



ΑΝΟΙΚΤΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΚΥΠΡΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα

**ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΜΑΣΤΕΡ

*Περιβαλλοντική – Τεχνική Αξιολόγηση της χρήσης
των εναλλακτικών καυσίμων*

Λυδία Γεωργιάδου

Επιβλέπων Καθηγητής
Δρ. Αντώνης Α. Ζορπάς

Μάιος, 2013

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

*Περιβαλλοντική – Τεχνική Αξιολόγηση της χρήσης
των εναλλακτικών καυσίμων*

Λυδία Γεωργιάδου

Επιβλέπων Καθηγητής
Δρ. Αντώνης Α. Ζορπάς

Μάιος, 2013

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Ευχαριστίες	iv
Ελληνική περίληψη	v
Αγγλική περίληψη	vi
1 Εισαγωγή	1
1.1 Εισαγωγή	1
1.2 Καταγραφή προβλήματος	1
1.3 Σημασία και αναγκαιότητα της μελέτης	1
1.4 Σκοποί και στόχοι	2
1.5 Διασαφηνίσεις – προσδιορισμός και διατύπωση των κεντρικών εννοιών	3
2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση	4
2.1 Εισαγωγή	4
2.2 Ιστορική αναδρομή	4
2.3 Θεωρητικό πλαίσιο	8
2.4 Βιβλιογραφική ανασκόπηση	10
2.4.1 Υδρογόνο	10
2.4.2 Φυσικό αέριο	24
2.4.3 Βιο-αιθανόλη	38
2.4.4 Βιο-αέριο	50
2.4.5 Διεθνής πραγματικότητα	62
2.4.6 Κυπριακή πραγματικότητα	64
2.4.7 Συμπεράσματα	64
3 Μεθοδολογία	66
3.1 Σκοπός –Στόχοι	66
3.2 Ερευνητικά ερωτήματα	66
3.3 Σχεδιασμός	66

3.4	Μέθοδος συλλογής δεδομένων	67
3.5	Διαδικασία	68
3.6	Ανάλυση αποτελεσμάτων	68
4	Αποτελέσματα	69
4.1	Έννοιες και θέματα (που αναδύθηκαν μέσα από ποιοτική ανάλυση)	69
4.2	Παρουσίαση αποτελεσμάτων	69
5	Συζήτηση - Συμπεράσματα - Εισηγήσεις	74
5.1	Συζήτηση	74
5.2	Περιορισμοί της μελέτης	74
5.3	Συμπεράσματα	75
5.4	Εισηγήσεις	75
6	Βιβλιογραφία	76

Ευχαριστίες

Για την ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, οφείλω να ευχαριστήσω θερμά τον Λέκτορα Καθηγητή του Ανοιχτού Πανεπιστημίου Κύπρου και Επιβλέποντα Καθηγητή μου Δρ. Αντώνη Α. Ζορπά για τις χρήσιμες συμβουλές του και τις εξαιρετικά ενδιαφέρουσες υποδείξεις και επισημάνσεις του καθώς και για την εν γένει καθοδήγηση που μου παρείχε. Τον ευχαριστώ επίσης για την κατανόηση και την υπομονή που έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας.

Περίληψη

Εισαγωγή

Ο υφιστάμενος τρόπος με τον οποίο καταναλώνονται οι ορυκτοί φυσικοί πόροι ως ενεργειακοί πόροι δεν αντανακλά την έννοια της αειφορίας και συνεπώς εγείρονται νέες προτεραιότητες για το υφιστάμενο σύστημα ενέργειας και τίθεται η πρόκληση για αναζήτηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας που να ενισχύουν την ποιότητα της ζωής, χωρίς να απειλούν το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία.

Σκοπός

Σκοπός της εν λόγω μεταπτυχιακής διατριβής είναι η ανάλυση των περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών συνεπειών των εναλλακτικών καυσίμων, ώστε να εξακριβωθεί η σκοπιμότητα της αύξησης του μεριδίου τους σε σχέση με εκείνο των συμβατικών καυσίμων με παράλληλη διεξαγωγή συγκριτικής αξιολόγησης των υπό εξέταση εναλλακτικών καυσίμων (υδρογόνο, φυσικό αέριο, βιο-αιθανόλη, βιο-αέριο), με βάση κριτήρια αξιολόγησης σε όρους τεχνικών, περιβαλλοντικών, οικονομικών, κοινωνικών και πολιτικών παραμέτρων έτσι ώστε να δικαιολογείται η ώθηση εξερεύνησης του «καλύτερου» εναλλακτικού καυσίμου.

Μεθοδολογία

Μέθοδος συλλογής των ποιοτικών δεδομένων αποτέλεσε η προσέγγιση της συνέντευξης και μετέπειτα τα εν λόγω δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για την διεκπεραίωση πολυκριτηριακής ανάλυσης.

Αποτελέσματα

Η αξιολόγηση των παραμέτρων των τεχνικών, περιβαλλοντικών, οικονομικών, κοινωνικών και πολιτικών κριτηρίων που προέκυψε από τη προσέγγιση της πολυκριτηριακής ανάλυσης φανερώνει ότι η οικονομία των εναλλακτικών καυσίμων πλεονεκτεί σημαντικά έναντι των παραδοσιακών καυσίμων.

Συμπεράσματα

Η συγκριτική αξιολόγηση που προέκυψε με τη μέθοδο της πολυκριτηριακής ανάλυσης, ωθεί την εξερεύνηση του υδρογόνου ως η «καλύτερη» εναλλακτική πηγή καυσίμου, καθώς καίει καθαρότερα έναντι των υπόλοιπων εναλλακτικών καυσίμων, δεδομένου της μέγιστης βαρύτητας στα περιβαλλοντικά κριτήρια αξιολόγησης.

Summary

Background

The current way in which the fossil natural resources are consumed as energy resources does not reflect the concept of sustainability and therefore raises new priorities for the current energy system and the challenge is to find alternative energy sources to enhance the quality of life without jeopardizing the environment and human health.

Aim

The purpose of this master thesis is to analyze the environmental, economic and social consequences of alternative fuels in order to verify the feasibility of increasing their share compared to conventional fuels, while conducting comparative evaluation of alternative fuels (hydrogen, natural gas, bio-ethanol, bio-gas), based on the evaluation criteria in terms of technical, environmental, economic, social and political parameters in order to justify the impetus to explore the "best" alternative fuel.

Methods

Method of qualitative data collection was the approach of the interview and subsequently these data were used for processing multi-criteria analysis.

Results

The assessment of the parameters of the technical, environmental, economic, social and political criteria that resulted from the approach of the multi-criteria analysis shows that the economy of alternative fuels significant advantages over traditional fuels.

Conclusions

The comparative assessment, resulted by the multi-criteria analysis method, drives the exploration of hydrogen as the "best" alternative fuel source because it burns cleaner over other alternative fuels, since the maximum weight given to environmental criteria.

Κεφάλαιο Πρώτο

Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Η ανθρώπινη πρόοδος είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την χρήση διάφορων μορφών ενέργειας. Από τους προϊστορικούς χρόνους οι ενεργειακοί πόροι ήταν θεμελιώδους σημασίας καθώς ικανοποιούσαν τις ανθρώπινες ανάγκες βελτιώνοντας ως εκ τούτου την ποιότητα ζωής. Ως εκ τούτου η διαχρονική σημασία της ενέργειας αποτελεί απαραίτητη συνιστώσα για την πρόοδο της οικονομικής ανάπτυξης και κατ' επέκταση της κοινωνικής ανάπτυξης. Ωστόσο η ανύψωση του βιοτικού επιπέδου σε συνδυασμό με τον αυξανόμενο πληθυσμό στη γη, οδήγησε σε πληθώρα αναγκών, απαραίτητες για την διαβίωση του σύγχρονου ανθρώπου, η κάλυψη των οποίων απαιτεί την υπέρμετρη κατανάλωση ενέργειας.

1.2 Καταγραφή προβλήματος

Η μεγαλύτερη χρήση ενέργειας συνεπάγεται μεγαλύτερη ρύπανση που προστίθεται στο φυσικό περιβάλλον, ενώ παράλληλα η εξάντληση των ορυκτών καυσίμων, των κύριων ενεργειακών πόρων, είναι αναπόφευκτη. Ο υφιστάμενος τρόπος με τον οποίο καταναλώνονται οι ορυκτοί φυσικοί πόροι ως ενεργειακοί πόροι, προκειμένου να καλύψουν τις ανάγκες του ολόένα αυξανόμενου πληθυσμού, δεν αντανακλά την έννοια της αειφορίας. Η μη βιώσιμη κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων οδηγεί σε ρύπανση του περιβάλλοντος καθώς η καύση τους οδηγεί σε εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, ένα σημαντικό αέριο του θερμοκηπίου το οποίο συμβάλλει στην υπερθέρμανση του πλανήτη ενώ παράλληλα απειλεί την ανθρώπινη υγεία, καθώς υποβαθμίζει την ποιότητα του αέρα. Η προστασία του περιβάλλοντος και η ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού αποτελούν δύο έννοιες με απόλυτη προτεραιότητα κατά τη θεώρηση των θεμάτων που αφορούν την ενέργεια.

1.3 Σημασία και αναγκαιότητα της μελέτης

Συνεπώς εγείρονται νέες προτεραιότητες για το υφιστάμενο σύστημα ενέργειας και την μετάβαση προς ένα πιο αειφόρο σύστημα. Τίθεται η πρόκληση για αναζήτηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας και βιώσιμων τρόπων παραγωγής και χρήσης της ενέργειας που να ενισχύουν την ποιότητα της ζωής, χωρίς

να απειλούν το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία, αντανακλώντας την έννοια της αειφόρου ανάπτυξης. Η οικονομία των εναλλακτικών καυσίμων δύναται να αποτελέσει ένα αειφόρο ενεργειακό σύστημα. Η διεξαγωγή αξιολόγησης των εναλλακτικών καυσίμων είναι αναγκαία καθώς δύναται να συμβάλει και να ενισχύσει την αξιοπιστία που προσφέρει η εισαγωγή της οικονομίας των εναλλακτικών καυσίμων. Η μεγαλύτερη χρήση ενέργειας που λαμβάνεται από καθαρούς ενεργειακούς πόρους εξασφαλίζει μικρότερη εξάρτηση από τα παραδοσιακά ορυκτά καύσιμα. Η μικρότερη εξάρτηση συνεπάγεται μικρότερη προστιθέμενη ρύπανση στο περιβάλλον, απαραίτητη για την κοινωνική ανάπτυξη, την ανθρώπινη ευημερία και την ποιότητα ζωής.

1.4 Σκοποί και στόχοι

Κατά την αντικατάσταση του τρέχοντος ενεργειακού συστήματος με βάση τα ορυκτά καύσιμα, από την οικονομία των εναλλακτικών καυσίμων, εγείρονται ερωτήματα που αφορούν κατά πόσο τα οφέλη που προκύπτουν από την αξιολόγηση τους, δικαιολογούν την ώθηση και την ομαλή μετάβαση στην εισαγωγή της οικονομίας τους, και κατά πόσο οι τεχνολογίες παραγωγής και οι τεχνολογίες μετατροπής σε μορφή καυσίμων των εξεταζόμενων εναλλακτικών πηγών, εφαρμόζονται με βιώσιμο τρόπο με επακόλουθα ελάχιστα περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά κόστη, ούτως ώστε η αντικατάσταση του τρέχοντος ενεργειακού συστήματος με βάση τα ορυκτά καύσιμα, από την οικονομία των εναλλακτικών καυσίμων να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της αειφόρου ανάπτυξης.

Η εισαγωγή της οικονομίας των εναλλακτικών καυσίμων αναμένεται να αποτελέσει ερμηνεία του οράματος για ένα αειφόρο ενεργειακό σύστημα, επιλύοντας έτσι βασικά ερωτήματα που αφορούν την εξάντληση των πόρων των ορυκτών καυσίμων, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν κατά τη καύση των ορυκτών πόρων για παροχή ενέργειας και την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού.

Η αύξηση της χρήσης των εναλλακτικών καυσίμων θα πρέπει να συνοδεύεται από εμπειριστατωμένη ανάλυση των περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών της συνεπειών, ώστε να εξακριβωθεί η σκοπιμότητα της αύξησης του μεριδίου τους σε σχέση με εκείνο των συμβατικών καυσίμων. Το πολύτιμο εργαλείο της πολυκριτηριακής ανάλυσης συμβάλλει στην αξιολόγηση των υπό εξέταση εναλλακτικών καυσίμων (υδρογόνο, φυσικό αέριο, βιο-αιθανόλη και βιο-αέριο), σε όρους τεχνικών, περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων.

1.5 Διασαφηνίσεις – προσδιορισμός και διατύπωση των κεντρικών εννοιών

Τα εναλλακτικά καύσιμα είναι υποκατάστατα των παραδοσιακών υγρών καυσίμων, που προέρχονται από το πετρέλαιο, όπως η βενζίνη και ντίζελ, και παράγουν λιγότερες εκπομπές και ρυπαίνουν λιγότερο από τα παραδοσιακά καύσιμα.

Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Εισαγωγή

Η ενέργεια είναι ένα βασικό στοιχείο στις αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στη φύση και την κοινωνία και θεωρείται ένα βασικό κλειδί για την περιβαλλοντική και αειφόρο ανάπτυξη (Yilmaz & Ilbas, 2008). Αποτελεί την παγκόσμια κινητήρια δύναμη υπεύθυνη για την βελτίωση της ποιότητας ζωής σε όλες τις κοινωνίες των αναπτυσσόμενων και ανεπτυγμένων χωρών (Crabtree & Dresselhaus, 2008), και κατ' επέκταση είναι απαραίτητη για την ανθρώπινη ευημερία (Yilmaz & Ilbas, 2008). Συνεπώς οι ενεργειακοί πόροι είναι απαραίτητοι για την ικανοποίηση των ανθρώπινων αναγκών, τη βελτίωση της ποιότητας ζωής και τη βιομηχανική, οικονομική ανάπτυξη και κατ' επέκταση την κοινωνική ανάπτυξη (Dincer & Rosen, 2011).

Όσο περισσότερο χρησιμοποιούνται τα παραδοσιακά καύσιμα τόσο μεγαλύτερη είναι η ρύπανση που προστίθεται στο περιβάλλον και φτωχότερη είναι η ποιότητα της ζωής. Η μεγαλύτερη χρήση της πράσινης ενέργειας εξασφαλίζει μικρότερη εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και προλαμβάνει την υποβάθμιση του περιβάλλοντος κάτι το οποίο οδηγεί σε βελτίωση της ποιότητας ζωής των ανθρώπων (Jain, 2009). Συνεπώς ενθαρρύνεται η προσπάθεια για ανάπτυξη και χρησιμοποίηση νέων και περισσότερο φιλικών προς το περιβάλλον μορφών ενέργειας (Pilavachi, Chatzipanagi & Spyropoulou, 2009). Μια ερμηνεία του οράματος για ένα αειφόρο ενεργειακό σύστημα αποτελεί η οικονομία των εναλλακτικών καυσίμων (Balat, 2008). Η αξιοποίηση των εναλλακτικών καυσίμων μπορεί να μειώσει την εξάρτηση από τα καύσιμα με βάση το πετρέλαιο, το οποίο είναι ένα βήμα προς την κατεύθυνση της ενεργειακής ασφάλειας (Lilik et al., 2010), και να αποτελέσει μια βιώσιμη παροχή καθαρής και προσιτής ενέργειας, απαραίτητη για την κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη, την ανθρώπινη ευημερία και την ποιότητα ζωής (Dincer & Rosen, 2011).

2.2 Ιστορική αναδρομή

Κατά το μεγαλύτερο μέρος της ανθρώπινης ιστορίας, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούσαν την μόνη διαθέσιμη επιλογή ενέργειας. Μόνο κατά τη διάρκεια των τελευταίων αιώνων τα ορυκτά έχουν χρησιμοποιηθεί με ένα μη ανανεώσιμο τρόπο καταλαμβάνοντας την αγορά, επειδή φαίνονταν πολύ

φθηνότερα από ό, τι οι ανανεώσιμες πηγές. Ωστόσο, τα περιβαλλοντικά προβλήματα σε τοπικό όσο και σε παγκόσμιο μέγεθος γίνονται εμφανή, και τίθενται έτσι αμφισβητήσεις εάν τα ορυκτά καύσιμα είναι πράγματι φθηνότερα, δεδομένου τις έμμεσες δαπάνες που προκύπτουν (Sorensen, 1991).

Από την αρχή του πολιτισμού, οι άνθρωποι είχαν παλέψει για να βρουν και να αξιοποιήσουν τους ενεργειακούς πόρους προκειμένου να καλύψουν τις βασικές τους ανάγκες για τροφή, ζεστασιά, στέγη, και άλλες ανάγκες. Οι πηγές αυτές περιελάμβαναν τον ήλιο, τον άνεμο, το νερό, τους ανθρώπινους και ζωικούς μυς, το ξύλο, τα χόρτα, την κοπριά, τις γεωργικές καλλιέργειες, το ζωικό λίπος και τελικά τα ορυκτά καύσιμα. Η μετατόπιση μεταξύ των πηγών ενέργειας είναι φυσικό δεδομένου της έλλειψης των πόρων, τη διευκόλυνση και άνεση που παρέχουν οι νεότερες πηγές ενέργειας, η ρύπανση, η τεχνολογική καινοτομία, το κόστος, η ποιότητα της ενέργειας και η αποθήκευση. Με τους εν λόγω παράγοντες που εμφανίζονται στο σκηνικό, οι άνθρωποι δεν χρειάζεται να συνεχίσουν να χρησιμοποιούν μια συγκεκριμένη πηγή, εάν καλύτερες επιλογές είναι διαθέσιμες. Κατά το μεγαλύτερο μέρος της καταγεγραμμένης ιστορίας διάφορες μορφές ενέργειας από βιομάζα είχαν κυριαρχήσει, λόγω της αφθονίας και της ευκολίας χρήσης (Solomon & Krishna, 2011). Η βιομάζα αποτελεί τον απλό όρο για όλη την οργανική ύλη που προέρχεται από φυτικά και ζωικά υλικά όπως ξύλο από φυσικά δάση, απόβλητα από γεωργικές και δασολογικές διαδικασίες και βιομηχανικά, ανθρώπινα ή ζωικά απόβλητα (Demirbas, 2001).

Παράγοντες που μπορούν να υποκινήσουν τη μετάβαση της εξάρτησης από μία μεγάλη πηγή ενέργειας σε μια άλλη, είναι πρώτον η εξάντληση της τοπικής ή περιφερειακής προσφοράς, με συνεπαγόμενη έλλειψη, δεύτερον προτού ακόμα καταστεί προφανής η επίδραση της εξάντλησης, το κόστος μιας πηγής ενέργειας όπως είναι το ξύλο μπορεί να αυξηθεί ενώ το κόστος μιας διαφορετικής πηγής ενέργειας όπως ο άνθρακας μπορεί να μειωθεί, τρίτον, η ρύπανση του αέρα ή των υδάτων από τη χρήση της ενέργειας μπορεί να γίνει τόσο σοβαρή - μαζί με τις συνοδευτικές δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία - όπου μια εναλλακτική πηγή ενέργειας γίνεται όλο και πιο ελκυστική, τέταρτον, η τεχνολογική αλλαγή και η καινοτομία απαιτούν την εναλλαγή μεταξύ των πηγών ενέργειας, προκειμένου να επωφεληθούν από τη νέα τεχνολογία και τέλος οι υφιστάμενες οικονομικές δραστηριότητες επιταχύνουν τις μετατοπίσεις μεταξύ των πηγών ενέργειας (Solomon & Krishna, 2011).

Η ενεργειακή μετάβαση από το ξύλο στα ορυκτά καύσιμα οδηγήθηκε από την Βρετανική αστικοποίηση, το εμπόριο, τις τεχνολογικές καινοτομίες και την ανακάλυψη μεγάλων αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων. Η μετάβαση άρχισε στις αρχές της δεκαετίας του 1700 και σχεδόν δύο αιώνες αργότερα, στα τέλη του 19ου αιώνα, τα ορυκτά καύσιμα ξεπέρασαν την συνολική προσφορά των

καυσίμων βιομάζας αποκτώντας έτσι τον τίτλο της παγκόσμιας πρωτογενούς πηγής ενέργειας. Ωστόσο, η μετάβαση έγινε σε διαφορετικά ποσοστά ανά τομέα, με κύμανση από 80 έως 400 χρόνια. Τα υψηλά κόστη της εργασίας, η αυξημένη έλλειψη των περιφερειακών προμηθειών ξύλου, και η δυσκολία ναυτιλίας του ξύλου λόγω της χαμηλής πυκνότητας ενέργειας του, παρείχαν τις αρχικές ωθήσεις για την αργή και επίπονη μετάβαση που εμφανίστηκε ως η διαδικασία της εκβιομηχάνισης που λάμβανε χώρα στο Ηνωμένο Βασίλειο. Παράλληλα με την πρώτη βιομηχανική επανάσταση, το Ηνωμένο Βασίλειο ήταν η πρώτη περιοχή που αντικατέστησε το ξύλο με άνθρακα ως κύρια πηγή καυσίμων του. Πριν από τη Βιομηχανική Επανάσταση, η κίνηση εργασίας και η συγκομιδή της κινητικής ενέργειας του νερού και του ανέμου ήταν οι κύριες πηγές ενέργειας. Μέχρι το 11ο αιώνα, οι νερόμυλοι και οι ανεμόμυλοι γρήγορα διαδόθηκαν σε όλη την Αγγλία με τους νερόμυλους να αποτελούν εξέχουσα τεχνολογία (Solomon & Krishna, 2011).

Η Βιομηχανική Επανάσταση προέρχεται κατ'εξοχήν και αποφασιστικά από την ανάπτυξη και τη χρήση της ατμομηχανής. Οι αντλίες ατμού για πρώτη φορά αναπτύχθηκαν για την αύξηση της παραγωγής άνθρακα στα ορυχεία στα τέλη της δεκαετίας του 1600. Οι εν λόγω κινητήρες χρησιμοποιούσαν είτε ξύλο ή καύση άνθρακα για να μετατρέψουν τη χημική ενέργεια του καυσίμου σε μηχανική ενέργεια. Οι καινοτομίες στο σχεδιασμό του κινητήρα και εξόρυξης πόρων επέτρεψε την αύξηση της μηχανοποίησης της βιομηχανίας και της επανάστασης του τομέα των μεταφορών. Ο Thomas Savery το 1698 και ο Thomas Newcomen το 1712 ήταν μεταξύ των πρώτων που κατασκεύαζαν αντλίες ατμού που τροφοδοτούνταν από άνθρακα. Παρά το γεγονός ότι ο εν λόγω κινητήρας είχε πολύ χαμηλή αποδοτικότητα της μετατροπής, η πατέντα του κράτησε για 35 κερδοφόρα χρόνια. Η μεταγενέστερη ανάπτυξη της ατμομηχανής από τον James Watt από το 1763 μέχρι το 1775 ήταν πιο σημαντική κινητήριος δύναμη που οδήγησε στην μετάβαση στον άνθρακα ως κύρια πηγή καυσίμων σε διάφορους τομείς. Οι μεγαλύτερες μηχανές που είχαν σχεδιαστεί από το τέλος του 19ου αιώνα ήταν περίπου 30 φορές πιο ισχυρές και δέκα φορές πιο αποτελεσματικές από τις μηχανές που είχαν σχεδιαστεί στις αρχές της δεκαετίας του 1800. Η εκατονταπλάσια αύξηση των πιέσεων λειτουργίας ήταν η κύρια αιτία για την αύξηση των επιδόσεων. Αυτές οι εξελίξεις επέτρεψαν την ευρεία προσαρμογή σε πολλές χρήσεις μεταποίησης, κατασκευών και μεταφορών, με αποτέλεσμα η ατμομηχανή με τροφοδότηση από άνθρακα κατέστη η κινητήριος δύναμη της εκβιομηχάνισης του 19ου αιώνα (Solomon & Krishna, 2011).

Κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα, οι κινητήρες εσωτερικής καύσης αντικατέστησαν τις ατμομηχανές ως η πρωταρχική τεχνολογία μετατροπής της ενέργειας. Οι ατμομηχανές ήταν ογκώδεις σε μέγεθος, καθιστώντας τις ακατάλληλες για γρήγορη οδική μεταφορά. Η εμφάνιση των κινητήρων εσωτερικής

καύσης που τροφοδοτούνταν με υγρά καύσιμα άλλαξε το σκηνικό της αυτοκινητοβιομηχανίας, καθώς ξεπέρασε τις ελλείψεις και αδυναμίες των ατμομηχανών. Από τα τέλη του 19ου αιώνα, η πρόοδος στη μηχανική οδήγησε στην ευρεία υιοθέτηση μιας ποικιλίας εφαρμογών. Πολλά ιστορικά βιβλία επαινούν τον Gottlieb Daimler και τον Karl Benz για την συμβολή τους στην προέλευση των σύγχρονων αυτοκινήτων, επειδή εφεύραν τα πρώτα πρακτικά βενζινοκίνητα οχήματα που αποτέλεσαν την απαρχή στην εποχή των σύγχρονων αυτοκινήτων. Η πατέντα του Gottlieb Daimler κατοχυρώθηκε και αναγνωρίστηκε ως το πρωτότυπο του σύγχρονου βενζινοκινητήρα, ενώ ο Karl Benz σχεδίασε και κατασκεύασε το πρώτο πρακτικό αυτοκίνητο στον κόσμο με τροφοδότηση από έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης (Solomon & Krishna, 2011).

Η ανάπτυξη της αυτοκινητοβιομηχανίας και της βιομηχανίας πετρελαίου ενίσχυαν ο ένας τον άλλον. Σημαντικές ανακαλύψεις πετρελαίου σε παγκόσμιο επίπεδο οδήγησαν σε πλεόνασμα παραγωγής και μείωση των τιμών από τις αρχές του 20ου αιώνα. Περίπου την ίδια εποχή, ο Henry Ford και ο Alfred Sloan οδήγησαν την αυτοκινητοβιομηχανία στην εποχή της μαζικής παραγωγής. Αργότερα, τον 20ο αιώνα, ο Eiji Toyoda και ο Taiichi Ohno της εταιρείας Toyota Motor στην Ιαπωνία πρωτοπόρησαν την ιδέα της ορθολογικής παραγωγής, αυξάνοντας έτσι την οικονομική προσιτότητα και αποτελεσματικότητα του πετρελαίου ως καύσιμο αυτοκινήτων (Solomon & Krishna, 2011).

Το 1892, ο Rudolf Diesel κατοχύρωσε τον κινητήρα ντίζελ και μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1930 η τεχνολογία ντίζελ τερμάτισε τα 100 έτη της κυριαρχίας των ατμομηχανών για τους σιδηρόδρομους σε όλο τον κόσμο. Οι μηχανές ντίζελ παρείχαν μεγαλύτερη απόδοση καυσίμου και ανέξοδη συντήρηση σε σύγκριση με τις μηχανές ατμού. Ήταν επίσης πολύ πιο επιδεκτικές σε τεχνικές μαζικής παραγωγής, που επέτρεψαν περαιτέρω την ταχεία εμπορευματοποίηση. Ωστόσο, η επιτυχία των μηχανών εσωτερικής καύσης δεν τερμάτισε την εποχή του ατμού με καύση άνθρακα. Η ανάπτυξη γεννητριών τουρμπινών ατμού που παρήγαν ηλεκτρική ενέργεια εξασφάλισαν ότι ο άνθρακας θα παρέμενε μια σημαντική πηγή καυσίμου και μια κινητήριος δύναμη για βιομηχανικές εξελίξεις του 20ου και 21ου αιώνα. Παρόλα αυτά, η εξάρτηση των περισσότερων βιομηχανικών χωρών, από το πετρέλαιο αυξήθηκε σταθερά κατά τη διάρκεια των έπειτα αρκετών δεκαετιών. Αυτή ήταν ιδιαίτερα η περίπτωση για τα υγρά προϊόντα πετρελαίου σε πολλούς τομείς, αλλά κυρίως για τη μεταφορά, καθώς η αυξανόμενη διαθεσιμότητα και η ευκολία του πετρελαίου ήταν ασύγκριτη και προχώρησε αδιαμφισβήτητη μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1970 (Solomon & Krishna, 2011).

Αντιμετωπίζοντας την παγκόσμια κλιματική αλλαγή και την αυξανόμενη έλλειψη και κόστος του πετρελαίου, η παγκόσμια κοινότητα υποχρεούται να μεταβεί σε ένα βιώσιμο ενεργειακό σύστημα,

καθώς και σε μια καλύτερη διαχείριση της ενεργειακής ζήτησης και της προσφοράς. Οι διεθνείς συμφωνίες όπως το Πρωτόκολλο του Κιότο του 1997 απαιτούν την τοποθέτηση τιμής στο διοξείδιο του άνθρακα και άλλων αερίων του θερμοκηπίου, βάζοντας ένα ασφάλιστρο για τις πηγές ενέργειας με χαμηλές εκπομπές των μη αερίων του θερμοκηπίου. Αυτό θα απαιτήσει κάποιο συνδυασμό της ενεργειακής αποδοτικότητας, της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της δέσμευσης και απομόνωσης του άνθρακα (Solomon & Krishna, 2011).

Η τεχνολογική αλλαγή είναι ευρέως αναγνωρισμένη ως η κύρια κινητήριος δύναμη της μακροπρόθεσμης οικονομικής ανάπτυξης και της ανάπτυξης εν γένει, καθώς οι τεχνολογικές και κοινωνικές αλλαγές, συν-εξελίσσονται. Η αλλαγή σε αυτές τις διαφορετικές αρένες είναι αλληλένδετες, με αμοιβαία ενίσχυση και αμοιβαία απόσβεση. Οι μελετητές αναφέρουν και συμφωνούν στη σημασία των τεχνολογικών αλλαγών των ιστορικών μεταβάσεων ενέργειας. Η αυξημένη παγκόσμια χρήση της ενέργειας αποτελεί την πρώτη σημαντική μετάβαση ενέργειας, τη μετάβαση προς την αφθονία με επακόλουθες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Όπως η μετάβαση στην ποσότητα της χρησιμοποιούμενης ενέργειας συνδεόταν σε μεγάλο βαθμό από την τεχνολογική αλλαγή έτσι και η μελλοντική μετάβαση στη βιώσιμη ενέργεια, θα απαιτήσει καινοτομία και τεχνολογική αλλαγή σε όλες τις περιοχές, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες (Wilson & Grubler, 2011).

2.3 Θεωρητικό πλαίσιο

Η ανάπτυξη της παγκόσμιας επιστημονικής και τεχνολογικής προόδου σε συνδυασμό με την αύξηση του πληθυσμού και την βελτίωση του επιπέδου ζωής των πολιτών έχουν οδηγήσει σε μια απότομη αύξηση της κατανάλωσης των ενεργειακών πόρων (Sinyak & Kolpakov, 2012). Αρχικά η ζήτηση ενέργειας καλυπτόταν από τη χρήση των ορυκτών καυσίμων αλλά τώρα είναι γεγονός ότι η υπερβολική χρήση τους αναπόφευκτα οδήγησε σε εξάντληση των πόρων αυτών (Pilavachi, Chatzipanagi & Spyropoulou, 2009). Αυτό αφορά πρωτίστως το πετρέλαιο του οποίου η εντατική χρήση του κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα αναπόφευκτα σήμαινε την εξάντληση αυτού του φυσικού πλούτου (Sinyak & Kolpakov, 2012). Ο υφιστάμενος τρόπος με τον οποίο χρησιμοποιούνται οι ενεργειακοί πόροι, θεωρείται ότι είναι μη βιώσιμος (Dincer & Rosen, 2011), καθώς η παρούσα εξάρτηση από την ενέργεια των ορυκτών καυσίμων οδηγεί σε ρύπανση του περιβάλλοντος η οποία απειλεί την ανθρώπινη υγεία, και σε εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που επιταχύνουν την υπερθέρμανση του πλανήτη (Crabtree & Dresselhaus, 2008).

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που επιφέρουν τα ορυκτά καύσιμα κατά τη κατανάλωση τους είναι ένα πρόβλημα που δεν μπορεί να αγνοηθεί (Pilavachi, Chatzipanagi & Spyropoulou, 2009). Το διοξείδιο

του άνθρακα που παράγεται από την καύση υδρογονανθράκων είναι ένα σημαντικό συστατικό των αερίων του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις, η συνέχιση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων στα σημερινά επίπεδα θα οδηγήσει σε μια αναπόφευκτη αύξηση στη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Ως αποτέλεσμα, αναμένονται μεγάλης κλίμακας κλιματικές αλλαγές στον πλανήτη, οι οποίες θα συνοδεύονται από ανεπανόρθωτες βλάβες στη βίωση και την ανθρωπότητα, καθώς η καύση των παραδοσιακών καυσίμων συνοδεύεται από μεγάλες ποσότητες επιβλαβών εκπομπών επικίνδυνων για την ανθρώπινη υγεία (Sinyak & Kolpakov, 2012).

Η πρόσφατη απότομη αύξηση της τιμής του πετρελαίου στέλνει ένα ισχυρό μήνυμα ότι οι πόροι των ορυκτών καυσίμων περιορίζονται (Nowotny, Veziroglu, 2011). Η δραματική αύξηση της τιμής του πετρελαίου, ο πεπερασμένος χαρακτήρας των ορυκτών καυσίμων, οι αυξημένες ανησυχίες σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ιδίως όσον αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, καθώς και την υγεία και την ενεργειακή ασφάλεια αναγκάζουν την αναζήτηση νέων πηγών ενέργειας (Balat & Balat, 2009). Η ενεργειακή ασφάλεια αναφέρεται στην εξάρτηση από λιγότερες εισαγωγές καυσίμων θεωρώντας ότι τα εναλλακτικά καύσιμα βασίζονται σε τοπικές πρώτες ύλες (Tsita & Pilavachi, 2012). Οι ανησυχίες για την κλιματική αλλαγή, την ποιότητα του αέρα, και την εξάντληση των ορυκτών πόρων, εγείρουν νέες προτεραιότητες για το υφιστάμενο σύστημα ενέργειας. Χρειάζονται ριζικές και συστηματικές καινοτομίες για την μετάβαση από το υφιστάμενο σύστημα ενέργειας προς ένα πιο αειφόρο σύστημα (Budde, Alkemade & Weber, 2012). Η αειφόρος ενέργεια θεωρείται βασική προϋπόθεση για την αειφόρο ανάπτυξη (Dincer & Rosen, 2011). Η πρόκληση που τίθεται είναι η αναζήτηση αποτελεσματικών τρόπων παραγωγής και χρήσης της ενέργειας που να ενισχύουν την ποιότητα της ζωής, χωρίς να απειλούν το περιβάλλον και το κλίμα (Crabtree & Dresselhaus, 2008).

Η ενεργειακή και περιβαλλοντική ασφάλεια αποτελούν σημαντικά προβλήματα που αντιμετωπίζει η παγκόσμια οικονομία. Τα ορυκτά καύσιμα, κυρίως το αργό πετρέλαιο, περιορίζονται σε λίγες περιοχές του κόσμου και η συνέχεια του εφοδιασμού διέπεται από δυναμικούς πολιτικούς, οικονομικούς και οικολογικούς παράγοντες. Ο στόχος πρέπει να είναι η επίτευξη υψηλότερης ενεργειακής απόδοσης και αύξηση του εφοδιασμού από τις τοπικές πηγές ενέργειας, ιδίως τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Sheffield, 2007). Επιλύοντας τα προβλήματα εφοδιασμού ενέργειας σήμερα, θα εξασφαλίσει τη σταθερότητα του κάθε έθνους αύριο (Jain, 2009).

Το Πρωτόκολλο του Κιότο στη Σύμβαση Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC), συμφώνησε το Δεκέμβριο του 1997, να σηματοδοτήσει μια σημαντική καμπή στις προσπάθειες για την προώθηση της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο,

και οι ανεπτυγμένες χώρες όπως μειώσουν τις καθαρές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Ένας σημαντικός λόγος για το ενδιαφέρον στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η ανησυχία για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η ανάπτυξη της οικονομίας των εναλλακτικών καυσίμων μπορεί να λειτουργήσει για να εκπληρώσει αυτή τη δέσμευση (Balat, 2005). Τα εναλλακτικά καύσιμα δύναται να συμβάλουν στην εκπλήρωση των απαιτούμενων μέτρων για την εξοικονόμηση ενέργειας (Ramesohl & Merten, 2006).

2.4 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση περιγράφει και παρουσιάζει συνοπτικά την υπάρχουσα γνώση και τις υφιστάμενες ιδέες που αφορούν το υπό εξέταση γνωστικό αντικείμενο (Rowley & Slack, 2004). Είναι μια ενημερωτική, κριτική και χρήσιμη σύνθεση ενός συγκεκριμένου θέματος (Bolderston, 2008). Ειδικότερα εντοπίζει, οργανώνει και συγκεντρώνει τις κοινές έννοιες που συναντώνται και υποστηρίζονται στη βιβλιογραφία, σε θεματικές ενότητες – άξονες (Rowley & Slack, 2004). Αποτελεί ένα έργο σύνθεσης καθώς παρουσιάζονται συνοπτικά τα ευρήματα ή οι ισχυρισμοί που έχουν προκύψει από προηγούμενες ερευνητικές προσπάθειες σχετικά με ένα θέμα με στόχο να εξακριβωθεί η σημερινή υφιστάμενη κατάσταση για ένα συγκεκριμένο θέμα. Η γνώση, σε αυτό το πλαίσιο, δεν σημαίνει κατ' ανάγκην την "αλήθεια" με κεφαλαίο Α. Αντίθετα, η γνώση αναφέρεται σε πεποιθήσεις, κυρίως πεποιθήσεις ορισμένων ατόμων που έχουν ένα βαθμό εμπιστοσύνης λόγω σπουδών ή εμπειρίας (Knopf, 2006). Τα τελικά σημεία της βιβλιογραφικής έρευνας οδηγούν ομαλά σε προτάσεις για περαιτέρω έρευνα. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση διαδραματίζει σημαντικό ρόλο καθώς στηρίζει την αναγνώριση του ερευνητικού θέματος, ερώτησης ή υπόθεσης. Ανάμεσα στις πηγές πληροφοριών που δύναται να χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό της έρευνας είναι τα άρθρα σε επιστημονικά και ερευνητικά περιοδικά, τα οποία θα πρέπει να αποτελούν τον πυρήνα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης (Rowley & Slack, 2004). Μια πλήρης και εξονυχιστική αξιολόγηση της υπάρχουσας έρευνας συχνά οδηγεί σε νέες γνώσεις και αντιλήψεις με την σύνθεση προηγούμενων ασύνδετων ιδεών (Hart, 2001). Η βιβλιογραφική ανασκόπηση συνδυάζει τα αποτελέσματα πολλών διαφορετικών μελετών και αυτό τους δίνει ισχύ και αξία που καμία μεμονωμένη μελέτη μπορεί να έχει καθώς η άντληση πληροφοριών από μελέτες που χρησιμοποίησαν όλες διαφορετικές μεθόδους και μέτρα, δύναται να δικαιολογήσει ένα ολοκληρωμένο και τεκμηριωμένο συμπέρασμα (Baumeister, 2013).

2.4.1 Υδρογόνο

Το υδρογόνο ήταν το πρώτο στοιχείο που είχε ανακαλυφθεί και τοποθετηθεί στον περιοδικό πίνακα με περιοδικό σύμβολο Η. Αποτελεί το απλούστερο στοιχείο καθώς το άτομο του έχει μόνο ένα ηλεκτρόνιο

το οποίο περιστρέφεται γύρω από τον πυρήνα. Στην αέρια του μορφή αποτελεί το ελαφρύτερο αέριο που έχει ανακαλυφθεί ποτέ. Δεν έχει χρώμα, οσμή και γεύση. Το άτομο του υδρογόνου είναι τόσο απλό και μικρό, που είναι δύσκολο να πιστέψει κανείς ότι το υδρογόνο είναι η πιο σημαντική και άφθονη ουσία στον σύμπαν (What is Hydrogen?).

Η χρήση του υδρογόνου ως πηγή ενέργειας δύναται να οδηγήσει σε ένα βιώσιμο ενεργειακό σύστημα. Η ελκυστικότητα του υδρογόνου έγκειται στην ποικιλία των μεθόδων παραγωγής του καθώς και στην μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα ορισμένων από αυτών των μεθόδων, στην ποικιλία των μεθόδων παραγωγής ενέργειας από το υδρογόνο, τις σχεδόν μηδέν επιβλαβής εκπομπές και την δυνητικά υψηλή απόδοση στο σημείο της χρήσης του. Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει το υδρογόνο είναι αρκετά σημαντικά ώστε να δικαιολογούν την εξερεύνηση των δυνατοτήτων του (Verhelst & Wallner, 2009).

☞ Τεχνολογίες παραγωγής

Το υδρογόνο δεν υπάρχει μόνο του στη φύση (Baru, Karthikeyan & Reddy, 2011) αλλά βρίσκεται άφθονο σε πολλές ενώσεις. Η πλέον άφθονη πρώτη ύλη που περιέχει υδρογόνο είναι το νερό. Το υδρογόνο συναντάται επίσης στο φυσικό αέριο, το πετρέλαιο, και τη βιομάζα (Nowotny, Veziroglu, 2011). Ως εκ τούτου το υδρογόνο μπορεί να παραχθεί με την εφαρμογή διάφορων διεργασιών στα εν λόγω υποστρώματα (νερό, βιομάζα, ορυκτά καύσιμα) (Balat, 2008 ; Baru, Karthikeyan & Reddy, 2011).

Ειδικότερα το υδρογόνο μπορεί να παραχθεί μέσω εφαρμογής θερμοχημικών ή ηλεκτρολυτικών διεργασιών στο νερό, τη βιομάζα και τα ορυκτά καύσιμα. Οι θερμοχημικές διεργασίες για την παραγωγή υδρογόνου περιλαμβάνουν θερμικές και χημικές αντιδράσεις που απελευθερώνουν υδρογόνο (Balat, 2008). Η διάσπαση του νερού μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις κατηγορίες: ηλεκτρόλυση, θερμόλυση, και φωτοηλεκτρόλυση (Holladay, Hu, King & Wang, 2009). Ο Michael Faraday (1791-1867), ένας εξαιρετικός ερευνητής, ήταν ο πρώτος άνθρωπος που ανακάλυψε τον τρόπο διάσπασης του νερού, διαπιστώνοντας ότι το υγρό αυτό αποτελείται από δύο αέρια, το οξυγόνο και το υδρογόνο (Bockris, 2011). Η παραγωγή υδρογόνου από το νερό επιτυγχάνεται με την διεργασία ηλεκτρόλυσης του νερού. Κατά την εν λόγω διεργασία το νερό διαχωρίζεται σε οξυγόνο και υδρογόνο με τη βοήθεια διερχόμενου συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο οδηγεί σε ηλεκτροχημικές αντιδράσεις (Dincer, 2012). Η διαδικασία της ηλεκτρόλυσης είναι ουσιαστικά η μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας προς χημική ενέργεια, με τη μορφή του υδρογόνου, με οξυγόνο σαν ένα χρήσιμο υποπροϊόν (Holladay, Hu, King & Wang, 2009).

Η διεργασία της θερμόλυσης αφορά την θερμοχημική διάσπαση του νερού και χρησιμοποιείται μόνο θερμότητα για να αποσυνθέσει το νερό σε υδρογόνο και οξυγόνο. Είναι καλά γνωστό ότι το νερό αποσυνθέτει στους 2500°C, αλλά τα υλικά σταθεροποιούνται σε αυτή θερμοκρασία και επίσης οι βιώσιμες πηγές θερμότητας δεν είναι εύκολα διαθέσιμες. Επιπλέον, η εν λόγω διεργασία απαιτεί μεγάλα αποθέματα άκρως επικίνδυνων διαβρωτικών υλικών. Ο συνδυασμός των υψηλών θερμοκρασιών, των υψηλών πιέσεων, και της διάβρωσης οδηγεί στην ανάγκη για εύρεση νέων υλικών (Holladay, Hu, King & Wang, 2009).

Η διεργασία της φωτοηλεκτρόλυσης χρησιμοποιεί ηλιακό φως για να αποσυνθέσει άμεσα το νερό σε υδρογόνο και οξυγόνο, και χρησιμοποιεί υλικά ημιαγωγούς παρόμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά συστήματα. Η αποτελεσματικότητα της παραγωγής υδρογόνου περιορίζεται γενικά από ατέλειες στη δομή, τον όγκο και τις ιδιότητες της επιφάνειας των φωτοηλεκτροδίων, την αντίσταση του υλικού στη διάβρωση από τους υδατικούς ηλεκτρολύτες, και την ικανότητα να οδηγεί τις αντιδράσεις αποσύνθεσης νερού (Holladay, Hu, King & Wang, 2009).

Η βιομάζα είναι διαθέσιμη από ένα ευρύ φάσμα πηγών όπως τα ζωικά απόβλητα, τα αστικά στερεά απόβλητα, τα υπολείμματα καλλιεργειών, τα γεωργικά απόβλητα, το πριονίδι, τα υδρόβια φυτά, τα απορρίμματα χαρτιού, καλαμπόκι, και πολλά άλλα (Holladay, Hu, King & Wang, 2009). Οι διαθέσιμες μέθοδοι για την παραγωγή υδρογόνου από βιομάζα μπορούν να διακριθούν σε δύο κύριες κατηγορίες, την θερμοχημική και την βιολογική (McKendry, 2002). Οι διεργασίες θερμο-χημικής μετατροπής περιλαμβάνουν την πυρόλυση, αεριοποίηση, αεριοποίηση με ατμό, αναμόρφωση ατμού (Balat & Balat, 2009).

Με εφαρμογή θερμότητας σε στερεά αστικά απόβλητα, βιομάζα από ξύλο, χόρτα και γεωργικά απόβλητα λαμβάνεται υδρογόνο μαζί με διάφορα αέρια, η σύνθεση των οποίων εξαρτάται από τον τύπο της πρώτης ύλης, τη διαθεσιμότητα του οξυγόνου, τη θερμοκρασία της αντίδρασης και άλλες παραμέτρους. Μία εναλλακτική μέθοδος παραγωγής υδρογόνου από βιομάζα είναι ο συνδυασμός της πυρόλυσης και της διαδικασίας αναμόρφωσης του ατμού. Πρώτο βήμα στην πυρόλυση είναι η χρήση θερμότητας για το διαχωρισμό των σύνθετων μορίων σε απλές μονάδες. Οι προκύπτοντες αντιδραστικοί ατμοί πρέπει στη συνέχεια να μετατραπούν σε υδρογόνο (Bapu, Karthikeyan & Reddy, 2011).

Η τεχνολογία αεριοποίησης της βιομάζας αποτελεί μια πολύ ώριμη τεχνολογία και χρησιμοποιείται στο εμπόριο σε πολλές διαδικασίες. Είναι μια παραλλαγή της πυρόλυσης και, συνεπώς, βασίζεται στην

μερική οξείδωση των υλικών προς ένα μίγμα υδρογόνου, μεθανίου, μονοξειδίου του άνθρακα και αζώτου (Holladay, Hu, King & Wang, 2009). Οι τεχνολογίες αεριοποίησης παρέχουν τη δυνατότητα μετατροπής των ανανεώσιμων πρώτων υλών της βιομάζας σε καθαρά αέρια καύσιμα (Balat & Balat, 2009).

Τα κύρια πλεονεκτήματα των διεργασιών επεξεργασίας της βιομάζας σε υδρογόνο περιλαμβάνουν τα εξής: η χρήση της βιομάζας μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, η μετατροπή των υπολειμμάτων των καλλιεργειών αυξάνει την αξία της γεωργικής παραγωγής, τα ορυκτά καύσιμα αντικαθίστανται με βιώσιμα καύσιμα από βιομάζα, και εξαλείφονται τα κόστη για την απαλλαγή των αστικών στερεών αποβλήτων. Οι περιορισμοί των διεργασιών επεξεργασίας της βιομάζας σε υδρογόνο αφορούν την εποχιακή διαθεσιμότητα βιομάζας και το υψηλό κόστος διαχείρισης, την ενδεχόμενη μη συνολική μετατροπή στερεών (σχηματισμός απανθρακωμένων) και παραγωγή πίσσας (Balat, 2010).

Η παραγωγή του βιολογικού υδρογόνου με αναερόβια ζύμωση από ανανεώσιμες πηγές οργανικών αποβλήτων έχει αποδειχτεί να είναι μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος για την ανάκτηση της βιο-ενέργειας. Ειδικότερα η παραγωγή του βιολογικού υδρογόνου περιλαμβάνει την αναερόβια ζύμωση από ανανεώσιμες πηγές οργανικών αποβλήτων (Balat, 2008). Η μετατροπή οργανικού υποστρώματος σε βιο-υδρογόνο γίνεται από διαφορετικές ομάδες βακτηρίων με τη χρήση πολυ-ενζυμικών συστημάτων. Οι διαδικασίες της βιολογικής παραγωγής υδρογόνου (βιο-υδρογόνου) δύναται να λειτουργήσουν σε θερμοκρασίες και πιέσεις περιβάλλοντος (Balat & Balat, 2009).

Λόγω της αυξημένης προσοχής που δίνεται στην αειφόρο ανάπτυξη και στην ελαχιστοποίηση των αποβλήτων, η έρευνα για το βιολογικό υδρογόνο έχει ουσιαστικά αυξηθεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων αρκετών ετών. Ανάμεσα στις κύριες τεχνολογίες βιολογικών διεργασιών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιο-υδρογόνου περιλαμβάνονται η φωτολυτική παραγωγή υδρογόνου από το νερό, με πράσινα φύκια ή κυανοβακτήρια (άμεση φωτόλυση) και η σκοτεινή ζύμωση για παραγωγή υδρογόνου κατά τη διάρκεια της φάσης της αναερόβιας χώνευσης του οργανικού υλικού. Οι πρώτες ύλες για την παραγωγή του βιολογικού υδρογόνου είναι το νερό, για τις διαδικασίες φωτόλυσης και βιομάζα, για τις διεργασίες ζύμωσης (Holladay, Hu, King & Wang, 2009).

Η φωτοσύνθεση χρησιμοποιεί ηλιακή ενέργεια για την μετατροπή του διοξειδίου του άνθρακα και του νερού σε υδατάνθρακες και οξυγόνο. Σε ορισμένους οργανισμούς, η υπερβολική ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται με την παραγωγή του υδρογόνου μέσω της άμεσης φωτόλυσης του νερού (Holladay, Hu, King & Wang, 2009).

Η σκοτεινή ζύμωση χρησιμοποιεί κατά κύριο λόγο αναερόβια βακτήρια, σε υποστρώματα πλούσια σε υδατάνθρακες, τα οποία καλλιεργούνται στο σκοτάδι. Για τις διεργασίες ζύμωσης, η βιομάζα που χρησιμοποιείται πρέπει να είναι βιο-αποικοδομήσιμη, διαθέσιμη σε μεγάλες ποσότητες, ανέξοδη, με υψηλή περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες. Το παραγόμενο αέριο είναι ένα μίγμα υδρογόνου, διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, μονοξείδιο του άνθρακα, και μερικό θειούχο υδρογόνο. Επομένως απαιτείται ένα βήμα διαχωρισμού για την παραγωγή υψηλής καθαρότητας υδρογόνου (Holladay, Hu, King & Wang, 2009).

Το υδρογόνο μπορεί επίσης να παραχθεί από τα ορυκτά καύσιμα (Dincer, 2012). Ο στόχος της διαδικασίας είναι ο διαχωρισμός του υδρογόνου από τον άνθρακα που περιέχεται στο καύσιμο. Κατά το πρώτο στάδιο, το καύσιμο διασπάται προς υδρογόνο και μονοξείδιο του άνθρακα με τη βοήθεια ατμού σε καταλυτικές επιφάνειες. Στο δεύτερο στάδιο το μονοξείδιο του άνθρακα και το νερό μετατρέπονται σε υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα (Baru, Karthikeyan & Reddy, 2011). Όταν το υδρογόνο εξάγεται από τους ορυκτούς υδρογονάνθρακες, πρέπει όλο το διοξείδιο του άνθρακα να υποβάλλεται σε επεξεργασία έτσι ώστε κανένα από τα αέρια του θερμοκηπίου ή άλλοι ρύποι να μην εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα. Τέτοιες διαδικασίες εξαγωγής του υδρογόνου καλούνται "πράσινες" (Dincer, 2012).

Οι τεχνολογίες επεξεργασίας καυσίμων μετατρέπουν το υλικό που περιέχει το υδρογόνο σε ένα πλούσιο ρεύμα υδρογόνου. Η επεξεργασία του καυσίμου του μεθανίου (φυσικό αέριο) είναι η πιο κοινή μέθοδος παραγωγής υδρογόνου σε εμπορική χρήση σήμερα. Υπάρχουν τρεις κύριες τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή υδρογόνου από καύσιμα των υδρογονανθράκων. Αυτές περιλαμβάνουν την αναμόρφωση ατμού, την μερική οξειδωση, και την αυτοθερμική αναμόρφωση (Holladay, Hu, King & Wang, 2009).

Κατά την αναμόρφωση του φυσικού αερίου με ατμό παράγεται ένα αέριο πλούσιο σε υδρογόνο, μαζί με μικρότερες ποσότητες μεθανίου (2-6%), μονοξειδίου του άνθρακα (7 -10%), και διοξειδίου του άνθρακα (6-14%). Η εν λόγω διαδικασία είναι μια διεργασία τριών σταδίων. Αρχικά το μεθάνιο καταλυτικά υφίσταται αναμόρφωση σε ανυψωμένη θερμοκρασία και πίεση για να παραχθεί ένα μίγμα υδρογόνου και μονοξειδίου του άνθρακα. Στη συνέχεια διεξάγεται μία καταλυτική αντίδραση μετατόπισης για να συνδυάσει το μονοξείδιο του άνθρακα και το νερό για να παραχθεί το προϊόν υδρογόνου. Το προϊόν του υδρογόνου στη συνέχεια καθαρίζεται με προσρόφηση. Η θετική μεταβολή της ενθαλπίας υποδεικνύει ότι αυτή η αντίδραση είναι ενδόθερμη (Balat, 2008). Η αναμόρφωση ατμού δεν απαιτεί οξυγόνο, έχει χαμηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας από ό, τι η μερική οξειδωση και η αυτοθερμική αναμόρφωση, και παράγει το αναμορφωμένο προϊόν με μεγάλη αναλογία

υδρογόνου/μονοξειδίου του άνθρακα (3:1), η οποία είναι ευεργετική για την παραγωγή υδρογόνου (Holladay, Hu, King & Wang, 2009).

Η μερική οξείδωση μετατρέπει τους υδρογονάνθρακες σε υδρογόνο με μερική οξείδωση (καύση) του υδρογονάνθρακα με οξυγόνο. Δεν απαιτείται καταλύτης για τη λειτουργία, έχει ελάχιστη ολίσθηση μεθανίου, και είναι περισσότερο ανεκτική σε θείο (που ενδέχεται να περιέχει ο υδρογονάνθρακας) από τις άλλες διεργασίες. Η διαδικασία λαμβάνει χώρα σε υψηλές θερμοκρασίες με κάποιο σχηματισμό αιθάλης (Holladay, Hu, King & Wang, 2009). Στο σύστημα της μερικής οξείδωσης μπορεί να προστεθούν καταλύτες για να μειώσουν τις θερμοκρασίες λειτουργίας. Ωστόσο, αποδεικνύεται δύσκολο να ελεγχθεί θερμοκρασία λόγω της εξώθερμης φύσης των αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα (Holladay, Hu, King & Wang, 2009).

Η αυτοθερμική αναμόρφωση είναι ένας συνδυασμός της αναμόρφωσης ατμού και της μερικής οξείδωσης (Balat, 2008). Χρησιμοποιεί τη μερική οξείδωση για να παρέχει τη θερμότητα, και την αναμόρφωση ατμού για να αυξηθεί η παραγωγή υδρογόνου με αποτέλεσμα μια θερμικά ουδέτερη διαδικασία. Ωστόσο, απαιτεί μια ακριβή και πολύπλοκη μονάδα διαχωρισμού του οξυγόνου (Holladay, Hu, King & Wang, 2009). Η διεργασία της αναμόρφωσης ατμού είναι τυπικά η προτιμώμενη μέθοδος για την παραγωγή υδρογόνου στη βιομηχανία (Holladay, Hu, King & Wang, 2009).

Η πυρόλυση είναι μια άλλη τεχνολογία που παράγει υδρογόνο, όπου ο υδρογονάνθρακας αποσυντίθεται (χωρίς νερό ή οξυγόνο παρόν) σε υδρογόνο και άνθρακα. Η πυρόλυση μπορεί να γίνει με οποιαδήποτε οργανικό υλικό. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει νερό ή αέρας, δεν σχηματίζονται οξείδια του άνθρακα (μονοξείδιο ή διοξείδιο), εξαλείφοντας έτσι την ανάγκη για δευτερογενείς αντιδραστήρες (Holladay, Hu, King & Wang, 2009).

☞ Τεχνολογίες μετατροπής

Η ανάπτυξη των τεχνολογιών του υδρογόνου και η εφαρμογή της οικονομίας του υδρογόνου είναι συντονισμένη σε διεθνές επίπεδο από τη Διεθνή Σύμπραξη για την Οικονομία του Υδρογόνου (Nowotny & Veziroglu, 2011). Οι δύο κύριοι τύποι τεχνολογίας που μετατρέπουν το υδρογόνο σε ενέργεια είναι οι μηχανές/κινητήρες εσωτερικής καύσης και τα συστήματα κυψελών καυσίμου (Schulte, Hart & Vorst, 2004).

Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης που τροφοδοτείται με υδρογόνο, παράγει ηλεκτρική ενέργεια με δυναμικό απόδοσης 60%, ποσοστό το οποίο είναι μεγαλύτερο σε σύγκριση με τους βενζινοκινητήρες

(Crabtree & Dresselhaus, 2008). Το μόνο παραπροϊόν αυτής της διαδικασίας είναι το νερό και δεν υπάρχουν εκπομπές οξειδίων του αζώτου και μονοξειδίου του άνθρακα, διότι το υδρογόνο δεν καίγεται στον αέρα (Baru, Karthikeyan & Reddy, 2011). Οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα, οι οποίες απορρέουν από την ηλεκτροχημική μετατροπή, είναι σχετικά χαμηλές, λόγω της υψηλής απόδοσης, και είναι σε συμπτυκνωμένη μορφή, διευκολύνοντας τη συλλογή τους (Dincer, 2008).

Οι κινητήρες εσωτερικής καύσης που τροφοδοτούνται με υδρογόνο λειτουργούν με σχεδόν μηδενικές εκπομπές (White, Steeper, & Lutz, 2006), λόγω της απουσίας του άνθρακα στο εν λόγω καύσιμο, και οι εκπομπές θεωρητικά περιορίζονται σε οξείδια του αζώτου (Verhelst & Wallner, 2009), τα οποία μπορούν να συλλέγονται και να αποφεύγεται έτσι η εκπομπή τους στην ατμόσφαιρα (White, Steeper, & Lutz, 2006). Το μονοξείδιο του άνθρακα, ο υδρογονάνθρακας, καθώς και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα αναμένεται να είναι σχεδόν μηδέν. Οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου των κινητήρων υδρογόνου εξαρτώνται ιδιαίτερα από το φορτίο του κινητήρα και την αναλογία αέρα προς καύσιμο και ως εκ τούτου υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για τη μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου (Verhelst & Wallner, 2009).

Ο χαμηλός βαθμός μετατροπής των καυσίμων αποτελεί πρόβλημα με τους κινητήρες που τροφοδοτούνται με αέρια καύσιμα. Η χαμηλή απόσταση σβέσης του υδρογόνου προσφέρει βελτίωση σε αυτό το θέμα. Οι φλόγες του υδρογόνου μπορούν εύκολα να διεισδύσουν σε δύσκολες ζώνες του θαλάμου και να προσεγγίσουν τα άκαυστα μείγματα σε σύγκριση με τις φλόγες των ορυκτών καυσίμων. Ως εκ τούτου οι κινητήρες που τροφοδοτούνται με υδρογόνο καθίστανται πιο αποτελεσματικοί από τους κινητήρες βενζίνης (Baru, Karthikeyan & Reddy, 2011).

Οι μοναδικές ιδιότητες του υδρογόνου σε σύγκριση με τα συμβατικά υγρά και αέρια καύσιμα το καθιστούν ένα πολλά υποσχόμενο καύσιμο για εφαρμογή στις μηχανές εσωτερικής καύσης (Verhelst & Wallner, 2009). Σήμερα, η υποδομή και οι τεχνολογικές εξελίξεις σε θέματα των κινητήρων καθίστανται χρήσιμα για την εισαγωγή του υδρογόνου ως καύσιμο (Soberanis & Fernandez, 2010). Οι κινητήρες εσωτερικής καύσης με βάση το υδρογόνο προσφέρουν την δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν οι υφιστάμενες υποδομές κατασκευής που έχουν ήδη αναπτυχθεί για τους συμβατικούς κινητήρες εσωτερικής καύσης (White, Steeper, & Lutz, 2006). Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης που τροφοδοτείται με υδρογόνο δύναται να λειτουργήσει ως μια μεταβατική τεχνολογία προς μια ευρέως διαδεδομένη υποδομή υδρογόνου (Verhelst & Wallner, 2009). Η χρήση του υδρογόνου στις μηχανές εσωτερικής καύσης μπορεί να είναι μέρος μιας ολοκληρωμένης λύσης στο πρόβλημα της εξάντλησης των ορυκτών καυσίμων και της ρύπανσης του περιβάλλοντος (White, Steeper, & Lutz, 2006).

Στις αρχές του 21ου αιώνα, εμφανίζεται η τεχνολογία των κυψελών καυσίμου έτοιμη να καλύψει τις ανάγκες ισχύος μιας ποικιλίας εφαρμογών. Οι κυψέλες καυσίμου είναι ηλεκτροχημικές συσκευές που μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια. Το ρεύμα που προκύπτει από τη μετατροπή των πρωτογενών πηγών ενέργειας μπορεί εύκολα να μεταφερθεί και να παραδοθεί στους τελικούς χρήστες. Το υδρογόνο είναι ένα καθαρό καύσιμο και αποτελεσματικό μέσο ενέργειας για τις κυψέλες καυσίμου (Baru, Karthikeyan & Reddy, 2011). Η τεχνολογία των κυψελών καυσίμου συνιστά μια ελκυστική εναλλακτική λύση της καύσης των ορυκτών καυσίμων καθώς μετατρέπουν το υδρογόνο και το οξυγόνο σε ηλεκτρική ενέργεια και νερό με αποτελεσματικότητα, ευελιξία, και σεβασμό και φιλικότητα προς το περιβάλλον. Αυτή η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα ή να μετατραπεί σε κίνηση, φως, ή θερμότητα (Crabtree & Dresselhaus, 2008). Η τεχνολογία κυψελών καυσίμου είναι καθαρή, ήσυχη, ευέλικτη, δεν καίει ορυκτά καύσιμα, και συνεπώς είναι γνωστή ως παραγωγός καθαρής ενέργειας. Παρ'όλα αυτά, ο όγκος παραγωγής είναι χαμηλός και το κόστος είναι πάρα πολύ υψηλό (Dincer, 2008).

Οι εν λόγω δύο κύριες τεχνολογίες μετατροπής του υδρογόνου παράγουν νερό ως αποκλειστικό παραπροϊόν τους όταν χρησιμοποιούν υδρογόνο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με κάποιες μικρές εκπομπές οξειδίων του αζώτου (Schulte, Hart & Vorst, 2004). Ωστόσο διαφέρουν στο ότι οι κινητήρες εσωτερικής καύσης που λειτουργούν με υδρογόνο, έχουν το πλεονέκτημα ότι λειτουργούν με καλά γνωστή και καθιερωμένη τεχνολογία. Οι κατασκευαστές, οι ομάδες εξυπηρέτησης και οι ίδιοι οι πελάτες θα είναι σε θέση να στηριχθούν στην πείρα που έχει συσσωρευτεί κατά τις τελευταίες δεκαετίες. Η τεχνολογία κυψελών καυσίμου, από την άλλη πλευρά δεν μπορεί να προσφέρει τόσο εκτεταμένη εμπειρία. Αυτό όμως ενδέχεται να αντισταθμιστεί από το γεγονός ότι τα οχήματα κυψελών καυσίμου χρησιμοποιούν ένα ηλεκτρικό μοτέρ, το οποίο καθιστά την οδήγηση ομαλότερη και σχεδόν αθόρυβη, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ικανοποίηση των πελατών με πιθανή αποδοχή της τεχνολογίας (Schulte, Hart & Vorst, 2004).

Ω3 Περιβαλλοντικές επιδράσεις

Το ενδιαφέρον της πολιτικής προς την οικονομία του υδρογόνου αυξάνεται (Balat & Balat, 2009) κυρίως λόγω του ότι το υδρογόνο ως φορέας ενέργειας αποτελεί μια εναλλακτική λύση στη κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων (Crabtree & Dresselhaus, 2008), συμπληρώνοντας ή υποκαθιστώντας την κατανάλωση τους με ένα φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο (Baru, Karthikeyan & Reddy, 2011), καθώς προσφέρει μια σειρά από περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα, τα οποία το καθιστούν ελκυστικό ως εναλλακτική λύση για τον τομέα των μεταφορών (Balat & Balat, 2009). Η μεγάλης κλίμακας εισαγωγή του υδρογόνου ως καύσιμο δύναται

να μειώσει την κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων και ως επακόλουθο να διατηρήσει τον αέρα καθαρό και απαλλαγμένο από τη ρύπανση (Baru, Karthikeyan & Reddy, 2011) καθώς η χρήση του υδρογόνου ως καύσιμο δύναται να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (Cetinkaya, Dincer & Naterer, 2012) και συνεπώς μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα συμβάλλοντας έτσι στους εγχώριους και διεθνείς στόχους της αειφορίας (Balat & Balat, 2009).

Οι εν λόγω μειώσεις επέρχονται ως αποτέλεσμα της καύσης του υδρογόνου όπου λαμβάνει χώρα χωρίς προσβλητικούς ρύπους ή διοξείδιο του άνθρακα (Crabtree & Dresselhaus, 2008) λόγω της απουσίας του άνθρακα στο υδρογόνο (Saravanan, Nagarajan & Narayanasamy, 2008). Το προϊόν της καύσεως του υδρογόνου είναι καθαρό έναντι των επιβλαβών σωματιδίων και αερίων, όπως οξείδια του θείου και διοξείδιο του άνθρακα από τη καύση των ορυκτών καυσίμων (Kang & Park, 2011), και ως εκ τούτου έχει χαμηλότερο επίπεδο καπνού (Saravanan, Nagarajan & Narayanasamy, 2008). Η καύση του υδρογόνου με το οξυγόνο παράγει ως μοναδικό προϊόν το νερό. Ωστόσο, η καύση του υδρογόνου με αέρα μπορεί επίσης να παράγει οξείδια του αζώτου. Με τον κατάλληλο σχεδιασμό πιστεύεται ότι αυτό το ποσό των οξειδίων του αζώτου μπορεί να μειωθεί. Οι εκπομπές των οξειδίων του αζώτου δημιουργούνται λόγω της υψηλής θερμοκρασίας που δημιουργείται κατά την διάρκεια της καύσης. Αυτή η υψηλή θερμοκρασία προκαλεί μερικό από το άζωτο στον αέρα να συνδυαστεί με το οξυγόνο του αέρα (Balat & Balat, 2009).

Τα περιβαλλοντικά προβλήματα που ενδέχεται να προκύψουν κατά τη χρήση υδρογόνου συμβαίνουν κατά την παραγωγή του (Balat & Balat, 2009). Ο κόσμος οδεύει προς την οικονομία του υδρογόνου με τη γενική αντίληψη ότι το υδρογόνο ως καύσιμο είναι περιβαλλοντικά καθαρό, καθώς από τη καύση του προκύπτει ως παραγόμενο προϊόν μόνο ακίνδυνο νερό. Ως εκ τούτου, οι λάτρες της οικονομίας του υδρογόνου φαντάζονται το περιβάλλον απαλλαγμένο από τη ρύπανση του αέρα, ως επακόλουθο της αντικατάστασης του καυσίμου βενζίνης από το υδρογόνο. Αυτή η εικόνα φαίνεται να είναι σωστή για τις αστικές περιοχές όπου η ατμοσφαιρική ρύπανση παράγεται κυρίως από τα τοξικά αέρια εξάτμισης των αυτοκινήτων. Εντούτοις, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η παραγωγή υδρογόνου από ορυκτά καύσιμα, όπως φυσικό αέριο και άνθρακα, οδηγεί σε εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου και, συνεπώς, δεν είναι περιβαλλοντικά φιλική. Κατά συνέπεια, στην ανάπτυξη των τεχνολογιών υδρογόνου η παραγωγή υδρογόνου είναι φιλική στο περιβάλλον μόνο όταν λαμβάνεται με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Nowotny, Veziroglu, 2011).

Η παραγωγή υδρογόνου από τα ορυκτά καύσιμα έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα στην ίδια έκταση της άμεσης καύσης αυτών των καυσίμων. Στην περίπτωση αυτή, ο τόπος

εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου κινείται έξω από τις αστικές περιοχές στις βιομηχανικές περιοχές, όπου βρίσκονται οι εγκαταστάσεις παραγωγής υδρογόνου. Ως εκ τούτου, ενώ οι αστικές περιοχές θα είναι λιγότερο μολυσμένες όταν τα αυτοκίνητα βενζίνης θα αντικατασταθούν από τα αυτοκίνητα υδρογόνου, τα παραγόμενα αέρια θερμοκηπίου θα εξάγονται προς την ίδια ατμόσφαιρα που περιβάλλει τον πλανήτη Γη. Συνεπώς, το όραμα των αστικών περιοχών απαλλαγμένων από τη ρύπανση του αέρα, με την εισαγωγή των αυτοκινήτων που λειτουργούν με υδρογόνο, είναι ορθό μόνο σε ορισμένο βαθμό (Nowotny, Veziroglu, 2011). Η παραγωγή υδρογόνου χωρίς την κατανάλωση ορυκτών και τις ακόλουθες εκπομπές αερίων όπως διοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του θείου και οξείδια του αζώτου αποτελεί το κλειδί για την επίτευξη της "Οικονομίας του Υδρογόνου" (Zhang, Lin & Chen, 2010).

Η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στις διάφορες μεθόδους παραγωγής υδρογόνου οδηγούν σε μικρότερη επίδραση στο περιβάλλον (Cetinkaya, Dincer & Naterer, 2012). Οι διεργασίες που συνδυάζουν ηλεκτρόλυση με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θεωρούνται ότι είναι καλύτερες από τις συμβατικές διεργασίες όσον αφορά τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (Pilavachi, Chatzipanagi & Spyropoulou, 2009). Αν το υδρογόνο παράγεται χωρίς εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ή οποιοδήποτε άλλο αέριο θερμοκηπίου το οποίο επηρεάζει το κλίμα, τότε θα μπορεί να αποτελέσει τη βάση ενός πραγματικά βιώσιμου ενεργειακού συστήματος (Balat & Balat, 2009). Η εκπλήρωση της υπόσχεσης του υδρογόνου ως ένα αποτελεσματικό, βιώσιμο, και φιλικό προς το περιβάλλον καύσιμο απαιτεί ευρεία καινοτομία και ανάπτυξη των μέσων για την παραγωγή, αποθήκευση και χρήση του (Crabtree & Dresselhaus, 2008).

Η μαζική κατανάλωση του πετρελαίου απαιτεί τη συνεχή διάτρηση σε παρθένες περιοχές άγριας φύσης, επιφέροντας έτσι τον όλεθρο σε μερικά από τα σπουδαιότερα οικοσυστήματα του κόσμου. Αντίθετα η παραγωγή του υδρογόνου δεν αφήνει ουλές στο περιβάλλον (Jain, 2009). Οι επιστήμονες έχουν υπολογίσει ότι οι δυνητικές επιπτώσεις επάνω στο κλίμα ως συνέπεια της χρήσης του υδρογόνου θα είναι πολύ χαμηλότερες από εκείνες από τη χρήση των ορυκτών καυσίμων. Αν η οικονομία του υδρογόνου αντικαταστήσει το τρέχον ενεργειακό σύστημα το οποίο βασίζεται στα ορυκτά καύσιμα και παρουσιάσει ρυθμό διαρροής 1% τότε οι κλιματικές επιπτώσεις που θα προκύψουν θα είναι το 0,6% των επιπτώσεων του συστήματος από τα ορυκτά καύσιμα (Balat & Balat, 2009).

☞ Οικονομικό κόστος

Το κόστος της παραγωγή υδρογόνου από διαφορετικές πηγές ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με τις δαπάνες του κεφαλαιουχικού εξοπλισμού, το κόστος και την διαθεσιμότητα των πρώτων υλών, και

την ωριμότητα της τεχνολογίας. Πιστεύεται ότι στο μέλλον η βιομάζα μπορεί να γίνει μια σημαντική αιφόρος πηγή του υδρογόνου. Ειδικότερα, η βιομάζα θα μπορεί να αποτελέσει μια χαμηλού κόστους λύση για ορισμένες χώρες. Ως εκ τούτου, μια οικονομικά αποδοτική διαδικασία παραγωγής ενέργειας θα μπορεί να επιτευχθεί οικονομικά με την ανακύκλωση των γεωργικών αποβλήτων και βιομάζας για την παραγωγή υδρογόνου (Balat, M., Balat, M., 2009).

Οι οικονομικές επιβαρύνσεις των μεθόδων εξαγωγής του υδρογόνου ποικίλλουν καθώς το κόστος του κύκλου ζωής τους εξαρτάται από πολλούς παράγοντες (Lee, et al., 2009). Στις επόμενες δεκαετίες, οι διαδικασίες παραγωγής υδρογόνου από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι απίθανο να αποφέρουν σημαντική μείωση του κόστους υδρογόνου (Dincer & Rosen, 2011), καθώς το κόστος της παραγωγής υδρογόνου από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι υψηλό (Edwards, Kuznetsov & David, 2007). Αντίθετα το υδρογόνο που παράγεται από τα ορυκτά καύσιμα έχει σχετικά χαμηλό κόστος παραγωγής. Φαίνεται, ωστόσο, ότι η χρήση των ορυκτών καυσίμων στην παραγωγή περιλαμβάνει έμμεσες δαπάνες που σχετίζονται με τις επιπτώσεις στην ατμοσφαιρική ρύπανση, την υπερθέρμανση του πλανήτη και τις κλιματικές αλλαγές. Οι εν λόγω δαπάνες που έχει μια τέτοια παραγωγή στην κοινότητα είναι πολύ υψηλές (Nowotny, Veziroglu, 2011). Η εμπορική παραγωγή του υδρογόνου με ηλεκτρόλυση του νερού επιτυγχάνει απόδοση 75%. Εντούτοις το κόστος του υδρογόνου είναι αρκετές φορές υψηλότερο από εκείνο που παράγεται από τα ορυκτά καύσιμα (Edwards, Kuznetsov & David, 2007).

Η παραγωγή υδρογόνου από τα ορυκτά καύσιμα χρησιμοποιώντας την τεχνολογία της αναμόρφωσης με ατμό και τις διεργασίες αεριοποίησης, δίνει πάντοτε ως παραπροϊόν το διοξείδιο του άνθρακα. Οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα αποτελεί την κύρια αιτία της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής, και ως εκ τούτου απαιτείται η αποτελεσματική διαχείριση του σε εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας μέσω της λεγόμενης απομόνωσης του διοξειδίου του άνθρακα, η οποία περιλαμβάνει τη σύλληψη, υγροποίηση, μεταφορά και αποθήκευση του διοξειδίου του άνθρακα στο έδαφος. Ωστόσο, όλες οι λειτουργίες που σχετίζονται με την απομόνωση του διοξειδίου του άνθρακα, εκτός από ενεργοβόρες και δυνητικά επιζήμιες για το περιβάλλον, είναι και δαπανηρές. Η περισσότερο υποσχόμενη μέθοδος παραγωγής υδρογόνου χωρίς απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα είναι η υψηλής θερμοκρασίας πυρόλυση (αποσύνθεση στην απουσία οξυγόνου) των υδρογονανθράκων, της βιομάζας και των αστικών στερεών αποβλήτων σε υδρογόνο και αιθάλη. Προς το παρόν, το κόστος της μεθόδου αυτής είναι σημαντικά υψηλότερο από εκείνο της αναμόρφωσης με ατμό του φυσικού αερίου (Edwards, Kuznetsov & David, 2007). Σήμερα το υδρογόνο παράγεται κυρίως από το φυσικό αέριο, γιατί αυτός ο πόρος είναι διαθέσιμος σε σχετικά χαμηλό κόστος (Dincer & Rosen, 2011). Το κόστος παραγωγής

υδρογόνου μέσω των θερμοχημικών διαδικασιών είναι χαμηλότερο. Η μέθοδος της αεριοποίησης του άνθρακα οδηγεί στην παραγωγή υδρογόνου χαμηλού κόστους (Balat, 2008).

Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι το κόστος της παραγωγής υδρογόνου από βιομάζα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το κόστος της πρώτης ύλης. Η βιομάζα δύναται να αποτελέσει μια χαμηλού κόστους λύση για ορισμένες χώρες. Συνεπώς, μια οικονομικά αποδοτική διαδικασία παραγωγής ενέργειας θα μπορούσε να επιτευχθεί κατά την οποία τα γεωργικά απόβλητα και διάφορα άλλα είδη βιομάζας ανακυκλώνονται για την παραγωγή υδρογόνου οικονομικά. Οι αναπτυσσόμενες χώρες έχουν συγκριτικό πλεονέκτημα για την παραγωγή βιο-καυσίμων, λόγω της μεγαλύτερης διαθεσιμότητας της γης, τις ευνοϊκές κλιματικές συνθήκες για τη γεωργία και το χαμηλότερο εργατικό κόστος (Balat & Balat, 2009).

Η παραγωγή βιο-υδρογόνου έχει λάβει ιδιαίτερη προσοχή κατά την τελευταία δεκαετία. Η βιοτεχνολογία παραγωγής υδρογόνου θα μπορούσε να ένας από τους πιο σημαντικούς τρόπους για την παραγωγή ενέργειας στο εγγύς μέλλον, λόγω των χαρακτηριστικών του χαμηλού κόστους και της αναγέννησης. Ωστόσο η εκτίμηση του κόστους του βιο-υδρογόνου επηρεάζεται από μια σειρά παραγόντων οι οποίοι μπορούν να αλλάξουν την κατεύθυνση και τη σημασία με τη πάροδο του χρόνου. Οι εν λόγω παράγοντες αφορούν το κόστος προμήθειας, την τιμή της αγοράς και της ζήτησης, το κόστος αποθήκευσης, το κόστος διανομής, το κόστος παραγωγής, τη πρόσβαση στην αγορά (Balat & Balat, 2009).

Παρά τα σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη της λειτουργίας των οχημάτων με βάση την τεχνολογία των συστημάτων κυψελών καυσίμου-υδρογόνου, το πολύ υψηλό αρχικό κόστος τους καθιστούν την εν λόγω τεχνολογία οικονομικά μη βιώσιμη σε σύγκριση με την τρέχουσα τεχνολογία του κινητήρα εσωτερικής καύσης (Cockroft & Owen, 2007). Συνεπώς απαιτείται συνεχής έρευνα και ανάπτυξη προκειμένου να μειωθούν τα εν λόγω κόστη (Lee, et al., 2009).

Το τρέχον σύστημα μεταφοράς για την παροχή συμβατικών καυσίμων για τους καταναλωτές δεν μπορεί εύκολα να μετατραπεί για χρήση με υδρογόνο από το σημείο της παραγωγής μέχρι τον ανεφοδιασμό των τελικών χρηστών. Η αναβάθμιση είναι δαπανηρή συμβάλλοντας σημαντικά στο κόστος του υδρογόνου για τους τελικούς χρήστες (Edwards, Kuznetsov & David, 2007).

Τα κόστη του εξοπλισμού παραγωγής του υδρογόνου είναι πολύ ακριβά στο παρόν στάδιο. Οι κεφαλαιουχικές δαπάνες του εξοπλισμού αποτελούν ένα από τους σημαντικούς παράγοντες που

καθορίζουν τη τιμή του υδρογόνου (Lee, et al., 2009). Το υδρογόνο είναι σήμερα πιο ακριβό από ό, τι οι άλλες επιλογές καυσίμων, συνεπώς είναι πιθανό να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην οικονομία μόνο σε μακροπρόθεσμη βάση εφόσον οι βελτιώσεις της τεχνολογίας επιτύχουν την μείωση του κόστους. Η αιχμώδης ανάπτυξη απαιτεί μια βιώσιμη παροχή ενεργειακών πόρων οι οποίοι σε μακροπρόθεσμη βάση, είναι βιώσιμοι και διαθέσιμοι σε λογικό κόστος (Dincer, 2008).

☞ Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας

Κατά την μετάβαση από τα ορυκτά καύσιμα στο υδρογόνο, η οικονομία θα ευημερήσει. Η υποδομή των ορυκτών καυσίμων θα παραμείνει στη θέση της χωρίς απώλεια θέσεων εργασίας, παρά μόνο μια αλλαγή στις περιγραφές των θέσεων εργασίας, καθώς η υφιστάμενη υποδομή γίνεται η υποδομή του υδρογόνου (Momirlan & Veziroglu, 2002). Η μεταφορά από το ενεργειακό σύστημα με βάση το πετρέλαιο στην οικονομία του υδρογόνου απαιτεί την κατασκευή πολλών νέων εγκαταστάσεων υδρογόνου και σταθμών ανεφοδιασμού (Tseng, Lee & Friley, 2005). Ως εκ τούτου η είσοδος στην οικονομία του υδρογόνου δύναται να δημιουργήσει χιλιάδες μόνιμες επιστημονικές και βιομηχανικές θέσεις εργασίας (Jain, 2009). Επιπλέον οι κυψέλες καυσίμου θα αποτελέσουν ηγέτη της οικονομικής ανάπτυξης κατά τις επόμενες δεκαετίες καθώς θα εξασφαλίσει υψηλής ποιότητας απασχόληση για πολλές χιλιάδες ανθρώπους (Dincer, 2008).

Φαίνεται πιθανό ότι με σωστό σχεδιασμό η βιομηχανία των ορυκτών καυσίμων μπορεί να εξελιχθεί σε ένα σημαντικό μέρος της οικονομίας της ενέργειας υδρογόνου, και ως εκ τούτου δύναται να επιβιώσει, να ευημερήσει, και να παρέχει απασχόληση στους εργαζόμενους που πιθανόν να εκτοπίστηκαν από τη μετάβαση στην εν λόγω οικονομία (Rothstein, 1995).

☞ Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Είναι ευρέως αποδεκτό ότι υπάρχει στενή σύνδεση μεταξύ του επιπέδου της κοινωνικής ανάπτυξης μιας χώρας και της κατάστασης της υγείας του πληθυσμού της. Η υγεία αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της ανάπτυξης, καθώς τα άτομα συμβάλλουν και επωφελούνται από την ανάπτυξη της χώρας στην οποία ζουν. Η ανθρώπινη ενέργεια που παράγεται από τη βελτίωση της υγείας του πληθυσμού συμβάλλει στην κοινωνική ανάπτυξη (Yaakoubd, 2009).

Τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις πόλεις με υψηλές συγκεντρώσεις πληθυσμού είναι υψηλά λόγω της δραστηριότητας των μεταφορών, και κατ' επέκταση η υγεία του ανθρώπου επηρεάζεται αρνητικά. Ωστόσο η υιοθέτηση της τεχνολογίας κυψελών καυσίμου με υδρογόνο στον τομέα των μεταφορών φαίνεται να προσφέρει σημαντικά κοινωνικά οφέλη (Cockroft & Owen, 2007).

Τα οχήματα που τροφοδοτούνται με υδρογόνο έχουν μηδενικές εκπομπές με επακόλουθο τα τοπικά οφέλη της ποιότητας του αέρα (Balat & Balat, 2009). Η μετατροπή των οχημάτων στην τεχνολογία κυψελών καυσίμου υδρογόνου, μπορεί να βελτιώσει τη ποιότητα του αέρα και την υγεία. Τα εν λόγω οφέλη θα προκύψουν από την εξουδετέρωση των καυσαερίων των οχημάτων, καθώς τα σωματίδια είναι τα πιο ανθυγιεινά συστατικά της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Jacobson, Colella & Golden, 2005).

Η μεγαλύτερη χρήση της «πράσινης ενέργειας» προλαμβάνει την υποβάθμιση του περιβάλλοντος και ως εκ τούτου η ποιότητα ζωής των ανθρώπων βελτιώνεται. Όσο περισσότερο χρησιμοποιούμε τα ορυκτά καύσιμα ως πηγές ενέργειας τόσο μεγαλύτερη είναι η ρύπανση που προστίθεται στο περιβάλλον μας, και συνεπώς φτωχότερη η ποιότητα της ζωής σε αυτή τη γη. Οι τεράστιες διαρροές πετρελαίου γίνονται συνηθισμένες, σκοτώνοντας αμέτρητα υδρόβια ζώα με ενδεχόμενες επιπτώσεις στην τροφική αλυσίδα μας. Σε περίπτωση διαρροής του υδρογόνου, αυτό εξαπνίζεται αμέσως. Το μόνο παραπροϊόν του καυσίμου υδρογόνου είναι το νερό. Υπάρχουν επαρκή οφέλη για τη δημόσια υγεία από την άμεση χρήση του υδρογόνου ως καύσιμο τα οποία δικαιολογούν την ώθηση του (Jain, 2009).

Τα ενεργειακά συστήματα υδρογόνου φαίνεται να είναι μία από τις πλέον αποτελεσματικές λύσεις, και μπορούν να παίξουν ένα σημαντικό ρόλο στην παροχή ενός καλύτερου περιβάλλοντος και αειφορία (Yilmaz & Ilbas, 2008), καθώς βελτιώνει τη ποιότητα του αέρα και την υγεία (Jacobson, Colella & Golden, 2005).

☞ Αποδοχή από το κοινό

Η επιτυχία της μετάβασης στο σύστημα της ενέργειας του υδρογόνου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως οι προσπάθειες που καταβάλλουν οι κυβερνήσεις, η βιομηχανία, και οι επιστήμονες. Ωστόσο αν και οι εν λόγω παράγοντες είναι σημαντικοί, είναι το κοινό που θα πρέπει να χρησιμοποιήσει το υδρογόνο στα σπίτια, τα αυτοκίνητα τους, καθώς και άλλες εφαρμογές. Με την αύξηση των επενδύσεων στο υδρογόνο και στις τεχνολογίες που σχετίζονται με αυτό, υπάρχει μια δικαιολογημένη ανησυχία για το αν το κοινό θα δεχτεί την μετάβαση στον εν λόγω φορέα ενέργειας (Zachariah-Wolff, Hemmes, 2006). Προκειμένου το υδρογόνο να υιοθετηθεί ως ένα μελλοντικό καύσιμο θα πρέπει αρχικά να ξεπεραστούν τα εμπόδια που αφορούν τις αρνητικές αντιλήψεις του κοινού για το υδρογόνο ως καύσιμο και τις σχετιζόμενες τεχνολογίες (Hickson, Phillips & Morales, 2007).

Το κοινό ανησυχεί πάρα πολύ για τις αρνητικές επιπλοκές που ενδέχεται να δημιουργηθούν από την εφαρμογή της ενέργειας του υδρογόνου, όπως για το υψηλό κόστος της παραγωγής, την περιορισμένη

διαθεσιμότητα των εγκαταστάσεων ανεφοδιασμού και ανησυχίες για την ασφάλεια. Οι εν λόγω ανησυχίες μπορούν να οδηγήσουν σε αρνητικές στάσεις και πεποιθήσεις σχετικά με τις εφαρμογές υδρογόνου, μειώνοντας κατά συνέπεια την υποστήριξη της σχετικής τεχνολογίας (Tarigan, Bayer, Langhelle & Thesen, 2012).

Οι ερωτηθέντες σε μια έρευνα που αφορούσε την επένδυση και την εφαρμογή του υδρογόνου έδειξαν πολύ θετική στάση απέναντι στις επενδύσεις υδρογόνου και στις εφαρμογές υδρογόνου, εφόσον αρχικά εξαλειφθούν οι αρνητικές πτυχές πριν την εφαρμογή του με συνεπαγόμενη απροθυμία να λάβει χώρα η μετατροπή προς το υδρογόνο όσο το δυνατόν γρηγορότερα. Ωστόσο, ήταν σαφές ότι δεν θέλουν να περιμένουν μέχρι τα ορυκτά καύσιμα να εξαντληθούν (Zachariah-Wolff, Hemmes, 2006).

Σε μια έρευνα σύγκρισης των συμβατικών λεωφορείων ντίζελ με αυτά που λειτουργούν με το υδρογόνο, οι ερωτηθέντες αξιολόγησαν πέντε χαρακτηριστικά: άνεση κατά την οδήγηση, απαλότητα/ομαλότητα επιτάχυνσης, ομαλότητα της διακοπής/φρένων, επίπεδο θορύβου και θερμοκρασία άνεσης. Τα αποτελέσματα υποδείκνυαν ότι η αντίληψη του κοινού για τα λεωφορεία υδρογόνου ήταν ανώτερη από τα αντίστοιχα λεωφορεία ντίζελ για όλες τις εξεταζόμενες διαστάσεις. Συγκεκριμένα οι αναβάτες μεγαλύτερης ηλικίας είχαν την τάση να αξιολογούν το επίπεδο θορύβου πιο θετικά (Hickson, Phillips & Morales, 2007).

2.4.2 Φυσικό αέριο

Το φυσικό αέριο είναι ένα φυσικό μίγμα απλών υδρογονανθράκων και μη υδρογονανθράκων και υπάρχει ως αέριο σε κανονικές πιέσεις και θερμοκρασίες (Maddox, Moshfeghian, Ldol & Johannes, 2007). Το φυσικό αέριο παράγεται στα υπόγεια πηγάδια του φυσικού αερίου ή εντοπίζεται συνδεδεμένο με την παραγωγή αργού πετρελαίου (Semin, Bakar & Ismail, 2009). Σχηματίζεται στον φλοιό της γης, ως αποτέλεσμα του μετασχηματισμού της οργανικής ύλης που οφείλεται στη θερμότητα και πίεση των υπερκείμενων πετρωμάτων. Οι υδρογονάνθρακες του φυσικού αερίου μπορούν επίσης να παραχθούν ως αποτέλεσμα της μικροβιακής αποσύνθεσης οργανικών ουσιών. Μερικά από αυτά τα αέρια απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα ή υδρόσφαιρα ενώ το υπόλοιπο συσσωρεύεται στα ανώτερα στρώματα του φλοιού της γης. Η σύνθεση του φυσικού αερίου ποικίλλει ανάλογα με διάφορους παράγοντες, όπως η καταγωγή, η θέση της κατάθεσης και η γεωλογική δομή. Το φυσικό αέριο αποτελείται κυρίως από κορεσμένους αλειφατικούς υδρογονάνθρακες όπως το μεθάνιο. Στοιχεία όπως διοξείδιο του άνθρακα, σουλφίδιο υδρογόνου, άζωτο και ήλιο αποτελούν αμελητέο ποσοστό της σύνθεσης του φυσικού αερίου (Liang, Rynak, Sayeed & Zhao, 2012). Ειδικότερα στην ακατέργαστη του κατάσταση, καθώς παράγεται από τη γη, το φυσικό αέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και

αιθάνιο, με κλασματικά ποσά προπανίου, βουτανίου, και άλλους υδρογονάνθρακες, πεντάνιο και βαρύτερους υδρογονάνθρακες. Μερικές φορές μπορεί επίσης να είναι παρόν μικρά ίχνη ελαφρών αρωματικών υδρογονανθράκων όπως βενζόλιο και τολουόλιο (Maddox, Moshfeghian, Ldol & Johannes, 2007).

Το αργό πετρέλαιο είναι ένα σύνθετο μίγμα υδρογονανθράκων του οποίου η σύνθεση ποικίλλει ανάλογα με τον τόπο που λαμβάνει χώρα η εξαγωγή του. Μπορεί να εμφανιστεί σε στερεή, υγρή, και αέρια κατάσταση. Σε αέρια μορφή, είναι γνωστό ως φυσικό αέριο. Συνεπώς όπου υπάρχει πετρέλαιο, υπάρχει και φυσικό αέριο (Alam & Khan, 2012).

☞ Τεχνολογίες παραγωγής

Οι πρόσφατες βελτιώσεις στην τεχνολογία έχουν επιτρέψει την ανάπτυξη του τομέα εξόρυξης του φυσικού αερίου από εναλλακτικές πηγές ενώ οι συνεχείς βελτιώσεις δύναται να οδηγήσουν σε ακόμη καλύτερες επιλογές εξαγωγής στο μέλλον. Οι δύο κύριες καινοτομίες που οδήγησαν σε αυτή την ανάπτυξη είναι η οριζόντια γεώτρηση και η υδραυλική διάρρηξη (Reeder, 2010). Οι μέθοδοι της εξαγωγής αφορούν εξακριβωμένες και καταρτισμένες μεθόδους (Sutherland, 2012).

Η οριζόντια γεώτρηση δεν είναι μια ιδιαίτερα πρόσφατη καινοτομία. Κατά κάποιο τρόπο οι βελτιώσεις που έγιναν στην τεχνολογία κατέστησαν πρόσφατα την τεχνική περισσότερο αποτελεσματική /αποδοτική σε όρους κόστους. Για την υλοποίηση της οριζόντιας γεώτρησης, τα γεωτρήματα ανοίγουν μια κάθετη τρύπα βάθος μερικών εκατοντάδων ποδιών πάνω από το βάθος του σχηματισμού του σχιστόλιθου. Η οριζόντια γεώτρηση είναι πλεονεκτική για τους σκοπούς της εξαγωγής φυσικού αερίου από σχηματισμούς σχιστόλιθου, καθώς η οριζόντια γεώτρηση αυξάνει τη διείδυση εντός των αποθεμάτων, επειδή το φυσικό αέριο υπάρχει σε οριζόντια επίπεδα/στάθμες. Επιπλέον, η οριζόντια γεώτρηση καθιστά δυνατό και επιτρέπει στο τρυπάνι να εισχωρήσει σε περισσότερα κατάγματα. Τέλος, και πιο σημαντικό από την άποψη της χρήσης της γης, η οριζόντια γεώτρηση δίνει τη δυνατότητα εξόρυξης φυσικού αερίου κάτω από περιοχές, όπως πόλεις, όπου ο απαιτούμενος εξοπλισμός συνήθως δεν μπορεί να συναρμολογηθεί (Reeder, 2010).

Οι πρόσφατες καινοτομίες στη μέθοδο ανάκτησης του πετρελαίου και του φυσικού αερίου γνωστή ως υδραυλική διάρρηξη, αποτελούν το δεύτερο παράγοντα που κατέστη οικονομικά εφικτή η εξόρυξη του φυσικού αερίου (Reeder, 2010). Σε συνδυασμό με τις βελτιωμένες τεχνικές της οριζόντιας γεώτρησης, η υδραυλική διάρρηξη έχει δημιουργήσει μια επαναστατική τεχνολογία που επιτρέπει την αξιοποίηση των ανεκμετάλλευτων κοιτασμάτων άνθρακα και τους σχηματισμούς σχιστόλιθου για εξαγωγή

πετρελαίου και φυσικού αερίου (Bierman, Kulp & Foote, 2011). Η υδραυλική διάρρηξη περιλαμβάνει την έγχυση μεγάλων ποσοτήτων υγρού εντός των ανοιγμένων οπών των πετρελαιοπηγών προκειμένου να αυξηθεί η παραγωγικότητα. Η παραδοσιακή υδραυλική διάρρηξη επιτυγχάνεται με άντληση υγρών όπως νερό ή κηροζίνη, μαζί με άμμο, εντός του γεωλογικού σχηματισμού σε υψηλή πίεση. Ο σκοπός της τεχνικής είναι να αυξήσει την έκταση της επιφάνειας στο σχηματισμό προκειμένου να διευκολυνθεί η καλύτερη ροή του φυσικού αερίου από το σχηματισμό μέσα στο άνοιγμα της πετρελαιοπηγής (Reeder, 2010).

Η πρόσφατη απότομη αύξηση του ενδιαφέροντος για την υδραυλική διάρρηξη ακολουθεί την αυξανόμενη χρήση της εν λόγω διαδικασίας για την ανάκτηση του πετρελαίου και του φυσικού αερίου από τον άνθρακα και βράχους σχιστόλιθου. Η υδραυλική διάρρηξη επιτρέπει την πρόσβαση σε αυτές τις προηγουμένως απρόσιτες δεξαμενές πετρελαίου και φυσικού αερίου, η οποία προσφέρει μια σειρά από οφέλη και ευκαιρίες. Υποστηρίζεται ότι η υδραυλική διάρρηξη, δίνει τη δυνατότητα πρόσβασης σε αυτά τα ενεργειακά πλούσια κοιτάσματα και ως εκ τούτου μπορεί να μειώσει την εξάρτηση από το ξένο πετρέλαιο και να ενισχύσει έτσι την εσωτερική ενεργειακή ασφάλεια. Παρόλα αυτά η υδραυλική διάρρηξη αντιμετωπίζει πολλά ερωτήματα και προκλήσεις. Μερικοί κριτικοί έχουν εκφράσει ανησυχίες για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τη συνολική ασφάλεια της διαδικασίας και ζήτησαν αυστηρότερους κανονισμούς στους χώρους διεξαγωγής της υδραυλικής διάρρηξης (Bierman, Kulp & Foote, 2011).

☞ Τεχνολογίες μετατροπής

Η μετατροπή του φυσικού αερίου σε υγρά καύσιμα αποτελεί μια πρόκληση για τη βιομηχανία (Aasberg-Petersen, et al., 2001). Το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου, το μεθάνιο, είναι μια εξαιρετική πρώτη ύλη για την παραγωγή καυσίμων. Η κύρια χρήση του ως καύσιμο είναι για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και για οικιακή και βιομηχανική χρήση. Ωστόσο, οι μεγάλες ποσότητες φυσικού αερίου βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές όπου η μεταφορά του φυσικού αερίου μέσω αγωγών δεν είναι μια προφανής λύση. Η μετατροπή του μεθανίου σε πιο εύκολα μεταφερόμενα προϊόντα (μετατροπή αερίου σε υγρά καύσιμα) είναι ως εκ τούτου μια ενδιαφέρουσα επιλογή. Το μεθάνιο μπορεί να μετατραπεί σε καύσιμα με δύο τρόπους, είτε μέσω της παραγωγής του αερίου σύνθεσης ή άμεσα σε υδρογονάνθρακες ή μεθανόλη (Holmen, 2009). Ειδικότερα οι διαφορετικές πορείες για την μετατροπή του μεθανίου σε χρήσιμους υγρούς υδρογονάνθρακες περιλαμβάνουν την έμμεση και την άμεση μετατροπή μεθανίου. Προς το παρόν, οι εμπορικές τεχνολογίες βασίζονται στην έμμεση πορεία που αποτελείται από διεργασίες αντίδρασης πολλαπλών σταδίων. Η άμεση πορεία μετατροπής μεθανίου θεωρείται πιο ενεργειακά αποδοτική από την έμμεση

πορεία ενώ παράλληλα καθιστά την μεταφορά των φυσικών κοιτασμάτων φυσικού αερίου πολύ πιο οικονομική και πρακτική και γι' αυτό το λόγο έχει αποτελέσει αντικείμενο του τομέα της έρευνας και των πρόσφατων δραστηριοτήτων ανάπτυξης σε όλο τον κόσμο (Keshav & Basu, 2007).

Όσον αφορά την έμμεση διαδρομή, τα προϊόντα λαμβάνονται από τη μετατροπή του φυσικού αερίου (κυρίως του μεθανίου) σε υγρά καύσιμα σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, το οξυγόνο που διαχωρίζεται από τον αέρα διοχετεύεται μέσα σε ένα αντιδραστήρα με το μεθάνιο. Τα προϊόντα είναι συνθετικά αέρια υδρογόνου και μονοξειδίου του άνθρακα. Η παραγωγή των εν λόγω αερίων λαμβάνει χώρα χρησιμοποιώντας είτε μερική οξείδωση ή αναμόρφωση ατμού. Στο δεύτερο στάδιο, τα αέρια αυτά περνούν μέσα σε ένα αντιδραστήρα Fischer-Tropsch όπου καταλύτες (κοβάλτιο, σίδηρος ή νικέλιο) βοηθούν στον ανασυνδυασμό των αερίων σε μακρές αλυσίδες μορίων υδρογονάνθρακα. Στο τελευταίο στάδιο, οι μακρές αλυσίδες υδρογονανθράκων τροφοδοτούνται σε μια μονάδα πυρόλυσης και διαχωρίζονται σε κλάσματα ντίζελ ή άλλων υγρών καυσίμων, νάφθας και κηρούς. Ο διαχωρισμός χρησιμοποιεί θερμότητα και πίεση για να αποσυντεθούν οι μακρές αλυσίδες υδρογονανθράκων και να παραχθούν έτσι οι ελαφρότεροι υδρογονάνθρακες (Stanley, 2009).

Η έμμεση μετατροπή του μεθανίου περιλαμβάνει τις διαδρομές παραγωγής του αερίου σύνθεσης οι οποίες είναι πολύ αποδοτικές, αλλά εντατικές σε όρους κεφαλαίου (Aasberg-Petersen, et al., 2001). Το αέριο σύνθεσης παράγεται με την τεχνολογία της αναμόρφωσης ατμού η οποία αποτελεί την κυρίαρχη μέθοδο για την παραγωγή του αερίου σύνθεσης, της άμεσης μερικής οξείδωσης και της αυτοθερμικής αναμόρφωσης η οποία συνιστά μια διαδικασία που βασίζεται στις δύο πιο πάνω αντιδράσεις (Holmen, 2009). Η διαδικασία αναμόρφωσης ατμού αντιμετωπίζει διάφορους περιορισμούς. Καταρχάς, η θερμοδυναμική απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες εξόδου για να επιτευχθεί η υψηλή μετατροπή του μεθανίου, ενώ μόνο το 50% της ενέργειας με καύση μεταφέρεται στη μέθοδο, ενώ το υπόλοιπο ανακτάται σε θερμικά απόβλητα. Η αυτοθερμική αναμόρφωση λειτουργεί σε χαμηλές αναλογίες ατμού άνθρακα και η ανάπτυξη νέων σχεδίων καυστήρα εξασφαλίζει την ασφαλή λειτουργία και υψηλής λειτουργίας παράγοντες. Η μη καταλυτική μερική οξείδωση χρειάζεται υψηλή θερμοκρασία για να εξασφαλιστεί η πλήρης μετατροπή του μεθανίου και να μειωθεί ο σχηματισμός αιθάλης. Κάποια αιθάλη πάντοτε σχηματίζεται και πρέπει να απομακρύνεται. Στην καταλυτική μερική οξείδωση, τα αντιδρώντα προ-αναμιγνύονται και λαμβάνει χώρα χημική μετατροπή σε ένα καταλυτικό αντιδραστήρα χωρίς καυστήρα. Η άμεση αντίδραση καταλυτικής μερικής οξείδωσης εμφανίζεται ως η ιδανική λύση, δεδομένου ότι παρέχει τη σωστή αναλογία υδρογόνου/μονοξείδιο του άνθρακα και έχει χαμηλή θερμοκρασία αντιδράσεως. Η μεγάλης κλίμακας μετατροπή του φυσικού αερίου σε υγρά προϊόντα μπορεί να διαδραματίσει ένα σημαντικό ρόλο στην οικονομία της ενέργειας. Μια βασική παράμετρος είναι το

κόστος της κατασκευής του αερίου σύνθεσης. Σήμερα η αυτοθερμική αναμόρφωση φαίνεται να είναι η πιο φθηνή λύση που πληροί τις βέλτιστες απαιτήσεις (Aasberg-Petersen, et al., 2001). Η επιλογή της τεχνολογίας για την παραγωγή αερίου σύνθεσης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες (Holmen, 2009).

Τα συνθετικά καύσιμα (υδρογονάνθρακες) παράγονται στη συνέχεια από το αέριο σύνθεσης με την διεργασία της σύνθεσης Fischer-Tropsch μέσω της τεχνολογίας αέριο σε υγρό (Gas To Liquid - GTL) (Holmen, 2009). Η GTL τεχνολογία δεν είναι νέα. Η διαδικασία έχει αξιοποιηθεί σε εμπορική κλίμακα για σχεδόν οκτώ δεκαετίες. Είναι μόνον κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, που τράβηξε την προσοχή των εταιρειών πετρελαίου και φυσικού αερίου και των κυβερνήσεων. Η εν λόγω τεχνολογία αναφέρεται σε μία διαδικασία για τη μετατροπή του φυσικού αερίου σε συνθετικό λάδι το οποίο μπορεί στη συνέχεια να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία σε καύσιμα και σε προϊόντα με βάση τους υδρογονάνθρακες. Με απλά λόγια, η διαδικασία αυτή διαχωρίζει τα μόρια του φυσικού αερίου και τα επανασυνδέει σε μόρια μακρύτερης αλυσίδας, όπως αυτά που περιέχονται στο αργό πετρέλαιο. Δύο Γερμανοί επιστήμονες, ο Franz Fischer και ο Hens Tropsch ανακάλυψαν τη βασική χημεία της μεθόδου το 1922 και ανέπτυξαν τη διαδικασία το 1923. Σχεδόν όλες οι υπάρχουσες διεργασίες βασίζονται στη χημεία Fischer-Tropsch (Stanley, 2009). Η χρήση τεχνολογιών όπως η τεχνολογία GTL, για την παραγωγή συνθετικών καυσίμων από το φυσικό αέριο συνίσταται ως πιθανή λύση στα περιβαλλοντικά προβλήματα που επιφέρει η καύση των ορυκτών καυσίμων (Sinyak & Koldpakov, 2012).

Η τεχνολογία GTL είναι ικανή να μετατρέπει το αέριο σε καθαρούς, χρήσιμους, υγρούς υδρογονάνθρακες και επομένως είναι κατάλληλη για την αντιμετώπιση των προβλημάτων της εξ αποστάσεως αξιοποίησης του φυσικού αερίου, της αύξησης της τιμής του αργού πετρελαίου, της εξάντλησης των ορυκτών καυσίμων και της ρύπανσης του περιβάλλοντος (Keshav & Basu, 2007). Η τεχνολογία GTL για παραγωγή συνθετικών καυσίμων με τη χρήση φυσικού αερίου, συνιστά μια πιθανή λύση στο πρόβλημα εξάντλησης του πετρελαίου και η οποία, κατά τις επόμενες δεκαετίες, θα απαιτεί χαμηλότερο κόστος για την παραγωγή και επεξεργασία του εν λόγω πόρου σε σχέση με τη λήψη υγρών καυσίμων από αργό πετρέλαιο. Η εν λόγω τεχνολογία σε συνδυασμό με τις τρέχουσες αρκετά χαμηλές τιμές του φυσικού αερίου στις μεγάλες αγορές των καυσίμων, επιτρέπει την παραγωγή καυσίμων με χαμηλότερο κόστος από ότι η παραγωγή τους με βάση τη συμβατική επεξεργασία του αργού πετρελαίου. Συνεπώς η εν λόγω τεχνολογία για παραγωγή καυσίμων από φυσικό αέριο, συνιστά μια οικονομικά ελπιδοφόρα και αποτελεσματική τεχνολογία σε πολλές περιοχές του κόσμου, ακόμα και σε αυτές οι οποίες δεν έχουν μεγάλους πόρους φυσικού αερίου. Με τις υψηλότερες τιμές του πετρελαίου, τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής θα αυξηθούν (Sinyak & Koldpakov, 2012).

Τα καύσιμα που παράγονται με την τεχνολογία GTL είναι υψηλής ποιότητας προϊόντα, χωρίς θείο και χημικές πρώτες ύλες που είναι αρκετά διαφορετικά από εκείνα που παράγονται από ένα τυπικό διυλιστήριο αργού πετρελαίου. Όλα τα καύσιμα που προέρχονται από αυτή την τεχνολογία, ιδίως το κλάσμα πετρελαίου, είναι μεγάλης αξίας λόγω των εξαιρετικών ιδιοτήτων τους, που πληρούν τους αυστηρούς περιβαλλοντικούς κανονισμούς για τις εκπομπές από τα οχήματα με κινητήρες ντίζελ. Επίσης, τα παραγόμενα καύσιμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις υπάρχουσες υποδομές όπως τροφοδότηση και στους υφιστάμενους κινητήρες ντίζελ χωρίς πρόσθετες επενδύσεις ή κόστος για τον τελικό χρήστη. Η σύγκριση των χαρακτηριστικών ποιότητας των προϊόντων μεταξύ του εμπορικού ντίζελ και GTL-ντίζελ υποδηλώνει ότι τα προϊόντα GTL καλύπτουν ή υπερκαλύπτουν σχεδόν όλες τις απαιτήσεις του προϊόντος (Stanley, 2009).

Το 60% ή περισσότερο του κόστους κεφαλαίου των εργοστασίων με τεχνολογία GTL συνδέεται με τη αναμόρφωση του μεθανίου προς αέριο σύνθεσης. Ένα μεγάλο κίνητρο υπάρχει συνεπώς για την ανάπτυξη των διεργασιών για την άμεση μετατροπή του μεθανίου χωρίς το ενδιάμεσο στάδιο της παραγωγής αερίου σύνθεσης (Holmen, 2009).

Η άμεση μετατροπή του μεθανίου σε μεθανόλη ή άλλα υγρά καύσιμα παρουσιάζει υψηλή εκλεκτικότητα (περίπου 80%), αλλά λόγω της χαμηλής πίεσης του προϊόντος εμφανίζει μεγάλη αναλογία ανακυκλώσεως και δύσκολο διαχωρισμό (Aasberg-Petersen, et al., 2001). Όσον αφορά την άμεση μετατροπή του μεθανίου η ενεργοποίηση του μεθανίου από τη διάσπαση του δεσμού άνθρακα-υδρογόνου απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες και/ή χρήση παραγόντων οξειδωσης. Η διεργασία της κατάλυσης διαδραματίζει ένα σημαντικό ρόλο στις περισσότερες διαδικασίες για τη μετατροπή μεθανίου. Τα προβλήματα που σχετίζονται με την άμεση μετατροπή του μεθανίου προκύπτουν από την κινητική και τη θερμοδυναμική. Οι υψηλές θερμοκρασίες που απαιτούνται για την ενεργοποίηση του μεθανίου οδηγούν σε ριζικές αντιδράσεις στην αέρια φάση. Η αντοχή του δεσμού άνθρακα-υδρογόνου στο μεθάνιο είναι ισχυρότερη από ό, τι στα πιθανά προϊόντα, πράγμα που σημαίνει ότι τα προϊόντα θα είναι πιο αντιδραστικά από το μεθάνιο. Για να παρακαμφθούν αυτά τα προβλήματα έχουν προταθεί και δοκιμαστεί πολλές διαφορετικές προσεγγίσεις που βασίζονται στην κατάλυση και μηχανική αντίδραση. Το κύριο εμπόδιο για τη μετατροπή μεθανίου άμεσα σε πιο πολύτιμα προϊόντα μέσω της ετερογενούς κατάλυσης είναι η χαμηλή εκλεκτικότητα σε υψηλές μετατροπές και στο ότι τα προϊόντα είναι πιο δραστικά από το μεθάνιο. Οι λαμβανόμενες αποδόσεις είναι ακόμα χαμηλές λόγω του σχηματισμού οξειδίων του άνθρακα. Νέες ιδέες και νέες εξελίξεις φαίνεται να είναι απαραίτητο. Σήμερα, οι μεμβράνες και η τεχνολογία του πλάσματος είναι μεταξύ των περιοχών εστίασης (Holmen, 2009).

☞ Περιβαλλοντικές επιδράσεις

Το φυσικό αέριο έχει τις καλύτερες περιβαλλοντικές επιδόσεις μεταξύ των ορυκτών καυσίμων (Riva, D'Angelosante & Trebesch, 2006). Η απευθείας χρήση του φυσικού αερίου για ανταπόκριση στις ποικίλες απαιτήσεις για ενέργεια μπορεί να μειώσει τη συνολική κατανάλωση ορυκτών καυσίμων (Burgis & Ryan, 2006). Οι τεχνολογίες σήμερα, παρέχουν την ευκαιρία στο φυσικό αέριο να παρέχει λειτουργίες με λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τα συμβατικά ηλεκτρικά συστήματα. Το φυσικό αέριο είναι το καθαρότερο καύσιμο των ορυκτών καυσίμων, ενώ η χρήση του αντί για ηλεκτρική ενέργεια καθίσταται πλεονεκτική για το περιβάλλον (Burgis & Ryan, 2006).

Το φυσικό αέριο είναι το καθαρότερο όλων των ορυκτών καυσίμων και τα κύρια προϊόντα της καύσης του φυσικού αερίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα και υδρατμοί. Η καύση του φυσικού αερίου απελευθερώνει πολύ μικρές ποσότητες οξειδίων του αζώτου, διοξείδιο του θείου, διοξείδιο του άνθρακα, μονοξείδιο του άνθρακα, άλλους αντιδραστικούς υδρογονάνθρακες και ουσιαστικά καμία σωματιδιακή ύλη. Ο άνθρακας και το πετρέλαιο αποτελούνται από πολύ πιο πολύπλοκα μόρια και όταν καίγονται, απελευθερώνουν υψηλότερα επίπεδα επιβλαβών εκπομπών, όπως οξείδια του αζώτου και διοξείδιο του θείου. Επίσης απελευθερώνουν σωματίδια τέφρας στο περιβάλλον. Το φυσικό αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί με πολλούς τρόπους για να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών ρύπων στην ατμόσφαιρα, καθώς εκπέμπει λιγότερους επιβλαβείς ρύπους και μια αυξημένη εξάρτηση από το φυσικό αέριο μπορεί ενδεχομένως να μειώσει την εκπομπή πολλών τέτοιων επιβλαβών ρύπων. Το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου, το μεθάνιο, είναι ένα ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου. Η μείωση των εκπομπών από την αύξηση της χρήσης του φυσικού αερίου υπερβαίνει σημαντικά τις αρνητικές επιπτώσεις της αύξησης των εκπομπών μεθανίου. Συνεπώς, η αύξηση της χρήσης του φυσικού αερίου μπορεί να χρησιμεύσει για τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (Liang, Ryvak, Sayeed & Zhao, 2012).

Η αιθαλομίχλη σχηματίζεται από μία χημική αντίδραση του μονοξειδίου του άνθρακα, των οξειδίων του αζώτου, πτητικές οργανικές ενώσεις και τη θερμότητα από την ηλιακή ακτινοβολία. Το τροποσφαιρικό όζον και η αιθαλομίχλη μπορεί να συμβάλουν σε αναπνευστικά προβλήματα. Η χρήση του φυσικού αερίου δεν συνεισφέρει στο σχηματισμό της αιθαλομίχλης καθώς εκπέμπει χαμηλά επίπεδα οξειδίων του αζώτου και καμία σωματιδιακή ύλη. Αύξηση της χρήσης φυσικού αερίου θα μπορούσε να εξυπηρετήσει για την καταπολέμηση της παραγωγής αιθαλομίχλης, καθώς μειώνει τις εκπομπές των χημικών ουσιών που προκαλούν την αιθαλομίχλη και οδηγεί έτσι σε καθαρότερο και υγιέστερο αέρα. Η όξινη βροχή σχηματίζεται όταν το διοξείδιο του θείου και οξείδια του αζώτου αντιδρούν με υδρατμούς και άλλα χημικά στον παρουσία του ηλιακού φωτός. Η αυξημένη χρήση του

φυσικού αερίου θα μπορούσε να παρέχει λιγότερες εκπομπές που προκαλούν όξινη βροχή (Liang, Rynvak, Sayeed & Zhao, 2012).

Το φυσικό αέριο θεωρείται αναγκαίο για την άμβλυνση της κλιματικής αλλαγής. Η αλλαγή του κλίματος, μας φέρνει αντιμέτωπους με την καινοφανή πρόκληση της κάλυψης των αυξανόμενων ενεργειακών αναγκών με παράλληλη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που παράγονται από τις πρωτογενείς πηγές ενέργειας. Οι ηγέτες λήψεως βασικών αποφάσεων αποκαλούν με ενθουσιασμό το φυσικό αέριο ως ένα σημαντικό συντελεστή για την επίλυση αυτής της πρόκλησης. Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή αποκάλεσε το φυσικό αέριο ως το «καύσιμο γεφύρωσης» ικανό να επιβληθεί στη μετάβαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ο ισχυρισμός αυτός στηρίζεται στο επιχείρημα ότι το φυσικό αέριο καίει καθαρότερα και πιο αποτελεσματικά από το πετρέλαιο ή τον άνθρακα και μπορεί έτσι να χαρακτηριστεί ως μεταβατικό καύσιμο προς ένα ενεργειακό σύστημα χαμηλού άνθρακα (Stephenson, Doukas, & Shaw, 2012).

Η επιρροή στην ποιότητα του αέρα, από τη χρήση του φυσικού αερίου για διαφορετικά επίπεδα προσδιορίζεται θετική (Lopez & Mandujano, 2005). Η καύση των συμβατικών καυσίμων, έχει ως συνέπεια την αύξηση των εκπομπών ρύπων (διοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου). Είναι καλά γνωστό ότι το διοξείδιο του άνθρακα συμβάλλει σημαντικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου που προκαλεί την υπερθέρμανση του πλανήτη. Με την αντικατάσταση του συμβατικού καυσίμου με το φυσικό αέριο, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και διοξειδίου του θείου μειώνονται. Ο κύριος λόγος για την μείωση είναι ότι το φυσικό αέριο περιέχει λιγότερο άνθρακα από τα συμβατικά καύσιμα ενώ δεν περιέχει καθόλου θείο. Επιπρόσθετα η υψηλότερη αναλογία χρήσης του φυσικού αερίου οδηγεί κατά την καύση του, σε περαιτέρω μείωση των εκπομπών συμπεριλαμβανομένου του οξειδίου του αζώτου και της αιθάλης (Schneider & Bogdan, 2007).

Σε σύγκριση με άλλες μορφές ενέργειας το φυσικό αέριο δημιουργεί χαμηλές πιέσεις στο περιβάλλον. Ένα πολύ γνωστό γεγονός για το φυσικό αέριο, του οποίου η σύνθεση είναι περισσότερο από 90% μεθάνιο, είναι ότι παρουσιάζει την υψηλότερη αναλογία υδρογόνου/άνθρακα στο σύνολο των ορυκτών καυσίμων. Αυτό συνεπάγεται χαμηλότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και μικρότερη απαιτούμενη μάζα ανά μονάδα ενέργειας. Εάν ο άνθρακας έχει το μεγαλύτερο αντίκτυπο στο περιβάλλον, τότε όσο λιγότερο λαμβάνεται από το περιβάλλον, τόσο λιγότερο θα απελευθερωθεί στο περιβάλλον, με λιγότερα επακόλουθα στο συνολικό σύστημα (Di Pascoli, Femia, & Luzzati, 2001).

Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα που παρουσιάζει το φυσικό αέριο είναι το γεγονός ότι το περιεχόμενο του σε προσμείξεις, αν υπάρχουν, είναι πολύ χαμηλό. Αυτό οδηγεί σε μια αξιοσημείωτη μείωση των άκρως επικίνδυνων «δευτερευόντων» εκπομπών (βενζόλιο, οξειδία του αζώτου, σωματίδια, οξειδία του άνθρακα) τα οποία είναι τυπικά παράγωγα του πετρελαίου. Τυχαίες απώλειες του φυσικού αερίου έχουν το μικρότερο δυνατό περιβαλλοντικό αντίκτυπο σε σύγκριση με τις διαρροές πετρελαίου και είναι τυπικά χαμηλότερες σε ποσότητα (Di Pascoli, Femia, & Luzzati, 2001).

Ωστόσο ενώ η καύση του φυσικού αερίου έχει περιβαλλοντικά οφέλη σε σύγκριση με τον άνθρακα και το πετρέλαιο όσον αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και σωματιδίων, οι επιπτώσεις της παραγωγής του φυσικού αερίου, συμπεριλαμβανομένων των επιπτώσεων στο κλίμα, επιφέρουν ανησυχίες. Οι χαρακτηρισμοί του φυσικού αερίου ως μεταβατικό καύσιμο ή λύση για το κλίμα, μπορούν να επισκιάσουν τις ανησυχίες αυτές (Stephenson, Doukas, & Shaw, 2012).

Οι πιο ανησυχητικές επιπτώσεις των διαδικασιών εξερεύνησης και παραγωγής φυσικού αερίου, σχετίζονται με τον όγκο και το είδος των αποβλήτων που παράγονται κατά τη διάρκεια των εν λόγω διεργασιών. Τα απόβλητα αυτά περιλαμβάνουν παραγόμενο νερό, υγρά γεώτρησης (λάσπες), θρυμματισμένους βράχους, εκπομπές πετρελαίου, και χημικά που σχετίζονται με τη λειτουργία του μηχανικού, υδραυλικού, και ηλεκτρικού εξοπλισμού, όπως βιοκτόνα, διαλύτες, και αναστολές διάβρωσης. Το 98% κατ' όγκο των αποβλήτων από την εξερεύνηση και παραγωγή αποτελεί το παραγόμενο νερό, το οποίο είναι ένα μίγμα ύδατος αποτελούμενο από υδρογονάνθρακες (οργανικά οξέα, φαινόλες, και πτητικά), φυσικά ραδιενεργά υλικά, διαλυμένα στερεά, και χημικά πρόσθετα που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της γεώτρησης. Οι υδρογονάνθρακες είναι πιθανοί συνεισφέροντες στην τοξικότητα του παραγόμενου νερού. Οι λάσπες των γεωτρήσεων είναι περιβαλλοντικής ανησυχίας λόγω της ενδεχόμενης τοξικότητάς τους και του μεγάλου όγκου που απορρίπτονται κατά τη διάρκεια της γεώτρησης. Οι πετρελαιοκίνητες μηχανές παρέχουν την ενέργεια για να λειτουργήσει το γεωτρώπανο και να αποκτήσει συνεπώς το τρυπάνι πρόσβαση σε κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου. Κατά την εξερεύνηση και παραγωγή υπάρχουν αρνητικές επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον σε όλες τις φάσεις των λειτουργιών. Όταν εκπέμπεται στο θαλάσσιο περιβάλλον, το νερό που παράγεται, και οι λάσπες των γεωτρήσεων δύναται να επηρεάσουν αρνητικά έναν ολόκληρο πληθυσμό από την διατάραξη της τροφικής αλυσίδας και του αναπαραγωγικού κύκλου. Παράλληλα παράγονται αέρια του θερμοκηπίου απευθείας από την υπεράκτια εξόρυξη φυσικού αερίου. Οι συνέπειες περιλαμβάνουν την αλλαγή του κλίματος (υπερθέρμανση του πλανήτη, λιώσιμο των πάγων στους πόλους, και οξίνιση των ωκεανών) (Rose, 2009).

Επιπλέον οι διαδικασίες γεώτρησης μολύνουν τα υπόγεια ύδατα ενώ οι περιοχές στις οποίες λαμβάνει χώρα η παραγωγή φυσικού αερίου αποτυγχάνουν να πληρούν τις οικολογικές προδιαγραφές λόγω των εκπομπών του όζοντος κατά την παραγωγή φυσικού αερίου. Συνεπώς καλούνται υπό αμφισβήτηση τα πλεονεκτήματα του φυσικού αερίου όσον αφορά το φαινόμενο του θερμοκηπίου σε σχέση με τον άνθρακα, καθώς το αποτύπωμα της παραγωγής φυσικού αερίου είναι μεγαλύτερο από εκείνο της παραγωγής άνθρακα, λόγω των διάχυτων εκπομπών μεθανίου (Bierman, Kulp & Foote, 2011).

Οι εμπορικές πρακτικές εξαγωγής υψηλού όγκου νερού κατά την διαδικασία της υδραυλικής διάρρηξης από σχιστολιθικά πετρώματα, που πολλοί παραγωγοί αερίου χρησιμοποιούν σήμερα, δεν είχαν αναπτυχθεί σε εμπορική κλίμακα, μέχρι τη δεκαετία του 1990. Αυτή η πρακτική έχει εγείρει ένα ευρύ φάσμα ανησυχιών, ιδιαίτερα σχετικά με την κλίμακα και τις επιπτώσεις της χρήσης του επιφανειακού και υπόγειου νερού, τη μόλυνση τόσο του αέρα όσο και του νερού από τις χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για τη διάρρηξη, τις επιπτώσεις στην υγεία που σχετίζονται με αυτή τη μόλυνση, τον κατακερματισμό των οικοτόπων και την υποβάθμιση, και τις κλιματικές επιπτώσεις της διευρυμένης χρήσης των ορυκτών καυσίμων. Ωστόσο, η δυναμική της ανάπτυξης και ο χαρακτηρισμός του μεταβατικού καυσίμου, βοηθά να επισκιαστούν οι ανησυχίες αυτές. Ως εκ τούτου το φυσικό αέριο μπορεί να ανταποκριθεί ως ένα φιλικό προς το κλίμα καύσιμο (Stephenson, Doukas, & Shaw, 2012).

Το φυσικό αέριο αναγνωρίζεται ως το ορυκτό καύσιμο που προκαλεί τη λιγότερη ζημιά στο περιβάλλον. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι είναι καθαρό, έχει χαμηλή αναλογία άνθρακα, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά σε εργοστάσια παραγωγής ισχύος. Ωστόσο, ακόμα και αυτό το είδος εργοστάσιου θα εκπέμπει σημαντικές ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα, συμβάλλοντας στην αύξηση του περιεχομένου του αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Εναλλακτικές λύσεις για τη χρησιμοποίηση του φυσικού αερίου, χωρίς τη απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα προς την ατμόσφαιρα θα πρέπει να αναπτυχθούν. Μια δυνατότητα είναι η μετατροπή του φυσικού αερίου σε υδρογόνο ή προϊόντα που περιέχουν υδρογόνο (Gaudemack & Lynum, 1997).

☞ Οικονομικό κόστος

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή αποκάλυψε το φυσικό αέριο ως το «καύσιμο γεφύρωσης» ικανό να επιβοηθήσει τη μετάβαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ο ισχυρισμός αυτός στηρίζεται στο επιχείρημα ότι το φυσικό αέριο είναι σχετικά φθηνό (Stephenson, Doukas, & Shaw, 2012 ; Di Pascoli, Femia, & Luzzati, 2001). Ως εκ τούτου η χρήση του φυσικού αερίου ως καύσιμο των οχημάτων και ως πρώτη ύλη για τα συνθετικά λάδια των κινητήρων θεωρείται ανταπόκριση στην αναπόφευκτη άνοδο των τιμών του πετρελαίου κατά την επόμενη δεκαετία ή δύο,

καθώς η προσφορά πετρελαίου δεν θα είναι σε θέση να ανταποκριθεί στην αυξανόμενη ζήτηση με προφανή συνέπεια την ξαφνική και σημαντική αύξηση των τιμών του πετρελαίου (Sinyak & Kolpakov, 2012). Χώρες με οικονομικά αποδοτικές πηγές φυσικού αερίου δύναται να στηρίξουν την οικονομική ανάπτυξη με την εκμετάλλευση του εν λόγω πόρου (Stephenson, Doukas, & Shaw, 2012). Οι τρέχουσες τεχνολογίες, δίνουν τη δυνατότητα στο φυσικό αέριο να παρέχει λειτουργίες όπως θέρμανση και ψύξη, με μειωμένο κόστος σε σύγκριση με τα συμβατικά ηλεκτρικά συστήματα (Burgis & Ryan, 2006).

Το φυσικό αέριο αποτελεί μια οικονομική εναλλακτική λύση καθώς είναι λιγότερο δαπανηρό ανά μονάδα ενέργειας από το πετρέλαιο και τον άνθρακα. Το φυσικό αέριο κοστίζει λιγότερο από το 30% του κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας, ανά Btu (βρετανική θερμική μονάδα) (Liang, Rynak, Sayeed & Zhao, 2012). Η αύξηση της χρήσης του αερίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας οφείλεται στο χαμηλότερο κόστος των επενδύσεων σε σύγκριση με αυτό για την πυρηνική ενέργεια (Reymond, 2007).

Το φυσικό αέριο θα μπορούσε να αναδυθεί ως ένα κρίσιμο «μεταβατικό καύσιμο» που θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση του κόστους μετάβασης σε μια οικονομία καθαρής ενέργειας. Όταν πρόκειται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, το φυσικό αέριο δεν είναι μόνο καθαρότερο αλλά και πιο οικονομικά αποδοτικό. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το φυσικό αέριο θα έχει το χαμηλότερο κόστος το 2016, σε σύγκριση με την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από άνθρακα, αιολική και ηλιακή ενέργεια. Το φυσικό αέριο είναι λιγότερο δαπανηρό από άλλες πηγές ενέργειας ουδέτερες σε άνθρακα, όπως η πυρηνική και η ηλιακή, ενισχύοντας έτσι την έννοια «μεταβατικό καύσιμο» που κατέχει, σε ένα καθαρό ενεργειακό μέλλον. Ωστόσο η υποδομή του φυσικού αερίου είναι περισσότερο δαπανηρή, δεδομένου ότι μεταφέρεται μέσω αγωγών, ενώ άλλες πηγές ενέργειας, όπως το πετρέλαιο και ο άνθρακας έχουν ευέλικτα συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν τρένα, φορτηγά και πλοία (Liang, Rynak, Sayeed & Zhao, 2012). Η παραγωγή αερίου σύνθεσης είναι αρκετά δαπανηρή (Eliseev, 2009). Το 60% ή περισσότερο του κόστους κεφαλαίου των εργοστασίων GTL συνδέεται με την αναμόρφωση του μεθανίου προς αέριο σύνθεσης (Holmen, 2009).

Το συμπιεσμένο φυσικό αέριο είναι μια αέρια μορφή του φυσικού αερίου, και έχει αναγνωριστεί ως ένα υποσχόμενο εναλλακτικό καύσιμο, λόγω του χαμηλότερου κόστους σε σχέση με τη βενζίνη. Το λειτουργικό κόστος αποτελεί έναν από τους λόγους για τους οποίους τα οχήματα που τροφοδοτούνται με φυσικό αέριο πλεονεκτούν σημαντικά έναντι των οχημάτων με βάση το πετρέλαιο. Η βάση αυτού του επιχειρήματος είναι το χαμηλότερο κόστος ανά μονάδα ενέργειας του φυσικού αερίου σε σύγκριση με το πετρέλαιο. Πολλοί από τους κατασκευαστές αυτοκινήτων έχουν ήδη

κατασκευάσει μεταφορικά μέσα με ένα σύστημα τροφοδοσίας φυσικού αερίου και συνεπώς οι καταναλωτές δεν υποχρεούνται να πληρώσουν για το κόστος μετατροπής και τα απαιτούμενα εξαρτήματα (Semin, Bakar & Ismail, 2009). Αν και τα οχήματα που λειτουργούν με φυσικό αέριο είναι περίπου 30% φθηνότερα από τα οχήματα με βενζίνη με χαμηλότερο κόστος συντήρησης εντούτοις μειονεκτούν στο ότι το αρχικό κόστος τους είναι υψηλό (Liang, Ryvak, Sayeed & Zhao, 2012).

Τα τελευταία χρόνια τα πηγάδια του φυσικού αερίου υπόκεινται διάτρηση σε αυξημένα βάθη (Maddox, Moshfeghian, Idol & Johannes, 2007), καθώς η ζήτηση της ενέργειας αυξάνεται, καθιστώντας το πετρέλαιο και κατ' επέκταση το φυσικό αέριο πρωταρχικούς στόχους για την παραγωγή ενέργειας. Τα βαθιά πηγάδια είναι συχνά πολύ μεγάλοι παραγωγοί πετρελαίου και φυσικού αερίου σε σχέση με τα ρηχά. Ωστόσο, η παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου από αυτά τα βαθιά πηγάδια συνεπάγεται υψηλής πίεσης και υψηλής θερμοκρασίας συνθήκες των γεωτρήσεων με παράλληλη χρήση πυκνών διαβρωτικών λασπών. Το κόστος γεώτρησης των βαθιών πηγαδιών, είναι μια μεγάλη ανησυχία για τη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου καθώς το κόστος γεώτρησης αυξάνεται εκθετικά με την αύξηση του βάθους των πηγαδιών. Το εν λόγω κόστος της γεώτρησης δεν περιλαμβάνει τις έκτακτες διακοπές λειτουργίας των γεωτρήσεων που προκαλούνται από καταστροφικές αποτυχίες των επιχειρήσεων της γεώτρησης. Διάφορες τεχνικές γεώτρησης έχουν αναγνωριστεί ως οι πιο δύσκολες αιτίες της καταστροφικής θραύσης των σωλήνων γεώτρησης κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της γεώτρησης των βαθιών πηγαδιών πετρελαίου και φυσικού αερίου, των οποίων τα περιβάλλοντα είναι πλούσια σε χλωριούχα και διαλελυμένο υδρόθειο υδρογόνου. Οι εν λόγω ενώσεις είναι εξαιρετικά επιζήμιες για τους χάλυβες που χρησιμοποιούνται στις εργασίες γεώτρησης. Είναι αναγκαίο να ξεπεραστούν οι καταστροφικές διαβρώσεις που λαμβάνουν χώρα κατά τη γεώτρηση πολύ βαθιών πηγαδιών πετρελαίου και φυσικού αερίου, καθώς αποτελούν επιπλέον δαπάνες (Ziomek-Moroz, 2012).

Δεν είναι σαφές κατά πόσον η εξαγωγή του φυσικού αερίου θα μπορεί να διπλασιαστεί κατά τη διάρκεια των χρόνων χωρίς αύξηση στο κόστος εξόρυξης (Semin, Bakar & Ismail, 2009). Οι ερευνητές και οι επαγγελματίες στον τομέα της υδραυλικής διάρρηξης θέλουν να προωθήσουν τη γνώση στους τομείς της μηχανικής θραύσης και του σχεδιασμού της διαδικασίας για να μεγιστοποιήσουν την ανάκτηση των πολύτιμων πόρων και να ελαχιστοποιήσουν το κόστος παραγωγής (Bierman, Kulp & Foote, 2011).

☞ Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας

Οι μακροπρόθεσμες προβλέψεις των υψηλών τιμών της ενέργειας υποδεικνύουν ότι η βιομηχανία του φυσικού αερίου θα έχει μια διαρκή και αυξανόμενη επιρροή στην οικονομία. Στο τρέχον οικονομικό και πολιτικό πλαίσιο της υψηλής ανεργίας και των μεγάλων ελλειμμάτων του δημόσιου τομέα, οι περισσότερες θέσεις εργασίας και τα μεγαλύτερα φορολογικά έσοδα από την εκμετάλλευση των φυσικών πόρων του φυσικού αερίου αποτελεί έλξη για τους πολιτικούς ηγέτες. Αρκετές εκθέσεις έχουν χρησιμοποιήσει διάφορα μοντέλα για την εκτίμηση των επιπτώσεων στην απασχόληση από τη μεγαλύτερη παραγωγή φυσικού αερίου. Καθώς ο τομέας εξόρυξης φυσικού αερίου μεγαλώνει, απαιτεί περισσότερο εργατικό δυναμικό. Η ραγδαία αύξηση εξόρυξης φυσικού αερίου θα είναι ικανή να αυξήσει την συνολική απασχόληση και το εισόδημα εξαιτίας των υψηλότερων μισθών που προκαλείται από το συνδυασμό της μεγαλύτερης ζήτησης για εργατικό δυναμικό και της αύξηση του αριθμού των θέσεων εργασίας. Μια χώρα με ραγδαία αύξηση σχετίζεται με υψηλότερο ρυθμό αύξησης της συνολικής απασχόλησης των μισθών και των εισοδημάτων (Weber, 2012).

☞ Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δύο δεκαετιών οι κυβερνήσεις υποστηρίζουν την αυξημένη εξερεύνηση και παραγωγή του φυσικού αερίου, σε μια προσπάθεια να μειωθεί η εξάρτηση από τα εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα. Οι τεχνολογικές εξελίξεις επέτρεψαν τη δυνατότητα βαθύτερης διάνοιξης και ευρύτερης επέκτασης, προκειμένου να παραχθεί περισσότερο φυσικό αέριο, αγγίζοντας έτσι τα αποθέματα φυσικού αερίου με μεγαλύτερη ευκολία και κερδοφορία. Αν και αυτές οι εξελίξεις έχουν επιτρέψει την εξόρυξη τεράστιων κοιτασμάτων φυσικού αερίου, η νέα τεχνολογία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό στη χρήση απόρρητων τύπων και ποσοτήτων τοξικών χημικών ουσιών. Οι χημικές ουσίες χρησιμοποιούνται καθ' όλη τη διάρκεια των διεργασιών ούτως ώστε να προσεγγιστεί και να απελευθερωθεί το φυσικό αέριο. Οι εκπρόσωποι των βιομηχανιών εξόρυξης δηλώνουν ότι υπάρχει μικρή ανησυχία λόγω των χαμηλών συγκεντρώσεων των χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται στις διεργασίες. Παρ' όλα αυτά, η ανθρώπινη υγεία απειλείται καθώς πολλά συστήματα του ανθρώπινου οργανισμού, και κυρίως το ενδοκρινικό σύστημα, είναι εξαιρετικά ευαίσθητο σε πολύ χαμηλά επίπεδα των χημικών ουσιών. Η ζημία μπορεί να μην είναι εμφανής κατά τη διάρκεια της έκθεσης, αλλά μπορεί να έχει απρόβλεπτες καθυστερημένες, δια βίου συνέπειες για τα άτομα και/ή τους απογόνους τους. Επιδράσεις αυτής της φύσεως θα είναι πολύ πιο δύσκολο να εντοπιστούν σε σύγκριση με τις προφανείς επιπτώσεις όπως ερεθισμό του δέρματος και των ματιών, που εμφανίζονται αμέσως μετά την επαφή. Τα προβλήματα υγείας θα μπορούσαν να παραμείνουν κρυμμένα για δεκαετίες. Οι επιπτώσεις των χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν μειωμένη παραγωγή σπέρματος, στειρότητα, ορμονικές ανισορροπίες, και άλλες διαταραχές συναφείς με το φύλο. Άτομα που ζουν κοντά σε

επιχειρήσεις εξόρυξης φυσικού αερίου έχουν βιώσει σοβαρή αναπνευστική δυσχέρεια, ναυτία, και εμετό κατά τη φάση της γεώτρησης φυσικού αερίου (Colborn, Kwiatkowski, Schultz & Bachran, 2011). Οι εργαζόμενοι εκτίθενται σε μια σειρά από χημικούς κινδύνους, καθώς όταν έρχονται σε δερματική επαφή με τα υγρά της γεώτρησης, μπορούν να εμφανίσουν δερματίτιδα (Rose, 2009).

Τα προϊόντα που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια των διαδικασιών της υδραυλικής διάρρηξης ενέχουν κινδύνους για την υγεία καθώς οι εν λόγω χημικές ουσίες επηρεάζουν σε μεγάλο ποσοστό το δέρμα, τα μάτια και τα όργανα των ανθρώπων, σε λιγότερο βαθμό το νευρικό, καρδιαγγειακό, και ανοσοποιητικό σύστημα, και σε ακόμα μικρότερο βαθμό το ενδοκρινικό σύστημα. Το 25% των χημικών που χρησιμοποιούνται είναι καρκινογόνα και μπορούν να προκαλέσουν μεταλλάξεις (Bierman, Kulp & Foote, 2011).

☞ Αποδοχή από το κοινό

Το φυσικό αέριο είναι το πιο δημοφιλές καύσιμο για θέρμανση κατοικιών, καθώς αποτελεί μία από τις φθηνότερες μορφές ενέργειας που διατίθεται σε οικιακούς καταναλωτές. Είναι ακόμη φθηνότερο από την ηλεκτρική ενέργεια ως πηγή ενέργειας (Liang, Ryvak, Sayeed & Zhao, 2012).

Τα τελευταία χρόνια, η ενεργειακή ασφάλεια της Ευρώπης αντιμετωπίζει σοβαρές προκλήσεις λόγω της αυξανόμενης εξάρτησης της Ευρώπης από την εισαγόμενη ενέργεια (κυρίως ορυκτών καυσίμων) και τη συνεχή αύξηση της ζήτησης. Αυτό το ζήτημα της ενέργειας είναι, κυρίως, ζωτικής σημασίας για το φυσικό αέριο, δεδομένου ότι το 70% των εισαγωγών του φυσικού αερίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης χρησιμοποιείται σήμερα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η κατάσταση θα γίνει πιο απογοητευτική, δεδομένου ότι οι ανάγκες εισαγωγών της Ευρωπαϊκής Ένωσης θα είναι πέντε ή έξι φορές υψηλότερες από την εγχώρια παραγωγή φυσικού αερίου κατά το έτος 2030. Για τους λόγους αυτούς, υπάρχει ένα μεγάλο ενδιαφέρον για την προώθηση πολιτικών και μέτρων προκειμένου να εξασφαλιστούν επαρκή επίπεδα ασφάλειας του εφοδιασμού με φυσικό αέριο. Τα μέτρα ασφαλείας, ωστόσο, θα έρθουν με επιπλέον κόστος το οποίο θα καταβάλλεται από την κοινωνία. Έτσι, θα ήταν ενδιαφέρον για τους φορείς χάραξης πολιτικής να γνωρίζουν πόσα περισσότερα νοικοκυριά είναι πρόθυμα να πληρώσουν για την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού με φυσικό αέριο. Τα αποτελέσματα μιας έρευνας που διεξάχθηκε στο παρελθόν δείχνουν ότι οι καταναλωτές είναι πρόθυμοι να πληρώσουν κάτι παραπάνω στους λογαριασμούς ηλεκτρικού ρεύματος, προκειμένου να εσωτερικευτούν τα εξωτερικά κόστη της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όσον αφορά την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού, τα οποία προκαλούνται από τα εισαγόμενα καύσιμα (Damigos, Tourkolias & Diakoulaki, 2009).

2.4.3 Βιο-αιθανόλη

Η αιθανόλη είναι αιθυλική αλκοόλη ή χημικά C_2H_5OH ή $EtOH$ (Balat, 2005). Η βιο-αιθανόλη (CH_3CH_2OH) προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές πρώτων υλών, συνήθως φυτά όπως το σιτάρι, ζαχαρότευτλα, καλαμπόκι, άχυρο και ξύλο (Demirbas, 2007). Βιολογικές πρώτες ύλες που περιέχουν σημαντικές ποσότητες ζάχαρης ή υλικών που μπορούν με τη μέθοδο της υδρόλυσης να μετατραπούν σε ζάχαρη, όπως άμυλο ή κυτταρίνη, δύνανται να υποστούν ζύμωση για την παραγωγή βιο-αιθανόλης. Οι πρώτες ύλες της βιο-αιθανόλης μπορούν να καταταχθούν σε τρεις κατηγορίες: (i) πρώτες ύλες που περιέχουν σουκρόζη (π.χ. ζαχαρότευτλα, γλυκό σόργο και ζαχαροκάλαμο), (ii) αμυλούχα υλικά (π.χ. σιτάρι, καλαμπόκι, κριθάρι), και (iii) λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα (π.χ. ξύλο, άχυρο και χόρτα) (Balat, Balat & Öz, 2008).

☞ Τεχνολογίες παραγωγής

Η βιο-αιθανόλη από ζάχαρη/αμυλούχα φυτά, μέσω των παραδοσιακών τεχνολογιών παραγωγής περιλαμβάνεται στην ομάδα της «1ης γενιάς βιο-καύσιμα», ενώ η βιο-αιθανόλη από λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα θεωρείται ως «2η γενιά βιο-καυσίμων». Οι διαδικασίες παραγωγής βιο-αιθανόλης από καλλιέργειες ζάχαρης ή αμύλου είναι οι πιο παραδοσιακές και ανεπτυγμένες μέθοδοι. Η ζύμωση των πρώτων υλών εκτελείται από μικροοργανισμούς (ζυμομύκητες, βακτήρια, μύκητες), σε απουσία οξυγόνου. Το ζαχαροκάλαμο αρχικά αλέθεται προκειμένου να εξαχθούν τα σάκχαρα. Το παραμένον στερεό προϊόν είναι η βαγάση η οποία αποτελείται από λιγνοκυτταρικό υλικό. Μετά την εκχύλιση, η περιεκτικότητα σακχάρου ρυθμίζεται έτσι ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη αποδοτικότητα της ζύμωσης των ζυμομυκήτων. Η ζύμωση διακόπτεται σε συγκέντρωση αιθανόλης περίπου 10%. Στη συνέχεια ο ζυμός των σακχάρων αποστέλλεται στο στάδιο της απόσταξης και διόρθωσης, το οποίο προϊόν αποτελεί ένα αζεοτροπικό διάλυμα 95% όγκο κατ' όγκο αιθανόλης. Η περαιτέρω συγκέντρωση σε απόλυτη αιθανόλη (υψηλού βαθμού ή άνυδρη αιθανόλη) επιτυγχάνεται με την αζεοτροπική απόσταξη. Το στερεό υπόλειμμα, βαγάση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συμπαραγωγή (ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας), ώστε να παρέχει τη διαδικασία με την αναγκαία κατανάλωση ενέργειας. Αυτό έχει επίσης ως αποτέλεσμα την περαιτέρω μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, καθώς η βαγάση είναι βιομάζα, δηλαδή ένα ανανεώσιμο καύσιμο (Chiaromonti, 2007).

Οι φέτες ζαχαρότευτλων αρχικά επεξεργάζονται με επαφή με νερό ή χυμό τεύτλων στους 70-80°C, σε αντίθεση με το ζαχαροκάλαμο, το οποίο καταρχήν συνθλίβεται και συμπίεζεται για να εξαχθεί μηχανικά ο χυμός. Η θερμοκρασία είναι μια κρίσιμη παράμετρος για τη διαδικασία διάχυσης καθώς πρέπει να σπάσει τις πρωτεΐνες στα κυτταρικά τοιχώματα. Ο χυμός ζυμώνεται από ζυμομύκητες ή

βακτήρια. Ο πολτός, μόλις στραγγιστεί, χρησιμοποιείται ως ζωοτροφή ή πωλείται στη χημική ή φαρμακευτική βιομηχανία (Chiaramonti, 2007). Τα πλεονεκτήματα των ζαχαρότευτλων είναι ο χαμηλότερος κύκλος της παραγωγής των καλλιέργειών, υψηλότερη απόδοση και υψηλή ανοχή στις κλιματικές διακυμάνσεις, χαμηλή περιεκτικότητα σε νερό και απαίτηση λιπασμάτων (Balat, Balat & Öz, 2008).

Οι αμυλοκαλλιέργειες (όπως καλαμπόκι, σιτάρι, κριθάρι, βρώμη, κλπ) είναι επίσης άλλες τυπικές πρώτες ύλες για την παραγωγή βιο-αιθανόλης μέσω παραδοσιακών τεχνολογιών. Το άμυλο είναι ένα πολυμερές που αποτελείται από μόρια γλυκόζης. Στις μονάδες παραγωγής οι περισσότερο χρησιμοποιούμενες διεργασίες άλεσης αμύλου προς βιο-αιθανόλη είναι η υγρή άλεση ή η ξηρή άλεση. Και οι δύο μέθοδοι περιλαμβάνουν την άλεση των κόκκων, την προσθήκη ύδατος και θέρμανση, υδρόλυση πολτού, ζύμωση και απόσταξη. Η μέθοδος της ξηρής άλεσης δεν απαιτεί προ-επεξεργασία των κόκκων και έτσι οι κόκκοι αλέθονται άμεσα. Ενώ η υγρή άλεση διασφαλίζει την παραγωγή καθαρότερου αμύλου και υψηλότερης αξίας παραπροϊόντα, η ξηρή άλεση προσφέρει πλεονεκτήματα, όπως μείωση της ζήτησης ενέργειας, μείωση του κόστους των επενδύσεων, και υψηλότερη παραγωγή βιο-αιθανόλης (Chiaramonti, 2007). Για την παραγωγή βιο-αιθανόλης από άμυλο είναι απαραίτητο να σπάσουν οι αλυσίδες του για την απόκτηση γλυκόζης, η οποία μπορεί να μετατραπεί σε βιο-αιθανόλη από ζυμομύκητες. Υπάρχουν δύο βασικοί λόγοι για το σημερινό υψηλό κόστος της ενζυμικής υδρόλυσης: καθώς οι ζυμομύκητες *Saccharomyces cerevisiae* δεν μπορούν να αξιοποιήσουν αμυλούχες ύλες, πρέπει να προστεθούν μεγάλες ποσότητες αμυλολυτικών ενζύμων ενώ τα αμυλούχα υλικά πρέπει να ψήνονται σε υψηλή θερμοκρασία για να ληφθεί βιο-αιθανόλη υψηλής απόδοσης (Balat, Balat & Öz, 2008).

Η λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα σήμερα αποτελεί την πιο ενδιαφέρουσα και πολλά υποσχόμενη πρώτη ύλη για την παραγωγή βιο-αιθανόλης. Είναι άφθονη και ευρέως διαθέσιμη (είτε από ξυλώδη ή ποώδη φυτά, διάφορα είδη αποβλήτων, κλπ). Τα κύρια συστατικά της λιγνοκυτταρινούχας βιομάζας είναι κυτταρίνη, ημικυτταρίνη, λιγνίνη, εκχυλίσματα και τέφρα. Η διαδικασία της υδρόλυσης περιλαμβάνει το σπάσιμο των υδατανθράκων που αποτελούν το βιομάζα σε μονομερή σάκχαρα, τα οποία μπορούν στη συνέχεια να υποστούν ζύμωση από μικροοργανισμούς για την παραγωγή βιο-αιθανόλης. Οι δύο κύριες μέθοδοι υδρόλυσης που χρησιμοποιούνται είναι η χημική υδρόλυση και η ενζυματική υδρόλυση (Chiaramonti, 2007).

Κατά τη χημική υδρόλυση τα υπολείμματα που προκύπτουν (λιγνίνη, υπολειμματική κυτταρίνη) δύνανται να χρησιμοποιηθούν για διάφορες χρήσεις, όπως παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Τα

κύρια πλεονεκτήματα που προσφέρονται από την ενζυματική υδρόλυση σχετίζονται με τις πολύ ήπιες συνθήκες διεργασίας, που δίνουν υψηλές αποδόσεις, και μειωμένο κόστος κεφαλαίου και συντήρησης (υλικών του αντιδραστήρα), καθώς μειώνονται τα προβλήματα διάβρωσης. Ένα εμπόδιο για την διαδικασία της ενζυμικής υδρόλυσης αντιπροσωπεύεται από το κόστος του ενζύμου, το οποίο συνιστά περίπου το 40% του συνολικού κόστους (Chiaromonti, 2007).

Μια διαφορετική προσέγγιση για την παραγωγή βιο-αιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα αντιπροσωπεύεται από θερμοχημικές διεργασίες μετατροπής οι οποίες περιλαμβάνουν την αεριοποίηση της βιομάζας και το χαμηλής θερμοδικής αξίας αέριο που προκύπτει καθαρίζεται και στη συνέχεια είτε καταλυτικώς συντίθεται στο τελικό προϊόν ή υφίσταται ζύμωση. Το κύριο πλεονέκτημα των θερμοχημικών διεργασιών είναι η δυνατότητα να χρησιμοποιούν το σύνολο της βιομάζας, καθώς και διάφορες πρώτες ύλες, αλλά ο καθαρισμός του αερίου εξακολουθεί να είναι ένα σημαντικό ζήτημα προκειμένου να αποτελέσει αυτή η μέθοδος μια αποτελεσματική και οικονομικά βιώσιμη λύση (Chiaromonti, 2007).

Η λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα, όπως γεωργικά υπολείμματα, ξύλο και ενεργειακές καλλιέργειες, είναι ένα ελκυστικό υλικό για την παραγωγή του καυσίμου της βιο-αιθανόλης, δεδομένου ότι είναι η πιο άφθονη πηγή που αναπαράγεται στη Γη. Οι λιγνοκυτταρινούχες πολυετείς καλλιέργειες (π.χ. θάμνοι και γρασίδι) είναι υποσχόμενη πρώτη ύλη, λόγω των υψηλών αποδόσεων, χαμηλού κόστους, καλή καταλληλότητα για την χαμηλή ποιότητα της γης και χαμηλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ένα από τα πλεονεκτήματα της βιο-μετατροπής της λιγνοκυτταρίνης είναι η δυνατότητα να παράγουν υψηλής αξίας συν-προϊόντα μαζί με το καύσιμο της βιο-αιθανόλης. Η επεξεργασία της λιγνοκυτταρινούχας βιομάζας αποτελείται από τέσσερις κύριες λειτουργίες: προ-επεξεργασία, υδρόλυση, ζύμωση και διαχωρισμό προϊόντος/απόσταξη. Η βιο-μετατροπή της κυτταρίνης και της ημικυτταρίνης σε μονομερή σάκχαρα είναι δυσκολότερο να επιτευχθεί σε σύγκριση με τη μετατροπή του αμύλου, που χρησιμοποιείται σήμερα για την παραγωγή βιο-αιθανόλης (Balat, Balat & Öz, 2008).

Η βιο-αιθανόλη που προέρχεται από γεωργικά και δασικά υπολείμματα, ενεργειακές καλλιέργειες και άλλες μορφές λιγνοκυτταρινούχας βιομάζας οδηγεί σε καθαρή μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Τα κύρια πλεονεκτήματα της λιγνοκυτταρινούχας βιομάζας ως πρώτη ύλη για την απόκτηση βιο-αιθανόλης είναι το χαμηλότερο κόστος της και το γεγονός ότι η εν λόγω πρώτη ύλη δεν έχει καμία σχέση με τα προϊόντα διατροφής. Ωστόσο, η βιομηχανική βιωσιμότητα της ζύμωσης απαιτεί την επίλυση ορισμένων δυσχερειών, όπως: (1) την ανάπτυξη των μικροβιακών στελεχών που να είναι σε θέση να ζυμώνουν τα σάκχαρα που περιέχονται στην κυτταρίνη και ημικυτταρίνη με μεγαλύτερη ανοχή

στην αιθανόλη, αναστολείς και άλατά (2) βελτιώσεις της διαδικασίας που αποσκοπούν στην εξοικονόμηση ενέργειας, με την ενσωμάτωση των σταδίων της σακχαροποίησης και ζύμωσης. Η πρόοδος που αναμένεται στην αντιμετώπιση αυτών των περιορισμών μεσοπρόθεσμα επιτρέπει τη θεώρηση της βιο-αιθανόλης ως μια βραχυπρόθεσμη εναλλακτική λύση (Gayubo et al., 2010).

Οι τεχνολογίες για τη μικροβιολογική ζύμωση των καλλιιεργειών ζάχαρης και αμύλου, είναι καλά γνωστές και αναπτυγμένες ενώ η παραγωγή βιο-αιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα μέσω ενζυματικής υδρόλυσης ή θερμοχημικών διεργασιών δεν έχει ακόμη αναπτυχθεί πλήρως σε βιομηχανική κλίμακα. Η παραγωγή βιο-αιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα αποτελεί μια υποσχόμενη εναλλακτική λύση ικανή να αυξήσει σημαντικά τη διαθεσιμότητα και να μειώσει το κόστος των πρώτων υλών, αλλά απαιτεί τη βιομηχανοποίηση των καινοτόμων μεθόδων και τεχνολογιών που βρίσκονται στο στάδιο της πειραματικής εφαρμογής (Chiaromonti, 2007).

Μια κοινή αντίρρηση για την παραγωγή ενέργειας από καλλιιεργειες είναι ότι θα μπορούσε να εκτρέψει τη γεωργική παραγωγή μακριά από τις καλλιιεργειες τροφίμων (π.χ. καλαμπόκι). Το βασικό επιχείρημα είναι ότι οι καλλιιεργειες για ενέργεια ανταγωνίζονται με τις καλλιιεργειες τροφίμων (π.χ. καλαμπόκι) και έτσι προκαλείται έλλειψη τροφίμων και αύξηση των τιμών. Η καύση των πόρων τροφίμων για τους ανθρώπους (π.χ. καλαμπόκι) για τα καύσιμα, όπως συμβαίνει όταν η αιθανόλη παράγεται, εγείρει σημαντικά δεοντολογικά και ηθικά ζητήματα. Η επέκταση της παραγωγής αιθανόλης θα μπορούσε να προκαλέσει εκτροπή των απαραίτητων καλλιιεργήσιμων εκτάσεων από την παραγωγή καλαμποκιού που απαιτείται για τη διατήρηση της ανθρώπινης ζωής στην παραγωγή καλαμποκιού για τα εργοστάσια αιθανόλης. Αυτό θα δημιουργήσει σοβαρά πρακτικά, καθώς και ηθικά προβλήματα. Μια αύξηση στη χρήση του καλαμποκιού για την παραγωγή αλκοόλης θα οδηγούσε σε μείωση της χρήσης του καλαμποκιού για ζωοτροφές, με αποτέλεσμα υψηλότερες τιμές στο κρέας, τα γαλακτοκομικά προϊόντα, τα πουλερικά, με τελικό αποτέλεσμα τη μείωση της κατανάλωσης των προϊόντων αυτών (Kikuchi, Gerardo & Santos, 2009).

Η αιθανόλη που παράγεται από κυτταρινούχα βιομάζα είναι πιο ευεργετική από την αιθανόλη που παράγεται από καλαμπόκι όσον αφορά τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου. Επομένως είναι φιλική προς το περιβάλλον για την παρασκευή αιθανόλης από μια μεγάλη ποικιλία κυτταρινούχων πηγών όπως το πριονίδι, μικρής διαμέτρου δέντρα, κλπ. Οι κυτταρινούχες πηγές (π.χ. δέντρα) δεν έχουν καμία σχέση με τις καλλιιεργειες τροφίμων και έτσι δεν συμβάλλουν στην εκτροπή της γεωργικής παραγωγής μακριά από τις καλλιιεργειες τροφίμων. Λαμβάνοντας υπόψη το θέμα της ενέργειας, της ηθικής περί τροφίμων, και το στερεό πρόβλημα των αποβλήτων, η εφαρμογή των αποβλήτων ξύλου για παραγωγή

αιθανόλης είναι μια προσέγγιση για τη δημιουργία μιας βιώσιμης ενέργειας (Kikuchi, Gerardo & Santos, 2009).

Ένα από τα πιο αμφιλεγόμενα ζητήματα που σχετίζονται με την αιθανόλη είναι αυτό που ονομάζεται «καθαρή ενέργεια» της παραγωγής αιθανόλης. Υπάρχει αμφιβολία ως προς το αν περισσότερη ενέργεια χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη και την επεξεργασία της πρώτης ύλης σε αιθανόλη από αυτή που περιέχεται στην ίδια την αιθανόλη. Αναφέρεται σε διάφορες έρευνες ότι η αιθανόλη που παράγεται από καλαμπόκι έχει αρνητική τιμή ενέργειας, δηλαδή, το υγρό καύσιμο και άλλες πηγές ενέργειας που απαιτούνται για να αυξηθεί και να μετατραπεί το καλαμπόκι σε αιθανόλη είναι μεγαλύτερες από την παρούσα αξία ενέργειας στο καύσιμο αιθανόλης. Αυτό σημαίνει ότι η αιθανόλη από καλαμπόκι δεν είναι ένα υποκατάστατο της ενέργειας και ότι η αύξηση της παραγωγής της, δεν συμβάλλει στον εκτοπισμό των εισαγωγών πετρελαίου και στην αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας (Kikuchi, Gerardo & Santos, 2009). Επιπλέον η διαθεσιμότητα των πρώτων υλών αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα για την παραγωγή βιο-αιθανόλης. Η διαθεσιμότητα των πρώτων υλών για την παραγωγή βιο-αιθανόλης μπορεί να διαφέρει σημαντικά από εποχή σε εποχή και εξαρτάται από τη γεωγραφία των περιοχών (Balat, Balat & Öz, 2008).

☞ Τεχνολογίες μετατροπής

Σημαντική προσοχή δίνεται στην παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπως την βιομάζα. Η αιθανόλη που λαμβάνεται από τη ζύμωση της βιομάζας είναι μια υποσχόμενη πηγή εύφλεκτων-καυσίμων υδρογονανθράκων. Εκτός από την ενίσχυση της γεωργίας και άλλων τομέων της οικονομίας, η παραγωγή βιο-αιθανόλης παρέχει πρώτες ύλες που μπορούν να μετατραπούν σε εύφλεκτους υδρογονάνθρακες παρόμοιους με εκείνους που χρησιμοποιούνται ως καύσιμα και πρώτες ύλες για τις βιομηχανίες πετροχημικών. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η χρήση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αυξάνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, η ενίσχυση της χρήσης των υδρογονανθράκων από βιο-αιθανόλη θα αντιμετωπίσει ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα σήμερα, δηλαδή τη ρύπανση του περιβάλλοντος (Makarfi et al., 2009).

Αρκετοί καταλύτες έχουν χρησιμοποιηθεί στην μετατροπή φθηνών και εύκολα διαθέσιμων ενώσεων σε πιο πολύτιμους υδρογονάνθρακες. Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι η φύση των καταλυτών έχει σημαντική επίδραση στην απόδοση και τη διανομή των προϊόντων, ορισμένες ιδιότητες του καταλύτη και οι συνθήκες της αντίδρασης πρέπει να ελέγχονται ώστε να επιτευχθούν οι επιθυμητοί υδρογονάνθρακες. Στην πετροχημική βιομηχανία, οι ζεόλιθοι χρησιμοποιούνται ως καταλύτες για τη μετατροπή των αλκοολών χαμηλού μοριακού βάρους σε πιο πολύτιμους υδρογονάνθρακες. Δίνεται

μεγάλη προσοχή στις μελέτες για τις παραμέτρους που θα μπορούσαν ενδεχομένως να επηρεάσουν την εκλεκτικότητα των ζεόλιθων στην παραγωγή υδρογονανθράκων από ανανεώσιμες πρώτες ύλες όπως η αιθανόλη. Οι ζεόλιθοι είναι σημαντικοί καταλύτες στον τομέα αυτό λόγω της υψηλής τους επιλεκτικότητας. Πολλοί καταλύτες έχουν αναπτυχθεί με σκοπό τον έλεγχο της εκλεκτικότητας κατά την διάρκεια μετατροπής της αιθανόλης. Ωστόσο, τέτοιες προσπάθειες δεν έχουν αποδώσει σημαντικά υψηλή μετατροπή σε υγρούς υδρογονάνθρακες που να είναι πιθανόν να αντικαταστήσουν αυτούς που λαμβάνονται από ορυκτά καύσιμα (Makarfi et al., 2009).

Το αζεοτροπικό μίγμα αιθανόλη-νερό (96% αιθανόλη και 4% νερό κατ'όγκο) που λαμβάνεται από την βιομάζα μετατρέπεται σε ένα σταθερό επίπεδο στον αντιδραστήρα συνεχούς ροής και το οποίο τοποθετείται σε ένα ηλεκτρικώς θερμαινόμενο μπλοκ ανοξειδωτού χάλυβα. Στη συνέχεια ένα γραμμάριο του καταλύτη φορτώνεται στον αντιδραστήρα. Η αιθανόλη φορτίζεται από την κορυφή χρησιμοποιώντας μια αντλία, και έπειτα εξάτμιζεται και ο ατμός διέρχεται διαμέσου του στρώματος του καταλύτη στον αντιδραστήρα. Η πίεση είναι ελεγχόμενη και ο έλεγχος της θερμοκρασίας γίνεται με αυτόματο θερμορρυθμιστή. Τα προϊόντα της αντίδρασης περνούν από ένα συμπυκνωτή όπου ψύχονται με τρεχούμενο νερό και διαχωρίζονται σε υγρή και αέρια φάση σε ένα διαχωριστή. Η υγρή φάση αποτελείται από κλάσματα νερού και υδρογονανθράκων και συγκεντρώνεται σε ένα συλλέκτη όπου το νερό διαχωρίζεται από τους υγρούς υδρογονάνθρακες, με τη χρήση διαχωριστικής χοάνης. Η μετατροπή αιθανόλης εκτελείται σε θερμοκρασία των 400°C, και πίεση 1 και 3 atm, για 2-4 ώρες. Ο καταλύτης αναγεννιέται με το πέρασμα ενός ρεύματος αέρα σε θερμοκρασία 500°C για περίοδο 60 λεπτών (Makarfi et al., 2009).

Η μετατροπή της βιο-αιθανόλης σε υδρογονάνθρακες έχει προσελκύσει σημαντικό ενδιαφέρον για αρκετό καιρό τώρα, το οποίο έχει αυξηθεί λόγω της ζήτησης για τα προϊόντα αυτά. Ένα πλεονέκτημα της καταλυτικής μετατροπής της βιο-αιθανόλης, η οποία αποκτάται με μία μάζα περιεκτικότητας της 10% περίπου αιθανόλης, είναι ότι μειώνει τη σοβαρότητα της απόσταξης (αζεοτροπικό μίγμα: αιθανόλη-νερό με αιθανόλη 95%) και τις επακόλουθες δαπανηρές τεχνολογίες αφυδάτωσης που απαιτούνται για τη χρήση του ως καύσιμο αυτοκινήτων (Gayubo et al., 2010).

Η βιο-αιθανόλη έχει μεγαλύτερο αριθμό οκτανίων (μέτρο ποιότητας, και ως εκ τούτου προτιμάται στους κινητήρες εσωτερικής καύσης), ευρύτερα όρια ευφλεκτότητας, υψηλότερες ταχύτητες φλόγας και υψηλότερες θερμοότητες εξάτμισης από τη βενζίνη. Οι ιδιότητες αυτές επιτρέπουν μια υψηλότερη αναλογία συμπίεσης, μικρότερο χρόνο καύσης και λιτή καύση κινητήρα, τα οποία οδηγούν σε θεωρητικά πλεονεκτήματα απόδοσης έναντι της βενζίνης σε μια μηχανή εσωτερικής καύσης.

Δεδομένου ότι περιέχει οξυγόνο, η καύση των καυσίμων είναι πιο αποτελεσματική, μειώνοντας τους υδρογονάνθρακες και τα σωματίδια στα διαφεύγοντα αέρια καύσης της μηχανής. Μειονεκτήματα της βιο-αιθανόλης περιλαμβάνουν η χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα από τη βενζίνη (βιο-αιθανόλη έχει το 66% της ενέργειας που έχει βενζίνη), η διαβρωτική ικανότητα, η χαμηλή φωτεινότητα της φλόγας και η χαμηλότερη πίεση ατμού (με κρύο αρχίζει δύσκολα) (Balat, Balat & Öz, 2008).

Η χρήση της βιο-αιθανόλης περιορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τα ψυχρά κλίματα, και οφείλεται κυρίως στην υψηλή απορροφητικότητα νερού και τη δυνατότητα της κατάψυξης του διαλυμένου νερού όταν πέφτει η θερμοκρασία. Γι' αυτό στις βόρειες χώρες, η αιθανόλη αναμιγνύεται με καύσιμο και χρησιμοποιείται ως πρόσθετο (5-15%) της βενζίνης. Η περαιτέρω επεξεργασία της αιθανόλης σε οργανικές ενώσεις και τα μίγματά τους με βελτιωμένα χαρακτηριστικά καυσίμου (π.χ., υψηλή ειδική ικανότητα ενέργειας, χαμηλή δραστηριότητα διάβρωσης, χαμηλή πίεση των κεκορεσμένων ατμών) κρίνεται ως πολύ υποσχόμενη (Tret'yakov et al., 2010).

Η βιο-αιθανόλη από βιομάζα αν και πληροί τις σύγχρονες οικολογικές προδιαγραφές για τα καύσιμα και τις χημικές πρώτες ύλες αντιμετωπίζει ορισμένους περιορισμούς. Υπάρχει η ανάγκη για την προκαταρκτική απομάκρυνση του νερού από την αιθανόλη η οποία συνιστά μια ενεργοβόρος διαδικασία. Επιπλέον, είτε ο κινητήρας πρέπει να τροποποιηθεί για να λειτουργήσει με καθαρή αιθανόλη ή πρέπει να αναμιγνύεται η αιθανόλη με βενζίνη για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κινητήρες χωρίς τροποποίηση των τελευταίων. Είναι επίσης σημαντικό να εξεταστεί η υψηλή πίεση των ατμών και των συνακόλουθων υψηλών επιπέδων εξάτμισης και διάβρωσης χάρις στην άμεση παρουσία του νερού, μαζί με τη δυνατότητα να παγώνει σε χαμηλές θερμοκρασίες (Tret'yakov et al., 2010).

☞ Περιβαλλοντικές επιδράσεις

Η παραγωγή της αιθανόλης από βιομάζα είναι ένας τρόπος για να μειωθεί η κατανάλωση του αργού πετρελαίου και κατ' επέκταση η ρύπανση του περιβάλλοντος. Αποτελεί ένα ελκυστικό εναλλακτικό καύσιμο, γιατί είναι ένας ανανεώσιμος οξυγονωμένος πόρος και η παρουσία οξυγόνου στη βιο-αιθανόλη (35% οξυγόνο) βελτιώνει την καύση και συνεπώς μειώνει τις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα και σωματιδίων κατά την καύση. Ωστόσο τα οξυγονωμένα καύσιμα τείνουν να αυξάνουν τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου (Balat, Balat & Öz, 2008).

Η χρήση της βιο-αιθανόλης προωθείται για τις θετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις της στην κλιματική αλλαγή. Όπως και τα άλλα βιο-καύσιμα, η βιο-αιθανόλη αναμένεται να μειώσει τις εκπομπές διοξειδίου

του άνθρακα. Ωστόσο τίθεται το ερώτημα εάν η βιο-αιθανόλη είναι πραγματικά φιλική προς το περιβάλλον. Ένα από τα προβλήματα με την παραγωγή βιο-καυσίμων είναι η ανάγκη των ορυκτών καυσίμων που έχουν. Ο τρόπος με τον οποίο η γη καλλιεργείται για την παραγωγή ζαχαροκάλαμου έχει τεράστιες επιπτώσεις για το περιβάλλον. Η υποβάθμιση του εδάφους είναι ένα από τα προβλήματα που προκαλούνται από τη διάβρωση και συμπίεση. Η διάβρωση του εδάφους είναι υψηλή για την παραγωγή ζαχαροκάλαμου, λόγω του χρονικού διαστήματος που η γη παραμένει γυμνή μεταξύ της συγκομιδής και της νέας εποχής καλλιέργειας. Η συμπίεση προκύπτει από τα βαριά μηχανήματα τα οποία επιδεινώνουν τη διάβρωση του εδάφους. Η παραγωγή ζαχαροκάλαμου οδηγεί επίσης σε ρύπανση των υδάτων και του εδάφους που προκαλείται από τη χρήση των λιπασμάτων και των παραγόμενων υποπροϊόντων. Εκτός από τη ρύπανση του εδάφους και του νερού, η χρήση των αζωτούχων λιπασμάτων προκαλεί ρύπανση του αέρα καθώς οι εκπομπές διοξειδίου του αζώτου έχουν ισχυρότερες επιπτώσεις στη φύση από το διοξείδιο του άνθρακα. Η επέκταση των καλλιεργειών ζαχαροκάλαμου έχει ως αποτέλεσμα την αυξημένη χρήση λιπασμάτων και ως εκ τούτου προκαλεί μεγαλύτερη ρύπανση. Ένα άλλο πρόβλημα με την καλλιέργεια είναι η καύση της γεωργικής γης. Πριν τη συγκομιδή, το άχυρο και τα φύλλα του ζαχαροκάλαμου καίγονται προκειμένου να απλοποιηθεί η χειροκίνητη συγκομιδή. Η καύση προκαλεί ρύπανση του αέρα, των υδάτων και του εδάφους (Azadi et al., 2012). Κατά τη διάρκεια της παραγωγής βιο-αιθανόλης από καλαμπόκι, οι μεγάλες ποσότητες του διοξειδίου του άνθρακα που απελευθερώνονται, η διάβρωση του εδάφους και η χρήση περισσότερου λιπάσματος αζώτου από οποιαδήποτε άλλη καλλιέργεια αποτελούν περιβαλλοντικούς περιορισμούς οι οποίοι ισχύουν και για τη παραγωγή ζαχαροκάλαμου (Balat, Balat & Öz, 2008).

Ανησυχίες για την αποψίλωση των δασών, ιδίως στην περιοχή του Αμαζονίου, εγείρουν το ερώτημα κατά πόσον ή όχι η παραγωγή ζαχαροκάλαμου είναι εν μέρει υπεύθυνη για αυτό. Η γη που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ζαχαροκάλαμου για βιο-αιθανόλη δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για άλλα γεωργικά προϊόντα. Διαφορετικές μελέτες καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η παραγωγή ζαχαροκάλαμου και η επέκταση της δεν μπορεί άμεσα να συνδεθεί με την αποψίλωση των δασών. Αυτό δεν σημαίνει ότι η παραγωγή του ζαχαροκάλαμου δεν μπορεί να συνδεθεί έμμεσα με την αποψίλωση των δασών (Azadi et al., 2012).

☞ Οικονομικό κόστος

Το κόστος είναι η πιο σημαντική παράμετρος για τους καταναλωτές, όταν αποφασίζουν να αγοράσουν μίγμα αιθανόλης-βενζίνης (Ulmer, Huhnke, Bellmer & Cartmell, 2004). Η βιο-αιθανόλη είναι ένα υψηλού κόστους και χαμηλής απόδοσης προϊόν. Στις αναπτυσσόμενες χώρες υπάρχει αυξανόμενη τάση μετατροπής των βιο-καυσίμων σε βιοενέργεια με τις σύγχρονες τεχνολογίες καθώς τα τελευταία

γίνονται όλο και ανταγωνιστικά προς τα ορυκτά καύσιμα σε όρους κόστους. Ωστόσο, με δεδομένο τις τρέχουσες υψηλές τιμές του πετρελαίου, τα βιο-καύσιμα κοστίζουν περισσότερο από τα συμβατικά καύσιμα (Demirbas, 2008), καθώς τα κόστη παραγωγής των βιο-καυσίμων είναι υψηλότερα από τα αντίστοιχα του καύσιμου πετρελαίου, και ως εκ τούτου απαιτούνται μέσα πολιτικής από την κυβέρνηση για την προώθηση των βιο-καυσίμων στο εμπόριο (Sialertruksa, Gheewala, Hünecke & Fritsche, 2012).

Το κόστος των πρώτων υλών για την παραγωγή βιο-καυσίμων είναι μια σημαντική συνιστώσα του συνολικού κόστους (Demirbas, 2009a). Η τιμή των πρώτων υλών είναι εξαιρετικά ευμετάβλητη, η οποία μπορεί να επηρεάσει πολύ το κόστος παραγωγής της βιο-αιθανόλης. Οι πρώτες ύλες συνήθως αντιπροσωπεύουν μεγαλύτερο από το ένα τρίτο του κόστους της παραγωγής της βιο-αιθανόλης (Balat, Balat & Öz, 2008). Η βραχυπρόθεσμη πολιτική είναι να αποφευχθεί η μεγάλη κλίμακα εφαρμογή των βιο-καυσίμων μέχρι το κόστος των πρώτων υλών να μειωθεί σημαντικά (Walter et al., 2008). Περίπου το 60% του κόστους παραγωγής της βιο-αιθανόλης προέρχεται από τις πρώτες ύλες. Με τη χρήση φθηνότερων προϊόντων αποβλήτων από τη δασοκομία, τη γεωργία και τη βιομηχανία, το κόστος μπορεί να μειωθεί. Με αυτά τα σχετικά υψηλά κόστη των πρώτων υλών (στα οποία περιλαμβάνεται η προ-επεξεργασία με ένζυμα όταν χρησιμοποιούνται αμυλούχες καλλιέργειες), τέτοια προϊόντα ζύμωσης είναι επί του παρόντος πιο δαπανηρά από την παραγωγή καυσίμων που παράγονται από κατώτερου κόστους υδρογονάνθρακες. Παράλληλα η προ-επεξεργασία της υδρόλυσης των πρώτων υλών θεωρείται ως ένα από τα πιο ακριβά στάδια επεξεργασίας και μετατροπής της κυτταρινούχας βιομάζας σε ζυμώσιμα σάκχαρα (Balat, Balat & Öz, 2008). Ένα εμπόδιο για τις διαδικασίες της ενζυμικής υδρόλυσης εκπροσωπείται από το κόστος του ενζύμου που αντιστοιχεί περίπου στο 40% του συνολικού κόστους (Chiaramonti, 2007). Επιπλέον η αιθανόλη σχηματίζει αζέοτροπο με το νερό, ώστε να είναι δαπανηρό να καθαριστεί η αιθανόλη κατά τη διάρκεια της ανάκτησης (Balat, Balat & Öz, 2008). Οι τεχνολογίες που αναπτύσσονται σήμερα, θα επιτρέψουν μια οικονομικά αποδοτική μετατροπή της βιομάζας σε καύσιμα και χημικές ουσίες. Οι εν λόγω τεχνολογίες περιλαμβάνουν την χαμηλού κόστους θερμοχημική προ-επεξεργασία (Gray, Zhao & Emptage, 2006).

Η λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα είναι η πιο υποσχόμενη πρώτη ύλη λόγω της μεγάλης διαθεσιμότητας και του χαμηλού κόστους της. Εντούτοις σήμερα, το κόστος παραγωγής της βιο-αιθανόλης από λιγνοκυτταρίνη εξακολουθεί να είναι πολύ υψηλό (Balat, Balat & Öz, 2008), καθώς το μικρό μέγεθος και η πολυπλοκότητα της λιγνοκυτταρίνης την καθιστά πολύ πιο δύσκολη από ό, τι το άμυλο, στην διαδικασία της ενζυμικής αποικοδόμησης σε ζυμώσιμα σάκχαρα. Συνεπώς, το κόστος της παραγωγής

αιθανόλης από βιομάζα είναι υψηλότερο από ό, τι η παραγωγή αιθανόλης από άμυλο (Gray, Zhao & Emptage, 2006).

Ωστόσο το κόστος της βιο-αιθανόλης από άμυλο παραμένει υψηλό για δύο βασικούς λόγους: οι σακχαρομύκητες *Saccharomyces cerevisiae* δεν μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα αμυλούχα υλικά και έτσι απαιτείται η πρόσθεση μεγάλων ποσοτήτων αμυλολυτικών ενζύμων, τα οποία είναι πολύ δαπανηρά, ενώ οι αμυλούχες ύλες πρέπει να μαγειρεύονται σε υψηλή θερμοκρασία ώστε να επιτευχθεί υψηλής απόδοσης βιο-αιθανόλη (Balat, Balat & Öz, 2008).

Καθώς το αρχικό κόστος της παραγωγής και χρήσης των βιο-καυσίμων είναι υψηλό, μια νέα βιομηχανία βιο-καυσίμων χρειάζεται την υποστήριξη των επενδυτών, των αγροτών, τους διανομείς καυσίμων, τους κατασκευαστές αυτοκινήτων, και την ισχυρή συνεργασία μεταξύ των χωρών και εταιρειών (Walter et al., 2008).

Το κόστος παραγωγής των βιο-καυσίμων μπορεί να ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό από την περιοχή. Το κόστος παραγωγής της αιθανόλης είναι πολύ χαμηλότερο σε χώρες με θερμό κλίμα, με τη Βραζιλία να συνιστά τον χαμηλότερο σε κόστος παραγωγό στον κόσμο. Το κόστος παραγωγής στη Βραζιλία, με πρώτη ύλη το ζαχαροκάλαμο, πρόσφατα έχει καταγραφεί σε λιγότερο από το μισό του κόστους στην Ευρώπη (Demirbas, 2009a). Σε χώρες όπως η Βραζιλία και Ινδία, όπου το ζαχαροκάλαμο παράγεται σε σημαντικούς όγκους, η αιθανόλη με βάση το ζαχαροκάλαμο γίνεται όλο και πιο οικονομικά αποδοτική εναλλακτική λύση για τα καύσιμα πετρελαίου (Demirbas, 2009b).

☞ Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας

Η εμφάνιση της βιομηχανίας των βιο-καυσίμων αναμένεται να φέρει ευκαιρίες για την κοινωνικό-οικονομική ανάπτυξη, ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες μέσω της δημιουργίας απασχόλησης. Η δημιουργία απασχόλησης και εισοδήματος σε τοπικό επίπεδο είναι μια προσδοκία της ανάπτυξης των βιο-καυσίμων, διότι τα βιο-καύσιμα προσφέρουν θέσεις εργασίας στον τομέα της γεωργίας και της μεταποίησης. Τα βιο-καύσιμα απαιτούν περισσότερο εργατικό δυναμικό σε σύγκριση με τη βιομηχανία ορυκτών καυσίμων. Καθώς η γεωργία αποτελεί το σημαντικότερο οικονομικό τομέα με υψηλό ποσοστό εργατικού δυναμικού, κρίνεται σημαντικό να προωθείται η παραγωγή και χρήση των βιο-καυσίμων από εγχώριες πρώτες ύλες στις αναπτυσσόμενες χώρες, καθώς ενδέχεται να επιφέρει μείωση της φτώχειας στις αγροτικές κοινότητες (Silertruksa, Gheewala, Hünecke & Fritsche, 2012). Ο γεωργικός τομέας παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη της αιθανόλης (Walter et al., 2008).

Οι κύριοι στόχοι της εισαγωγής της έννοιας της συμπαραγωγής της ζάχαρης και της βιο-αιθανόλης θα οδηγήσει σε δημιουργία νέων θέσεων εργασίας. Τα ζαχαρότευτλα ενσωματώνουν τη γεωργία με τη βιομηχανία και έχουν ένα σημαντικό ρόλο έμμεσης προστιθέμενης αξίας σε πολλούς τομείς, με την παροχή απασχόλησης. Η παραγωγή βιο-αιθανόλης από ενδιάμεσα προϊόντα και υποπροϊόντα της επεξεργασίας των ζαχαρότευτλων θα αυξήσει την απασχόληση για τον εγχώριο πληθυσμό (Grahovac et al., 2012).

Τα βιο-καύσιμα μπορούν να επιδράσουν θετικά στην κοινωνικό-οικονομική ανάπτυξη, π.χ., με τη μείωση της φτώχειας μέσω της δημιουργίας θέσεων απασχόλησης. Η βιομηχανία ζαχαροκάλαμου στη Βραζιλία είναι υπεύθυνη περίπου για ένα εκατομμύριο άμεσων θέσεων εργασίας (περίπου 50% στην παραγωγή ζαχαροκάλαμου), και περίπου 2,5 με 3 εκατομμύρια έμμεσες θέσεις εργασίας. Ωστόσο, η δημιουργία θέσεων εργασίας στο μέλλον θα είναι χαμηλότερες καθώς η μηχανοποίηση των γεωργικών δραστηριοτήτων αυξάνεται (Walter et al., 2008).

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η βιομηχανία αιθανόλης εκτιμάται ότι απασχολεί 147.000-200.000 άτομα, και οι συντηρητικές προβλέψεις αποκαλύπτουν ότι κάθε 3,785 h m³ παραγωγής αιθανόλης μπορεί να δημιουργήσει 10.000-20.000 θέσεις εργασίας. Στη Νότια Αφρική, συνολικά 350.000 άμεσες θέσεις εργασίας θα δημιουργηθούν, εάν το 15% της ζήτησης της βενζίνης αντικατασταθεί από την αιθανόλη. Τα στοιχεία αυτά ενδέχεται να διπλασιαστούν όταν ληφθεί υπόψη και η έμμεση απασχόληση. Τα εν λόγω αποτελέσματα δείχνουν ότι η παραγωγή αιθανόλης απαιτεί περισσότερο εργατικό δυναμικό από το αντίστοιχο για την παραγωγή βενζίνης. Άλλες χώρες όπως η Γαλλία, η Ισπανία, η Κολομβία, η Βενεζουέλα, η Νιγηρία, η Ινδονησία και η Μαλαισία είναι επίσης αισιόδοξες ότι το πρόγραμμα βιο-καυσίμων που προτείνει η κυβέρνηση θα δημιουργήσει σημαντική απασχόληση (Silertruksa, Gheewala, Hünecke & Fritsche, 2012).

Στο μέλλον η αναμενόμενη αύξηση της ζήτησης για ενεργειακές καλλιέργειες θα είναι μια μεγάλη ευκαιρία για τη δημιουργία απασχόλησης. Η άμεση απασχόληση δημιουργείται στις διεργασίες της καλλιέργειας, συγκομιδής και επεξεργασίας των πρώτων υλών, π.χ. ζαχαροκάλαμου. Η άμεση απασχόληση στη γεωργία προσφέρει οφέλη απασχόλησης που δημιουργούνται από την παραγωγή βιο-καυσίμων σε μια αναπτυσσόμενη χώρα (Silertruksa, Gheewala, Hünecke & Fritsche, 2012).

☞ Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Το 2005, η ειδική ομάδα για τα βιο-καύσιμα, της Αυστραλιανής κυβέρνησης ανέφερε ότι οι επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία από τη χρήση αιθανόλης ως βιο-καύσιμο ήταν ένα σημαντικό

ζήτημα που απαιτεί επίλυση, προκειμένου να κατευθυνθούν τα εθνικά μέτρα πολιτικής που αποσκοπούν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Έτσι διεξήχθη μελέτη για τον προσδιορισμό των εκπομπών των οχημάτων ένα μέρος των οποίων χρησιμοποιούσαν 5% μείγμα αιθανόλης στη βενζίνη, και 10% μείγμα αιθανόλης στη βενζίνη. Η γενική διαπίστωση ήταν ότι υπάρχει όφελος για την υγεία του πληθυσμού του Σύδνεϋ και το οποίο προκύπτει από τη μετάβαση στα οχήματα με μίγματα αιθανόλης που συνεπάγεται χαμηλές εκπομπές σωματιδίων (Beer et al., 2011).

Ωστόσο αυξάνεται η ανησυχία για το κόστος της υγείας στην κοινωνία που οφείλεται από τις εκπομπές στην περιοχή των εργοστασίων αιθανόλης (Kusiima & Powers, 2010). Παρά το γεγονός ότι τα υγρά βιο-καύσιμα παράγονται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αυτό δεν σημαίνει απαραίτητα ότι δεν αντιπροσωπεύουν κανένα κίνδυνο για την υγεία. Μελέτες που αναλύουν τις επιπτώσεις της καύσης των βιο-καυσίμων στην ανθρώπινη υγεία λαμβάνουν υπόψη μόνο τις εκπομπές της καύσης των βιο-καυσίμων, αλλά δεν λαμβάνουν υπόψη τις εκπομπές που απελευθερώνονται στο στάδιο της παραγωγής και επεξεργασίας των πρώτων υλών των βιο-καυσίμων. Στο στάδιο της παραγωγής των βιο-καυσίμων, χρησιμοποιούνται μεγάλες ποσότητες από μη-ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ορυκτά καύσιμα) για το όργωμα, τη σπορά, τη συγκομιδή, τη μεταφορά στο εργοστάσιο και την επεξεργασία των πρώτων υλών. Επίσης, καταναλώνονται λιπάσματα για να επιτευχθεί μεγαλύτερη απόδοση της πρώτης ύλης. Ως εκ τούτου εκπέμπονται επικίνδυνες ουσίες για την υγεία. Επομένως, η αιθανόλη από καλλιέργειες δεν είναι κατ' ανάγκη επωφελής από την άποψη των επιπτώσεων στην υγεία του ανθρώπου, απλώς και μόνο επειδή προέρχεται από μια ανανεώσιμη πηγή (Fink & Medved, 2012).

Η πλειοψηφία των επιπτώσεων στην υγεία, της διαδικασίας της παραγωγής υγρών βιο-καυσίμων προέρχεται από τις αναπνεύσιμες ανόργανες ενώσεις οι οποίες εκπέμπονται κατά την παραγωγή των βιο-καυσίμων και οι εν λόγω επιπτώσεις στην υγεία ποικίλουν ανάλογα της προέλευσης της πρώτης ύλης. Όσον αφορά τις ανόργανες ενώσεις, η βιο-αιθανόλη από ζαχαρότευτλα πλεονεκτεί ενώ η παραγωγή βιο-αιθανόλης από ζαχαροκάλαμο παρουσιάζει μεγαλύτερες επιπτώσεις των αναπνεύσιμων ανόργανων ενώσεων από ό, τι τα ορυκτά καύσιμα (Fink & Medved, 2012). Η λιγνοκυτταρινούχα αιθανόλη θα κοστίζει στην κοινωνία λιγότερο σε σύγκριση με την αιθανόλη από καλαμπόκι (Kusiima & Powers, 2010).

Το ερώτημα δεν είναι πλέον εάν τα ανανεώσιμα βιο-καύσιμα θα παίξουν σημαντικό ρόλο στην παροχή ενέργειας για τις μεταφορές, αλλά ποιες είναι οι συνέπειες της χρήσης τους και πώς αντικατοπτρίζονται στην υγεία των ανθρώπων (Fink & Medved, 2012).

☞ Αποδοχή από το κοινό

Με βάση τις απαντήσεις στη μελέτη που διεξήχθη για να αξιολογηθεί η αντίληψη των καταναλωτών για το καύσιμο της βιο-αιθανόλης, φαίνεται ότι η πλειοψηφία των καταναλωτών αντιλαμβάνεται ότι το μεγαλύτερο δυναμικό όφελος από τη χρήση μίγματος αιθανόλης-βενζίνης είναι η μείωση της εξωτερικής εξάρτησης από το πετρέλαιο με τα επακόλουθα περιβαλλοντικά οφέλη, σε σύγκριση με τη βενζίνη. Επιπλέον οι καταναλωτές αντιλαμβάνονται ότι η αιθανόλη θα μπορούσε να έχει θετική επίδραση στην οικονομία ενώ σχεδόν τα δύο τρίτα των ερωτηθέντων δήλωσαν ότι θα αγόραζαν μίγμα αιθανόλης-βενζίνης αν ήταν διαθέσιμα (Ulmer, Huhnke, Bellmer & Cartmell, 2004). Παρόμοια σε μελέτη εξέτασης της κοινής γνώμης για τα βιο-καύσιμα διαπιστώθηκε ότι οι ερωτηθέντες που ζούσαν σε αγροτικές περιοχές θεωρούσαν το βιο-καύσιμο της αιθανόλης ως μέσο αύξησης των θέσεων εργασίας (Cacciatore, Scheufele & Shaw, 2012).

Αρκετές έρευνες δείχνουν γενική υποστήριξη του κοινού για την αιθανόλη (και τις προσπάθειες της κυβέρνησης για την αύξηση της χρήσης αιθανόλης). Συγκεκριμένα σημαντικό ποσοστό ερωτηθέντων σε επισκοπήσεις που πραγματοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της κοινής γνώμης σχετικά με τα βιο-καύσιμα απάντησαν θετικά στις εξής ερωτήσεις: Είστε υπέρ της αυξημένης ομοσπονδιακής χρηματοδότησης για την έρευνα σχετικά με την αιθανόλη; Υποστηρίζετε τις προσπάθειες της κυβέρνησης για την αύξηση της χρήσης της αιθανόλης; Είναι καλή ιδέα η χρήση βιο-καυσίμων όπως η αιθανόλη; Είναι καλή ιδέα η παραγωγή αιθανόλης με τη χρήση καλαμποκιού; (Delshad, Raymond, Sawicki & Wegener, 2010).

2.4.4 Βιο-αέριο

Το βιο-αέριο μπορεί να οριστεί ως το βιο-καύσιμο που παράγεται από έναν μεγάλο αριθμό αναερόβιων μικροβιακών ειδών που διαθέτουν εγγενώς/εκ φύσεως την ικανότητα να ζυμώνουν την οργανική ύλη υπό ελεγχόμενη θερμοκρασία, υγρασία και pH για να αποδώσουν ένα καύσιμο υψηλής ενεργειακής αξίας. Το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα είναι οι δύο βασικές ενώσεις που υπάρχουν στο βιο-αέριο, μαζί με ίχνη ποσοτήτων από αέρια όπως υδρατμούς, σουλφίδιο υδρογόνου, αλογονωμένους υδρογονάνθρακες, σιλοξάνια, αμμωνία, άζωτο και οξυγόνο (López, Rene, Veiga & Kennes, 2012). Το βιο-αέριο είναι μια αέρια ύλη η οποία είναι παρόμοια με το φυσικό αέριο (Valeria & Emese, 2011).

☞ Τεχνολογίες παραγωγής

Το βιο-αέριο αποτελεί ένα αέριο που παράγεται από την βιολογική διάσπαση οργανικών ουσιών σε απουσία οξυγόνου (Vogelsang, Eggert, 2011). Ειδικότερα, το βιο-αέριο αποτελεί το τελικό προϊόν της μικροβιολογικής αναερόβιας ζύμωσης (προϊόν μεταβολισμού των βακτηρίων) (Valeria & Emese,

2011), βιο-διασπάσιμων υλικών, όπως δημοτικά απόβλητα, βιομάζα, κοπριά/βοθρολύματα, πράσινα απόβλητα, και ενεργειακές καλλιέργειες (Vogelsang, Eggert, 2011). Αποτελεί δηλαδή την έμμεση μετατροπή της μερικής ηλιακής ενέργειας που αποθηκεύεται σε φυσική οργανική ύλη, προς αέριο-φορέα ενέργειας με αναερόβια ζύμωση (Valeria & Emese, 2011). Όλοι οι τύποι της βιομάζας μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υποστρώματα για την παραγωγή βιο-αερίου, εφόσον περιέχουν ως κύρια συστατικά υδατάνθρακες, πρωτεΐνες, λίπη, κυτταρίνη και ημικυτταρίνη (Weiland, 2010). Είναι ένα μίγμα, το οποίο αποτελείται κυρίως από αέριο μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα. Το ενεργειακό του περιεχόμενο μπορεί να προσδιοριστεί από τη ποσότητα μεθανίου (Valeria & Emese, 2011).

Η αναερόβια ζύμωση είναι μια σύνθετη διαδικασία, η οποία μπορεί να χωριστεί σε τέσσερις φάσεις: υδρόλυση, οξεογένεση, οξικογένεση/αφυδρογόνωση, και μεθανίωση. Τα επιμέρους βήματα αποικοδόμησης εκτελούνται από διαφορετικές ομάδες μικροοργανισμών (Weiland, 2010). Κατά τη διάρκεια της αναερόβιας ζύμωσης, τα βακτήρια μέσω μιας σειράς σύνθετων μικροβιολογικών μεθόδων υδρολύουν αρχικά τα πολυμερή συστατικά (π.χ., πολυσακχαρίτες, πρωτεΐνες και λιπίδια) που υπάρχουν στην πρώτη ύλη και περαιτέρω ζυμώνουν τα προκύπτοντα προϊόντα υδρόλυσης σε λιπαρά οξέα μικρών αλυσίδων, υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα, τα οποία τελικά μετατρέπονται σε βιο-αέριο (ένα μίγμα μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα) από μεθανογόνα αρχαία (Yu & Schanbacher, 2010).

Ειδικότερα στο πρώτο στάδιο της υδρόλυσης, τα ζυμωτικά βακτήρια μετατρέπουν το αδιάλυτο σύμπλοκο οργανικής ύλης, όπως κυτταρίνη, σε διαλυτά μόρια όπως σάκχαρα, αμινοξέα και λιπαρά οξέα. Το σύμπλοκο της πολυμερούς ύλης υδρολύεται προς μονομερή, π.χ. η κυτταρίνη σε σάκχαρα ή αλκοόλες και οι πρωτεΐνες σε πεπτίδια ή αμινοξέα, από υδρολυτικά ένζυμα, (λιπάσες, πρωτεάσες, κυτταρινάσες, αμυλάσες, κ.λπ.) που εκκρίνονται από τους μικροοργανισμούς. Στο δεύτερο στάδιο, τα ακετογόνα βακτήρια, επίσης γνωστά ως σχηματιστές οξέος, μετατρέπουν τα προϊόντα της πρώτης φάσης σε απλά οργανικά οξέα (οξικό οξύ, προπιονικό οξύ, βουτυρικό οξύ), διοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο. Τέλος, στο τρίτο στάδιο, το μεθάνιο παράγεται από βακτήρια που ονομάζονται σχηματιστές μεθανίου (επίσης γνωστά ως μεθανογόνα) με δύο τρόπους: είτε μέσω διάσπασης των μορίων του οξικού οξέος για την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου, ή με αναγωγή/μείωση του διοξειδίου του άνθρακα με υδρογόνο (Molino et al., 2013).

Η φύση των πρώτων υλών και οι συνθήκες λειτουργίας που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της αναερόβιας ζύμωσης, καθορίζουν τη χημική σύνθεση του βιο-αερίου. Το βιο-αέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (40-75%) και διοξείδιο του άνθρακα (15-60%). Ενδέχεται να είναι παρόν ίχνη ποσοτήτων άλλων συστατικών, όπως το νερό (5-10%), σουλφίδιο υδρογόνου (0,005-2%), σιλοξάνες (0-0,02%),

αλογονωμένοι υδρογονάνθρακες (<0,6%), αμμωνία (<1%), οξυγόνο (0-1%), μονοξείδιο του άνθρακα (<0,6%) και άζωτο (0-2%) (Ryckebosch, Drouillon & Vervaeren, 2011).

Ο σχεδιασμός της διαδικασίας πρέπει να είναι καλά προσαρμοσμένος στις ιδιότητες του υποστρώματος για την επίτευξη πλήρους αποικοδόμησης χωρίς αποτυχία στην διαδικασία. Η διαδικασία της πέψης λαμβάνει χώρα σε μεσόφιλες (35-42°C) ή θερμοφίλες (45-60°C) συνθήκες θερμοκρασίας. Είναι σημαντικό να διατηρείται μια σταθερή θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της πέψης, καθώς οι αλλαγές θερμοκρασίας ή διακυμάνσεις επηρεάζουν την παραγωγή βιο-αερίου αρνητικά. Ο σχηματισμός του μεθανίου πραγματοποιείται εντός ενός σχετικά στενού διαστήματος pH, από περίπου 6,5 έως 8,5 (Weiland, 2010).

Όλα τα υποστρώματα θα πρέπει να είναι απαλλαγμένα από παθογόνα και άλλους οργανισμούς, αλλιώς, είναι αναγκαία πριν από τη ζύμωση η παστερίωση στους 70°C ή αποστείρωση στους 130°C. Η ειδική απόδοση μεθανίου επηρεάζεται από τη χημική σύνθεση της καλλιέργειας η οποία αλλάζει καθώς το φυτό ωριμάζει. Ο χρόνος συγκομιδής και η συχνότητα συγκομιδής είναι, ως εκ τούτου, σημαντικοί παράγοντες για την ποιότητα του υποστρώματος και ως εκ τούτου την απόδοση του βιο-αερίου (Weiland, 2010).

Η τεχνολογία της αναερόβια ζύμωσης έχει αποκτήσει δημοτικότητα καθώς συνιστά μια λύση για τις ανησυχίες που αφορούν το περιβάλλον και την ενέργεια καθώς αγκαλιάζει την έννοια της αιφορίας (Asam et al., 2011). Η παραγωγή βιοαερίου από την αναερόβια ζύμωση προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες μορφές παραγωγής βιο-ενέργειας. Η εν λόγω μέθοδος έχει αξιολογηθεί ως μια ενεργειακά αποδοτική και περιβαλλοντικά επωφελή τεχνολογία για την παραγωγή βιο-ενέργειας. Μπορεί να μειώσει δραστικά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα με τη χρησιμοποίηση των διαθέσιμων πόρων σε τοπικό επίπεδο. Το προϊόν ζύμωσης είναι ένα βελτιωμένο λίπασμα, διαθέσιμο για τις καλλιέργειες, το οποίο μπορεί να αντικαταστήσει τα ανόργανα λιπάσματα (Weiland, 2010). Η διεργασία της αναερόβιας ζύμωσης δεν αποδίδει μόνο ενέργεια αλλά παράλληλα μειώνει σημαντικά την συνολική μάζα των αποβλήτων (Molino et al., 2013), καθώς τα τοπικά απόβλητα χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τοπικής ενέργειας, ελαχιστοποιώντας έτσι την ρύπανση (Asam et al., 2011).

Το λίπασμα που προκύπτει ως προϊόν της ζύμωσης επιτρέπει την ακριβή δοσολογία και την ένταξη σε ένα πρόγραμμα λίπανσης με μειωμένη εφαρμογή πρόσθετων ανόργανων αζωτούχων λιπασμάτων. Λόγω των βελτιωμένων ιδιοτήτων ροής, το προϊόν ζύμωσης μπορεί να διεισδύσει γρήγορα στο έδαφος

και έτσι μειώνεται ο κίνδυνος για απώλειες αζώτου από τις εκπομπές αμμωνίας. Η αναερόβια ζύμωση οδηγεί επίσης σε μια σημαντική μείωση των οσμών και σε μια θετική μεταβολή της συνθέσεως των οσμών (Weiland, 2010).

Πολλές πηγές, όπως καλλιέργειες, χόρτα, φύλλα, κοπριά, φρούτα, λαχανικά και απόβλητα ή φύκη μπορούν να χρησιμοποιηθούν, και η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί σε μικρές και σε μεγάλες κλίμακες. Αυτό επιτρέπει την παραγωγή βιο-αερίου σε οποιοδήποτε μέρος του κόσμου. Για αυξημένη διάδοση των μονάδων βιο-αερίου, είναι απαραίτητες περαιτέρω βελτιώσεις της αποτελεσματικότητας της διαδικασίας, και η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για την ανάμειξη, την παρακολούθηση και τον έλεγχο της διαδικασίας. Επιπλέον, η επίδραση της δομής της μικροβιακής κοινότητας στη σταθερότητα της διαδικασίας και την απόδοση του βιο-αερίου, απαιτεί περαιτέρω προσπάθειες και πρέπει να αναλυθεί με περισσότερη λεπτομέρεια. Πρόσφατα αποτελέσματα ερευνών έδειξαν ότι ισχυρές διακυμάνσεις στις δομές της μικροβιακής κοινότητας συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της συνεχούς διαδικασίας ζύμωσης που επηρεάζει την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας. Μοριακές αναλύσεις έχουν δείξει την παρουσία πολλών άγνωστων βακτηρίων τα οποία ενδέχεται να επιδρούν σημαντικά τη διαδικασία αποικοδόμησης. Σημαντικό για το μέλλον είναι επίσης μια καλύτερη διαδικασία έλεγχου. Σήμερα, υπάρχουν μόνο λίγοι διαθέσιμοι αισθητήρες, οι οποίοι είναι αρκετά ισχυροί για την παρακολούθηση μέσω απευθείας σύνδεσης. Με τον αυξανόμενο αριθμό των μονάδων βιο-αερίου είναι απαραίτητο επίσης μια βελτίωση της ποιότητας των υγρών εκροής (απόβλητα), προκειμένου να αποφευχθεί η μόλυνση των υπόγειων υδάτων με παθογόνα και θρεπτικά συστατικά (Weiland, 2010).

Τα οφέλη της ζύμωσης των αποβλήτων είναι κυρίως η καθαρή μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και η ανάκτηση ενέργειας από το βιο-αέριο που παράγεται. Τα αποτελέσματα της ζύμωσης της βιομάζας όπως υπολείμματα καλλιεργειών είναι η βελτιστοποίηση του κύκλου του αζώτου και συνεπώς υψηλότερες αποδόσεις, υψηλότερη παραγωγή ενέργειας ανά μονάδα καλλιεργήσιμης γης, περαιτέρω μείωση των αερίων του θερμοκηπίου και υψηλότερες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις, σχετικές με το άζωτο, όπως ευτροφισμός και οξίνιση. Η συμπερίληψη της μονάδας παραγωγής βιο-αερίου σε οργανικά συστήματα καλλιέργειας και η χρήση των διαθέσιμων αποβλήτων για παραγωγή ενέργειας αύξησε σε μεγάλο βαθμό τη συνολική παραγωγικότητα του συστήματος γεωργίας και ταίριαξε πολύ καλά τις βασικές αρχές της βιολογικής γεωργίας, όπως η μείωση όσο το δυνατόν περισσότερο των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της γεωργίας (Michel, Weiske & Möller, 2010).

☞ Τεχνολογίες μετατροπής

Το βιο-αέριο από απόβλητα, κατάλοιπα, και ενεργειακές καλλιέργειες θα διαδραματίσει ζωτικό ρόλο στο μέλλον, καθώς αποτελεί μια ευέλικτη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης και ως αέριο καύσιμο για τα οχήματα. Το βιο-αέριο πλούσιο σε μεθάνιο (βιο-μεθάνιο) μπορεί επίσης να αντικαταστήσει το φυσικό αέριο ως πρώτη ύλη για την παραγωγή χημικών προϊόντων (Weiland, 2010).

Το βιο-αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, το βιο-αέριο προκειμένου να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά ως καύσιμο πρέπει να καθαριστεί και να αναβαθμιστεί. Ο καθαρισμός του βιο-αερίου όχι μόνο αυξάνει τη θερμοδική αξία, αλλά επίσης μειώνει τον κίνδυνο της διάβρωσης (López, Rene, Veiga, & Kennes, 2012).

Η επεξεργασία του βιο-αερίου περιλαμβάνει μια διαδικασία καθαρισμού, στην οποία αφαιρούνται τα ίχνη των συστατικών επιβλαβή για το δίκτυο του φυσικού αερίου, τις συσκευές ή τους τελικούς χρήστες, και μία διεργασία αναβάθμισης, στην οποία απομακρύνεται το διοξείδιο του άνθρακα για να ρυθμιστεί η θερμοδική αξία και η σχετική πυκνότητα του. Μετά το μετασχηματισμό, το τελικό προϊόν αναφέρεται ως βιο-μεθάνιο, που τυπικά περιέχει 95-97% μεθάνιο και 1-3% διοξείδιο του άνθρακα. Το βιο-μεθάνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτική λύση για το φυσικό αέριο. Σε γενικές γραμμές, το είδος της τελικής χρήσης του βιο-αερίου καθορίζει τις απαιτήσεις ποιότητας (Ryckebosch, Drouillon, & Vervaeren, 2011).

Η απομάκρυνση του νερού αποτελεί το πρώτο βήμα της διαδικασίας καθαρισμού του βιο-αερίου και γίνεται γενικά με μεθόδους συμπκνώσεως. Με αυτό το βήμα αποφεύγεται η διάβρωση των σωλήνων. Η απομάκρυνση του υδρόθειου γίνεται με την προσθήκη διχλωριούχου/τριχλωριούχου σιδήρου κατά τη διάρκεια της ζύμωσης για να μειωθεί η συγκέντρωση του υδρόθειου. Οι τεχνολογίες απομάκρυνσης του διοξειδίου του άνθρακα παρέχουν βιο-μεθάνιο το οποίο πληροί τις προδιαγραφές για τα καύσιμα των οχημάτων. Ο τύπος της τεχνικής που εφαρμόζεται εξαρτάται από οικονομικά ή ενδεχομένως οικολογικά θέματα. Επιπλέον, μια τεχνολογία μπορεί επίσης να επιλεγεί σύμφωνα με την υψηλότερη επιτεύξιμη περιεκτικότητα σε μεθάνιο (Ryckebosch, Drouillon, & Vervaeren, 2011).

Ειδικότερα το βιο-αέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα, και παράλληλα περιέχει μικρότερες ποσότητες σουλφιδίου του υδρογόνου και αμμωνία, και είναι κορεσμένο με υδρατμούς. Πριν από τη χρησιμοποίησή του, το βιο-αέριο πρέπει να υφίσταται το στάδιο της

αποθείωσης και έπειτα να ξηραίνεται, για την πρόληψη των ζημιών που ενδέχεται να προκληθούν στις μονάδες αξιοποίησης του αερίου. Η απομάκρυνση του υδρόθειου γίνεται κυρίως με τη διεργασία της βιολογικής αποθείωσης (Weiland, 2010).

Η αναβάθμιση του βιο-αερίου για την αξιοποίηση του ως καύσιμο έχει αποκτήσει μεγάλη σημασία, επειδή το αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ένα πιο ενεργειακά αποδοτικό τρόπο καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Όλες οι προσμίξεις του αερίου καθώς και το διοξείδιο του άνθρακα πρέπει να αφαιρούνται, και το αναβαθμισμένο πλέον αέριο πρέπει να έχει περιεκτικότητα σε μεθάνιο περισσότερο από 95% με σκοπό να πληροί τις απαιτήσεις ποιότητας των διαφόρων συσκευών αερίου. Προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι το προκύπτον βιο-μεθάνιο δεν περιέχει βακτήρια και μούχλες τα οποία θα μπορούσαν να δημιουργήσουν μη αποδεκτούς κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία και τον εξοπλισμό, πρέπει να εφαρμόζονται φίλτρα. Κατά την αφαίρεση του διοξειδίου του άνθρακα από το ρεύμα αερίου, μικρές ποσότητες μεθανίου ενδέχεται να απομακρύνονται επίσης. Αυτές οι απώλειες μεθανίου πρέπει να διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα για περιβαλλοντικούς και οικονομικούς λόγους, καθώς το μεθάνιο είναι ένα αέριο του θερμοκηπίου 23 φορές ισχυρότερο από το διοξείδιο του άνθρακα (Weiland, 2010).

Η αναβάθμιση του βιο-αερίου σε ποιότητα φυσικού αερίου είναι μια διαδικασία πολλαπλών σταδίων. Μετά την απομάκρυνση του νερού (ατμού), του υδρόθειου, των σιλοξανών, των υδρογονανθράκων και της αμμωνίας, είναι απαραίτητη η απομάκρυνση του διοξειδίου του άνθρακα προκειμένου να ληφθεί η ποιότητα που ικανοποιεί το δείκτη Wobbe. Καθώς το διοξείδιο του άνθρακα του αναβαθμισμένου αερίου απομακρύνεται, η σχετική πυκνότητα μειώνεται και η θερμιδική αξία αυξάνεται, αυξάνοντας συνεπώς τον δείκτη Wobbe (Ryckebosch, Drouillon, & Vervaeren, 2011). Ο δείκτης Wobbe χρησιμοποιείται γενικά για να αξιολογήσει την ενέργεια καύσης ενός αερίου καυσίμου και προέρχεται από τη διαίρεση της υψηλής θερμαντικής αξίας του αερίου (ποσότητα θερμότητας που μια συγκεκριμένη ποσότητα καυσίμου απελευθερώνει κατά την καύση) από την τετραγωνική ρίζα του ειδικού βάρους του σε σχέση με τον αέρα (Naja et al., 2011).

Η αναβάθμιση του ακατέργαστου βιο-αερίου, το οποίο συχνά αναφέρεται ως βιο-μεθάνιο, και η παροχή αυτού του αερίου στο δίκτυο του φυσικού αερίου, φαίνεται μια ελκυστική λύση για τη χρησιμοποίησή του στην συνδυαστική παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας. Το βιο-μεθάνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας και ως πρώτη ύλη για τη χημική βιομηχανία. Οι τεχνολογίες αναβάθμισης είναι καθιερωμένες αλλά έχουν μειονεκτήματα όπως το μεγάλο μέγεθος του απαιτούμενου εξοπλισμού και η υψηλή ζήτηση ενέργειας. Ειδικότερα η επεξεργασία του βιο-αερίου για την αναβάθμιση του παρουσιάζει τα ακόλουθα βασικά μειονεκτήματα: οι διαδικασίες είναι

ενεργοβόρες, το προκύπτον αέριο πλούσιο σε μεθάνιο είναι σε χαμηλή πίεση, απαιτούνται πολύπλοκα συστήματα που περιλαμβάνουν αρκετά στάδια της διαδικασίας, με την απομάκρυνση του διοξειδίου του άνθρακα, υδρόθειου, καθώς και του νερού, μειώνεται η ευρωστία του συστήματος, και το μεγάλο μέγεθος του εξοπλισμού (Scholz, Melin & Wessling, 2013).

☞ Περιβαλλοντικές επιδράσεις

Τα συστήματα του βιο-αερίου είναι σημαντικό να προωθούνται καθώς έχουν τη δυνατότητα να αποτελούν μια αποτελεσματική στρατηγική για βελτιώσεις του περιβάλλοντος καθώς καταπολεμούν πολλά σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα, όπως η αλλαγή του κλίματος, ο ευτροφισμός, και η ατμοσφαιρική ρύπανση. Η εισαγωγή των εγκαταστάσεων βιο-αερίου μπορεί να οδηγήσει σε άμεσα οφέλη, όπως η μείωση των εκπομπών των ατμοσφαιρικών ρύπων, ως επακόλουθο της αντικατάστασης των ορυκτών καυσίμων, αλλά και έμμεσα οφέλη από την αλλαγή χρήσης γης και τη διαχείριση των οργανικών αποβλήτων. Τα έμμεσα οφέλη μπορεί να είναι τα πιο σημαντικά καθώς υπερβαίνουν τα άμεσα οφέλη. Όταν τα υπολείμματα καλλιεργειών, η κοπριά και άλλα οργανικά απόβλητα χρησιμοποιούνται για την παραγωγή βιο-αερίου τότε επιτυγχάνεται μείωση έκπλυσης αζώτου και των εκπομπών αμμωνίας και μεθανίου. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τα διάφορα συστήματα βιο-αερίου μπορούν να ποικίλουν σημαντικά αναλόγως των χρησιμοποιούμενων πρώτων υλών, το είδος της ενέργειας που παρέχεται και το σύστημα που αντικαθίσταται (Börjesson & Berglund, 2007).

Η ανάκτηση ενέργειας από τα απόβλητα είναι ένας τομέας ζωτικής σημασίας, δεδομένου ότι αποτελεί μια καθαρή, βιώσιμη και διεθνώς καθιερωμένη τεχνολογία διαχείρισης των αποβλήτων. Η εν λόγω τεχνολογία δεν μειώνει μόνο τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, αλλά επίσης και την εξάρτηση από άλλες πηγές καυσίμων. Η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές είναι ένα από τα κύρια θέματα για τη μείωση των περιβαλλοντικών ζημιών και εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, καθώς οι συμφωνίες για το κλίμα ενθαρρύνουν τη μη χρήση ορυκτών καυσίμων στο μέλλον (Karapidakis, Tsave, Soupios & Katsigiannis, 2010).

Η αξιολόγηση των διεργασιών κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της παραγωγής και χρήσης του βιο-αερίου παρουσιάζει δυνατότητες για μείωση των εκπομπών. Ωστόσο οι εκπομπές επηρεάζονται κυρίως από την κατανάλωση καυσίμων και χημικών λιπασμάτων κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας ενεργειακών φυτών, και από την κατανάλωση καυσίμων κατά τη συλλογή των πρώτων υλών, όπως αστικά στερεά απόβλητα. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από την κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων για την παροχή πρώτων υλών είναι αρκετά υψηλότερη για τα αστικά στερεά απόβλητα καθώς οι εισροές ενέργειας απαιτούνται για την προ-επεξεργασία των αστικών στερεών αποβλήτων

προκειμένου να πληρούνται τα πρότυπα ποιότητας πριν από τη διαδικασία της αναερόβιας ζύμωσης. Ο ηλεκτρισμός και η θερμότητα που παράγεται από τις εισροές των ορυκτών καυσίμων επηρεάζει σημαντικά τα φορτία των εκπομπών στη μονάδα παραγωγής βιο-αερίου. Οι εκπομπές από τη διαδικασία αξιοποίησης του βιο-αερίου και των υποδομών, χαρακτηρίζονται κυρίως από διαφορές στην αποτελεσματικότητα των αντίστοιχων τεχνολογιών μετατροπής ενέργειας και τις δυνατότητες αντικατάστασης των ορυκτών καυσίμων με ενέργεια που προέρχεται από το βιο-αέριο (Poeschl, Ward & Owende, 2012).

Το βιο-αέριο, ως υπο-προϊόν που παράγεται από την αναερόβια ζύμωση των αστικών αποβλήτων στα συστήματα υγειονομικής ταφής, είναι ένα εύφλεκτο και δυνητικά επιβλαβές αέριο μίγμα που αποτελείται κυρίως από μεθάνιο και διοξειδίου του άνθρακα με ίχνη πτητικών οργανικών ενώσεων. Το διοξείδιο του άνθρακα που απελευθερώνεται από την καύση του αερίου θεωρείται ότι είναι ένα τμήμα του φυσικού κύκλου άνθρακα της γης. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το αέριο υγειονομικής ταφής αποφεύγει την ανάγκη χρήσης μη ανανεώσιμων πόρων για την παραγωγή της ίδιας ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, η καύση του αερίου υγειονομικής ταφής εμποδίζει την απελευθέρωση του μεθανίου, ενός ισχυρού αερίου του θερμοκηπίου, στην ατμόσφαιρα (Karapidakis, Tsave, Soupios & Katsigiannis, 2010).

Η παραγωγή βιο-αερίου ενδέχεται να προκαλεί ανεξέλεγκτες απώλειες μεθανίου, οι οποίες είναι συνήθως μικρού μεγέθους σε καλής λειτουργίας συστήματα βιο-αερίου, αλλά μπορεί να είναι σημαντική σε συστήματα με ελαττωματική τεχνολογία. Ακόμη και οι μέτριες απώλειες του μεθανίου μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την υπερθέρμανση του πλανήτη δεδομένου ότι το μεθάνιο είναι αρκετές φορές πιο ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου από το διοξείδιο του άνθρακα (Böjesson & Berglund, 2007).

Όταν τα συστήματα βιο-αερίου αντικαθιστούν άλλα συστήματα βιο-ενέργειας, όπως άχυρο για την παραγωγή θερμότητας, ή καύση των οργανικών αποβλήτων για ανάκτηση θερμότητας, οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου μπορεί να αυξηθούν. Έτσι, προκειμένου να μεγιστοποιηθούν τα διάφορα πιθανά οφέλη και να ελαχιστοποιηθούν οι ενδεχόμενες αρνητικές επιπτώσεις, είναι σημαντικό τα συστήματα βιο-αερίου να σχεδιάζονται και να τοποθετούνται με σύνεση. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εισαγωγή του βιο-αερίου μπορεί να ποικίλουν σημαντικά λόγω των πρώτων υλών που ζυμώνονται, την υπηρεσία ενέργειας που παρέχεται και τα συστήματα αναφοράς που αντικαθίστανται (Böjesson & Berglund, 2007).

☞ Οικονομικό κόστος

Σε αντίθεση με άλλα ανανεώσιμα καύσιμα, όπως την βιο-αιθανόλη, η παραγωγή βιο-αερίου είναι σχετικά απλή και μπορεί να λειτουργήσει κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες και δεν είναι μονοπωλιακή (Rajendran, Aslanzadeh & Taherzadeh, 2012). Καθώς το μεθάνιο μπορεί να καεί, αποτελεί ένα σχετικά «πράσινο» και βιώσιμο ανανεώσιμο καύσιμο, ιδανικού χαμηλού κόστους, για να τροφοδοτήσει οποιαδήποτε μορφή θερμικής μηχανής για την παραγωγή μηχανικής ή ηλεκτρικής ισχύς (Vogelsang & Eggert, 2011). Μια σημαντική οικονομική θεώρηση είναι το γεγονός ότι το βιο-αέριο μπορεί να παραχθεί στον τόπο παραγωγής της βιομάζας μειώνοντας έτσι το κόστος μεταφοράς. (Molino et al., 2013). Συνεπώς το βιο-αέριο για παροχή ενέργειας σε αγροτικό περιβάλλον, είναι βιώσιμο και οικονομικά προσίτο (Rajendran, Aslanzadeh & Taherzadeh, 2012).

Το μελλοντικό κόστος της ενέργειας από βιομάζα, συμπεριλαμβανομένου και του βιο-αερίου δεν εξαρτάται μόνο από παράγοντες όπως η έκταση της τεχνολογικής προόδου στην μετατροπή της βιομάζας σε ενέργεια, αλλά και από την ακρίβεια της εκτίμησης του κόστους. Καλή κατανόηση της σχέσης μεταξύ του κόστους του κεφαλαίου και του μεγέθους των εργοστασίων μπορεί να παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για την αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας των μονάδων βιο-αερίου. Η βιομηχανία βιο-αερίου χαρακτηρίζεται συνήθως από μηδέν έως χαμηλό κόστος της πρώτης ύλης (εάν υπάρχει, οφείλεται ως επί το πλείστον στο κόστος μεταφοράς). Ωστόσο η οικονομία ενός αναερόβιου χωνευτήρα χαρακτηρίζεται από το υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης. Οι επενδυτικές δαπάνες πιστεύεται ότι επηρεάζονται από τη γεωγραφική θέση της χώρας. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της τεχνολογίας του βιο-αερίου είναι ότι σχεδόν το σύνολο του κόστους δαπανάται για την εγκατάσταση της, ενώ οι λειτουργικές δαπάνες (κόστος λειτουργίας και συντήρησης) είναι πολύ χαμηλές καθώς η πρώτη ύλη είναι συνήθως απόβλητα (Amigun & Blottnitz, 2010).

Το βιο-αέριο χρησιμοποιείται κυρίως σε μηχανή για παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Οι τουρμπίνες και οι κυνέλες καυσίμου είναι δαπανηρές εναλλακτικές λύσεις που χρειάζονται περαιτέρω εργασίες ανάπτυξης για τη μείωση του κόστους και την αύξηση της αξιοπιστίας τους (Weiland, 2010).

Οι εμπορικά διαθέσιμες πολυμερικές μεμβράνες είναι συνήθως ευαίσθητες σε αποικοδόμηση από έναν αριθμό των συστατικών του βιο-αερίου όπως αμμωνία και επομένως απαιτούν εκτεταμένη προεπεξεργασία του αερίου για την προστασία των μεμβρανών από αποικοδόμηση η οποία αυξάνει το κόστος καθαρισμού (Molino et al., 2013). Παράλληλα η απομάκρυνση του αζώτου και οξυγόνου είναι δύσκολη και δαπανηρή (Ryckebosch, Drouillon, Vervaeren, 2011).

Η δημοτικότητα των συστημάτων βιοαερίου (ζυμωτήρες) για νοικοκυριά αυξάνεται, λόγω της δυνατότητας μεταφοράς τους και του χαμηλού κόστους τους. Ωστόσο, η αναερόβια χώνευση είναι μια αργή διαδικασία, και απαιτεί ένα μακρύ υδραυλικό χρόνο κατακράτησης (> 30 ημέρες). Αυτό αυξάνει τον όγκο και το κόστος του ζυμωτήρα (Rajendran, Aslanzadeh & Taherzadeh, 2012), οδηγώντας έτσι σε υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης τους (Amigun & Blottnitz, 2010).

Κατά το υπολογισμό των επενδυτικών δαπανών της παραγωγής βιο-αερίου πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και το εισόδημα των πωλούμενων βιο-λιπασμάτων που προκύπτουν (Valeria & Emese, 2011). Η οικονομική σκοπιμότητα της εγκατάστασης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το αν τα προϊόντα που παράγονται με τη μορφή αερίου και πολλού μπορούν να υποκαταστήσουν τα δαπανηρά καύσιμα και τα λιπάσματα (Amigun & Blottnitz, 2010).

Η επιτυχία της παραγωγής βιο-αερίου θα προέλθει από τη διαθεσιμότητα σε χαμηλό κόστος και την ευρεία ποικιλία των χρησιμοποιήσιμων μορφών του βιο-αερίου για την παραγωγή θερμότητας, ατμού, ηλεκτρισμού, και υδρογόνου και για την αξιοποίηση ως καύσιμο οχημάτων (Weiland, 2010).

Ω Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας

Η εξάρτηση των χωρών από το εισαγόμενο πετρέλαιο, τα περιβαλλοντικά ζητήματα και η απασχόληση στις αγροτικές περιοχές αποτελούν λόγους για την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων με βιο-καύσιμα. Η αύξηση της χρήσης των βιο-καυσίμων για σκοπούς παραγωγής ενέργειας έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον σήμερα επειδή εκτός του ότι επιτρέπει την μείωση των αερίων του θερμοκηπίου, προσφέρει και νέες δυνατότητες απασχόλησης (Demirbas & Demirbas, 2007).

Η βιο-ενέργεια προωθείται λόγω του ότι προσφέρει οφέλη όπως τη δημιουργία θέσεων απασχόλησης, ιδιαίτερα στις αγροτικές περιοχές. Η μετατροπή των καλλιεργήσιμων εκτάσεων σε παραγωγή ενεργειακών καλλιεργειών μπορεί να θεωρηθεί ως μια επιλογή για την αντιμετώπιση αρκετών βασικών προκλήσεων για τον αγροτικό τομέα, όπως η αύξηση της ανεργίας. Οι τεχνολογίες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι σε γενικές γραμμές περισσότερο εντατικές σε εργατικό δυναμικό από τις συμβατικές ενεργειακές τεχνολογίες και η βιο-ενέργεια έχει την υψηλότερη δυνατότητα δημιουργίας απασχόλησης. Η δημιουργία θέσεων απασχόλησης αποτελεί ένα από τα κύρια οφέλη της αυξημένης χρήσης βιο-ενέργειας. Οι μικρότερης κλίμακας εγκαταστάσεις μετατροπής βιο-ενέργειας οδηγούν σε υψηλότερη ένταση απασχόλησης. Η παραγωγή της βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας έχει τη δυνατότητα να συμβάλει στη δημιουργία θέσεων απασχόλησης σε ένα μέγεθος που είναι σημαντικό σε σχέση με τη συνολική απασχόληση στη γεωργία (Berndes & Hansson, 2007).

Η ενέργεια του βιο-αερίου μπορεί να τονώσει την ανάπτυξη των αγρο-δασσοκομικών κοινοτήτων με υψηλό βαθμό ανεργίας. Οι σταθμοί παραγωγής βιο-αερίου από γεωργικές καλλιέργειες έχουν βελτιώσει εκτός από χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος (διαχείριση των αποβλήτων), και κοινωνικά χαρακτηριστικά καθώς προσφέρουν περισσότερες πράσινες θέσεις εργασίας (Budzianowski, 2012).

Σήμερα, η βιο-ενέργεια έχει γίνει ένας από τους πιο δυναμικούς και συνεχώς μεταβαλλόμενους τομείς της παγκόσμιας οικονομίας ενέργειας. Θεωρείται ως μια καθαρή και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που θα μπορούσε να βελτιώσει δραματικά το περιβάλλον, να μειώσει την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και να αναζωογονήσει τις κοινωνικοοικονομικές συνθήκες των αγροτικών κοινοτήτων με τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας (Halder et al., 2012).

☞ Επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία

Η έγχυση του κατεργασμένου και καθαρισμένου βιο-αερίου στο δίκτυο διανομής του φυσικού αερίου δεν φαίνεται να παρουσιάζει κανένα πρόσθετο κίνδυνο για τους καταναλωτές, με την προϋπόθεση ότι το βιο-αέριο προέρχεται από ζύμωση μη επικίνδυνων αποβλήτων, όπως απόβλητα των νοικοκυριών, οικιακά απόβλητα σε χώρους υγειονομικής ταφής, οργανικά απόβλητα (εστιατόρια, γεωργίας). Είναι απαραίτητο η διαδικασία καθαρισμού του βιο-αερίου να γίνεται πριν την έγχυση του στο δίκτυο διανομής. Η διαδικασία καθαρισμού πρέπει να οδηγεί, ως μια ελάχιστη απαίτηση, στην επίτευξη των τεχνικών προδιαγραφών, αλλά επίσης, να ελέγχει τα δευτερεύοντα στοιχεία που ενδέχεται να παρουσιάσουν δυνητικό κίνδυνο (βαρέα μέταλλα, οργανοχλωριωμένες ενώσεις, βενζόλιο, ακεταλδεΐδη και φορμαλδεΐδη) και έτσι να προκύψει ένα καθαρό βιο-αέριο ανάλογης ποιότητας με το φυσικό αέριο. Η έγχυση του βιο-αερίου που προέρχεται από λάσπες λυμάτων και βιομηχανικά απόβλητα, μέσα στο δίκτυο διανομής του φυσικού αερίου δεν θα πρέπει να επιτρέπεται, εκτός εάν διεξαχθεί μελέτη αξιολόγησης κινδύνου με βάση τη μικροβιολογική και χημική σύσταση του βιο-αερίου (Naja et al., 2011).

Ανάμεσα στις μεγαλύτερες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν σήμερα οι αναπτυσσόμενες χώρες είναι η περιβαλλοντική ρύπανση, η οποία με τη σειρά της απειλεί την ανθρώπινη υγεία. Απάντηση για την επίλυση του εν λόγω ζητήματος θα μπορούσε να αποτελέσει η παραγωγή βιο-αερίου από ζυμωτές σε νοικοκυριά. Κάθε βιο-αποικοδομήσιμο οργανικό απόβλητο μπορεί να επεξεργαστεί σε ένα ζυμωτήρα, παρέχοντας έτσι ενέργεια για το μαγείρεμα, το φωτισμό και τη θέρμανση, καλύπτοντας έτσι τις ενεργειακές ανάγκες του αγροτικού πληθυσμού. Με τη χρήση του βιο-αερίου ως καύσιμο που παράγεται στα αγροτικά νοικοκυριά, εκτός από τα περιβαλλοντικά οφέλη, λαμβάνονται και οφέλη για την υγεία. Ειδικότερα, μετά την εγκατάσταση των συστημάτων ζύμωσης βιο-αερίου στα νοικοκυριά,

παρατηρήθηκε βελτίωση των συνθηκών υγείας και της αλλαγής του τρόπου ζωής για τις γυναίκες. Η χρήση των εν λόγω συστημάτων από τους αγροτικούς πληθυσμούς, θα μπορούσε να τους βοηθήσει οικονομικά, καθώς επίσης και να βελτιώσει τις συνθήκες διαβίωσης, καθώς βελτιώνεται η ποιότητα του αέρα με ακόλουθα οφέλη για την υγεία των ανθρώπων (Rajendran, Aslanzadeh & Taherzadeh, 2012).

Ω3 Αποδοχή από το κοινό

Η καλύτερη τεχνολογία δεν κάνει καλό παρά μόνο όταν χρησιμοποιείται από τους ανθρώπους. Έτσι, το μέλλον των βιο-καυσίμων εξαρτάται όχι μόνο από την ανάπτυξη αποτελεσματικών και αποδοτικών τεχνολογιών, αλλά και από το κοινωνικό, οικονομικό, και πολιτικό κλίμα μέσα στο οποίο οι άνθρωποι αποφασίζουν να χρησιμοποιήσουν ή να αποφύγουν αυτές τις νέες πηγές καυσίμων και τεχνολογίες. Ακόμη και η καλύτερη τεχνολογία δεν θα ανταποκριθεί στις δυνατότητές της, εάν οι παραγωγοί και οι καταναλωτές δεν την αγκαλιάσουν (Wegener & Kelly, 2008).

Η δημόσια αποδοχή είναι το κλειδί για την ανάπτυξη μιας βιώσιμης βιομηχανίας βιο-ενέργειας. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση η χρήση της βιο-ενέργειας είναι δημοσίως αποδεκτή και θεωρείται αρκετά ευνοϊκά, πράγμα που σημαίνει ότι υπάρχει περιθώριο για περαιτέρω χρήση της βιο-ενέργειας. Ωστόσο η περαιτέρω ανάπτυξη θα απαιτήσει αύξηση της ευαισθητοποίησης του κοινού μέσω της προώθησης εκπαιδευτικών προγραμμάτων. Το γεγονός ότι η χρήση της βιο-ενέργειας είναι ευρέως αποδεκτή στην Ευρωπαϊκή Ένωση, θέτει τα θεμέλια για την ανάπτυξη ενός βιώσιμου εμπορίου βιο-ενέργειας. Απαιτούνται προγράμματα ευαισθητοποίησης για την βιο-ενέργεια, για να ενθαρρυνθεί η χρήση της και να αναπτυχθούν τα πρότυπα και η τεχνολογία για μια βιώσιμη βιομηχανία (Magar et al., 2011).

Το βιο-αέριο, μεταξύ των αγροτών απέκτησε αποδοχή ως μια εναλλακτική πηγή εισοδήματος, καθιστώντας έτσι την παραγωγή του βιο-αερίου μια σημαντική συνιστώσα της ανάπτυξης της υπαίθρου (Elke, Dörte, Bernd & Johann, 2011).

Η προώθηση της βιο-ενέργειας δεν είναι δυνατή χωρίς την αποδοχή από το κοινό. Ως εκ τούτου αυξημένη αποδοχή θα οδηγήσει σε μεγαλύτερη δυνατότητα για ανάπτυξη της βιο-ενέργειας. Η δημόσια αποδοχή βασίζεται κυρίως στην απόκτηση της εμπιστοσύνης του κοινού και την προσέλκυση της υποστήριξης των πολιτών, η οποία απαιτεί ένα αποτελεσματικό πλαίσιο πολιτικής και μια αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των ενδιαφερομένων (Magar et al., 2011).

2.4.5 Διεθνής πραγματικότητα

Τα βιο-καύσιμα άρχισαν να παράγονται στα τέλη του 19ου αιώνα, όταν η αιθανόλη προήλθε από το καλαμπόκι και ο πρώτος κινητήρας του Rudolf Diesel έτρεξε με φυσικέλαιο. Μέχρι τη δεκαετία του 1940, τα βιο-καύσιμα θεωρούνταν βιώσιμα καύσιμα για τις μεταφορές, αλλά η πτώση των τιμών των ορυκτών καυσίμων σταμάτησε την περαιτέρω ανάπτυξή τους. Το ενδιαφέρον για την εμπορική παραγωγή των βιο-καυσίμων για τις μεταφορές αυξήθηκε και πάλι στα μέσα της δεκαετίας του 1970, όταν η αιθανόλη άρχισε να παράγεται από το ζαχαροκάλαμο στη Βραζιλία και στη συνέχεια από το καλαμπόκι στις Ηνωμένες Πολιτείες. Στα περισσότερα μέρη του κόσμου, η ταχύτερη αύξηση της παραγωγής βιο-καυσίμων είχε λάβει χώρα κατά τη διάρκεια των τελευταίων 10 ετών και υποστηριζόταν από φιλόδοξες πολιτικές της κυβέρνησης. Οι πολιτικές υποστήριξης των βιο-καυσίμων συχνά οδηγούνται από τις ανησυχίες της ενεργειακής ασφάλειας, σε συνδυασμό με την επιθυμία για διατήρηση του γεωργικού τομέα και την αναζωογόνηση της αγροτικής οικονομίας. Πιο πρόσφατα, η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στον τομέα των μεταφορών έχει καταστεί σημαντική κινητήρια δύναμη για την ανάπτυξη των βιο-καυσίμων, ιδιαίτερα σε χώρες που ανήκουν στον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης. Ένα από τα πιο κοινά μέτρα στήριξης είναι η ανάμειξη της εντολής - η οποία καθορίζει την αναλογία των βιο-καυσίμων που πρέπει να χρησιμοποιούνται σε καύσιμα για τις μεταφορές - συχνά σε συνδυασμό με άλλα μέτρα, όπως φορολογικά κίνητρα. Περισσότερες από 50 χώρες, συμπεριλαμβανομένων πολλών χωρών που δεν είναι μέλη του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης, έχουν υιοθετήσει στόχους ανάμειξης ή εντολές και έχουν ανακοινώσει ποσοτώσεις για τα βιο-καύσιμα για τα επόμενα έτη. Ως αποτέλεσμα, η παγκόσμια παραγωγή βιο-καυσίμων αυξήθηκε από 16 δισεκατομμύρια λίτρα το 2000 σε περισσότερα από 100 δισεκατομμύρια λίτρα (ογκομετρικό) το 2010. Σήμερα, τα βιο-καύσιμα προσφέρουν γύρω στο 3% του συνόλου των καυσίμων των οδικών μεταφορών σε παγκόσμιο επίπεδο (σε επίπεδο ενέργειας) και επιτυγχάνονται σημαντικά υψηλότερα μερίδια σε ορισμένες χώρες. Η Βραζιλία, για παράδειγμα, συνάντησε περίπου το 21% της ζήτησης καυσίμων των οδικών μεταφορών το 2008 με βιο-καύσιμα. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, το ποσοστό ήταν 4% των καυσίμων των οδικών μεταφορών και στην Ευρωπαϊκή Ένωση, γύρω στο 3% το 2008 (International Energy Agency, 2011).

☞ Αφρική

Αρκετές χώρες στην Αφρική, σχεδιάζουν την επέκταση της εγχώριας παραγωγής βιο-καυσίμων τα επόμενα χρόνια. Λαμβάνοντας υπόψη τις συγκριτικά χαμηλές αποδόσεις των καλλιεργειών που επιτεύχθηκαν σήμερα υπάρχει ένα σημαντικό δυναμικό για την αύξηση της παραγωγής σιτηρών. Αυτό θα μπορούσε να απελευθερώσει τη γη για τη βιώσιμη παραγωγή βιο-καυσίμων χωρίς να θέτει σε κίνδυνο την επισιτιστική (τρόφιμα) ασφάλεια (International Energy Agency, 2011).

☞ **Αμερική**

Μια μελέτη του 2005 από το Oak Ridge National Laboratory πρότεινε ότι μόνο στις Η.Π.Α, περίπου 22 Mha των καλλιεργειών θα μπορούσαν να διατεθούν για την παραγωγή βιομάζας μέχρι το 2050, κυρίως μέσω της βελτίωσης απόδοσης και αλλαγές στη διαχείριση της γης. Η μεγάλη δασική περιοχή και ο γεωργικός τομέας του Καναδά θα μπορούσαν επίσης να παρέχουν σημαντικές ποσότητες υπολειμμάτων για την παραγωγή βιο-ενέργειας και βιο-καυσίμων, εκτός από τα γεωργικά υπολείμματα και τις ενεργειακές καλλιέργειες. Η Λατινική Αμερική έχει αναγνωριστεί ως μια περιοχή με σημαντικές δυνατότητες για την παραγωγή βιο-ενέργειας, λόγω των ευνοϊκών κλιματολογικών συνθηκών και των τεράστιων εκτάσεων ιδανικών για καλλιέργεια που βρίσκονται σε αγρανάπαιψη, και δεν καλλιεργούνται ή χρησιμοποιούνται ως βοσκότοποι (International Energy Agency, 2011).

☞ **Ασία**

Η παραγωγή βιο-καυσίμων σε ορισμένες ασιατικές χώρες αυξήθηκε ραγδαία τα τελευταία χρόνια και αναμένεται να συνεχιστεί, ιδιαίτερα στην Κίνα, την Ταϊλάνδη, τη Σιγκαπούρη και την Ινδονησία. Τα γεωργικά απόβλητα και υπολείμματα, θα γίνονται ολοένα και πιο σημαντικά, ως προηγμένες πρώτες ύλες των βιο-καυσίμων (International Energy Agency, 2011).

☞ **Ευρώπη**

Η Ανατολική Ευρώπη έχει χαρακτηριστεί ως περιοχή με ένα σημαντικό ποσό των υποχρησιμοποιούμενων και εγκαταλειμμένων γεωργικών γαιών. Οι εκτιμήσεις δείχνουν ότι περίπου το 40 Mha μπορούσε να καταστεί διαθέσιμο για την καλλιέργεια πρώτης ύλης των βιο-καυσίμων στα νέα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης και την Ουκρανία. Σε άλλα μέρη της Ευρώπης, η διαθεσιμότητα γης είναι ένας δυνητικά περιοριστικός παράγοντας και η πιο αποτελεσματική χρήση των αποβλήτων και υπολειμμάτων θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο για να καταστεί δυνατή η περαιτέρω ανάπτυξη του τομέα των βιο-καυσίμων (International Energy Agency, 2011).

☞ **Ωκεανία**

Η τρέχουσα παραγωγή βιοκαυσίμων στην Ωκεανία αντιστοιχεί σε λιγότερο από το 1% της παγκόσμιας παραγωγής, αλλά τεράστια ποσά βοσκοτόπων δείχνουν ότι τα επίπεδα παραγωγής θα μπορούσαν να αυξηθούν σημαντικά. Η έρευνα στην ανεκτικότητα των ειδών των ενεργειακών καλλιεργειών στην ξηρασία θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην αύξηση της παραγωγής βιο-καυσίμων σε περιοχές με χαμηλή βροχόπτωση (International Energy Agency, 2011).

2.4.6 Κυπριακή πραγματικότητα

Το προφίλ κατανάλωσης ενέργειας στην Κύπρο υποδεικνύει υψηλή εξάρτηση από τα εισαγόμενα προϊόντα πετρελαίου, με τις μεταφορές (71% οδικές μεταφορές και 29% αεροπορία) να αποτελούν τον μεγαλύτερο τομέα ενεργειακής κατανάλωσης. Ακολουθούν τα νοικοκυριά, έπειτα η γεωργία και τελευταίος ο εμπορικός και βιομηχανικός τομέας. Η έλλειψη διαθέσιμης γεωργικής γης και επαρκών ποσοτήτων νερού είναι ένα σημαντικό μειονέκτημα για την ανάπτυξη της εσωτερικής παραγωγής βιο-καυσίμων από ενεργειακές καλλιέργειες. Συνεπώς η παραγωγή βιο-καυσίμων στην Κύπρο θα εξαρτάται σημαντικά από τις εισαγωγές πρώτων υλών. Αναμένεται ότι η εσωτερική παραγωγή των βιο-καυσίμων με τη χρήση εγχώριων μεταχειρισμένων μαγειρικών ελαίων και ζωικών λιπών δεν θα υπερβαίνει το ποσοστό του 0,5% της συνολικής κατανάλωσης καυσίμων που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά. Τα πρότυπα για τα συμβατικά καύσιμα για τις μεταφορές θέτουν ένα μέγιστο ποσοστό της ανάμειξης των βιο-καυσίμων στα συμβατικά καύσιμα από 5% όγκο κατ' όγκο βιο-καυσίμου στο ντίζελ και 5% όγκο κατ' όγκο βιο-αιθανόλης στη βενζίνη. Ο Νόμος 59(I)/2007 για τα βιο-καύσιμα περιλαμβάνει το άρθρο 6 για την πάταξη της εμπορίας βιο-καυσίμων που παράγονται από γενετικώς τροποποιημένες καλλιέργειες. Αυτό είναι ένα σημαντικό εμπόδιο για τη χρήση των βιο-καυσίμων και των εισαγωγών βιο-καυσίμων καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό των βιο-καυσίμων παγκοσμίως παράγονται από γενετικώς τροποποιημένες καλλιέργειες. Δεδομένου τα ανωτέρω ο Εθνικός στόχος για τα βιο-καύσιμα ορίστηκε με βάση συγκεκριμένους περιορισμούς και εμπόδια για την περίπτωση της Κύπρου (Energy Services).

2.4.7 Συμπεράσματα

Από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση προκύπτει ότι τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα εναλλακτικά καύσιμα είναι αρκετά σημαντικά ώστε να δικαιολογούν την εξερεύνηση των δυνατοτήτων τους. Η εισαγωγή της οικονομίας των εναλλακτικών καυσίμων δύναται να οδηγήσει σε βελτιώσεις του περιβάλλοντος καθώς μειώνουν τις εκπομπές των ατμοσφαιρικών ρύπων και συμβάλλουν σε καθαρότερο και υγιέστερο αέρα, ως επακόλουθο της αντικατάστασης των ορυκτών καυσίμων, αγκαλιάζοντας έτσι την έννοια της αειφορίας. Ορισμένες πηγές των υπό εξέταση εναλλακτικών καυσίμων χαρακτηρίζονται ως «καύσιμα γεφύρωσης» ικανά να επιβληθήσουν τη μετάβαση στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, κάποιες μειώνουν την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα για παροχή ενέργειας, άλλες έχουν δαπανηρή υποδομή ενώ άλλες είναι σχετικά φθηνές μειώνοντας συνεπώς το κόστος μετάβασης προς ένα ενεργειακό σύστημα χαμηλού άνθρακα. Παρά το γεγονός ότι τα εναλλακτικά καύσιμα παράγονται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αυτό δεν σημαίνει απαραίτητα ότι δεν αντιπροσωπεύουν κανένα αρνητικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο, καθώς κατά την διαδικασία της

παραγωγής τους καταναλώνονται μεγάλες ποσότητες ενέργειας εγείροντας ένα ευρύ φάσμα ανησυχιών. Χώρες με οικονομικά αποδοτικές πηγές εναλλακτικών καυσίμων δύναται να στηρίξουν την οικονομική ανάπτυξη τους με την εκμετάλλευση των εν λόγω πόρων καθώς απαιτεί περισσότερο εργατικό δυναμικό αυξάνοντας έτσι την συνολική απασχόληση.

Κεφάλαιο Τρίτο

Μεθοδολογία

3.1 Σκοπός – Στόχοι

Η αύξηση της χρήσης των εναλλακτικών καυσίμων θα πρέπει να συνοδεύεται από εμπειριστατωμένη ανάλυση των περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών της συνεπειών, ώστε να εξακριβωθεί η σκοπιμότητα της αύξησης του μεριδίου τους σε σχέση με εκείνο των συμβατικών καυσίμων. Στα πλαίσια της εν λόγω μεταπτυχιακής διατριβής επιχειρείται συγκριτική αξιολόγηση των υπό εξέταση εναλλακτικών καυσίμων: υδρογόνο, φυσικό αέριο, βιο-αιθανόλη και βιο-αέριο, μέσα από τη διεξαγωγή πολυκριτηριακής αξιολόγησης, έτσι ώστε να δικαιολογείται η ώθηση εξερεύνησης του «καλύτερου» εναλλακτικού καυσίμου που προκύπτει από την εν λόγω προσέγγιση.

3.2 Ερευνητικά ερωτήματα

Κατά την αντικατάσταση του τρέχοντος ενεργειακού συστήματος με βάση τα ορυκτά καύσιμα, από την οικονομία των εναλλακτικών καυσίμων, εγείρονται ερωτήματα που αφορούν κατά πόσο τα οφέλη που προκύπτουν από την περιβαλλοντική και τεχνική αξιολόγηση, δικαιολογούν την ώθηση και την ομαλή μετάβαση στην εισαγωγή της οικονομίας των εν λόγω εναλλακτικών καυσίμων, και κατά πόσο οι τεχνολογίες παραγωγής και οι τεχνολογίες μετατροπής σε μορφή καυσίμων των εξεταζόμενων εναλλακτικών πηγών, εφαρμόζονται με βιώσιμο τρόπο με επακόλουθα ελάχιστα περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά κόστη, ούτως ώστε η αντικατάσταση του τρέχοντος ενεργειακού συστήματος με βάση τα ορυκτά καύσιμα, από την οικονομία των εναλλακτικών καυσίμων να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της αειφόρου ανάπτυξης.

3.3 Σχεδιασμός

Για την διεκπεραίωση της συγκριτικής αξιολόγησης των υπό εξέταση πηγών εναλλακτικών καυσίμων συγκεντρώθηκαν δεδομένα με βάση κριτήρια αξιολόγησης σε όρους τεχνικών, περιβαλλοντικών, οικονομικών, κοινωνικών και πολιτικών παραμέτρων.

- ☞ **Τεχνικά κριτήρια:** ενεργειακή απόδοση, αριθμός οκτανίων, πυκνότητα καυσίμου, ποσοστό άνθρακα.
- ☞ **Περιβαλλοντικά κριτήρια:** ρύποι κατά την καύση.
- ☞ **Οικονομικά κριτήρια:** κόστος καυσίμου, ενεργειακή ασφάλεια.
- ☞ **Κοινωνικά κριτήρια:** δημιουργία νέων θέσεων εργασίας, αποδοχή από το κοινό
- ☞ **Πολιτική:** Ευρωπαϊκής Ένωσης, Κύπρου.

3.4 Μέθοδος συλλογής δεδομένων

Στην ποιοτική έρευνα, υπάρχει μια ποικιλία μεθόδων συλλογής δεδομένων στην οποία συμπεριλαμβάνεται και η μέθοδος της συνέντευξης. Η μέθοδοι των συνεντεύξεων παραμένουν οι πιο κοινές μέθοδοι συλλογής δεδομένων, και σήμερα χρησιμοποιούνται με αυξανόμενη συχνότητα. Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι συνεντεύξεων στην έρευνα: η δομημένη, η ημιδομημένη και η αδόμητη. Στα πλαίσια της εν λόγω μεταπτυχιακής διατριβής ακολουθήθηκε η ποιοτική μεθοδολογία της δομημένης συνέντευξης. Η δομημένη συνέντευξη αφορά, κατ' ουσία, προφορικά ερωτηματολόγια, με ένα κατάλογο προκαθορισμένων ερωτημάτων, με ελάχιστη ή καμία μεταβολή και χωρίς περιθώριο για επακόλουθες ερωτήσεις στις απαντήσεις που απαιτούν περαιτέρω επεξεργασία. Ως εκ τούτου, είναι σχετικά γρήγορη και εύκολη στη διαχείριση και μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμη εάν η διευκρίνιση ορισμένων ζητημάτων απαιτείται. Ο σκοπός της συνέντευξης στην έρευνα είναι να διερευνήσει τις απόψεις σε συγκεκριμένα θέματα. Η μέθοδος της συνέντευξης είναι, ως εκ τούτου, πιο κατάλληλη όπου λίγα είναι γνωστά σχετικά με το φαινόμενο της μελέτης ή όπου απαιτούνται λεπτομερή στοιχεία από τους επιμέρους συμμετέχοντες (Stewart, Treasure & Chadwick, 2008).

Το περιεχόμενο της συνέντευξης για την διεκπεραίωση της συγκριτικής αξιολόγησης των υπό εξέταση πηγών εναλλακτικών καυσίμων, στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, αφορούσε ερωτήματα σχετικά με διάφορες παραμέτρους των περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών κριτηρίων και πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της Κύπρου.

3.5 Διαδικασία

Τα δεδομένα συλλέχθηκαν στα πλαίσια της συνέντευξης με τον κ. Χρυσάφη Μιχάλη, Λειτουργό της Υπηρεσίας Ενέργειας, του Υπουργείου Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού.

3.6 Ανάλυση αποτελεσμάτων

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων έγινε με τη βοήθεια της πολυκριτηριακής ανάλυσης. Η πολυκριτηριακή ανάλυση περιγράφει κάθε δομημένη προσέγγιση που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της βέλτιστης εναλλακτικής λύσης μεταξύ διάφορων εναλλακτικών επιλογών, με την διεξαγωγή συγκριτικής αξιολόγησης μεταξύ τους. Η αξιολόγηση γίνεται με τον καθορισμό ορισμένων κριτηρίων, αφού πρώτα προσδιοριστούν οι επιθυμητοί στόχοι. Η πολυκριτηριακή ανάλυση ή πολυκριτηριακή λήψη αποφάσεων είναι ένα είδος εργαλείου ανάλυσης αποφάσεων που ισχύει ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου η προσέγγιση ενός ενιαίου κριτηρίου είναι ανεπαρκής. Η εν λόγω μέθοδος επιτρέπει στους φορείς λήψης αποφάσεων να περιλαμβάνουν ένα πλήρες φάσμα κοινωνικών, περιβαλλοντικών, τεχνικών και οικονομικών κριτηρίων (Multicriteria Analysis (MCA)). Με τη χρήση της εν λόγω μεθόδου, λαμβάνονται υπόψη όλα τα σημαντικά κριτήρια και η επακόλουθη οργάνωση και σύνθεση πληροφοριών που προκύπτει βοηθά τους φορείς λήψης αποφάσεων να καταλήξουν σε ένα έμπιστο αποτέλεσμα-απόφαση (LØken, 2005). Ο γενικός στόχος της εν λόγω μεθόδου είναι να βοηθήσει στην λήψη αποφάσεων για την επιλογή της καλύτερης εναλλακτικής λύσης από μια σειρά από εναλλακτικές λύσεις σε ένα περιβάλλον με αντικρουόμενα και ανταγωνιστικά κριτήρια (Pietersen, 2007).

Η κατάταξη των εναλλακτικών λύσεων εξαρτάται από την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών για κάθε εναλλακτική λύση. Η κεντρική ιδέα των περισσότερων προσεγγίσεων της πολυκριτηριακής ανάλυσης είναι ότι η επιλογή της «καλύτερης» εναλλακτικής λύσης από ένα σύνολο εναλλακτικών λύσεων, γίνεται με βάση τον συνδυασμό των γνωρισμάτων/ιδιοτήτων με τις βέλτιστες τιμές (Kujawski, 2003).

Κεφάλαιο Τέταρτο

Αποτελέσματα

4.1 Έννοιες και θέματα (που αναδύθηκαν μέσα από την ποιοτική ανάλυση)

Η αξιολόγηση των παραμέτρων των τεχνικών, περιβαλλοντικών, οικονομικών, κοινωνικών και πολιτικών κριτηρίων που προέκυψε από τη προσέγγιση της πολυκριτηριακής ανάλυσης φανερώνει ότι η οικονομία των εναλλακτικών καυσίμων πλεονεκτεί σημαντικά έναντι των παραδοσιακών καυσίμων.

4.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Πίνακας 4.2.1: Ανάλυση παραμέτρων των τεχνικών κριτηρίων για το εκάστοτε εναλλακτικό καύσιμο, σε σύγκριση με τη βενζίνη.

Τεχνικά κριτήρια	Υδρογόνο	Φυσικό αέριο	Βιο-αιθανόλη	Βιο-αέριο
Ενεργειακή απόδοση*	υψηλότερη	υψηλότερη	υψηλότερη	υψηλότερη
Αριθμός οκτανίων**	μεγαλύτερος	μεγαλύτερος	μεγαλύτερος	μεγαλύτερος
Πυκνότητα καυσίμου***	χαμηλότερη	υψηλότερη	χαμηλότερη	χαμηλότερη
Ποσοστό άνθρακα	απαλλαγμένο	< ορυκτά	χαμηλότερο	χαμηλότερο

* Ενεργειακή απόδοση μετατροπής είναι ο λόγος μεταξύ της ωφέλιμης ισχύος (ενέργεια που αποδίδεται) μιας μηχανής μετατροπής ενέργειας και της ενέργειας εισόδου.

** Αριθμός οκτανίων είναι ένα μέτρο της ποιότητας των καυσίμων για μηχανές εσωτερικής καύσης. Δείχνει το βαθμό αντικρουστικής ικανότητας του καυσίμου καθώς ο αριθμός οκτανίου είναι ένα μέτρο της τάσεως ενός καυσίμου για την εμφάνιση «κτυπήματος» (knock) στον βενζινοκινητήρα.

*** Πυκνότητα του καυσίμου συνήθως εκφράζεται σε χιλιόγραμμα ανά κυβικό μέτρο. Όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα του καυσίμου, τόσο μεγαλύτερη είναι η μάζα του καυσίμου που μπορεί να αποθηκευτεί σε μία δεδομένη δεξαμενή και τόσο μεγαλύτερη είναι η μάζα του καυσίμου που μπορεί να αντλείται για μία δεδομένη αντλία.

Πίνακας 4.2.2: Ανάλυση παραμέτρων των περιβαλλοντικών κριτηρίων για το εκάστοτε εναλλακτικό καύσιμο.

Περιβαλλοντικά κριτήρια	Υδρογόνο	Φυσικό αέριο	Βιο-αιθανόλη	Βιο-αέριο
Ρύποι κατά την καύση	καίει καθαρότερα: κυρίως νερό, μικρές ποσότητες οξειδίων του αζώτου	λιγότερους ρύπους: διοξείδιο του άνθρακα (25-30% λιγότερο από το πετρέλαιο) Ατελής καύση => μεθάνιο, μονοξείδιο του άνθρακα, πτητικές οργανικές ενώσεις (ασήμαντες ποσότητες)	↑ % ανάμειξης => ↓ διοξείδιο του άνθρακα, λιγότερο μονοξείδιο του άνθρακα και οξείδια του αζώτου	↓ διοξείδιο του άνθρακα (το διοξείδιο του άνθρακα που εκλύεται στην ατμόσφαιρα δεν είναι μεγαλύτερο από την ποσότητα που δεσμεύτηκε εξαρχής από τα φυτά – κλειστός κύκλος άνθρακα)

Πίνακας 4.2.3: Ανάλυση παραμέτρων των οικονομικών κριτηρίων για το εκάστοτε εναλλακτικό καύσιμο, σε σύγκριση με τη βενζίνη.

Οικονομικά κριτήρια	Υδρογόνο	Φυσικό αέριο	Βιο-αιθανόλη	Βιο-αέριο
Κόστος καυσίμου	υψηλότερο	χαμηλότερο	ποικίλλει περιφερειακά	χαμηλότερο
Ενεργειακή ασφάλεια*	ενίσχυση	ενίσχυση	ενίσχυση	ενίσχυση

* Ενεργειακή ασφάλεια ορίζεται ως η αδιάκοπη φυσική διαθεσιμότητα της ενέργειας σε προσιτές τιμές, με παράλληλο σεβασμό προς το περιβάλλον και εξάρτηση από λιγότερες εισαγωγές καυσίμων για παροχή ενέργειας.

Πίνακας 4.2.4: Ανάλυση παραμέτρων των κοινωνικών κριτηρίων για το εκάστοτε εναλλακτικό καύσιμο.

Κοινωνικά κριτήρια	Υδρογόνο	Φυσικό αέριο	Βιο-αιθανόλη	Βιο-αέριο
Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας	ενίσχυση απασχόλησης	ενίσχυση απασχόλησης	ενίσχυση απασχόλησης	ενίσχυση απασχόλησης
Αποδοχή από το κοινό	θετικές + αρνητικές αντιλήψεις	δημοφιλές καύσιμο	θετική στάση / υποστήριξη	αποδοχή ιδιαίτερα από αγρότες

Πίνακας 4.2.5: Παρουσίαση πολιτικών της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της Κύπρου για τα εναλλακτικά καύσιμα.

Ε.Ε	Πολιτική
Οδηγία 2003/30/ΕΚ	προώθηση της χρήσης βιο-καυσίμων ή άλλων ανανεώσιμων καυσίμων για τις μεταφορές
Οδηγία 2003/96/ΕΚ	αναδιάρθρωση του κοινοτικού πλαισίου φορολογίας των ενεργειακών προϊόντων και της ηλεκτρικής ενέργειας
Οδηγία 2006/32/ΕΚ	ενεργειακή απόδοση κατά την τελική χρήση και τις ενεργειακές υπηρεσίες
Οδηγίες 1999/94/ΕΚ και 2003/73/ΕΚ	πληροφορίες που πρέπει να τίθενται στη διάθεση των καταναλωτών σχετικά με την οικονομία καυσίμου και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα όσον αφορά την εμπορία νέων επιβατηγών αυτοκινήτων
Οδηγία 2001/77/ΕΚ	προαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας
Πρόταση οδηγίας COM(2005)634	προώθηση καθαρών οχημάτων οδικών μεταφορών
Πρόταση οδηγίας COM(2008)19	προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές
Πρόταση οδηγίας COM(2013)18	ανάπτυξη υποδομών εναλλακτικών καυσίμων
Ανακοίνωση της Επιτροπής COM(2013)17	καθαρή ενέργεια για τις μεταφορές: μια ευρωπαϊκή στρατηγική εναλλακτικών καυσίμων
Κύπρου	
Νόμος Ν66(Ι)/2005	προώθηση της χρήσης βιο-καυσίμων ή άλλων ανανεώσιμων καυσίμων για τις μεταφορές
Νόμος Ν58(Ι)/2007	εφαρμογή φορολογικών απαλλαγών για τα βιο-καύσιμα

<p>Υπουργική Απόφαση ΚΔΠ 318/2004 βάσει του νόμου Ν148(Ι)/2003</p>	<p>χρήση βιο-καυσίμων αναμειγμένων με τη βενζίνη και το ντίζελ</p>
<p>Υπουργικές Αποφάσεις ΚΔΠ 413/2007 και ΚΔΠ 63/2008 βάσει του Νόμου Ν148(Ι)/2003</p>	<p>υποχρεώνει όλες τις εταιρείες που πωλούν καύσιμα για μεταφορά στην Κύπρο να αναμίζουν το 1% των βιο-καυσίμων σε συμβατικά καύσιμα με βάση το ενεργειακό τους περιεχόμενο το έτος 2007 και 2% για το 2008 αντιστοίχως</p>
<p>Υπουργική Απόφαση ΚΔΠ 486/2008 δυνάμει του νόμου Ν148(Ι)/2003</p>	<p>διορισμός της Κινητής Μονάδα Εργαστηρίου, του Υπουργείου Εμπορίου, Βιομηχανίας και Τουρισμού και το χημικό εργαστήριο του πετρελαίου της εταιρείας Cyprus Petroleum Storage, Ltd ως τα επίσημα εργαστήρια για τον έλεγχο της ποιότητας των καυσίμων, συμπεριλαμβανομένων των βιο-καυσίμων</p>
<p>Νόμος Ν33(Ι)/2003</p>	<p>προώθηση και ενθάρρυνση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της εξοικονόμησης Ενέργειας, δημιουργία ειδικού ταμείου επιδότησης ή χρηματοδότησης αυτών συμπεριλαμβανομένου της αξιοποίησης της βιομάζας</p>
<p>Υπουργική Απόφαση ΚΔΠ 701/2004</p>	<p>ενημέρωση των δυνητικών καταναλωτών σχετικά με την οικονομία καυσίμου και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για όλα τα νέα αυτοκίνητα των επιβατών προς πώληση στο σημείο πώλησης</p>

Συζήτηση - Συμπεράσματα - Εισηγήσεις

5.1 Συζήτηση

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η χρήση μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ορυκτά καύσιμα) αυξάνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, με επακόλουθα περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά κόστη, η ενίσχυση της χρήσης των εναλλακτικών καυσίμων δύναται να αποτελέσει μια ιδανική λύση αντιμετώπισης των εν λόγω επιπτώσεων. Τα εναλλακτικά καύσιμα συμβάλλουν στους εγχώριους και διεθνείς στόχους της αειφορίας καθώς τα τελευταία είναι μη ρυπογόνα, ευπρόσιτα, βιώσιμα, αξιόπιστα, και εκτοπίζουν τις εισαγωγές πετρελαίου αυξάνοντας έτσι την ενεργειακή ασφάλεια. Το πόσο «πράσινο» είναι ένα εναλλακτικό καύσιμο εξαρτάται κατά πολύ από την αποφυγή της χρήσης των ορυκτών καυσίμων κατά τις διεργασίες παραγωγής και μετατροπής του έτσι ώστε η βιωσιμότητα των συστημάτων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας να υποστηρίζει την ανθρώπινη υγεία καθώς επίσης και την υγεία του οικοσυστήματος μακροπρόθεσμα. Οποιοσδήποτε προβληματικές πτυχές στην εισαγωγή και εφαρμογή της οικονομίας των εναλλακτικών καυσίμων θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη προκειμένου τα συστήματα αυτά να σχεδιάζονται και να τοποθετούνται με σύνεση για ένα βιώσιμο μέλλον.

5.2 Περιορισμοί της μελέτης

Υπάρχουν πολλά μακροχρόνια και ανεπίλυτα ζητήματα στην μεθοδολογία της πολυκριτηριακής ανάλυσης όπως η υποκειμενική σημασία της επιλογής και διάρθρωσης των χαρακτηριστικών σε μια ιεραρχία, η έννοια της βαρύτητας και των βαθμολογιών των επιμέρους κριτηρίων, η ισχύς της συνολικής αξίας των χαρακτηριστικών και η χρήση ενός ενιαίου σκορ για τον κατάλληλο χαρακτηρισμό μιας περίπλοκης κατάστασης. Είναι σπάνιο μια ενιαία εναλλακτική λύση να είναι εξίσου καλή ή καλύτερη από όλες τις άλλες εναλλακτικές λύσεις για όλες τις ιδιότητες. Σε γενικές γραμμές, δεν είναι συνεπώς δυνατόν να συγκριθούν άμεσα οι εφικτές εναλλακτικές λύσεις μεταξύ τους όπως στην περίπτωση μιας ενιαίας ή μονοδιάστατης λειτουργίας. Ένα βασικό χαρακτηριστικό των περισσότερων προβλημάτων πολυκριτηριακής ανάλυσης είναι ότι γενικά δεν έχουν πειστικές ή μοναδικές λύσεις (Kujawski, 2003).

Όσον αφορά την μέθοδο της δομημένης συνέντευξης, από τη φύση της επιτρέπει μόνο περιορισμένες απαντήσεις του συμμετέχοντα και, ως εκ τούτου, δεν γίνεται εμβάθυνση (Stewart, Treasure & Chadwick, 2008).

5.3 Συμπεράσματα

Ο εντοπισμός των δυνητικών οφελών των υπό εξέταση εναλλακτικών καυσίμων (υδρογόνο, φυσικό αέριο, βιο-αιθανόλη και βιο-αέριο), εξακριβώνει και δικαιολογεί την σκοπιμότητα της αύξησης του μεριδίου των εναλλακτικών καυσίμων σε σχέση με εκείνο των συμβατικών καυσίμων. Ειδικότερα η συγκριτική αξιολόγηση που προκύπτει με τη μέθοδο της πολυκριτηριακής ανάλυσης, ωθεί την εξερεύνηση του υδρογόνου ως η «καλύτερη» εναλλακτική πηγή καυσίμου, καθώς καιεί καθαρότερα έναντι των υπόλοιπων εναλλακτικών καυσίμων, δεδομένου της μέγιστης βαρύτητας που δόθηκε στα περιβαλλοντικά κριτήρια αξιολόγησης.

5.4 Εισηγήσεις

Περαιτέρω έρευνα συνίσταται για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εισαγωγής των εναλλακτικών καυσίμων αναλόγως των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται, την υπηρεσία ενέργειας που παρέχουν και τα συστήματα που αντικαθίστανται, και για τις καινοτόμους μεθόδους και βελτιώσεις που χρειάζονται οι τεχνολογίες που αξιοποιούν τα εναλλακτικά καύσιμα για να δύνανται να ανταποκρίνονται στις ανάγκες της ενέργειας με ένα καθαρότερο, πιο αποτελεσματικό και αποδοτικό τρόπο. Επιπλέον χρειάζεται έρευνα για το κατά πόσο περισσότερη ενέργεια χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη και την επεξεργασία των πρώτων υλών των εναλλακτικών καυσίμων από αυτή που παρέχεται μετέπειτα από αυτά, προκειμένου η αύξηση της παραγωγής τους να συμβάλλει στον εκτοπισμό των εισαγωγών πετρελαίου και στην αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας. Έρευνα για τις αντιλήψεις του κοινού για τα εναλλακτικά καύσιμα και ποιοι είναι οι παράγοντες αυτοί που επηρεάζουν τις απόψεις του, δύναται να συμβάλει στην ανάπτυξη των σχετικών τεχνολογιών.

6. Βιβλιογραφία

Aasberg-Petersen, K., Hansen, J-H., B., Christensen, T., S., Dybkjaer, I., Christensen, P., S., Nielsen, C., S., Madsen, S., E., L., W., & Rostrup-Nielsen, J., R., 2001. *Technologies for large-scale gas conversion*. *Applied Catalysis A: General*, 221 (1): 379–387.

Alam, S., M., & Khan, M., A., 2012. *Crude Oil and Natural Gas*. *Pakistan & Gulf Economist*, 31 (6): 20.

Amigun, B., & Blottnitz, H., 2010. *Capacity-cost and location-cost analyses for biogas plants in Africa*. *Resources, Conservation and Recycling*, 55 (1): 63–73.

Asam, Z., Z., Poulsen, T., G., Nizami, A., S., Rafique, R., Kiely, G., & Murphy, J., D., 2011. *How can we improve biomethane production per unit of feedstock in biogas plants?* *Applied Energy*, 88 (6): 2013–2018.

Azadi, H., Jong, S., Derudder, B., Maeyer, P., & Witlox, F., 2012. *Bitter sweet: How sustainable is bio-ethanol production in Brazil?* *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (6): 3599–3603.

Balat, M., 2005. *Current Alternative Engine Fuels*. *Energy Sources*, 27 (6): 569-577.

Balat, M., Balat, H., Öz, C., 2008. *Progress in bioethanol processing*. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34 (5): 551–573.

Balat, M., & Balat, M., 2009. *Political, economic and environmental impacts of biomass-based hydrogen*. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34 (9): 3589 – 3603.

Balat, M., 2008. *Possible Methods for Hydrogen Production*. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 31 (1): 39-50.

Balat, M., 2010. *Thermochemical Routes for Biomass-based Hydrogen Production*. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 32 (15): 1388-1398.

Bapu, B., R., Karthikeyan, J., & Reddy, K., V., 2011. *Hydrogen fuel generation and storage*. Indian Journal of Science and Technology, 4 (6): 717 – 720.

Baumeister, R., F., 2013. Writing a Literature Review. In: M.J. Prinstein (ed.), *The Portable Mentor: Expert Guide to a Successful Career in Psychology*, 2nd ed. New York: Springer Science+Business Media. 119–132.

Beer, T., Carras, J., Worth, D., Coplin, N., Campbell, P., K., Jalaludin, B., Angove, D., Azzi, M., Brown, S., Campbell, I., Cope, M., Farrell, O., Galbally, I., Haiser, S., Halliburton, B., Hynes, R., Jacyna, D., Keywood, M., Lavrencic, S., Lawson, S., Lee, S., Liepa, I., McGregor, J., Nancarrow, P., Patterson, M., Powell, J., Tibbett, A., Ward, J., White, S., Williams, D., & Wood, R., 2011. *The Health Impacts of Ethanol Blend Petrol*. Energies, 4 (2): 352-367.

Berndes, G., & Hansson, J., 2007. *Bioenergy expansion in the EU: Cost-effective climate change mitigation, employment creation and reduced dependency on imported fuels*. Energy Policy, 35 (12): 5965–5979.

Bierman, J., Kulp, C., & Foote, J., B., 2011. *Reviews of Science for Science Librarians: Hydraulic Fracturing: Geological, Engineering, and Environmental Literature*. Science & Technology Libraries, 30 (4): 326-342.

Bockris, J., O'M., 2011. *Hydrogen*. Materials, 4 (12): 2073–2091.

Bolderston, A., 2008. *Writing an Effective Literature Review*. Journal of Medical Imaging and Radiation Sciences, 39 (2): 86-92.

Budde, B., Alkemade, F., & Weber, K., M., 2012. *Expectations as a key to understanding actor strategies in the field of fuel cell and hydrogen vehicles*. Technological Forecasting & Social Change, 79 (6): 1072–1083.

Budzianowski, W., M., 2012. *Sustainable biogas energy in Poland: Prospects and challenges*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16 (1): 342– 349.

Burgis, E., D., & Ryan, W., A., 2006. *New Natural Gas Technologies for Enhancing the Indoor Environment*. Cogeneration & Distributed Generation Journal, 21 (4): 6–32.

- Börjesson, P., & 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.
- Cacciatore, M., A., Scheufele, D., A., & Shaw, B., R., 2012. *Labeling renewable energies: How the language surrounding biofuels can influence its public acceptance*. *Energy Policy*, 51: 673–682.
- Cetinkaya, E., Dincer, I., & Naterer, G., F., 2012. *Life cycle assessment of various hydrogen production methods*. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37 (3): 2071-2080.
- Chiaromonti, D., 2007. Bioethanol: role and production technologies. In: P. Ranalli (ed.). *Improvement of Crop Plants for Industrial End Uses*, 209-251.
- Cockroft, C., J., Owen, A., D., 2007. *The Economics of Hydrogen Fuel Cell Buses*. *The Economic Record*, 83 (263): 359 – 370.
- Colborn, T., Kwiatkowski, C., Schultz, K., & Bachran, M., 2011. *Natural Gas Operations from a Public Health Perspective*. *Human and Ecological Risk Assessment*, 17 (5): 1039-1056.
- Crabtree, G., W., & Dresselhaus, M., S., 2008. *The Hydrogen Fuel Alternative*. *Mrs Bulletin*, 33 (4): 421 – 428.
- Damigos, D., Tourkolias, C., & Diakoulaki, D., 2009. *Households' willingness to pay for safeguarding security of natural gas supply in electricity generation*. *Energy Policy*, 37 (5): 2008–2017.
- Delshad, A., B., Raymond, L., Sawicki, V., & Wegener, D., T., 2010. *Public attitudes toward political and technological options for biofuels*. *Energy Policy*, 38 (7): 3414–3425.
- Demirbas, A., 2001. *Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals*. *Energy Conversion and Management*, 42 (11): 1357-1378.
- Demirbas, A., 2007. *Producing and Using Bioethanol as an Automotive Fuel*. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 2 (4): 391-401.
- Demirbas, A., 2008. *Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections*. *Energy Conversion and Management*, 49 (8): 2106–2116.

- Demirbas, A., 2008. *Biomethanol Production from Organic Waste Materials*, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 30 (6): 565-572.
- Demirbas, A., 2009a. *Political, economic and environmental impacts of biofuels: A review*. Applied Energy, 86: S108–S117.
- Demirbas, A., 2009b. *Biofuels securing the planet's future energy needs*. Energy Conversion and Management, 50 (9): 2239–2249.
- Demirbas, A., H., & Demirbas, I., 2007. *Importance of rural bioenergy for developing countries*. Energy Conversion and Management, 48 (8): 2386–2398.
- Di Pascoli, S., Femia, A., & Luzzati, T., 2001. *Natural gas, cars and the environment. A (relatively) 'clean' and cheap fuel looking for users*. Ecological Economics, 38 (2): 179–189.
- Dincer, I., 2008. *Hydrogen and Fuel Cell Technologies for Sustainable Future*. Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, 2 (1): 1-14.
- Dincer, I., 2012. *Green methods for hydrogen production*. International Journal of Hydrogen Energy, 37 (2): 1954 – 1971.
- Dincer, I., & Rosen, M., A., 2011. *Sustainability aspects of hydrogen and fuel cell systems*. Energy for Sustainable Development, 15 (2): 137–146.
- Edwards, P., P., Kuznetsov, V., L., & David, W., I., F., 2007. *Hydrogen Energy*. Philosophical Transactions of The Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 365 (1853): 1043-1056.
- Eliseev, O., L., 2009. *Gas-to-Liquid Technologies*. Russian Journal of General Chemistry, 79 (11): 2509–2519.
- Elke, B., Dörte, O., Bernd, W., & Johann, K., 2011. *Innovation Framework for Generating Biogas and Electricity from Biogas*. Renewable Energies in Germany's Electricity Market, 4: 89–159.

Energy Services, Ministry of Commerce Industry and Tourism. Presentation: *Alternative Fuels: The way towards a more sustainable transportation*. [pdf] Republic of Cyprus: Kassinis Solon. Available at: <[http://www.mcit.gov.cy/mcit/mcit.nsf/All/E4AC182D9645DBE9C22575820040EE8E/\\$file/alternativ%20fuels_sustainable%20transportation.pdf?OpenElement](http://www.mcit.gov.cy/mcit/mcit.nsf/All/E4AC182D9645DBE9C22575820040EE8E/$file/alternativ%20fuels_sustainable%20transportation.pdf?OpenElement)> [Accessed at 8 January 2013].

Fink, R., & Medved, S., 2012. *Health impact assessment of liquid biofuel production*. International Journal of Environmental Health Research, 23 (1): 66-75.

Gaudernack, B., & Lynam, S., 1997. *Natural Gas Utilisation Without CO₂ Emissions*. Energy Conversion and Management, 38, Supplement.: S165-S172.

Gayubo, A., G., Alonso, A., Valle, B., Aguayo, A., T., & Bilbao, J., 2010. *Selective production of olefins from bioethanol on HZSM-5 zeolite catalysts treated with NaOH*. Applied Catalysis B: Environmental, 97 (1): 299–306.

Grahovac, J., A., Dodić, J., M., Dodić, S., N., Popov, S., D., Vučurović, D., G., & Jokić, A., I., 2012. *Future trends of bioethanol co-production in Serbian sugar plants*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16 (5): 3270–3274.

Granda, C., B., Zhu, L., & Holtzapfel, M., T., 2007. *Sustainable Liquid Biofuels and their environmental impact*. Environmental Progress, 26 (3): 233-250.

Gray, K., A., Zhao, L., & Emptage, M., 2006. *Bioethanol*. Current Opinion in Chemical Biology, 10 (2): 141-146.

Halder, P., Prokop, P., Chang, C., Y., Usak, M., Pietarinen, J., Havu-Nuutinen, S., Pelkonen, P., & Cakir, M., 2012. *International Survey on Bioenergy Knowledge, Perceptions, and Attitudes Among Young Citizens*. BioEnergy Research, 5 (1): 247–261.

Hart, C., 2001. Part A: Basic Knowledge: Organization of the Literature, Planning Techniques and Search Management. In: *Doing a Literature Review: A Comprehensive Guide for the Social Sciences*. London: Sage.

Hickson, A., Phillips, A., & Morales, G., 2007. *Public perception related to a hydrogen hybrid internal combustion engine transit bus demonstration and hydrogen fuel*. Energy Policy 35 (4): 2249 – 2255.

Holladay, J., D., Hu, J., King, D., L., & Wang, Y., 2009. *An overview of hydrogen production technologies*. *Catalysis Today* 139 (4): 244–260.

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

International Energy Agency, 2011. *Technology Roadmap Biofuels for Transport* [pdf] Available at: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/biofuels_roadmap.pdf> [Access 16 March 2013].

Jacobson, M., Z., Colella, W., G., & Golden, D., M., 2005. *Cleaning the Air and Improving Health with Hydrogen Fuel-Cell Vehicles*. *Science, New Series*, 308 (5730): 1901-1905.

Jain, I., P., 2009. *Hydrogen the fuel for 21st century*. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34 (17): 7368-7378.

Kang, M., J., & Park, H., 2011. *Impact of experience on government policy toward acceptance of hydrogen fuel cell vehicles in Korea*. *Energy Policy*, 39 (6): 3465–3475.

Karapidakis, E., S., Tsave, A., A., Soupios, P., M., & Katsigiannis, Y., A., 2010. *Energy efficiency and environmental impact of biogas utilization in landfills*. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 7 (3): 599–608.

Keshav, T., R., & Basu, S., 2007. *Gas-to-liquid technologies: India's perspective*. *Fuel Processing Technology*, 88 (5): 493–500.

Kikuchi, R., Gerardo, R., & Santos, S., M., 2009. *Energy lifecycle assessment and environmental impacts of ethanol biofuel*. *International Journal Of Energy Research*, 33 (2): 186–193.

Knopf, J., W., 2006. *Doing a Literature Review*. *PS: Political Science and Politics*, 39 (1): 127-132.

Kujawski, E., 2003. *Multi-criteria decision analysis: Limitations, pitfalls, and practical difficulties*. Lawrence Berkeley National Laboratory. [<http://www.escholarship.org/uc/item/0cp6j7sj>]

Kusiima, J., M., & Powers, S., E., 2010. *Monetary value of the environmental and health externalities associated with production of ethanol from biomass feedstocks*. *Energy Policy*, 38 (6): 2785–2796.

Lee, J., Y., Yoo, M., Cha, K., Lim, T., W., & Hur, T., 2009. *Life cycle cost analysis to examine the economical feasibility of hydrogen as an alternative fuel*. International Journal of Hydrogen Energy, 34 (10): 4243–4255.

Liang, F., Y., Ryvak, M., Sayeed, S., & Zhao, N., 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): 1-24.

Lilik, G., K., Zhang, H., Herreros, J., M., Haworth, D., C., & Boehman, A., L., 2010. *Hydrogen assisted diesel combustion*. International Journal of hydrogen energy 35 (9): 4382–4398.

LØken, E., 2005. *Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11 (7): 1584–1595.

Lopez, J., L., & Mandujano, C., 2005. *Estimation of the impact in the air quality by the use of clean fuels (fuel oil versus natural gas)*. Catalysis Today, 106 (1): 176–179.

López, M., E., Rene, E., R., Veiga, M., C., & Kennes, C., 2012. *Biogas Technologies and Cleaning Techniques*. Environmental Chemistry for a Sustainable World, Part 2. : 347-377.

Maddox, R., N., Moshfeghian, M., Idol, J., D., & Johannes, A., H., 2007. *Natural Gas*. Kent and Riegel's Handbook of Industrial Chemistry and Biotechnology, Part 2: 907–934.

Magar, S., B., Pelkonen, P., Tahvanainen, L., Toivonen, R., & Toppinen, A., 2011. *Growing trade of bioenergy in the EU: Public acceptability, policy harmonization, European standards and certification needs*. Biomass and Bioenergy, 35 (8): 3318-3327.

Makarfi, Y., I., Yakimova, M., S., Lermontov, A., S., Erofeev, V., I., Koval, L., M., & Tretiyakov, V., F., 2009. *Conversion of bioethanol over zeolites*. Chemical Engineering Journal, 154 (1): 396–400.

McKendry, P., 2002. *Energy production from biomass (part 2): conversion technologies*. Bioresource Technology, 83 (1): 47–54.

Michel, J., Weiske, A., & Möller, K., 2010. *The effect of biogas digestion on the environmental impact and energy balances in organic cropping systems using the life-cycle assessment methodology*. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 25 (3): 204-218.

Molino, A., Nanna, F., Ding, Y., Bikson, B., & Braccio, G., 2013. *Biomethane production by anaerobic digestion of organic waste*. *Fuel*, 103: 1003–1009.

Momirlan, M., & Veziroglu, T., N., 2002. *Current status of hydrogen energy*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6 (1): 141–179.

MULTI-CRITERIA ANALYSIS [pdf] Available at:

<http://ec.europa.eu/europeaid/evaluation/methodology/examples/too_cri_res_en.pdf> [Access 14 March 2013].

Multicriteria Analysis (MCA) [pdf] Available at:

<http://unfccc.int/files/adaptation/methodologies_for/vulnerability_and_adaptation/application/pdf/multi_criteria_analysis__mca_pdf.pdf> [Access 14 March 2013].

Naja, G., M., Alary, R., Bajeat, P., Bellenfant, G., Godon, J., J., Jaeg, J., P., Keck, G., Lattes, A., Leroux, C., Modelon, H., Moletta-Denat, M., Ramalho, O., Rousselle, C., Wenisch, S., & Zdanevitch, I., 2011. *Assessment of biogas potential hazards*. *Renewable Energy*, 36 (12): 3445-3451.

Nowotny, J., & Veziroglu, N., T., 2011. *Impact of hydrogen on the environment*. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36 (20): 13218 – 13224.

Pietersen, K., 2007. *Multiple criteria decision analysis (MCDA): A tool to support sustainable management of groundwater resources in South Africa*. *Water SA*, 32 (2): 119-128.

Pilavachi, P., A., Chatzipanagi, A., I., & Spyropoulou, A., I., 2009. *Evaluation of hydrogen production methods using the Analytic Hierarchy Process*. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34 (13): 5294-5303.

- Poeschl, M., Ward, S., & Owende, P., 2012. *Environmental impacts of biogas deployment, Part I: life cycle inventory for evaluation of production process emissions to air*. *Journal of Cleaner Production*, 24: 168-183.
- Rajendran, K., Aslanzadeh, S., & Taherzadeh, M., J., 2012. *Household Biogas Digesters—A Review*. *Energies*, 5 (8): 2911-2942.
- Ramesohl, S., & Merten, F, 2006. *Energy system aspects of hydrogen as an alternative fuel in transport*. *Energy Policy*, 34 (11): 1251 – 1259.
- Reeder, L., C., 2010. *Creating a legal framework for regulation of natural gas extraction from the Marcellus Shale formation*. *William and Mary Environmental Law and Policy Review*, 34 (3): 999–1026.
- Reymond, M., 2007. *European key issues concerning natural gas: Dependence and vulnerability*. *Energy Policy*, 35 (8): 4169–4176.
- Riva, A., D'Angelosante, S., & Trebeschi, C., 2006. *Natural gas and the environmental results of life cycle assessment*. *Energy*, 31 (1): 138–148.
- Rose, M., A., 2009. *The environmental impacts of offshore oil drilling*. *The Technology Teacher*, 68 (5): 27-32.
- Rothstein, J., 1995. *Hydrogen and fossil fuels*. *International Journal of Hydrogen Energy*, 20 (4): 283-286.
- Rowley, J., & Slack, F., 2004. *Conducting a literature review*. *Management Research News*, 27 (6): 31–39.
- Ryckebosch, E., Drouillon, M., & Vervaeren, H., 2011. *Techniques for transformation of biogas to biomethane*. *Biomass and Bioenergy*, 35 (5): 1633-1645.
- Saravanan, N., Nagarajan, G., & Narayanasamy, S., 2008. *An experimental investigation on DI diesel engine with hydrogen fuel*. *Renewable Energy* 33 (3): 415 – 421.

- Schneider, D., R., & Bogdan, Ž., 2007. *Effect of heavy fuel oil/natural gas co-combustion on pollutant generation in retrofitted power plant*. Applied Thermal Engineering, 27 (11): 1944–1950.
- Scholz, M., Melin, T., & Wessling, M., 2013. *Transforming biogas into biomethane using membrane technology*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 17: 199–212.
- Schulte, I., Hart, D., & Vorst, R., 2004. *Issues affecting the acceptance of hydrogen fuel*. International Journal of Hydrogen Energy, 29 (7): 677 – 685.
- Semin, Bakar, R., A., & Ismail, A., R., 2009. *Green Engines Development Using Compressed Natural Gas as an Alternative Fuel: A Review*. American Journal of Environmental Sciences, 5 (3): 371-381.
- Sheffield, J., W., 2007. *Energy Security Through Hydrogen*. Assessment of Hydrogen Energy for Sustainable Development, NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, 1-8.
- Silalertruksa, T., Gheewala, S., H., Hünecke, K., & Fritsche, U., R., 2012. *Biofuels and employment effects: Implications for socioeconomic development in Thailand*. Biomass and Bioenergy, 46: 409-418.
- Sinyak, Y., V., & Kolpakov, A., Y., 2012. *Economic Efficiency of Synthetic Motor Fuels from Natural Gas*. Studies on Russian Economic Development, 23 (1): 27–36.
- Soberanis, M., A., E., & Fernandez, A., M., 2010. *A review on the technical adaptations for internal combustion engines to operate with gas/hydrogen mixtures*. International Journal of hydrogen energy 35 (21): 12134 –12140.
- Solomon, B., D., & Krishna, K., 2011. *The coming sustainable energy transition: History, strategies, and outlook*. Energy Policy, 39 (11): 7422–7431.
- Sorensen, B., 1991. *A history of renewable energy technology*. Energy Policy, 19 (1): 8-12.
- Stanley, I., O., 2009. *Gas-to-Liquid technology: Prospect for natural gas utilization in Nigeria*. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 1 (6): 190–194.
- Stephenson, E., Doukas, A., & Shaw, K., 2012. *“Greenwashing gas: Might a ‘transition fuel’ label legitimize carbon-intensive natural gas development?”*. Energy Policy, 46: 452–459.

- Stewart, K., Treasure, E., & Chadwick, B., 2008. *Methods of data collection in qualitative research: interviews and focus groups*. *British Dental Journal*, 204 (6): 291-295.
- Sutherland, K., 2012. *Oil and gas: Separation processes in oil and gas extraction*. *Filtration + Separation*, 49 (1): 20 – 25.
- Tarigan, A., K., M., Bayer, S., B., Langhelle, O., & Thesen, G., 2012. *Estimating determinants of public acceptance of hydrogen vehicles and refuelling stations in greater Stavanger*. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37 (7): 6063 – 6073.
- Tret'yakov, V., F., Makarfi, Y., I., Tret'yakov, K., V., Frantsuzova, N., A., & Talyshinskii, R., M., 2010. *The Catalytic Conversion of Bioethanol to Hydrocarbon Fuel: A Review and Study*. *Catalysis in Industry*, 2 (4): 402–420.
- Tseng, P., Lee, J., & Friley, P., 2005. *A hydrogen economy: opportunities and challenges*. *Energy*, 30 (14): 2703–2720.
- Tsita, K., G., & Pilavachi, P., A., 2012. *Evaluation of alternative fuels for the Greek road transport sector using the analytic hierarchy process*. *Energy Policy*, 48: 677–686.
- Ulmer, J., D., Huhnke, R., L., Bellmer, D., D., & Cartmell, D., D., 2004. *Acceptance of ethanol-blended gasoline in Oklahoma*. *Biomass and Bioenergy*, 27 (5): 437–444.
- Valeria, N., & Emese, S., 2011. *Biogas from organic wastes*. *Studia Universitatis Vasile Goldis Seria Stiintele Vietii (Life Sciences Series)*, 21 (4): 887-891.
- Verhelst, S., & Wallner, T., 2009. *Hydrogen-fueled internal combustion engines*. *Progress in Energy and Combustion Science* 35 (6): 490–527.
- Vogelsang, H., & Eggert, H., 2011. *Maximising biogas production efficiency*. *World Pumps* 2011 (2): 32, 34–35.
- Walter, A., Rosillo-Calle, F., Dolzan, P., Piacente, E., & Cunha, K., B., 2008. *Perspectives on fuel ethanol consumption and trade*. *Biomass and Bioenergy*, 32 (8): 730–748.

- 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.
- Wegener, D., T., & Kelly, J., R., 2008. *Social Psychological Dimensions of Bioenergy Development and Public Acceptance*. BioEnergy Research, 1 (2): 107-117.
- Weiland, P., 2010. *Biogas production: current state and perspectives*. Applied Microbiology and Biotechnology, 85 (4): 849-860.
- White, C., M., Steeper, R., R., & Lutz, A., E., 2006. *The hydrogen-fueled internal combustion engine: a technical review*. International Journal of Hydrogen Energy 31 (10): 1292 – 1305.
- Wilson, C., & Grubler, A., 2011. *Lessons from the history of technological change for clean energy scenarios and policies*. Natural Resources Forum, 35 (3): 165–184.
- Yaakoubd, A., I., 2009. *The Social Dimension of Health in Morocco*. Population Review, 48 (1): 20-38.
- Yilmaz, I., & Ilbas, M., 2008. *An experimental study on hydrogen–methane mixtured fuels*. International Communications in Heat and Mass Transfer, 35 (2): 178–187.
- Yu, Z., & Schanbacher, F., L., 2010. Production of Methane Biogas as Fuel Through Anaerobic Digestion. In: O. V. Singh, S. P. Harvey, (eds.). Sustainable Biotechnology. 105-127.
- Zachariah-Wolff, J., L., & Hemmes, K., 2006. *Public Acceptance of Hydrogen in the Netherlands: Two Surveys That Demystify Public Views on a Hydrogen Economy*. Bulletin of Science Technology & Society, 26 (4): 339 – 346.
- Zhang, H., Lin, G., & Chen, J., 2010. *Evaluation and calculation on the efficiency of a water electrolysis system for hydrogen production*. International Journal of Hydrogen Energy, 35 (20): 10851–10858.
- Ziomek-Moroz, M., 2012. *Environmentally Assisted Cracking of Drill Pipes in Deep Drilling Oil and Natural Gas Wells*. Journal of Materials Engineering and Performance, 21(6): 1061-1069.

Δικτυακοί τόποι

- What is Hydrogen? [online] Available at:
<http://www.odec.ca/projects/2003/kaush3k/public_html/WhatHydrogen.htm> [Access 25 September 2012].