-1 σε σύγκριση με τα μεθανοτρόφα βακτήρια του γένους *Methylomonas*. 1: strain EMGL16-1, 2: *M. Lenta*, 3: *M. Paludis*, 4: *M. Koyamae*, 5: *M. Scandinavica*, 6: *M. Methanica*, 7: *M. Fodinarum*, 8: *M. aurantica*, NR: δεν έχει αναφερθεί, ND: δεν προσδιορίστηκε (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: Nguyen et al., 2017)

Όσον αφορά το είδος *Methylomonas* sp. Strain DH-1, που επιτεύχθηκε η απομόνωσή του, ο Hur et al. (2016) αναφέρει ότι το είδος αυτό συνδέεται φυλογενετικά με το είδος *Methylomonas Koyamae*. Πρόκειται για ραβδωτά Gram αρνητικά βακτήρια που αναπτύσσονται σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 20°C - 37°C και σε pH που κυμαίνονται από 4-12. Η βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξης είναι η 30°C ενώ για το pH

η τιμή είναι 9. Σε αντίθεση με τον *Methylomonas Koyamae* δεν παρουσιάζει κινητικότητα. Η δράση του ενζύμου pMMO επηρεάζεται από τις συγκεντρώσεις κατιόντων χαλκού όπου βέλτιστη συγκέντρωση αναγνωρίζεται αυτή των 10μmolL⁻¹. Οι αποικίες των βακτηρίων εμφανίζουν χρώμα κίτρινο, πορτοκαλή και καφέ. Σύμφωνα με τον Nguyen et al. (2018) το είδος αυτό χαρακτηρίζεται από την ικανότητα του να μεταβολίζει το μεθάνιο και αναφέρεται ως ένας πολύ αποτελεσματικός βιοκαταλύτης για την βιομετατροπή του μεθανίου σε μεθανόλη. Ο Hur et al. (2016) πιστεύει ότι η εξαιρετικά υψηλή ανοχή του στη μεθανόλη 7%, (v/v) δίνει την δυνατότητα για υψηλότερη παραγωγή. Επίσης σε μία νεώτερη έρευνα ο Nguyen et al. (2019) αναφέρει ότι το στέλεχος αυτό μπορεί να αποτελέσει πλατφόρμα για βιοτεχνολογικές εφαρμογές λόγω της ικανότητας του να παράγει χημικά.

Όσον αφορά το είδος *Chryseobacterium* sp. GUAC 6011, που επιτεύχθηκε η απομόνωσή του, ο Bernardet et al. (2006) αναφέρει ότι, τα βακτήρια του γένους *Chryseobacterium* ανήκουν στην οικογένεια των *Flavobacteriaceae* και λίγα είναι γνωστά για την βιοχημική φυσιολογία τους. Η Montero-Calasanz et al. (2013) παρουσιάζει ένα εύρος σημείων από όπου μπορούν να απομονωθούν μέλη του γένους *Chryseobacterium*. Μπορούν να βρεθούν στα γλυκά νερά, στο έδαφος, στη λάσπη, στα ψάρια, στα έντομα, στα ακατέργαστα γαλακτοκομικά προϊόντα, στο ωμό κοτόπουλο, στα περιττώματα και στα κλινικά δείγματα. Σύμφωνα με τον Vandamme et al. (1994), πρόκειται για ραβδωτά Gram αρνητικά βακτήρια που αναπτύσσονται σε θερμοκρασίες 30°C ενώ κάποια στελέχη αναπτύσσονται και σε θερμοκρασίες 37°C. Τα περισσότερα είδη του γένους αυτού σύμφωνα με το Bekker (2011) μπορούν να αναπτυχθούν σε pH που κυμαίνεται από 5 μέχρι 10 ενώ ο Bajerski et al. (2017) κάνει αναφορά στην ικανότητα τους να αντεπεξέρχονται σε διαφορετικά είδη πίεσης λόγω μορφολογίας των μεμβρανών του. Οι αποικίες των βακτηρίων εμφανίζουν χρώμα κίτρινο και πορτοκαλή. Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι τα βακτήρια αυτά παρουσιάζουν σακχαρολυτικό μεταβολισμό, δηλαδή μπορούν και οξειδώνουν ένα μεγάλο εύρος υδατανθράκων όπως για παράδειγμα η γλυκερόλη (Vandamme et al., 1994).

Διαπιστώνεται, ότι τα απομονωθέντα βακτήρια παρουσιάζουν χαρακτηριστικά όπως αυτά περιγράφονται πιο πάνω. Για παράδειγμα, το είδος *Methylomonas Koyamae* strain LM6 που απομονώθηκε από κοπριά παρουσιάζει ροζ χρώμα και καλλιεργήθηκε σε συνθήκες θερμοκρασίας και pH όπως αναφέρεται και στη βιβλιογραφία. Το ίδιο

ισχύει και για το είδος *Methylomonas* sp. Strain DH-1 που απομονώθηκε από κομπόστ και για το είδος *Chryseobacterium* sp. GUAC 6011 που παρουσιάζει χαρακτηριστικό πορτοκαλί- καφέ χρώμα και απομονώθηκε από αναερόβια λάσπη που χρησιμοποιείται για επεξεργασία γαλακτοκομικών. Όσον αφορά το είδος *Chryseobacterium* sp. GUAC 6011, πράγματι παρουσίασε ανάπτυξη σε υψηλά pH καθώς και σε παρουσία γλυκόζης όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία. Και άλλα είδη του γένους *Chryseobacterium* παρουσιάζουν ανάπτυξη σε γλυκόζη όπως για παράδειγμα το είδος *Chryseobacterium reticulitermitis* sp. (Zhao et al., 2017) και το είδος *Chryseobacterium ureilyticum* sp. (Herzog et al., 2008). Αν και τα μεθανότροφα βακτήρια δεν μεταβολίζουν την γλυκόζη υπάρχουν ισχυρισμοί ότι μεθανότροφα μπορούν να μεταβολίσουν πολυανθρακικές ενώσεις (Theisen and Murrell, 2005). Πρώτος ο Patt et al. (1974, 1978) αναφέρθηκε στο είδος *Methylobacterium organophilum* που αναπτυσσόταν τόσο σε μεθάνιο όσο και σε γλυκόζη.

Όσον αφορά τη σύσταση των αερίων που μετρήθηκαν με αέριο χρωματογράφο παρατηρείται έντονη μείωση στο μεθάνιο και στο οξυγόνο και για τους τρεις απομονωθέντες μικροοργανισμούς ενώ το διοξείδιο του άνθρακα παρουσιάζει ασθενή αύξηση. Η κατανάλωση μεθανίου και οξυγόνου συμβαδίζει με την βιβλιογραφία αφού οι μεθανότροφοι μικροοργανισμοί για την παραγωγή ενέργειας καταναλώνουν μεθάνιο και οξυγόνο. Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι το οξυγόνο καταναλώνεται γρηγορότερα από το μεθάνιο και πιθανός ο λόγος να είναι ότι χρειάζεται για τις λειτουργίες του κυττάρου. Πάντως, ο Gilman et al. (2017) αναφέρει ότι το οξυγόνο χρησιμοποιείται για την ενεργοποίηση του μορίου του μεθανίου. Σε αντίθεση με το μεθάνιο και το οξυγόνο που ελαττώνονται, το διοξείδιο του άνθρακα παρουσιάζει ασθενή αύξηση. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί με βάση τα μεταβολικά μονοπάτια που μπορεί να ακολουθήσει το κύτταρο για να οξειδώσει τη φορμαλδεΰδη (Διάγραμμα 2.7).

Όσον αφορά τη σύσταση των αερίων που μετρήθηκαν με αέριο χρωματογράφο στα δείγματα που χρησιμοποιήθηκε θαλασσινό νερό παρατηρείται ασθενής μείωση των αερίων μεθάνιο και οξυγόνο ενώ το διοξείδιο του άνθρακα παρέμεινε σχεδόν σταθερό. Η χρήση θαλασσινού νερού έγινε λόγω παρουσία χλωριούχου νατρίου το οποίο παρουσιάζει ανασταλτική δράση του ενζύμου MDH και αύξηση της παραγωγής της μεθανόλης. Πέραν από αυτά, το θαλασσινό νερό μπορεί να αποτελέσει μία ποιο οικονομική εναλλακτική έναντι της χρήσης βιομέσου και να παραέχει τα απαραίτητα

ιχνοστοιχεία στα βακτήρια αφού σύμφωνα με το Σύλαιο (2006) το θαλασσινό νερό είναι διάλυμα που περιέχει σχεδόν όλα τα γνωστά στοιχεία, τα οποία διαλύθηκαν προερχόμενα από το στερεό φλοιό της Γης. Το ένζυμο MDH, σύμφωνα με τον Sheets et al. (2016) μπορεί να αδρανοποιηθεί με την χρήση χλωριούχου νατρίου, αλλά πέραν από 200 mM NaCl που αντιστοιχούν σε 12gr NaCl παρατηρείται μείωση και στην παραγόμενη μεθανόλη. Η μέτρηση της αλατότητας στο θαλασσινό νερό που χρησιμοποιήσαμε έδειξε 42gr NaCl. Σύμφωνα με τον Jeon et al. (2019) σε περιβάλλοντα με υψηλή αλατότητα τα βακτήρια επηρεάζονται λόγω διαφοροποίησης της οσμωτικής πίεσης. Στον πίνακα 5.1 παρουσιάζονται και άλλες ουσίες που αδρανοποιούν/αναστέλλουν το ένζυμο MDH καθώς και τα ποσοστά μεθανόλης που παράγονται από την αδρανοποίηση αυτή.

Αδρανοποίηση MDH	Συγκέντρωση (mM)	Formate (mM)	Παραγόμενη μεθανόλη (g/L/d)
None	0	80	0.98 ± 0.05
	0	0	ND
EDTA	0.5	80	1.12 ± 0.03
	5.0	80	1.04 ± 0.14
	5.0	0	ND
Phosphate	100	80	1.17 ± 0.04
	200	80	0.95 ± 0.13
	200	0	0.28 ± 0.00
NaCl	100	80	1.00 ± 0.04
	200	80	0.85 ± 0.09
	200	0	0.08
MgCl ₂	20	80	0.98 ± 0.13
	40	80	1.04 ± 0.01
	40	0	ND

Πίνακα 5.2: Η δράση των διαφόρων χημικών στο ένζυμο MDH και πώς αυτό επηρεάζει την παραγόμενη μεθανόλη (Επεξεργασμένο και μορφοποιημένο από: Sheets et al., 2016).

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι για την αναστολή του ενζύμου MDH έχουν προταθεί και διάφορα άλλα χημικά όπως για παράδειγμα η κυκλοπροπανόλη (Kalyuzhnaya and Xing, 2018), το μυρμηκικό οξύ, το φωσφορικό κάλιο (Hwang et al., 2015) και άλλα.

Για την τροφοδοσία των φυλλαδίων ορού αντί καθαρού μεθανίου έγινε η χρήση βιοαερίου. Ο λόγος που ακολουθήθηκε αυτή η μεθοδολογία είναι γιατί το βιοαέριο περιέχει ποσοστά διοξειδίου του άνθρακα όπου σύμφωνα με τους Dedysh και Dunfield

(2014) η ανάπτυξη πολλών μεθανοτρόφων ενεργοποιείται με την παρουσία του διοξειδίου του άνθρακα που εμπλέκεται στον πρωτογενή και ενδιάμεσο μεταβολισμό αυτών των βακτηριδίων. Στα τύπου I μεθανότροφα, ποσοστό της τάξης του 5-15% του άνθρακα στη κυτταρική βιομάζα προέρχεται από το CO₂, ενώ στα μεθανοτρόφα τύπου II, η αναλογία του άνθρακα που προέρχεται από το CO₂ είναι έως και 50%. Ο Xin et al. (2004) δηλώνει ότι αν και το διοξείδιο του άνθρακα στο βιοαέριο μειώνει το pH εντούτοις το υδρόθειο αναστέλλει τη δράση του ενζύμου MDH. Επίσης, ο Ge et al. (2014) αναφέρει ότι η βιολογική μετατροπή του βιοαερίου σε μεθανόλη είναι μια αναδυόμενη, ελκυστική μεθοδολογία, αφού μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως έχει, σε συνθήκες περιβάλλοντος, μειώνοντας τις λειτουργικές και τις ενεργειακές απαιτήσεις. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι ο Patel et al. (2016) χρησιμοποίησε επίσης συνθετικό αέριο παραπλήσιας σύστασης με το βιοαέριο όπου έδωσε σημαντικά αποτελέσματα στην παραγωγή μεθανόλης συγκριτικά με το εξαγνισμένο μεθάνιο.

Όσον αφορά τον έλεγχο της παραγόμενης μεθανόλης με τη χρήση του οργάνου GC-FID δεν αναγνωρίστηκε παραγωγή μεθανόλης και στα τρία δείγματα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα μεθανότροφα βακτήρια μεταβολίζουν την μεθανόλη σε μεθανάλη με την βοήθεια του ενζύμου «Αφυδρογονάση μεθανόλης» (MDH). Για την αναστολή του ενζύμου MDH και αύξηση της παραγωγής της μεθανόλης, τα τρία στελέχη που απομονώθηκαν, καλλιεργήθηκαν σε θαλασσινό νερό. Εντούτοις, δεν αναγνωρίστηκε παραγωγή μεθανόλης. Αυτό συνάδει και με τις μετρήσεις της αέριας φάσης που έδειξαν μειωμένη κατανάλωση οξυγόνου και μεθανίου. Πέραν από τα ποιο πάνω, η χρήση του εξανίου ως μέσω δέσμευσης της μεθανόλης από την υδατική φάση παρουσιάστηκε προβληματική αφού με την υφιστάμενη μέθοδο του οργάνου παρουσιάζεται κορυφή του οργανικού διαλύτη στο χρόνο ανάσχεσης της μεθανόλης. Συνεπώς, δεν θα μπορούσαν να αναγνωριστούν μικρές συγκεντρώσεις μεθανόλης λόγω αλληλοεπικάλυψης κορυφών. Για την λύση του ποιο πάνω προβλήματος, προτείνεται η διαφοροποίηση της μεθόδου του οργάνου, η χρήση διαφορετικού οργανικού διαλύτη όπως είναι το οκτάνιο ή το δεκάνιο, καθώς επίσης και η διαφοροποίηση του ποσοστού διαλύτη/δείγματος κατά την διαδικασία εκχύλισης και παρασκευής των δειγμάτων σύμφωνα με το νόμο κατανομής του Nernst.

5.1 Συμπεράσματα

Με βάση τα ερευνητικά ερωτήματα που έχουν τεθεί, συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι είναι εφικτή η απομόνωση μεθανότροφων βακτηρίων από σημεία που αναγνωρίζεται η παρουσία του μεθανίου αλλά και η ταυτοποίηση τους με βάση τις υπάρχουσες τεχνολογίες. Η χρήση οργάνων όπως είναι το GC-TCD είναι σημαντική, αφού με βάση την ανάλυση της αέριας φάσης, μπορούμε να αναγνωρίσουμε την σύσταση των αερίων καθώς και να καταγράψουμε την κατανάλωση τους από τα βακτήρια εξάγοντας συμπεράσματα για την δυναμική που παρουσιάζουν αλλά και έμμεσα για τον ρυθμό παραγωγής προϊόντων. Η μεθοδολογία που προτάθηκε στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή παρουσιάζεται επιτυχής αφού επιτεύχθηκε η απομόνωση τριών ειδών. Παράγοντες όπως pH, θερμοκρασία, αναλογία αερίων, σύσταση αερίων, παρουσία αναστολέων, παρουσία χλωριούχου νατρίου και σύσταση βιομέσου κρίνονται σημαντικοί αφού η διαφοροποίηση τους καθορίζει και την ανάπτυξη συγκεκριμένων ειδών. Οι προοπτικές χρήσης τους σε βιομηχανικό επίπεδο αυξάνετε, όχι μόνο για την παραγωγή μεθανόλης, αλλά και για άλλα προϊόντα, αφού τα τελευταία χρόνια ολοένα και περισσότερα είδη απομονώνονται και ταυτοποιούνται λόγω εξέλιξης των μεθόδων που εφαρμόζονται σε εργαστηριακό επίπεδο. Η αξιοποίηση του μεθανίου με τη χρήση βακτηρίων παρουσιάζει πλεονεκτήματα αφού χαρακτηρίζεται ως περιβαλλοντικά φιλικότερη έναντι των άλλων υφιστάμενων χημικών μεθόδων. Με την περεταίρω έρευνα και την καλύτερη κατανόηση του μεταβολικού μονοπατιού, πέραν από βιοκαύσιμα, μπορούμε να εστιάσουμε και σε άλλα προϊόντα εκμεταλλευόμενοι το μεταβολικό μονοπάτι των βακτηρίων αυτών. Βιταμίνες, καροτενοειδή, βιοπολυμερή και χημικά είναι μόνο μερικά από ένα πλήθος προϊόντων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Πέραν από τα ποιο πάνω, κάποια στελέχη έχουν αναγνωριστεί να εμφανίζουν αυξημένες αντοχές σε τοξικά υλικά και άλλα να παρουσιάζουν αυξημένες δυνατότητες για βιοαποκατάσταση ρυπασμένου περιβάλλοντος. Τα τελευταία χρόνια γίνεται εφαρμογή και γενετικής τροποποίησης των βακτηρίων αυτών αυξάνοντας έτσι το ενδιαφέρον για περεταίρω μελέτη και έρευνα. Η άφιξη του φυσικού αερίου στην Κύπρο θα μπορούσε να αποτελέσει την απαρχή για συστηματική μελέτη των βακτηρίων αυτών στα τρία κρατικά αλλά και ιδιωτικά πανεπιστήμια για την ανάπτυξη βιοαντιδραστήρων για παραγωγή υψηλής αξίας προϊόντων, χημικών και βιοκαυσίμων αυξάνοντας έτσι τις ενεργειακές προοπτικές της Κύπρου και στον τομέα αυτό.

5.2 Εισηγήσεις

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, πέραν από την παρουσίαση του θετικού ρόλου του φυσικού αερίου στους πυλώνες της αειφορίας αποτελείτο και από πειραματικό μέρος. Το πειραματικό μέρος σχεδιαστικέ και υλοποιήθηκε με σκοπό την απομόνωση και την ταυτοποίηση μεθανότροφων βακτηρίων αλλά και τον έλεγχο των απομονωθέντων μικροοργανισμών στην παραγωγή βιοκαυσίμων. Συγκεκριμένοι περιορισμοί που παρουσιάστηκαν δεν επέτρεψαν την αναγνώριση της παραγόμενης μεθανόλης και αν και τα βακτήρια αυτά έχουν μελετηθεί για χρόνια εντούτοις ακόμη λίγα είναι γνωστά για την βιοχημική φυσιολογία τους. Για το λόγο αυτό προτείνεται η περαιτέρω μελέτη των απομονωθέντων ειδών όχι μόνο σε επίπεδο παρτίδων (διαλείποντος έργου) αλλά και σε μεγάλης κλίμακας βιοαντιδραστήρες, αφού μελετηθούν εις βάθος τα ποιο κάτω:

- Η μορφολογία, το μέγεθος τους καθώς και η ικανότητα τους να παράγουν προϊόντα τόσο ως εναιώρημα τόσο και ακινητοποιημένοι σε carriers.
- Να αναγνωριστούν οι καταλληλότεροι carriers για την ακινητοποίηση των μεθανότροφων.
- Η έκφραση των ενζύμων που λαμβάνουν χώρα στις βιοχημικές αντιδράσεις.
- Να αναγνωριστούν οι βέλτιστες συνθήκες ανάπτυξης (θερμοκρασία, ενεργός οξύτητα)
- Να αναγνωριστεί η βέλτιστη αναλογία αερίων που καταναλώνονται.
- Η διαφοροποίηση του βιομέσου ανάλογα με τις ανάγκες των μικροοργανισμών μας.
- Να αναγνωριστούν οι καταλληλότεροι αναστολής του ενζύμου MDH καθώς και οι συγκεντρώσεις τους για μεγιστοποίηση της παραγόμενης μεθανόλης.
- Η χρήση του οργάνου HPLC (High pressure liquid chromatography) για την αναγνώριση και άλλων σημαντικών προϊόντων όπως είναι το μυρμηκικό οξύ, η φορμαλδεΰδη και άλλα.

Τα ποιο πάνω κρίνονται αναγκαία για την καλύτερη κατανόηση των μηχανισμών των συγκεκριμένων βακτηρίων αλλά και για τον σχεδιασμό μιας ποιο αποτελεσματικής μεθοδολογίας όσον αφορά την παραγωγή υψηλής αξίας προϊόντων.

Βιβλιογραφία

I. Ξένη βιβλιογραφία

Abatzoglu, N. and Boivin, S. (2008). "A review of biogas purification processes", *Biofuels, Bioprod. Bioref.*, 3: 42–71.

Abdulrahman, A. O. et al. (2015). "Sustainability improvements in Egypt's oil & gas industry by implementation of flare gas recovery" *Journal of Cleaner Production* 98: 116-122.

Ackerman, F. (2009). "Can we afford the future? The economics of a warming world" Zed Books, London.

Adhémar, J. (1842). "Revolution de la Mer: Déluges". Carilian-Goeury et V. Dalmond, Paris.

Aimen, H. et al. (2018). "Methanotrophs: The natural way to tackle greenhouse effect", *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, 9(2): 432.

Ajugwo, A. O. (2013). "Negative effects of gas flaring: The Nigerian experience", *Journal of Environment Pollution and Human Health*, 1: 6-8.

Akella, A. K. et al. (2009). "Social, economical and environmental impacts of renewable energy systems", *Renewable Energy*, 34(2): 390–396.

Allison, E. and Mandler, B. (2018). "Methane emissions in the oil and gas industry: Quantifying emissions and distinguishing between different methane sources" *Petroleum and the Environment*, part 19/24.

Alvarez, R. A. et al. (2012). "Greater focus needed on methane leakage from natural gas infrastructure", *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 109: 6435-6440.

Alverson, K. D. et al. (2003). "Paleoclimate, global change and the future", The IGBP Series, *Springer-Verlag*, New York.

Amundson, R. et al. (2015). "Soil and human security in the 21st century", *Science* 348(6235).

Andersen, R. D. et al. (2012). "Efforts to reduce flaring and venting of natural gas worldwide" Norwegian University of Science and Technology, TPG 4140 – Natural Gas, Project Report, Trondheim.

Andrew, T. et al. (2018). "Accounting for changing temperature patterns increases historical estimates of climate sensitivity", *Geophysical Research Letters*, 45: 8490–8499.

Angelidaki, I. et al. (1993). "A Mathematical model for dynamic simulation of anaerobic digestion of complex substrates: Focusing on ammonia inhibition", *Biotechnology and Bioengineering*, 42(2): 159-166.

Angelis-Dimakis, A. et al. (2012). "Monitoring the sustainability of the Greek energy system", *Energy for Sustainable Development*, 16: 51-56.

Anomohanran, O. (2012). "Determination of greenhouse gas emission resulting from gas flaring activities in Nigeria", *Energy Policy*, 45: 666-670.

Anthony, C. (1982). "The biochemistry of methylotrophs", Academic Press, London.

Apergis, N. and Payne, E. (2010). "Natural gas consumption and economic growth: A panel investigation of 67 countries", *Applied Energy*, 87(8): 2759-2763.

Arditsoglou, A. et al. (2004). "Size distribution of trace elements and polycyclic aromatic hydrocarbons in fly ashes generated in Greek lignite-fired power plants", *Science of the Total Environment*, 323(1-3): 153–167.

Arowolo, A. A. and Adaja, I. J. (2011). "Trends of natural gas exploitation in Nigeria and the implications on the socio-economic stability and governance", in 35th Nigerian Statistical Association annual conference.

Asam et al. (2011). "How can we improve biomethane production per unit of feedstock in biogas plants?", *Applied Energy*, 88(6): 2013-2018.

Atlas, R. (2004). "Handbook of microbiological media", CRC PRESS, USA.

Barcena, T.G. et al. (2010). "Methane flux and high affinity methanotrophic diversity along the chronosequence of a receding glacier in Greenland", *Ann. Glaciol.*, 51: 23-31.

Bajerski, F. et al. (2017). "Cell membrane fatty Acid composition of *Chryseobacterium frigidisoli* PB4T, isolated from Antarctic glacier forefield soils, in response to changing temperature and pH conditions", *Frontiers in Microbiology*, 8: 677.

Bard, E. and Frank, M. (2006). "Climate change and solar variability: What's new under the sun? Frontiers", *Earth and Planetary Science Letters*, 248: 1-14.

Barker, S. and Elderfield, H. (2002). "Foraminiferal calcification response to Glacial-interglacial changes in atmospheric CO₂", *Science*, 297, 833-883.

Barr, N. (2003). "Future agricultural landscapes", *Australian Planner* 40(2): 123-127.

Bastviken, D. (2009). "Methane", *Encyclopedia of Inland Waters*, 783-805.

Bebbington, J. (2001). "Sustainable development: A review of the international development, business and accounting literature", *Accounting Forum* 25(2): 128-157.

Bekker, A. (2011). "Growth and spoilage characteristics of *Chryseobacterium* species in milk", Department of Microbial, Biochemical and Food Biotechnology, Faculty of Natural and Agricultural Sciences, University of the Free State.

Berger, A. and Loutre, M. F. (1991). "Insolation values for the climate of the last 10 million years", *Quaternary Science Reviews*, 10: 297-317.

Berger, A. et al. (1998). "Instability of the astronomical periods from 1.5 Myr BP to 0.5 Myr AP", *Paleoclimates*, 2: 239-280.

Bergins, C. et al. (2015). "Power to methanol solutions for flexible and sustainable operations in power and process industries", Mitsubishi Hitachi Power System Europe, Carbon Recycling International, Iceland.

Bernardet, J. F. et al. (2006). "The Genera *Chryseobacterium* and *Elizabethkingia*", *Prokaryotes*, 7: 638–676.

Betz, M. et al. (2014). "Coal mining, economic development and the natural resources curse", MPRA Paper No. 58016.

Bond, G. et al. (2001). "Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene", *Science*, 294: 2130-2136.

Borges, A., and Abril, G. (2011). "Carbon dioxide and methane dynamics in estuaries", In: Treatise on estuarine and coastal science, *Biogeochemistry*, 5: 119–161.

Börjesson, P. and Berglund, M. (2007). "Environmental systems analysis of biogas systems—Part II: The environmental impact of replacing various reference systems", *Biomass and Bioenergy*, 31(5): 326-344.

Bradley, R. S. (1999). "Paleoclimatology. Reconstructing climates of the quaternary", *International Geophysics*, Academic Press.

Breeze, P. (2017). "Combustion plant emissions: Sulfur dioxide, nitrogen oxides, and acid rain", *Electricity Generation and the Environment*, 33-47.

Broecker, W. S. and Stocker, T. L. (2006). "The Holocene CO₂ rise: Anthropogenic or natural?", *Eos Trans, AGU*, 87(3): 27.

Brüschken, H. E. A. and Wynn, N. P. (2000). "Membrane separation: Pervaporation" In: *Encyclopedia of Separation Science*, 1777-1786.

Burgis, E. D. et al. (2009). "New natural gas technologies for enhancing the Indoor environment", *Cogeneration & Distributed Generation Journal*, 21(4): 6-32.

Caldeira, K. and Wickett, M. E. (2003). "Anthropogenic carbon and ocean pH", *Nature*, 425-365.

Cantera, S. et al. (2017). "Ectoine bio-milking in methanotrophs: A step further towards methane-based bio-refineries into high added-value products", *Chemical Engineering Journal*, 328: 44-48.

Cantera, S. et al. (2018). "Technologies for the bioconversion of methane into more valuable products", *Current Opinion in Biotechnology*, 50: 128-135.

Carlin, J. (2003). "Environmental externalities in electric power markets: Acid rain, urban ozone, and climate change", *Alternative Fuels, EIA*, 1-14.

Caro, D. et al. (2014). "Global and regional trends in greenhouse gas emissions from livestock", *Climatic Change*, 126: 203-216.

Carr, R. E. et al. (2007). "Applying DPSIR to sustainable development", *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 14: 543 - 555.

CDC (2009). "Health, United States, 2009, with special feature on medical technology", Washington.

Christensen, T. R. et al. (2003). "Factors controlling large scale variations in methane emissions from wetlands", *Geophysical Research Letters*, 30(7): 1414.

Christodoulakis, N. M. et al. (2000). "Forecasting energy consumption and energy related CO₂ emissions in Greece", *Energy Economics*, 22(4), 395-422.

Chwalibog, A. et al. (2004). "Energy metabolism and substrate oxidation in pigs during feeding, fasting and re-feeding", *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 88:101–112.

Chynoweth, D. P. (1987). Overview. In: Chynoweth, D. P and Isaacson, R. (eds) "*Anaerobic digestion of biomass*", Elsevier Applied, Science Publishers, New York, 1–14.

Cioabla, A. et al. (2012). "Comparative study on factors affecting anaerobic digestion of agricultural vegetal residues", *Biotechnology for Biofuels*, 5(1): 39.

Cohen, M. A. (2010). "Taxonomy of oil spill costs: What are the likely costs of the deepwater horizon spill?", Resources For the Future, Washington, DC.

Colborn, T. (2011). "Natural gas operations from a public health perspective", *Human and Ecological Risk Assessment*, 17(5): 1039-1056.

Chroll, J. (1875). "Climate and time in their geological relations. A theory of secular changes of the earth's climate", Dadly, Ibister & Co, London.

Crutzen, P. J. (2002). "Geology of Mankind", *Nature*, 415: 23.

Damigos, D. et al. (2009). "Households' willingness to pay for safeguarding security of natural gas supply in electricity generation", *Energy Policy*, 37(5): 2008-2017.

Daniel, J. S. (2010). "Options to accelerate ozone recovery: ozone and climate benefits", *Atmos. Chem. Phys.*, 10: 7697–7707.

Daniels, S. E. and Walker, G. B. (1996). "Collaborative learning: improving public deliberations in ecosystem-based management", *Environmental Impact Assessment Review*, 16(2): 71-102.

Dasgupta, A. and Klein, K. (2014). "Oxidative stress induced by household chemicals" In: *Antioxidants in Food, Vitamins and Supplements*, 77-95.

- Dedysh, S. N. and Dunfield, P. F. (2014). "Cultivation of methanotrophs", *Hydrocarbon and Lipid Microbiology Protocols*, 231–247.
- Dasgupta, A. and Wahed, A. (2014). "Testing for ethyl alcohol (Alcohol) and other volatiles" In: *Clinical Chemistry, Immunology and Laboratory Quality Control*, 317-335.
- Denman, K. L. et al. (2007). "Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry", In: *Climate Change 2007: The physical science basins*, 499-587.
- Diffenbaugh, N. S. et al. (2007). "Heat stress intensification in the Mediterranean climate change hotspot", *Geophysical Research Letters*, 34(11).
- Dixon, J. A. and Fallon, L. A. (1989). "The concept of sustainability: Origins, extensions, and usefulness for policy", *Society & Natural Resources*, 2(1): 73-84.
- Dodds, W. K. and Whiles, M. R. (2010). "Carbon", *Freshwater Ecology*, 323–343.
- Doukas, H. et al. (2006). "Supporting sustainable electricity technologies in Greece using MCDM", *Resources Policy*, 31(2): 129–136.
- Dubey, S.K. (2005). "Microbial ecology of methane emission in rice agroecosystem: a review", *Appl. Ecol. Environ.*, 2: 1–27.
- Durisch-Kaiser, E. et al. (2005). "Evidence of intense archaeal and bacterial methanotrophic activity in the Black Sea water column", *Appl. Environ. Microbiol.* 71: 8099–8106.
- Economou, A. (2012). "The use of natural gas and geothermal energy in school units. Greece: A case study", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(2): 1317–1322.
- Elvidge, C. D. et al. (2009). "A Fifteen Year Record of Global Natural Gas Flaring Derived from Satellite Data Energies", *Energies*, 2(3): 595-622.

Emam, E. (2015). "Gad flaring in industry: An overview", *Petroleum & Coal*, 57(5): 532-555.

Fei, Q. et al. (2018). "Enhanced biological fixation of methane for microbial lipid production by recombinant *Methylobacterium buryatense*", *Biotechnology for Biofuels*, 11: (1).

Fei, Q. et al. (2014). "Bioconversion of natural gas to liquid fuel: Opportunities and challenges", *Biotechnology Advances*, 32: 596-614.

FERC (2015). "An interstate natural gas facility on my land? What do I need to know?", Washington, DC

Field, C. B. and Canziani, O. F. (2014). "Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", Cambridge University Press, Cambridge.

Fleitmann, D et al. (2003). "Holocene forcing of the Indian monsoon recorded in a stalagmite from southern Oman", *Science*, 300: 1737-1740.

Fthenakis, V. and Kim, H. (2009). "Land use and electricity generation: A life-cycle analysis", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(6-7): 1465-1474.

Fu, C. and Yu, G. (2010). "Estimation and spatiotemporal analysis of methane emissions from agriculture in China", *Environ. Manage*, 46: 618-632.

Gabriel, O. M. (2012). "Impact of gas industry on sustainable economy in Nigeria: Further estimations through Eview", *Journal of Applied Science*, 12 (21): 2244-2251.

Ge, X. et al. (2014). "Biological conversion of methane to liquid fuels: Status and opportunities", *Biotechnology Advances*, 32(8): 1460-1475.

Goeppert, A. et al. (2014). "Recycling of carbon dioxide to methanol and derived products - closing the loop", *Chem. Soc. Rev.*, 43(23): 7995-8048.

Giamouridis, A. (2009). "Natural gas in Greece and Albania: Supply and demand prospects to 2015", Oxford Institute for Energy Studies.

Giannakopoulos, C. et al. (2009^a). "Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 °C global warming", *Global and Planetary Change*, 68(3): 209–224.

Gilman, A. et al. (2017). "Oxygen-limited metabolism in the methanotroph *Methylococcum burtonense* 5GB1C", *PeerJ*, 5: e3945.

Goeppert, A. et al. (2012). "Air as the renewable carbon source of the future: an overview of CO₂ capture from the atmosphere", *Energy Environ. Sci.*, 5: 7833.

Giorgi, F. (2006). "Climate change hot-spots", *Geophysical Research Letters*, 33(8).

Giorgi, F. and Bi, X. (2005). "Regional changes in surface climate interannual variability for the 21st century from ensembles of global model simulations", *Geophysical Research Letters*, 32(13).

Giorgi, F. and Lionello, P. (2006). "Climate change hot-spots", *Geophysical Research Letters*, 33(8).

Goubanova, K. and Li, L. (2007). "Extremes in temperature and precipitation around the Mediterranean basin in an ensemble of future climate scenario simulations", *Global and Planetary Change*, 57(1-2): 27–42.

Giovindan, R. et al. (2017). "Assessment of technology portfolios with enhanced economic and environmental performance for the energy, water and food nexus", *Computer Aided Chemical Engineering*, 43: 537-542.

Gunsalus, N. J. et al. (2017). "Homogeneous functionalization of methane", *Chemical Reviews*, 117(13): 8521-8573.

Halliburton (2001). "Basic petroleum geology and log analysis".

Hanson, R. and Hanson, T. (1996). "Methanotrophic Bacteria", *Microbiological Reviews*, 60(2): 439–471.

Hart, C. (2018). "Doing a literature review: Releasing the research imagination" SAGE publications, UK.

Haynes C. A. and Gonzalez R. (2014). "Rethinking biological activation of methane and conversion to liquid fuels", *Nat. Chem. Biol.*, 10: 331–9.

Heal, G. (2017). "The economics of the climate", *Journal of Economics Literature*, 553: 1046-1063.

Heath, G. et al. (2015). "Estimating U.S. methane emissions from the natural gas supply chain: Approaches, uncertainties, current estimates, and future studies", Joint Institute for Strategic Energy Analysis, Technical Report.

Hefner, R. A. (1995). "Toward sustainable economic growth: The age of energy gases", *Int. J. Hydrogen Energy*, 20(12): 945-948.

Hegerl, G. C. et al. (2011). "Influence of human and natural forcing on European seasonal temperatures", *Nature Geoscience*, 4: 99-103.

Heinberg, R. (2010). "What is sustainability?", Post Carbon Institute.

Herzog, P. et al. (2008). "*Chryseobacterium ureilyticum* sp. nov., *Chryseobacterium gambrini* sp. nov., *Chryseobacterium pallidum* sp. nov. and *Chryseobacterium molle* sp. nov., isolated from beer-bottling plants", *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 58: 26–33.

Holdren, J. P. and Smith, K. R. (2000). "Energy, the Environment and Health." In: *Energy and the Challenge of Sustainability*.

Holmen, A. (2009). "Direct conversion of methane to fuels and chemicals", *Catalysis Today*, 142(1): 2-8.

House, H. (2007). "Alternative energy sources-biogas production" In: Proceedings of the London swine conference-today's challenges - tomorrow's opportunities, London, 119-128.

Hulme, M. J. et al. (1999). "Climate change scenarios for global impacts studies", *Global Environmental Change*, 9: S3-S19.

Hunt, J. M. et al. (1996). "Petroleum geochemistry and geology", Freeman, England.

Hur, D. H. et al. (2016). "Highly efficient bioconversion of methane to methanol using a novel type I *Methylomonasp. DH-1* newly isolated from brewery waste sludge.", *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 92(2): 311-318.

Hwang, I. Y. et al. (2018). "Biological conversion of methane to chemicals and fuels: technical challenges and issues", *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(7): 3071-3080.

Hwang, I. Y. et al. (2015). "Batch conversion of methane to methanol using *Methylosinus trichosporium OB3b* as biocatalyst", *J. Microbiol. Biotechnol.*, 25: 375-380.

Iglesias, M. et al. (2007). "Analysis of methanol extraction from aqueous solution by n-hexane: Equilibrium diagrams as a function of temperature", *Journal of Molecular Liquids*, 130(1-3): 52-58.

IPCC (2007), "Climate change 2007: The physical science basis" In: Solomon, S. et al. (eds), "Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change", New York.

Ite, A. E and Ibok, U. J. (2013). "Gas Flaring and Venting Associated with Petroleum Exploration and Production in the Nigeria's Niger Delta", *American Journal of Environmental Protection*, 1(4): 70-77.

Iverson, T., S. et al. (2015). "When the Long Run Matters", *Climatic Change* 129(1-2): 57-72.

Jackson, R. B. et al. (2014). "The environmental costs and benefits of fracking", *Annual Review of Environmental and Resources*, 39: 327-362.

Jansson, P. M. and Udo, V. E. (2003). "The role of the electric power industry in global sustainable development", SMC'03 Conference Proceedings, 2003 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Conference Theme - System Security and Assurance.

Jayaraj, S. et al. (2014). "Study on the effect of pH on biogas production from food waste by anaerobic digestion", 9th Annual Green Energy Conference in Tianjin China (IGEC-IX), At: Tianjin China.

Jeffrey, L. C. et al. (2019). "Wetland methane emissions dominated by plant-mediated fluxes: Contrasting emissions pathways and seasons within a shallow freshwater subtropical wetland", *Limnology and Oceanography*, 64(5): 1895-1962.

Joen, Y. C. et al. (2019). "Bioproduction of isoprenoids and other secondary metabolites using methanotrophic bacteria as an alternative microbial cell factory option: Current stage and future aspects", *Catalysts*, 9(11): 883.

Johnson, K. A. and Johnson D. E. (1995). "Methane emission from cattle", *Journal of Animal Science*, 73(8): 2483-2492.

Kalyuzhnaya M. G. and Xing, X, H. (2018). "Methane biocatalysis: Paving the way to sustainability", Springer, Switzerland.

Kalyuzhnaya, M. G. et al. (2015). "Metabolic engineering in methanotrophic bacteria", *Metabolic Engineering*, 29: 142-152.

Kang, M. et al. (2018). "Identification and characterization of high methane-emitting abandoned oil and gas wells", *PNAS*, 113 (48): 13636-13641.

Karakaya, C., and Kee, R. J. (2016). "Progress in the direct catalytic conversion of methane to fuels and chemicals", *Progress in Energy and Combustion Science*, 55(Supplement C): 60-97.

Karion A, et al. (2013). "Methane emissions estimate from airborne measurements over a western United States natural gas field", *Geophys. Res. Lett*, 40: 4393-4397.

Karlén, W. and Kuylenstierna, J. (1996). "On solar forcing of Holocene climate: Evidence from Scandinavia", *The Holocene*, 6: 359-365.

Kato, N., et al. (2006). "The physiological role of the ribulose monophosphate pathway in bacteria and archaea", *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 70(1): 10-21.

Keeling, R. F. et al. (2010). "Ocean deoxygenation in a warming world". *Annual Review of Marine Science*, 2: 199-229.

Kirchgessner, D. A. et al. (1997). "Estimate of methane emissions from the U.S. natural gas industry", *Chemosphere*, 35(6): 1365-1390.

Knief, C. (2015). "Diversity and habitat preferences of cultivated and uncultivated aerobic methanotrophic bacteria evaluated based on pmoA as molecular marker", *Frontiers in Microbiology* 6: 1346.

Koivikko, N. et al. (2011). "Formaldehyde production from methanol and methyl mercaptan over titania and vanadia based catalysts", *Applied Catalysis B: Environmental*, 103(1-2): 72-78.

Kondratenko, E. V. et al. (2017). "Methane conversion into different hydrocarbons or oxygenates: Current status and future perspectives in catalyst development and reactor operation", *Catalysis Science & Technology*, 7: 366-381.

Koroneos, C. et al. (2005). "Cyprus energy system and the use of renewable energy sources", *Energy*, 30: 1889-1901.

Kristensen P. (2004). "The DPSIR framework", National Environmental Research Institute, European Topic Centre, European Environment Agency, Denmark.

Kuglitsch, F. G. et al. (2010). "Heat wave changes in the eastern Mediterranean since 1960", *Geophysical Research Letters*, 37(4).

Kum, H et al. (2012). "The relationship among natural gas energy consumption, capital and economic growth: Bootstrap-corrected causality tests from G-7 countries", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16: 2361– 2365.

Kumar, S. et al. (2011). "LNG: An eco-friendly cryogenic fuel for sustainable development", *Applied Energy*, 88: 4264-4273.

Kumar, A. et al. (2003). "An experimental comparison of methods to use methanol and Jatropha oil in a compression ignition engine", *Biomass and Bioenergy*, 25(3): 309-318.

Kuźniar, A. et al. (2019). "Methanotrophic bacterial biomass as potential mineral feed ingredients for animals". *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(15): 2674.

Lammert, J. M. (2007). "Techniques in microbiology – A student handbook", Pearson Education, Inc., USA.

Lane, K. (2018). "IEA energy efficiency 2018 and world energy outlook 2018", OECD/IEA, Brussels.

Lemonidou, A. A. et al. (2003). "Methanol production from natural gas", *Carbon Dioxide Recovery and Utilization*, 379-394.

Liang, F. Y. et al. (2012). "The role of natural gas as a primary fuel in the near future, including comparisons of acquisition, transmission and waste handling costs of as with competitive alternatives", *Chemistry Central Journal* 6(1): S4.

- Lindner, A. S. et al. (2007) "Methylocystis hirsuta sp. nov., a novel methanotroph isolated from a groundwater aquifer", *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 57: 1891–1900.
- Livesey, S. (2002). "The discourse of the middle ground: Citizen Shell commits to sustainable development", *Management Communication Quarterly*, 15(3): 313-349.
- Lloyd, P. J. (2017). "Coal-The "dirty" fuel?", International Conference on the Industrial and Commercial Use of Energy (ICUE), Cape Town, South Africa.
- Lopez, M. E. (2012). "Biogas technologies and cleaning techniques" In: *Environmental Chemistry for a Sustainable World*, Springer, 347-399.
- Loutre, M. F. and Berger, A. (2003). "Marine isotope stage 11 as an analogue for the present interglacial", *Global and Planetary Change*, 36: 209-217.
- Loutre, M. F. and Berger, A. (2000). "Future climatic changes: are we entering an exceptionally long interglacial?", *Climate Change*, 46: 61-90.
- Lund, H. and Hvelplud, F. (2012). "The economic crisis and sustainable development: The design of job creation strategies by use of concrete institutional economics", *Energy*, 43: 192-200.
- MacDonald, J. A. et al. (1998). "Methane emission rates from a northern wetland; response to temperature, water table and transport", *Atmospheric Environment*, 32(19): 3219-3227.
- Maddox, R. N. and Cannon, R. E. (1992). "Natural gas", In: James A. Kent (eds) *Riegel's Handbook of Industrial Chemistry*, Springer.
- Masson-Delmotte, V. et al. (2005). "Rapid climate variability during warm and cold periods in polar regions and Europe", *C.R. Geosciences*, 337: 935-946.
- Mebratu, D. (1998). "Sustainability and sustainable development: Historical and conceptual review", *Environmental Impact Assessment Review*, 18(6): 493-520.

Mesimeris, T. et al. (2019). "Cyprus: Draft integrated national energy and climate plan for the period 2021-2030", Republic of Cyprus, Nicosia.

Milankovitch, M. (1941). "Canon of insolation and the ice age problem", *Royal Serbian Sciences*, Jerusalem.

Mirasgedis, S. et al. (2004). "Mitigation policies for energy related greenhouse gas emissions in Cyprus: the potential role of natural gas imports", *Energy Policy*, 32: 1001–1011.

Molino, A. et al. (2013). "Biomethane production by anaerobic digestion of organic waste", *Fuel*, 103: 1003-1009.

Mondol, J. D. and Koumpetsos, N. (2013). "Overview of challenges, prospects, environmental impacts and policies for renewable energy and sustainable development in Greece", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23: 431–442.

Montero-Galasan, M. et al. (2013). "*Chryseobacterium hispalense* sp. nov., a plant-growth-promoting bacterium isolated from a rainwater pond in an olive plant nursery, and emended descriptions of *Chryseobacterium defluvii*, *Chryseobacterium indologenes*, *Chryseobacterium wanjuense* and *Chryseobacterium gregarium*", *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 63(Pt 12): 4386–4395.

Montgomery, C. T. and M. B. Smith (2010). "Hydraulic fracturing: history of an enduring technology», *Journal of Petroleum Technology*, 62: 26-32.

Moon, I. L. et al. (2014). "Current Status of Optimal Design of Natural Gas Liquefaction Process", *Computer Aided Chemical Engineering*, 34: 561-566.

Muller, R. A. and Muller, E. A. (2017). "Fugitive Methane and the Role of Atmospheric Half-Life", *An Overview* 5:2.

Murrell, J. C. et al. (2000a). "Molecular biology and regulation of methane monooxygenase", *Arch. Microbiol.*, 173: 325–332.

Murrell, J. C. et al. (2000b). "Regulation of expression of methane monooxygenases by copper ions", *Trends in Microbiol.*, 8: 221–225.

Myhrvold, N. P. and Caldeira, K. (2012). "Greenhouse gases, climate change and the transition from coal to low-carbon electricity", *Environmental Research Letters*, 7(1).

Nanaki, E. A. and Koroneos, C. J. (2013). "Comparative economic and environmental analysis of conventional, hybrid and electric vehicles – the case study of Greece", *Journal of Cleaner Production*, 53: 261–266.

Nguyen, A. et al. (2019). "A comparative transcriptome analysis of the novel obligate methanotroph *Methylomonas sp. DH-1* reveals key differences in transcriptional responses in C1 and secondary metabolite pathways during growth on methane and methanol", *BMC Genomics*, 20(1): 130.

Nguyen, A. et al. (2018). "Functional analysis of *Methylomonas sp. DH-1* genome as a promising biocatalyst for bioconversion of methane to valuable chemicals", *Catalysts*, 8(3): 117.

Nguyen, N. L. et al. (2017). "A novel methanotroph in the genus *Methylomonas* that contains a distinct clade of soluble methane monooxygenase", *Journal of Microbiology*, 55(10), 775–782.

Nikolaides, P. et al. (2018). "Renewable energy integration through optimal unit commitment and electricity storage in weak power networks", *International Journal of sustainable energy*, 38(4): 398-414.

Nordhaus, W. (2019). "Climate change: The ultimate challenge for economics" *American Economic Review*, 109(6): 1991-2014.

Norton, B. (1992). "Sustainability, human welfare and ecosystem health", *Environmental Values*, 1(2): 97-111.

Nwanya, S. C. (2011). "Climate change and energy implications of gas flaring for Nigeria", *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 6(3): 193-199.

Oczkowska, M. and Pellerin-Carlin, T. (2019). "Just energy transition: A reality test in Europe's coal regions", Institut Jacques Delors, Policy paper, 239.

Ogiso, T. et al. (2011). *Methylomonas koyamae* sp. nov., a type I methane-oxidizing bacterium from floodwater of a rice paddy field", *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 62(Pt 8): 1832–1837.

Oh, S. H. et al. (2019). "Development and optimization of the biological conversion of ethane to ethanol using whole-cell methanotrophs possessing methane monooxygenase" *Molecules*, 24(3): 591.

Olah, G. A., et al. (2009). "Beyond oil and gas: The methanol economy", Wiley-VCH, Weinheim.

Olah, G. A. et al (2001). "Anthropogenic chemical carbon cycle for a sustainable future", *J. Am. Chem. Soc.*, 133(33): 12881-12898.

Op den Camp, H. J. et al. (2009). "Environmental genomic and taxonomic perspectives on methanotrophic Verrucomicrobia", *Environ. Microbiol.*, 1: 293–306.

Orazem, M. E. (2014). "Underground pipeline corrosion: Detection, analysis and prevention", Woodhead Publishing Series in Metals and Surface Engineering: Number 63.

Overbeek, G. (2009). "Rural areas under urban pressure in Europe", *Journal of Environmental Policy & Planning*, 11(1): 1–7.

Pal, J. S. et al. (2004). "Consistency of recent European summer precipitation trends and extremes with future regional climate projections", *Geophysical Research Letters*, 31(13).

Pandey, V. C. et al. (2013). "Methanotrophs: promising bacteria for environmental remediation", *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(1): 241–250.

Paramaguru, G. et al. (2017). "Effect of pH on biogas production through anaerobic digestion of food waste", *Journal of Advanced Engineering Research*, 4(1): 59-62.

Park, D. and Lee, J. (2013). "Biological conversion of methane to methanol", *Korean Journal of Chemical Engineering*, 30(5): 977–987.

Parris, T. M. and Kates, R. W. (2003). "Characterizing a sustainability transition: Goals, targets, trends, and driving forces", *PNAS* 100(14): 8068-8073.

Patel, R. (2009). 'Food sovereignty', *Journal of Peasant Studies*, 36(3): 663–706.

Patel, S. K. S. et al. (2016). "Enhancement of methanol production from synthetic gas mixture by *Methylosinus sporium* through covalent immobilization", *Applied Energy*, 171: 383–391.

Patt, T. E. et al. (1976). *Methylobacterium*, a new genus of facultatively methylotrophic bacteria", *Int. J. Syst. Bacteriol.*, 26: 226-229.

Patt, T. E. et al. (1974). "Isolation and characterization of bacteria that grow on methane and organic compounds as sole sources of carbon and energy", *J. Bacteriol.*, 120: 955-964.

Peng, S. S. (2016). "Inventory of anthropogenic methane emissions in Mainland China from 1980 to 2010", *Atmos. Chem. Phys.*, 16: 14545-14562.

Peré et al. (2015) "Synthesizing information systems knowledge: A typology of literature reviews", *Information & Management* 52: 183–199.

Perera, F. (2017). "Pollution from Fossil-Fuel Combustion is the Leading Environmental Threat to Global Pediatric Health and Equity: Solutions Exist", *Environmental Research and Public Health*, 15(1): 16.

Phil, R. et al. (2010). "The energy imperative", Energy Tribute Publisher Inc.

Pieja, A. J. et al. (2017). "Methane to bioproducts: the future of the bioeconomy?" *Current Opinion in Chemical Biology*, 41: 123–131.

Pillman, W. (2002). "Environmental communication: systems analysis of environmentally related information flows as a basis for the popularization of the framework for sustainable development", *EnviroInfo*, Vienna.

Pindyck, R. S. (2013). "Climate change policy: What do the models tell us?", *Journal of Economic Literature*, 51(3): 860-872.

Portmann, R. W. et al. (2012). "Stratospheric ozone depletion due to nitrous oxide: influences of other gases", *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.*, 367(1593): 1256–1264.

Qi, D. H. et al. (2010). "Performance and combustion characteristics of biodiesel–diesel–methanol blend fuelled engine", *Applied Energy*, 87(5): 1679-1686.

Ragheb, M. (2017). "Economics of wind power generation" In: Trevor M. Letcher (eds), *Wind energy engineering: A handbook for onshore and offshore wind turbines*, Academic Press, 537-555.

Ravi, M. et al. (2017). "The direct catalytic oxidation of methane to methanol—a critical assessment", *Angewandte Chemie International Edition*, 56(52): 16464-16483.

Reay, D. et al. (2010). "Methane and climate change", Earthscan, UK.

Reeburgh, W. S. (2007). "Global Methane Biogeochemistry", *Treatise on Geochemistry*, 4: 1-32.

Reed, T. B. and Lerner, R. M. (1973). "Methanol: A Versatile Fuel for Immediate Use", *Science*, 182(4119): 1299-1304.

Reeder, L. C. (2009). "Creating a legal framework for regulation of natural gas extraction from the marcellus shale formation", *SSRN*, 27.

Richardson, R. B. and Brugnone, N. (2018). "Oil spill economics: Estimates of the economic damages of an oil spill in the straits of mackinac in Michigan", Prepared for FLOW (For Love of Water), Department of Community Sustainability, Michigan State University.

Ripple, W. J. et al. (2014). "Ruminants, climate change and climate policy", *Nat. Clim. Change*, 4: 2-5.

Ritter, K. et al. (2010). "Industry guidelines for advancing GHG emission reductions: focus on flare reduction projects" in SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production, Society of Petroleum Engineers: Rio de Janeiro, Brazil.

Riva, A. et al. (2006). "Natural gas and the environmental results of life cycle assessment", *Energy*, 31 (1): 138-148.

Robert, A. J. et al. (2008). "Changes in rainwater pH associated with increasing atmospheric carbon dioxide after the industrial revolution", *Water, Air and Soil Pollution*, 196(1-4): 263-271.

Rose, M. A. (2009). "The environmental impacts of offshore oil drilling", *The Technology Teacher*, 68(5): 27-32.

Ruddiman, W. F. (2007). "The early anthropogenic hypothesis: Challenges and responses", *Reviews of Geophysics*, 45(4).

Rui, Z. et al. (2011). "Historical pipeline construction cost analysis", *Int. J. Oil, Gas and Coal Technology*, 4(3): 244-263.

Safari, A. et al. (2019). "Natural gas: A transition fuel for sustainable energy system transformation?", *Energy Science & Engineering*, 7: 1075-1094.

Sastri, V. S. (2014). "6 - Types of corrosion inhibitor for managing corrosion in underground pipelines" In: Orazem, M. E. (eds), "*Underground pipeline corrosion: Detection, analysis and prevention*", 166-211.

Saunoy, M. et al. (2016). "The global methane budget 2000-2012", *Earth. Syst. Sci. Data*, 8: 697-751.

Scafetta, N. and West, B. J. (2006). "Phenomenological solar contribution to the 1900-2000 global surface warming", *Geophysical Research Letters*, 33(5).

Schneider, D. R. and Bogdan, Z. (2007). "Effect of heavy fuel oil/natural gas co-combustion on pollutant generation in retrofitted power plant", *Applied Thermal Engineering*, 27: 1944-1950.

Schoell, M. (1983). "Genetic characterization of natural gases", *AAPG Bulletin*, 67(12): 2225-2238.

Schwach, P. X. (2017). "Direct conversion of methane to value-added chemicals over heterogeneous catalysts: Challenges and prospects", *Chemical Reviews* 117(13): 8497-8520.

Schubert, A. and Lang, I. (2005). "The literature aftermath of the Brundtland Report «Our Common Future». A scientometric study based on citation in science and social sciences journals", *Environmental, Development and Sustainability*, 7(1): 1-8.

Seki, O. et al. (2010). "Alkenone and boron-based Pliocene pCO₂ records", *Earth and Planetary Science Letters*, 292(1-2): 201-211.

Selley, R. (1998). "Elements of petroleum geology", Academic Press, USA.

Seto, K. C. et al. (2011). "A meta-analysis of global urban land expansion", *PLoS ONE* 6(8): e23777.

Sheets, J. P. et al. (2016). Biological conversion of biogas to methanol using methanotrophs isolated from solid-state anaerobic digestate", *Bioresource Technology*, 201: 50-57.

Sherwood, O. A. (2014). "Compound-Specific stable isotope analysis of natural and produced hydrocarbon gases surrounding oil and gas operations", *Comprehensive Analytical Chemistry*, 61: 347-372.

Shindell, D. et al. (2012). "Simultaneously mitigating near-term climate change and improving human health and food security", *Science* 335: 183-189.

Simkins, B. and Simkins, R. (2013). "Energy finance and economics: Analysis and valuation risk management and the future of energy", John Wiley & Son, Inc., USA.

Singh, J.S. et al. (2010). Influence of pyrite and farmyard manure on population dynamics of soil methanotroph and rice yield in saline rain-fed paddy field", *Agric. Ecosyst. Environ.*, 139: 74-79.

Skog, K. L. and Steinnes, M. (2016). "How do centrality, population growth and urban sprawl impact farmland conversion in Norway?", *Land Use Policy*, 59: 185-196.

Sneddon, C. et al. (2006). "Sustainable development in a Post-Brundtland world", *Ecological Economics*, 57(2): 253-268.

Snyder, H. (2019). "Literature review as a research methodology: An overview and guidelines", *Journal of business Research*, 104: 333-339.

Sohns, A. A. et al. (2016). "Thirsty energy (II): the importance of water for oil and gas extraction", Live Wire: 2016/56, World Bank, Washington.

Solomon, A. D. et al. (2007). "Climate change 2007: The physical science basis", Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC, Cambridge University Press.

Spang, E. S. et al. (2014). "The water consumption of energy production: an international comparison", *Environmental Research Letters*, 9(10).

Speight, J. G. (2007) "Natural gas: A basic handbook", Gulf Publishing Company, Houston. *Environmental Research Letters*, 9(10): 14.

Stahl, W. (1974). "Carbon isotope fractionations in natural gases", *Nature*, 251: 134-135.

Stanislav, P. (1999). "Environmental impact of the offshore oil and gas industry", EcoMonitor, USA.

Starfelt, N. and Wikdahl, C. E. (2011). "Economic analysis of various options of electricity generation: Taking into account health and environmental effects", 1-13.

Steinhilber, F. J. et al. (2009). "Total solar irradiance during the Holocene". *Geophysical Research Letters*, 36(19).

Stephenson, E. S. et al. (2012). "Greenwashing gas: Might a 'transition fuel' label legitimize carbon-intensive natural gas development?", *Energy Policy*, 46: 452-459.

Stern, N. (2008). "The economics of climate change", *American Economic Review*, 98(2): 1-37.

Stern, N. (2007). "The economics of climate change: The Stern review", Cambridge University Press, Cambridge.

Sterner, T and Persson, U. M. (2008). "An even Sterner review: Introducing relative prices into the discounting debate", *Review of Environmental Economics and Policy*, 2(1): 61.

Stokland J. N. et al. (2003). "Forest biodiversity indicators in the Nordic countries", Nordic Council of Ministers, Copenhagen.

Strong, P. J. et al. (2016). "A methanotroph-based biorefinery: potential scenarios for generating multiple products from a single fermentation", *Bioresour. Technol.*, 215: 314–323.

Strong, P. J. et al. (2015). "Methane as a resource: Can the methanotrophs add value?", *Environmental Science & Technology*, 49(7): 4001–4018.

Svensson, B. and Rios, M. O. (2009). "Unlocking the Value of Flared Natural Gas", Global Gas Flaring Reduction partnership, The World Bank Group, 40-47.

Svinurai, W. et al. (2018). "Enteric methane emissions and their response to agro-ecological and livestock production systems dynamics in Zimbabwe", *Science of Total Environment*, 616-617: 710-719.

Syvitski, J. P. et al. (2005). "Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean", *Science*, 308: 376–380.

Theisen, A. R. and Murrell, J. C. (2005). "Facultative methanotrophs revisited", *Journal of Bacteriology*, 187(13): 4303–4305.

Tian, H. (2016). "The terrestrial biosphere as a net source of greenhouse gases to the atmosphere", *Nature* 531: 225-228.

Tietenberg, T. and Lewis, L. (2008). "Environmental and natural resource economics. Publisher: Prentice Hall.

Tissot, B. P. and Welte, D. H. (1978). "Petroleum formation and occurrence", Springer-Verlag, New York.

Tsangas, M. et al. (2018). "Cyprus energy resources and their potential to increase sustainability", 9th International Renewable Energy Congress (IREC).

Tsubota, J. et al. (2005). "Methylothermus thermalis gen. nov., sp. nov., a novel moderately thermophilic obligate methanotroph from a hot spring in Japan", *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 55: 1877–1884.

Tzannatos, E. and Nikitakos, N. (2013). "Natural gas as a fuel alternative for sustainable domestic passenger shipping in Greece" *International Journal of Sustainable Energy*, 32(6): 724–734.

Tzedakis, P. C. (2010). "The MIS 11- MIS 1 analogy southern European vegetation, atmospheric methane and the 'early anthropogenic hypothesis'". *Climate of the Past*, 6: 131-144.

Vaclav, S. (2016). "Energy Transitions: Global and National Perspectives", Second edition, Praeger.

Van der Lei et al. (2013). "An agent based model for the exploration and assessment of sulfur technology for upstream stranded gas fields", *Computer Aided Chemical Engineering*, 32: 1051-1056.

Vandamme, P. et al. (1994). "New perspectives in the classification of the Flavobacteria: Description of *Chryseobacterium gen. nov.*, *Bergeyella gen. nov.*, and *Empedobacter norn. rev.*", *International Journal of Systematic Bacteriology*, 827-831.

Vorholt, J. (2002). "Cofactor-dependent pathways of formaldehyde oxidation in methylotrophic bacteria", *Archives of Microbiology*, 178(4): 239–249.

Walsh, J.L et al. (1988). "Biogas utilization handbook", Georgia Tech Research Institute Publisher Atlanta, Georgia, 133.

Wang, V. C. C. et al. (2017). "Alkane oxidation: Methane monooxygenases, related enzymes, and their biomimetics", *Chemical Reviews*, 117(13): 8574-8621.

Wang, Y. M. et al. (2005). "Modeling the sun's magnetic field and irradiance since 1713". *The Astrophysical Journal*, 625: 522-538.

Wanner, H. J. et al. (2008). "Mid-to Late Holocene climate change: An overview", *Quaternary Science Reviews*, 27: 1791-1828.

Weber, J. G. (2012). "The effects of a natural gas boom on employment and income in Colorado, Texas, and Wyoming", *Energy Economics*, 34(5): 1580-1588.

Webster, J. and Watson, R. T. (2002). "Analyzing the past to prepare for the future: Writing a literature review", *Management Information Systems Quarterly*, 26: 3.

Wei, M., et al. (2010). "Putting renewables and energy efficiency to work: How many jobs can the clean energy industry generate in the US?", *Energy Policy*, 38(2), 919–931.

Weiland, P. (2010). "Biogas production: current state and perspectives", *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(4): 849-860.

Weitzman, M. L. (2012). "GHG targets as insurance against catastrophic climate damages" *Journal of Public Economic Theory*, 14(2): 221-244.

Weitzman, M. L. (2010^b). "What is the 'damages function' for global warming – and what difference might it make?", *Climate Change Economics*, 1(1): 57.

Whiticar, M. J. (1994). "Correlation of natural gases with their sources: chapter 16: part IV. Identification and characterization", *AAPG Special Volumes*, 261-283.

Weitzman, M. L. (2009^b). "On modeling and interpreting the economics of catastrophic climate change", *Review of Economics and Statistics*, 91(1): 1-19.

Weitzman, M. L. (2009^c). "Reaction to the Nordhaus critique", Harvard University.

Weitzman, M. L. (2009^d). "Some basic economics of extreme climate change", Harvard University.

WHO (2003), "Climate change and human health – risks and responses", Geneva.

- Wolfe, R. S. (2011). "Techniques for cultivating methanogens", *Methods in Enzymology*, 494: 1-22.
- Xiao, Y. and Watson, M. (2019). "Guidance on conducting a systematic literature review", *Journal of Planning Education and Research*, 39(1): 93-112.
- Xin, J. Y. et al. (2004). "Production of methanol from methane by methanotrophic bacteria", *Biocatal. Biotransform.*, 22: 225-229.
- Yo, J. et al. (2018). "Inventory of methane emissions from livestock in China from 1980 to 2013", *Atmospheric Environment*, 184: 69-76.
- Zachariadis, T. and Pashourtidou, N. (2007). "An empirical analysis of electricity consumption in Cyprus", *Energy Economics*, 29(2): 183-198.
- Zalasiewicz, J. et al. (2008). "Are we now living in the Anthropocene?" *GSA Today* 18(2): 4-8.
- Zanis, P. et al. (2009). "Analysis of an ensemble of present day and future regional climate simulations for Greece", *International Journal of Climatology*, 29(11): 1614-1633.
- Zavala-Araiza, D. et al. (2015). "Toward a functional definition of methane super-emitters: Application to natural gas production sites", *Environ. Sci. Technol.*, 49(13): 8167-8174.
- Zerefos, C. et al. (2010). "Long term changes of precipitation in Greece", 12th Plinius Conference on Mediterranean Storms, MedCLIVAR session, Corfu.
- Zervos, A. et al. (2004). "Towards a white paper for RES and RUE strategy and action plan for the Republic of Cyprus", Report of a study for the European Commission funded by the ALTENER research programme, Athens, Greece.

Zhao, H. et al. (2017). "*Chryseobacterium reticulitermitis* sp. nov., isolated from the gut of *Reticulitermes aculabialis*", *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 67(6): 1698-1702.

II. Ελληνική βιβλιογραφία

Αγγελίδης, Ζ. και άλλοι. (2004). «Περιβαλλοντική εκπαίδευση: Εκπαίδευση για το περιβάλλον και τη βιωσιμότητα», Διεύθυνση Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης Ανατολικής Θεσσαλονίκης, Γραφείο Π.Ε., Θεσσαλονίκη.

Γεντεκάκης, Ι. Β. (2003). «Ατμοσφαιρική ρύπανση: Επιπτώσεις, έλεγχος & εναλλακτικές τεχνολογίες», Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Γεωργακόπουλος, Α. (2004). «Στοιχεία κοιτασματολογίας πετρελαίου», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Γεωργόπουλος, Α. (1998). «Γη, ένας μικρός και εύθραυστος πλανήτης», Εκδόσεις Gutenberg.

Γύπας, Α. και Μεντής, Φ. (2014). «Τεχνικές μελέτης των φυσιολογικών μικροχλωρίδων του ανθρώπου – μεταγονιδιωματική», Ανασκόπηση, τόμος 59, τεύχος 2, Απρίλιος - Ιούνιος 2014.

Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2019). «Επισκόπηση της εφαρμογής της περιβαλλοντικής πολιτικής της ΕΕ 2019 - Έκθεση χώρας - ΚΥΠΡΟΣ», Βρυξέλλες.

Ζαχαριάδης, Θ. (2012). «Οι Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στην Κύπρο και Μέτρα Προσαρμογής», Σχόλιο Οικονομικής Πολιτικής, Τεύχος 27, Μάρτιος 2012, Πανεπιστήμιο Κύπρου.

Καρβούνης, Σ. και Γεωργακέλλος, Δ. (2003). «Διαχείριση του περιβάλλοντος - Επιχειρήσεις και βιώσιμη ανάπτυξη», Εκδόσεις: Αθ. Σταμούλης.

Κυριακίδης, Χ. και Μπόζου, Ε. (2011). Οι Τεχνοπόλεις ως Αειφόρος Αναπτυξιακή πολιτική. Διεθνές Συνέδριο Διοίκησης και Οικονομίας. 16-18 Σεπτεμβρίου, Σέρρες.

Μαλλιάρης – Παιδεία (1998). «Παγκόσμιος Γεωγραφικός Ατλας», Θεσσαλονίκη.

Μπάης, Α. και Καρακώστας, Θ. (2010) «Νερό και κλιματικές μεταβολές», Διεθνές Έτος για τον «Πλανήτη Γη» - Νερό: Πηγή Ζωής, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Μπαμπινιώτης, Γ. (2002). «Λεξικό της Νέας Ελληνικής Γλώσσας», Εκδόσεις: Κέντρο Λεξικολογίας ΕΠΕ.

Οικονομίδης, Μ. κ. α. (2013). «Το ενεργειακό μέλλον και περιβάλλον», Εκδόσεις Γερμανός, Θεσσαλονίκη.

Πουλλικκάς, Α. (2013). «Αειφόρος ενεργειακή ανάπτυξη για την Κύπρο», Easy Conferences Ltd., Λευκωσία.

Πουλλικκάς, Α. (2013). «Το ενεργειακό μέλλον της Κύπρου», Theopress Ltd., Λευκωσία.
Σιάρδος, Γ. και Κουτσούρης, Α. (2004). «Αειφορική γεωργία και ανάπτυξη», Εκδόσεις: Ζυγός.

Συλαίος, Γ. (2006). «Φυσική Ωκεανογραφία», Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Ξάνθης, Ξάνθη.

Φλογαίτη, Ε. (2006). «Εκπαίδευση για το περιβάλλον και την αειφορία», Εκδόσεις: Ελληνικά Γράμματα.

III. Διαδικτυακές πηγές

AGI (2018). “Methane Emissions in the Oil and Gas Industry”,

[https://www.americangeosciences.org/sites/default/files/AGI PE MethaneEmissions web final.pdf](https://www.americangeosciences.org/sites/default/files/AGI%20PE%20MethaneEmissions%20web%20final.pdf)

American Chemistry Society (2019). “What are the greenhouse gas changes since the Industrial Revolution?”,

<https://www.acs.org/content/acs/en/climatescience/greenhousegases/industrialrevolution.html>

Beyond Petroleum (2018). "Statistical Review of World Energy",
<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>

Climate & Clean Air Coalition (2019). "Methane",
<https://ccacoalition.org/en/slcp/methane>

Eastern Mediterranean Studies Initiative (2019). "Energy security",
<https://www.unic.ac.cy/emsi/category/energy-and-environment/energy-security/>

EESI (2019). "Fossil Fuels",
<https://www.eesi.org/topics/fossil-fuels/description>

EIA (2019). "Fossil fuels continue to account for the largest share of U.S. energy",
<https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=41353>

EIA (2019). "Short-term energy outlook",
<https://www.eia.gov/outlooks/steo/report/prices.php>

EPA (2019). "Overview of greenhouse gases",
<https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>

EPA (2019). "Technical Overview of Volatile Organic Compounds",
<https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/technical-overview-volatile-organic-compounds#2>

EPA (2019). "Acid Rain",
<https://www.epa.gov/acidrain>

EPA (2019). "Why is acid rain harmful?",
https://www3.epa.gov/acidrain/education/site_students/whyharmful.html

EPA (2019). “Atmospheric Lifetime and Global Warming Potential Defined”,
<https://www.epa.gov/climateleadership/atmospheric-lifetime-and-global-warming-potential-defined>

EPA (1995). “ Using foresight to protect the environmental future”,
<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/2000PNIV.txt?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1995%20Thru%201999&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&UseQField=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5CZYFILES%5CINDEX%20DATA%5C95THRU99%5CTXT%5C00000017%5C2000PNIV.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&slide>

EPRI (2003). “Electricity Technology Roadmap”,
<http://mydocs.epri.com/docs/CorporateDocuments/StrategicVision/Roadmap2003.pdf>

European Commission (2019). “EU Emissions Trading System”,
https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_en

European Commission (2019). “Europe 2020 targets: statistics and indicators for Cyprus”,
https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/economic-and-fiscal-policy-coordination/eu-economic-governance-monitoring-prevention-correction/european-semester/european-semester-your-country/cyprus/europe-2020-targets-statistics-and-indicators-cyprus_en#energy-efficiency

European Commission (2016). “EU energy in figures”,
https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/pocketbook_energy-2016_web-final_final.pdf

European Commission (2013). “An overview of hydraulic fracturing and other formation stimulation technologies for shale gas production”,

[https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC86065/an%20overview%20of%20hydraulic%20fracturing%20and%20other%20stimulation%20technologies%20\(2\).pdf](https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC86065/an%20overview%20of%20hydraulic%20fracturing%20and%20other%20stimulation%20technologies%20(2).pdf)

European Council (2019). "Paris Agreement on climate change",
<https://www.consilium.europa.eu/en/policies/climate-change/timeline/>

European Environment Agency (2019). "Primary energy consumption by fuel",
<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/primary-energy-consumption-by-fuel-6/assessment-2>

European Environment Agency (2019). "Population trends 1950 – 2100: globally and within Europe",
<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/total-population-outlook-from-unstat-3/assessment-1>

European Environment Agency (2019). "Environmental indicators: Typology and overview",
http://www.geogr.uni-jena.de/fileadmin/Geoinformatik/projekte/brahmatwinn/Workshops/FEEM/Indicators/EEA_tech_rep_25_Env_Ind.pdf

Eurostat (2019). "Oil and petroleum products - a statistical overview",
https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Oil_and_petroleum_products_-_a_statistical_overview&oldid=315177

Eurostat (2019). "Environmental pressure indicators for the EU",
<https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-statistical-books/-/KS-36-01-677>

Eurostat (2019). "Renewable energy statistics",
https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics

FERC (2015). “An Interstate Natural Gas Facility on My Land? What Do I Need To Know?”,

https://books.google.com.cy/books?id=FFJf2wx_f4C&pg=PT5&lpg=PT5&dq=An+Interstate+Natural%09%09+Gas+Facility+on+My+Land?%09%09+What+Do+I%09%09+Need+to+Know?%09%09+Washington,+DC&source=bl&ots=YXS60A43B4&sig=ACfU3U2LwoBs8GniU1cnvJNuDRLjFq9AZQ&hl=el&sa=X&ved=2ahUKEwjf0oDLtqvmAhVks3EKHaqDCfgQ6AEwAnoECAgQAQ#v=onepage&q=An%20Interstate%20Natural%09%09%20Gas%20Facility%20on%20My%20Land%3F%09%09%20What%20Do%20I%09%09%20Need%20to%20Know%3F%09%09%20Washington%2C%20DC&f=false

Geological Society of London (2010). “Climate change: evidence from the geological record”,

<https://www.geolsoc.org.uk/Geoscientist/Archive/November-2010/Climate-change-evidence-from-the-geological-record>

IEA(2019). “Methane tracker”,

<https://www.iea.org/reports/methane-tracker>

IETA (2019). “Cap & Trade Basics”,

<https://www.ieta.org/Three-Minute-Briefings/3879043>

IPCC (2006). “Stationery combustion”,

<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>

IRENA (2015). “Renewable Energy Roadmap for the Republic of Cyprus”,

<https://www.irena.org/publications/2015/Jan/Renewable-Energy-Roadmap-for-the-Republic-of-Cyprus>

Just Energy (2019). “Price Volatility”,

<https://www.justenergy.com/learning-center/price-volatility>

Merck (2019). “Introduction to Microbial Media”,

<https://www.sigmaaldrich.com/technical-documents/articles/biology/microbial-media.html>

Methanol Foundation (2019).

<https://www.methanol.org/about-methanol/>

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2019). “Gaseous carbon waste streams utilization”,

<https://www.nap.edu/catalog/25232/gaseous-carbon-waste-streams-utilization-status-and-research-needs>

NOAA (2019). “Global CH₄ Monthly Means”,

https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends_ch4/

NRDC (2019). “Dirty energy”,

<https://www.nrdc.org/issues/dirty-energy>

OGP (2000). “Flaring and venting in the oil and gas exploration and production industry”,

<https://www.iogp.org/bookstore/product/flaring-and-venting-in-the-oil-and-gas-exploration-and-production-industry/>

Oil and Gas Journal (2017). “Oil pipeline profits soar, natgas net softens”,

<https://www.ogj.com/pipelines-transportation/pipelines/article/17229223/oil-pipeline-profits-soar-natgas-net-softens>

Our World in Data (2019). “Fossil Fuels”,

<https://ourworldindata.org/fossil-fuels>

Our World in Data (2019). “World Population Growth”,

<https://ourworldindata.org/world-population-growth>

SEPA (2019). “Methane”,

<http://apps.sepa.org.uk/spria/Pages/SubstanceInformation.aspx?pid=65>

The World Bank (2019). “Electricity production from oil, gas and coal sources”,

<https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.FOSL.ZS>

UNCCD (2019). “Land and human security”,
<https://www.unccd.int/issues/land-and-human-security>

UNEP (2019). “Oil and gas sector can bring quick climate win by tackling methane emissions”,
<https://www.unenvironment.org/news-and-stories/story/oil-and-gas-sector-can-bring-quick-climate-win-tackling-methane-emissions>

United Nations (2019). “Agenda 21”,
https://www.un.org/esa/dsd/agenda21/res_agenda21_00.shtml

WCED (1987). “The Brundtland Report ‘Our Common Future’”,
<https://www.sustainabledevelopment2015.org/AdvocacyToolkit/index.php/earth-summit-history/historical-documents/92-our-common-future>

WHO (2003). “Climate change and human health - risks and responses”
<https://www.who.int/globalchange/summary/en/>

World Nuclear Association (2018). “Heat Values of Various Fuels”, <https://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/heat-values-of-various-fuels.aspx>

WorldData.Info (2019). “Energy consumption in Cyprus”,
<https://www.worlddata.info/asia/cyprus/energy-consumption.php>

EEA (2016). “Environmental taxation and EU environmental policies”,
<https://www.eea.europa.eu/publications/environmental-taxation-and-eu-environmental-policies>

EIA (2018). “Annual energy outlook 2018”,
<https://search.usa.gov/search?utf8=%E2%9C%93&affiliate=eia.doe.gov&query=ANNUAL+ENERGY+OUTLOOK+2018&search=>

IHS Markit (2019). “Methanol”,
<https://ihsmarkit.com/products/methanol-chemical-economics-handbook.html>

Ανεξάρτητο Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (2019). «Μηνιαίο δελτίο ενέργειας»,

[http://www.admie.gr/fileadmin/groups/EDRETH/Monthly Energy Reports/Energy Report 201910 v1.pdf](http://www.admie.gr/fileadmin/groups/EDRETH/Monthly_Energy_Reports/Energy_Report_201910_v1.pdf)

Ανεξάρτητο Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (2015). «Μηνιαίο δελτίο ενέργειας»,

[http://www.admie.gr/fileadmin/groups/EDRETH/Monthly Energy Reports/Energy Report 201511 v1.pdf](http://www.admie.gr/fileadmin/groups/EDRETH/Monthly_Energy_Reports/Energy_Report_201511_v1.pdf)

ΔΕΠΑ (2019).

<https://www.depa.gr/>

Ελληνική Στατιστική Αρχή (2014). «Απογραφή Πληθυσμού-Κατοικιών 2011»,

https://www.statistics.gr/el/statistics?p_p_id=documents_WAR_publicationsportlet_INSTANCE_qDQ8fBKKo4IN&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=4&p_p_col_pos=1&documents_WAR_publicationsportlet_INSTANCE_qDQ8fBKKo4IN_javax.faces.resource=document&documents_WAR_publicationsportlet_INSTANCE_qDQ8fBKKo4IN_ln=downloadResources&documents_WAR_publicationsportlet_INSTANCE_qDQ8fBKKo4IN_documentID=310596&documents_WAR_publicationsportlet_INSTANCE_qDQ8fBKKo4IN_locale=el

Εταιρία Υδρογονανθράκων Κύπρου (2019).

http://www.mcit.gov.cy/mcit/hydrocarbon.nsf/index_gr/index_gr?OpenDocument

Ευρωπαϊκή Ένωση (2019). «Ελλάδα»,

https://europa.eu/european-union/about-eu/countries/member-countries/greece_el

Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2019). «Η ΕΕ και ενεργειακή ένωση και κλιματική αλλαγή»,

<https://op.europa.eu/webpub/com/factsheets/energy/el/>

Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2019). “Cyprus”,
https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2014_countryreports_cyprus.pdf

Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο (2019). “EU support for coal regions”,
[https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document.html?reference=EPRS_BRI\(2019\)642217](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document.html?reference=EPRS_BRI(2019)642217)

Ευρωπαϊκό Συμβούλιο (2019). «Συμφωνία των Παρισίων για την κλιματική αλλαγή»,
<https://www.consilium.europa.eu/el/policies/climate-change/timeline/#>

Ινστιτούτου Ενέργειας Νοτιοανατολικής Ευρώπης (2019). «Ο κρίσιμος ρόλος του φυσικού αερίου στον μετασχηματισμό της ελληνικής ενεργειακής αγοράς»,
<https://www.iene.gr/articlefiles/working%20paper%20no%2025.pdf>

Ινστιτούτου Ενέργειας Νοτιοανατολικής Ευρώπης (2019). «Ο Ελληνικός Ενεργειακός Τομέας»,
<https://www.iene.gr/articlefiles/file/meletes/iene-meleti-2019.pdf>

Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (2019).
http://www.rae.gr/site/categories_new/gas/supply_security/licence/info.csp

Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας. «General Information on the Greek Electricity Sector for the period 2000-2003: Installed capacity, production & consumption levels, Renewable Energy Sources and Long Term Energy Planning»,
<http://www.rae.gr/old/K1/elec.greece.00-03.pdf>

Τμήμα Περιβάλλοντος της Κύπρου (2019). «Μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου»,
<http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environmentnew.nsf/All/8FFEEE2B3D98DC7DC2257FF000324131?OpenDocument>

Υπουργείο Περιβάλλοντος και ενέργειας της Ελλάδος (2019). «Φυσικό αέριο»,
<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=280&language=el-GR>

Υπουργείο Περιβάλλοντος και ενέργειας της Ελλάδος (2019). «Ενέργεια»,
<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=225&language=en-US>