



ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ



ΚΑΤΙΚΑΡΙΔΗΣ ΑΒΡΑΑΜ Α.Μ. : 070004  
ΚΟΤΑΝΙΔΗΣ ΠΑΥΛΟΣ Α.Μ. : 070134  
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΜΑΝΤΖΙΝΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2013

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο** Εισαγωγή σελ:6

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο:Βιοκαύσιμα** σελ:7

2.1 Εισαγωγή σελ:7

2.1.1 Ιστορικά σελ:7

2.1.2 Χαρακτηριστικά σελ:7

2.1.3 Νομοθεσία σελ:7

2.2 Βιομάζα σελ:8

2.2.1 Εισαγωγή σελ:8

2.2.2 Χαρακτηριστικά σελ:9

2.2.3 Πλεονεκτήματα σελ:10

2.2.4 Μειονεκτήματα σελ:10

2.3 Βιοαιθανόλη σελ:10

2.3.1 Ιστορία σελ:10

2.3.2 Ανάλυση της παγκόσμιας αγοράς αιθανόλης σελ:11

2.3.3 Κόστος παραγωγής βιοαιθανόλης και αποδόσεις καλλιεργειών σελ:13

2.3.4 Η διαδικασία παραγωγής βιοαιθανόλης σελ:15

2.3.5 Δεύτερης γενιάς βιοαιθανόλη από куτταρίνη σελ:17

2.3.6 Βιοαιθανόλη και περιβάλλον σελ:18

2.3.7 Βιοαιθανόλη: Τα συν και τα πλην από τη χρήση της πράσινης ενέργειας. σελ:22

2.3.8 Η ασφάλεια των τροφίμων και η μοίρα των αγροτών . σελ:22

2.3.9 Συμπεράσματα σελ:24

2.4 Βιοντίζελ σελ:25

2.4.1 Εισαγωγή σελ:25

2.4.2 Χαρακτηριστικά σελ:25

2.4.3 Ιστορικά σελ:25

2.4.4	Πρότυπα	σελ:26	
2.4.5	Τα οικονομικά του βιοντίζελ	σελ:26	
2.4.6	Ανάλυση της παγκόσμιας αγοράς βιοντίζελ	σελ:28	
2.4.7	Καλλιέργειες για παραγωγή βιοντίζελ	σελ:30	
2.4.7	Κύριες καλλιέργειες παραγωγής βιοελαίων	σελ:31	
2.4.8	Λοιπές καλλιέργειες παραγωγής βιοελαίων	σελ:33	
2.4.9	Η διαδικασία παραγωγής βιοντίζελ	σελ:39	
2.4.10	Τα Στάδια της παραγωγικής διαδικασίας συνοψίζονται στα εξής	σελ:40	
2.4.11	Δεύτερης γενιάς βιοντίζελ από βιομάζα	σελ:40	
2.4.12	Κόστος παραγωγής βιοντίζελ	σελ:43	
2.4.13	Βιοντίζελ και περιβάλλον	σελ:44	
2.4.14	Ποια είναι τα πλεονεκτήματα του βιοντίζελ	σελ:45	
2.5	Πιλοτική εφαρμογή χρήσης του βιοντίζελ στον ελλαδικό	σελ:46	
2.5.1	Εισαγωγή	σελ:46	
2.5.2	Πειραματικά αποτελέσματα	σελ:47	
2.5.3	Πιλοτικό πρόγραμμα για τη διείσδυση του βιοντίζελ στην ελληνική αγορά καύσιμων	σελ:49	
2.5.3.1	Εμπορική διάθεση βιοντίζελ στη Θράκη	σελ:49	
2.5.3.2	Διερεύνηση Πιθανών Πρώτων Υλών για Παραγωγή Βιοντίζελ	σελ:51	
2.5.4	Συμπεράσματα	σελ:52	
2.6	Βιοαέριο	σελ:52	
2.6.1	Τι είναι το βιοαέριο;	σελ:52	
2.6.2	Οι πηγές βιοαερίου στην Ευρώπη	σελ:52	
2.6.3	Παραγωγή θερμότητας	σελ:52	
2.6.4	Παραγωγή ηλεκτρισμού	σελ:53	
2.6.5	Η χρήση του ως καύσιμο	σελ:53	
2.6.6	Εφαρμογή στην Ελλάδα	σελ:53	

2.7 Βιο-Μεθανόλη ( ΒΙΟ-ΜΕΟΗ ) σελ:54

2.8 Άλλα είδη βιοκαυσίμων σελ:54

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο: Αέρια καύσιμα σελ:55**

3.1 Εισαγωγή σελ:55

3.2 Τύπος CNG (Compressed Natural Gas) σελ:55

3.2.1 Γενικά σελ:55

3.2.2 Τιμές: σελ:55

3.2.3 Λύσεις του μέλλοντος σελ:56

3.2.4 Στην πράξη σελ:59

3.2.5 Συμπερασματικά σελ:61

3.3 Τύπος LPG (Liquefied petroleum gas) σελ:63

3.3.1 Τι είναι το υγραέριο; σελ:63

3.3.2 Μετατροπή αυτοκινήτου από βενζίνη σε υγραέριο σελ:63

3.3.3 Πλεονεκτήματα και ασφάλεια υγραερίου ως καύσιμο στα αυτοκίνητα σελ:66

3.3.4 Η ασφάλεια του συστήματος εξασφαλίζεται μέσα από τα διάφορα εξαρτήματα που περιγράφηκαν παραπάνω, και τα οποία ενεργοποιούνται όταν παρουσιαστεί κάποιο πρόβλημα στο σύστημα σελ:67

3.3.5 Το κέρδος σε ευρώ σελ:68

3.3.6 Ποια είναι η νομοθεσία στη χώρας μας; σελ:68

3.3.7 Πόσο διαδεδομένο είναι στις υπόλοιπες χώρες; σελ:69

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΥΔΡΟΓΟΝΟ σελ:70**

4.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ σελ:70

4.1.1 Γενικά για το υδρογόνο σελ:70

4.1.2 Το υδρογόνο ως ενεργειακό καύσιμο σελ:70

4.1.3 Φυσικές ιδιότητες του υδρογόνου σελ:71

4.1.4 Χημικές ιδιότητες του υδρογόνου σελ:73

4.1.5 Θερμοφυσικές ιδιότητες του υδρογόνου σελ:74

4.1.6 Γενικές μέθοδοι παρασκευής του υδρογόνου και κυριότερες χρήσεις του σήμερα	σελ:79
4.1.7 Το υδρογόνο ως ενεργειακό καύσιμο - Οικονομία του υδρογόνου	σελ:80
4.1.8 Πλεονεκτήματα του υδρογόνου έναντι των συμβατικών πηγών ενέργειας	σελ:85
4.1.9 Μειονεκτήματα του υδρογόνου έναντι των συμβατικών πηγών ενέργειας	σελ:87
4.2 Εμπορικές μέθοδοι παράγωγης του υδρογόνου - τρόποι διανομής του	σελ:88
4.2.1 Εισαγωγή	σελ:88
4.2.2 Παραγωγή του υδρογόνου	σελ:88
4.2.2.1 Βασικότερες κατηγορίες εμπορικών μεθόδων παραγωγής του υδρογόνου	σελ:88
4.2.2.2 Θερμοχημικές μέθοδοι παραγωγής του υδρογόνου	σελ:89
4.2.2.2.1 Παραγωγή του υδρογόνου από τα ορυκτά καύσιμα	σελ:89
4.2.2.2.2 Παραγωγή του υδρογόνου μέσω της αεριοποίησης ή της πυρόλυσης της βιομάζας	σελ:91
4.2.2.2.3 Παραγωγή του υδρογόνου από τα σουλφίδια του	σελ:91
4.2.2.2.4 Παραγωγή του υδρογόνου από την πυρηνική ενέργεια	σελ:92
4.2.2.3 Ηλεκτρολυτικές μέθοδοι παραγωγής του υδρογόνου	σελ:92
4.2.2.3.1 Παραγωγή του υδρογόνου μέσω της ηλεκτρόλυσης του νερού	σελ:92
4.2.2.4 Φωτολυτικές μέθοδοι παραγωγής του υδρογόνου	σελ:95
4.2.2.4.1 Φωτοβιολογική μέθοδος παραγωγής του υδρογόνου	σελ:95
4.2.2.4.2 Φωτοηλεκτρόλυση	σελ:95
4.2.3 Διανομή του υδρογόνου	σελ:97
4.2.3.1 Τρόποι διανομής του υδρογόνου – πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα των συστημάτων διανομής του	σελ:97
4.3 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	σελ:100
4.3.1 Εισαγωγή στην αποθήκευση του υδρογόνου – Δυνατές μέθοδοι αποθήκευσης του υδρογόνου	σελ:100
4.3.2 Αποθήκευση του υδρογόνου σαν αέριο	σελ:101
4.3.3 Αποθήκευση του υδρογόνου σαν υγρό	σελ:103

4.3.4 Αποθήκευση του υδρογόνου σε μέταλλα και σε κράματα μετάλλων σελ:105

**Αναφορές** σελ:106

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο Εισαγωγή**

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει σημειωθεί αξιόλογη πρόοδος στη μείωση της ρύπανσης από οχήματα.

Η βιομηχανία πετρελαίου έχει παίξει ουσιαστικό ρόλο στην επίτευξη αυτή, με σημαντική επένδυση στην παραγωγή καθαρότερων βενζινών και πετρελαίου, η οποία έδωσε τη δυνατότητα εφαρμογής νέων τεχνολογιών για τον καθαρισμό των μηχανών και των εξατμίσεων των οχημάτων.

Μετρήσεις που διεξάγονται επιβεβαιώνουν τη μείωση και η προσπάθεια αυτή θα συνεχισθεί τουλάχιστον μέχρι το 2015.

Εν τούτοις, η κατάσταση στις αστικές περιοχές είναι ακόμα κρίσιμη και αυτό έχει οδηγήσει σε περαιτέρω προσπάθεια εξεύρεσης τρόπων βελτίωσης της ποιότητας του αέρα, συμπεριλαμβανομένης της αντικατάστασης ή μερικής αντικατάστασης των καθιερωμένων καυσίμων αυτοκινήτων όπως η βενζίνη και το πετρέλαιο με εναλλακτικά ή ανανεώσιμα καύσιμα.

Οι τρέχουσες πωλήσεις εναλλακτικών ή ανανεώσιμων καυσίμων όπως το Υγραέριο, το Φυσικό αέριο και τα Βιοκαύσιμα, είναι μικρές σε σχέση με τις πωλήσεις των συμβατικών καυσίμων (βενζίνη και πετρέλαιο).

Η διάθεση Εναλλακτικών Καυσίμων πρέπει να εκτιμηθεί σε σχέση με τις περαιτέρω βελτιώσεις των συμβατικών καυσίμων που θα πραγματοποιηθούν στο εγγύς μέλλον.

- Σαν Εναλλακτικά Καύσιμα θεωρούνται το Υγραέριο, το Φυσικό αέριο, τα Γαλακτώματα και το Υδρογόνο - όταν αυτό δεν προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές
- Σαν Ανανεώσιμα Καύσιμα θεωρούνται τα Βιοκαύσιμα και το Υδρογόνο - όταν αυτό προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο:Βιοκαύσιμα**

### **2.1 Εισαγωγή**

**Βιοκαύσιμα** (αγγλ. biofuels) ονομάζονται τα καύσιμα εκείνα στερεά, υγρά ή αέρια τα οποία προέρχονται από τη **βιομάζα**, το βιοδιασπώμενο δηλαδή κλάσμα προϊόντων ή αποβλήτων διαφόρων ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

### **2.1.1 Ιστορικά**

Ιστορικά τα πρώτα καύσιμα που χρησιμοποιήθηκαν από τον άνθρωπο ανήκαν στην κατηγορία των βιοκαυσίμων. Έτσι το ξύλο, το λίπος, τα φυτικά λάδια αλλά και τα αποστάγματα όντας οργανικής προέλευσης εμπίπτουν στην κατηγορία των βιοκαυσίμων. Η μεγάλη ανάγκη σε φθηνά καύσιμα μεγάλου ενεργειακού περιεχομένου μετά την βιομηχανική επανάσταση, η οποία συνεχίζει αυξανόμενη έως σήμερα, ενίσχυσε σημαντικά τη χρήση ορυκτών καυσίμων, άνθρακα αρχικά και πετρελαϊκών παραγώγων αργότερα, σε βάρος των παραδοσιακών βιοκαυσίμων. Τα προβλήματα θέρμανσης του πλανήτη (βλ. **φαινόμενο του θερμοκηπίου**), τα οποία σχετίζονται άμεσα με το περιεχόμενο των καυσίμων σε άνθρακα και το εκπεμπόμενο κατά την καύση διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) έχουν δημιουργήσει κατά τα τελευταία χρόνια ένα κλίμα στροφής προς βιοκαύσιμα τα οποία καλούνται να υποκαταστήσουν σταδιακά τα συμβατικά καύσιμα.

### **2.1.2 Χαρακτηριστικά**

Τα βιοκαύσιμα προέρχονται από οργανικά προϊόντα και θεωρούνται **ανανεώσιμα καύσιμα**. Ως ανανεώσιμα καύσιμα έχουν το χαρακτηριστικό των χαμηλότερων εκπομπών CO<sub>2</sub> στο συνολικό κύκλο ζωής τους σε σχέση με τα συμβατικά **ορυκτά καύσιμα**, στοιχείο που εξαρτάται άμεσα από την προέλευση τους, τη χρήση τους αλλά και τον τρόπο παραγωγής και διανομής τους. Κατά την καύση τους τα καύσιμα αυτά εκπέμπουν περίπου ίσες ποσότητες CO<sub>2</sub> με τα αντίστοιχα πετρελαϊκής προέλευσης. Επειδή όμως είναι οργανικής προέλευσης ο άνθρακας τον οποίο περιέχουν έχει δεσμευτεί κατά την ανάπτυξη της οργανικής ύλης από την ατμόσφαιρα στην οποία επανέρχεται μετά την καύση κι έτσι το ισοζύγιο εκπομπών σε όλο τον κύκλο ζωής του βιοκαυσίμου είναι θεωρητικά μηδενικό. Στην πράξη επειδή κατά την παραγωγή και διακίνηση της πρώτης ύλης αλλά και των ίδιων των βιοκαυσίμων υπεισέρχονται και άλλες δραστηριότητες κατά τις οποίες παράγονται εκπομπές CO<sub>2</sub> το τελικό όφελος από τα καύσιμα αυτά μπορεί να είναι από πολύ μεγάλο έως μηδαμινό. Για να αποφανθεί κανείς ασφαλώς για τα περιβαλλοντικά οφέλη κάποιου βιοκαυσίμου πρέπει να πραγματοποιήσει εξειδικευμένη **ανάλυση κύκλου ζωής**. Σχετικά στοιχεία για διάφορα βιοκαύσιμα μπορούν να βρεθούν στη διεύθυνση.

### **2.1.3 Νομοθεσία**

Σε μια προσπάθεια να προωθήσει την χρήση των βιοκαυσίμων στον τομέα των μεταφορών στην Ευρώπη, η **Ευρωπαϊκή Ένωση** υιοθέτησε την κοινοτική οδηγία 2003/30/EK. Σύμφωνα με την κοινοτική οδηγία 2003/30/EK βιοκαύσιμα θεωρούνται κάθε υγρό ή αέριο καύσιμο για τις μεταφορές το οποίο παράγεται από βιομάζα όπου βιομάζα είναι το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα προϊόντων, αποβλήτων και καταλοίπων από γεωργικές (συμπεριλαμβανομένων φυτικών και ζωικών ουσιών), δασοκομικές και συναφείς βιομηχανικές δραστηριότητες, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων. Σύμφωνα με την ίδια οδηγία στην κατηγορία των βιοκαυσίμων εμπίπτουν η **βιοαιθανόλη**, το **βιοντίζελ** (μεθυλεστέρας λιπαρών οξέων), το **βιοαέριο**, η **βιομεθανόλη**, ο **βιοδιμεθυλαιθέρας**, ο **βιο-ETBE** (αιθυλοτριτοβουτυλαιθέρας, ο **βιο-MTBE** (μεθυλοτριτοβουτυλαιθέρας), τα **συνθετικά βιοκαύσιμα** (συνθετικοί υδρογονάνθρακες ή



μείγματα συνθετικών υδρογονανθράκων που έχουν παραχθεί από βιομάζα), το **βιοϋδρογόνο** και τα **καθαρά φυτικά έλαια**. Επίσης η νομοθεσία προβλέπει ότι τα κράτη μέλη οφείλουν να διασφαλίσουν ότι μια ελάχιστη αναλογία βιοκαυσίμων και άλλων ανανεώσιμων καυσίμων διατίθεται στις αγορές τους, αναλογία η οποία για το 2005 ορίζεται στο 2 %, υπολογιζόμενη βάσει του ενεργειακού περιεχομένου, επί του συνόλου της βενζίνης και του πετρελαίου ντίζελ που διατίθεται στις αγορές τους προς χρήση στις μεταφορές. Η αναλογία αυτή οφείλει να αυξηθεί στο 5.75% έως το τέλος του 2010. Η Ελλάδα το καλοκαίρι του 2005 ενσωμάτωσε την οδηγία αυτή στην εθνική νομοθεσία. Η Ελλάδα δεν κατάφερε να επιτύχει το στόχο του 2% στο τέλος του 2005 ενώ αμφιβολίες εκφράζονται για το κατά πόσο θα επιτευχθεί και ο στόχος για το 2010.

## 2.2 Βιομάζα

### 2.2.1 Εισαγωγή

Με τον όρο βιομάζα αποκαλείται οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς (όπως είναι το ξύλο και άλλα προϊόντα του δάσους, υπολείμματα καλλιεργειών, κτηνοτροφικά απόβλητα, απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων κ.λπ.) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας.



**Pellets**

Μια μορφή βιομάζας: pellets (συσσωματώματα) τα οποία προκύπτουν από τη μηχανική συμπίεση πριονιδιού, χωρίς την προσθήκη χημικών ή συγκολλητικών ουσιών

Η ενέργεια που είναι δεσμευμένη στις φυτικές ουσίες προέρχεται από τον ήλιο. Με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, τα φυτά μετασχηματίζουν την ηλιακή ενέργεια σε βιομάζα. Οι ζωικοί οργανισμοί αυτή την ενέργεια την προσλαμβάνουν με την τροφή τους και αποθηκεύουν ένα μέρος της. Αυτή την ενέργεια αποδίδει τελικά η βιομάζα, μετά την επεξεργασία και τη χρήση της. Είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας γιατί στην πραγματικότητα είναι αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια που δεσμεύτηκε από τα φυτά κατά τη φωτοσύνθεση.

Η βιομάζα είναι η πιο παλιά και διαδεδομένη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Ο πρωτόγονος άνθρωπος, για να ζεσταθεί και να μαγειρέψει, χρησιμοποίησε την ενέργεια (θερμότητα) που προερχόταν από την καύση των ξύλων, που είναι ένα είδος βιομάζας.

Αλλά και μέχρι σήμερα, κυρίως οι αγροτικοί πληθυσμοί, τόσο της Αφρικής, της Ινδίας και της Λατινικής Αμερικής, όσο και της Ευρώπης, για να ζεσταθούν, να μαγειρέψουν και να φωτιστούν χρησιμοποιούν ξύλα, φυτικά υπολείμματα (άχυρα, πριονίδια, άχρηστους καρπούς ή κουκούτσια κ.ά.) και ζωικά απόβλητα (κοπριά, λίπος ζώων, άχρηστα αλιεύματα κ.ά.).

Όλα τα παραπάνω υλικά, που άμεσα ή έμμεσα προέρχονται από το φυτικό κόσμο, αλλά και τα υγρά απόβλητα και το μεγαλύτερο μέρος από τα αστικά απορρίμματα (υπολείμματα τροφών, χαρτί κ.ά.) των πόλεων και των βιομηχανιών, μπορούμε να τα μετατρέψουμε σε ενέργεια.

### **2.2.2 Χαρακτηριστικά**

Η ενέργεια της βιομάζας (βιοενέργεια ή *πράσινη ενέργεια*) είναι δευτερογενής ηλιακή ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια μετασχηματίζεται από τα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης. Οι βασικές πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται, είναι το νερό και ο άνθρακας, που είναι άφθονα στη φύση.

Η μόνη φυσικά ευρισκόμενη πηγή ενέργειας με άνθρακα που τα αποθέματά της είναι ικανά ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων, είναι η βιομάζα. Αντίθετα από αυτά, η βιομάζα είναι ανανεώσιμη καθώς απαιτείται μόνο μια σύντομη χρονική περίοδος για να αναπληρωθεί ό,τι χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας. Εν γένει, για τις διάφορες τελικές χρήσεις υιοθετούνται διαφορετικοί όροι. Έτσι, ο όρος "βιοισχύς" περιγράφει τα συστήματα που χρησιμοποιούν πρώτες ύλες βιομάζας αντί των συνήθων ορυκτών καυσίμων (φυσικό αέριο, άνθρακα) για ηλεκτροπαραγωγή, ενώ ως "βιοκαύσιμα" αναφέρονται κυρίως τα υγρά καύσιμα μεταφορών που υποκαθιστούν πετρελαϊκά προϊόντα, π.χ. βενζίνη ή ντίζελ.

Βασικό πλεονέκτημα της βιομάζας είναι ότι είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και ότι παρέχει ενέργεια αποθηκευμένη με χημική μορφή. Η αξιοποίηση της μπορεί να γίνει με μετατροπή της σε μεγάλη ποικιλία προϊόντων, με διάφορες μεθόδους και τη χρήση σχετικά απλής τεχνολογίας. Σαν πλεονέκτημά της καταγράφεται και το ότι κατά την παραγωγή και την μετατροπή της δεν δημιουργούνται οικολογικά και περιβαλλοντολογικά προβλήματα. Από την άλλη, σαν μορφή ενέργειας η βιομάζα χαρακτηρίζεται από πολυμορφία, χαμηλό ενεργειακό περιεχόμενο, σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα, λόγω χαμηλής πυκνότητας και/ή υψηλής περιεκτικότητας σε νερό, εποχικότητα, μεγάλη διασπορά, κλπ. Τα χαρακτηριστικά αυτά συνεπάγονται πρόσθετες, σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα, δυσκολίες στη συλλογή, μεταφορά και αποθήκευσή της. Σαν συνέπεια το κόστος μετατροπής της σε πιο εύχρηστες μορφές ενέργειας παραμένει υψηλό.

### **2.2.3 Πλεονεκτήματα**

1. Η καύση της βιομάζας έχει μηδενικό ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) δεν συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου - επειδή οι ποσότητες του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) που απελευθερώνονται κατά την καύση της βιομάζας δεσμεύονται πάλι από τα φυτά για τη δημιουργία της βιομάζας.
2. Η μηδαμινή ύπαρξη του θείου στη βιομάζα συμβάλλει σημαντικά στον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) που είναι υπεύθυνο για την όξινη βροχή.

3. Εφόσον η βιομάζα είναι εγχώρια πηγή ενέργειας, η αξιοποίησή της σε ενέργεια συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα και βελτίωση του εμπορικού ισοζυγίου, στην εξασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού και στην εξοικονόμηση του συναλλάγματος.
4. Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας σε μια περιοχή, αυξάνει την απασχόληση στις αγροτικές περιοχές με τη χρήση εναλλακτικών καλλιεργειών (διάφορα είδη ελαιοκράμβης, σόργο, καλάμι, κενάφ) τη δημιουργία εναλλακτικών αγορών για τις παραδοσιακές καλλιέργειες (ηλιάνθος κ.ά.), και τη συγκράτηση του πληθυσμού στις εστίες τους, συμβάλλοντας έτσι στη κοινωνικο-οικονομική ανάπτυξη της περιοχής. Μελέτες έχουν δείξει ότι η παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων έχει θετικά αποτελέσματα στον τομέα της απασχόλησης τόσο στον αγροτικό όσο και στο βιομηχανικό χώρο.

## **2.2.4 Μειονεκτήματα**

1. Ο αυξημένος όγκος και η μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία, σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα δυσχεραίνουν την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας.
2. Η μεγάλη διασπορά και η εποχιακή παραγωγή της βιομάζας δυσκολεύουν την συνεχή τροφοδοσία με πρώτη ύλη των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας.
3. Βάση των παραπάνω παρουσιάζονται δυσκολίες κατά τη συλλογή, μεταφορά, και αποθήκευση της βιομάζας που αυξάνουν το κόστος της ενεργειακής αξιοποίησης.
4. Οι σύγχρονες και βελτιωμένες τεχνολογίες μετατροπής της βιομάζας απαιτούν υψηλό κόστος εξοπλισμού, συγκρινόμενες με αυτό των συμβατικών καυσίμων.

Στην Ελλάδα υπάρχει μεγάλη διαθεσιμότητα καθόσον λειτουργούν 5 εργοστάσια παραγωγής πελλετών, ενώ εντός του θέρους 2010 αρχίζει παραγωγή και ένα έκτο στο Νευροκόπι που είναι από τα μεγαλύτερα στον κόσμο

## **2.3 Βιοαιθανόλη**

### **2.3.1 Ιστορία**

Η ιστορία της βιοαιθανόλης ως καυσίμου κίνησης ξεκινά το 1908 όταν ο Χένρυ Φορντ κατασκεύασε το πρώτο αυτοκίνητο, το αλκοολοκίνητο μοντέλο **Ford T**, δηλώνοντας ότι τα καύσιμα του μέλλοντος θα προέρχονται από μήλα, ζιζάνια ή ροκανίδια.

Σήμερα, όλα τα αυτοκίνητα μπορούν να χρησιμοποιήσουν E5 ή E10, δηλαδή μείγμα βενζίνης με 5 ή 10% αιθανόλη, **χωρίς καμία μετατροπή**. Η αιθανόλη έχει 113 οκτάνια και χρησιμοποιείται για την αύξηση του αριθμού οκτανίων της βενζίνης και για τη βελτίωση της ποιότητάς της δηλαδή ως βελτιωτικό καυσίμου (πχ ETBE, METBE). Συνήθως πωλείται στα πρατήρια ως μείγμα E10 (10% αιθανόλη + 90% βενζίνης). Η αυτοκινητοβιομηχανία πλέον διαθέτει στο εμπόριο μοντέλα (FFV, Flexible Fuel Vehicle) που χρησιμοποιούν μείγμα E85 (85% αιθανόλη + 15% βενζίνης) ή οποιοδήποτε άλλο μείγμα αιθανόλης-βενζίνης (πχ Ford Focus ή Saab BioPower). Το μίγμα E85 έχει αριθμό οκτανίου περίπου 105.



Saab BioPower και Ford Focus

### 2.3.2 Ανάλυση της παγκόσμιας αγοράς αιθανόλης

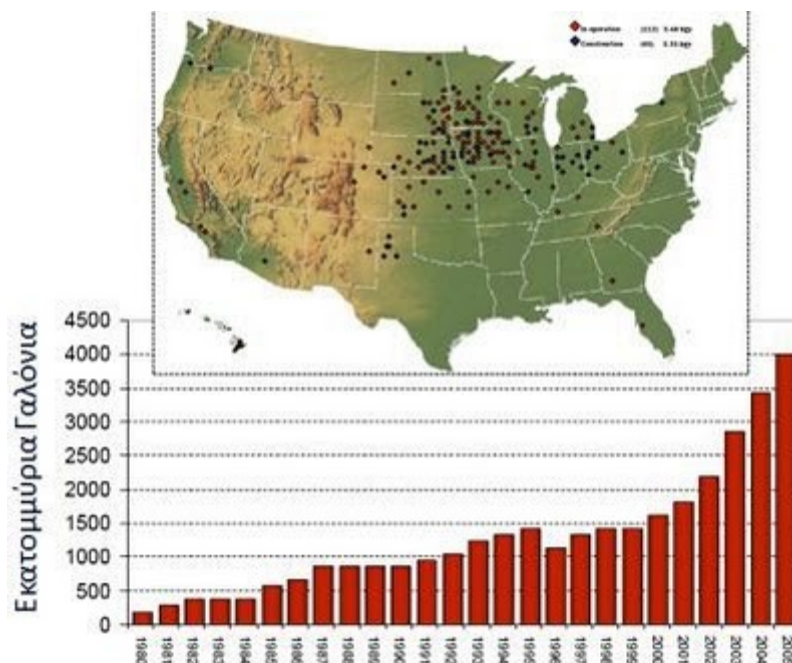
Οι Βραζιλία και ΗΠΑ παράγουν το 75% περίπου της αιθανόλης του πλανήτη με την εν λόγω βιομηχανία να γνωρίζει ραγδαία ανάπτυξη. Ήδη ακούγονται προτάσεις για δημιουργία καρτέλ αιθανόλης από τις δύο χώρες αντίστοιχου με τον ΟΠΕΚ. Επίσης, σε χώρες όπως η Κίνα και η Ινδία έχουν επίσης ξεκινήσει τεράστια προγράμματα ανάπτυξης της βιομηχανίας αιθανόλης. Πρόσφατα και η ρωσική κυβέρνηση ανακοίνωσε πρόγραμμα ανάπτυξης της βιομηχανίας αιθανόλης, επιδοτώντας την κατασκευή 30 νέων εργοστασίων συνολικής ετήσιας δυναμικότητας 2.000.000 τόνων.

**Το ενεργειακό θαύμα της Βραζιλίας** στα βιοκαύσιμα ξεκινά το 1973, όταν ο τότε δικτάτορας στρατηγός Γκάζελ, λόγω της πετρελαϊκής κρίσης (εμπάργκο ΟΠΕΚ) και της εκτόξευσης των τιμών πετρελαίου παγκοσμίως, δημιούργησε το 30ετές πρόγραμμα υποκατάστασης της βενζίνης από αιθανόλη. Τότε δόθηκαν γενναίες επιδοτήσεις και χρηματοδότησε την κατασκευή εργοστασίων παραγωγής αιθανόλης, εγκατέστησε αντλίες αιθανόλης σε όλα τα πρατήρια καυσίμων της χώρας και έδωσε φορολογικά κίνητρα για τα αλκοολοκίνητα οχήματα. Προφανώς τα αποτελέσματα είναι θαυματικά διότι πέρυσι η κυβέρνηση ανακοίνωσε ότι χάρη στην αιθανόλη και στην αύξηση της εγχώριας παραγωγής πετρελαίου, η Βραζιλία σταματά πλέον την εισαγωγή πετρελαίου και καθίσταται ενεργειακά αυτόνομη. Σήμερα, περισσότερα από τα μισά αυτοκίνητα που κυκλοφορούν στη χώρα είναι αλκοολοκίνητα, ενώ τα υπόλοιπα καταναλίσκουν μίγμα βενζίνης-αλκοόλης σε αναλογία 75%-25% αντίστοιχα. Λειτουργούν 315 εργοστάσια, εκ των οποίων τα 80 κατασκευάστηκαν το 2005. Η καλλιέργεια του ζαχαροκάλαμου αναμένεται να διπλασιαστεί την επόμενη δεκαετία.



Η συγκομιδή του ζαχαροκάλαμου στη Βραζιλία

Στις **ΗΠΑ** η παραγωγή αιθανόλης γνωρίζει εκρηκτική ανάπτυξη μετά το 2000. Την περίοδο 2000-2006 η παραγωγή αυξήθηκε κατά 300% και πλέον ενώ γενικότερα, η παραγωγή αιθανόλης, από 568 εκατομμύρια λίτρα το 1981 έφτασε τα 18,4 δισεκατομμύρια λίτρα το 2006, δηλαδή αυξήθηκε κατά 32 φορές περίπου. Το 2006 οι ΗΠΑ εξοικονόμησαν, λόγω της αιθανόλης, 11 δισεκατομμύρια δολάρια από εισαγωγές πετρελαίου. Σχετικά με τα εργοστάσια βιοαιθανόλης στις ΗΠΑ, το 2000 λειτουργούσαν 54 εργοστάσια και σήμερα 130 εργοστάσια ενώ κατασκευάζονται άλλα 84. Πέρυσι, το 17% της παραγωγής καλαμποκιού χρησιμοποιήθηκε στη βιομηχανία αιθανόλης για την παραγωγή 19 δισεκατομμυρίων λίτρων αιθανόλης ενώ ο καταγεγραμμένος στόχος της κυβέρνησης των ΗΠΑ είναι 28 δισ. λίτρα άμεσα και 40 δισ. λίτρα στο εγγύς μέλλον. Η Citigroup εκτιμά ότι η αμερικανική παραγωγή αιθανόλης θα αυξάνεται με μέσο ετήσιο ρυθμό 10,3% μέχρι το 2012. Πρέπει να σημειωθεί ότι η αμερικανική κυβέρνηση στηρίζει επί πολλά χρόνια τον κλάδο παραγωγής αιθανόλης, δίνοντας **γενναίες επιδοτήσεις στις συγκεκριμένες βιομηχανίες που αγγίζουν τα 2 \$ ανά λίτρο αιθανόλης** (βάσει της δυναμικότητας των μονάδων παραγωγής αιθανόλης).



Εξέλιξη παραγωγής αιθανόλης στις ΗΠΑ και χάρτης εργοστασίων (πηγή NCGA)

Η παγκόσμια ζήτηση για αιθανόλη αναμένεται να διπλασιαστεί τα επόμενα δέκα χρόνια, με ότι αυτό συνεπάγεται για την παγκόσμια βιομηχανία βιοαιθανόλης από άποψη επενδύσεων.

### **2.3.3 Κόστος παραγωγής βιοαιθανόλης και αποδόσεις καλλιεργειών**

Για την παραγωγή της βιοαιθανόλης χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη το ζαχαροκάλαμο στη Βραζιλία, αραβόσιτος στις ΗΠΑ, δημητριακά (σιτάρι, κριθάρι κ.α.) και ζαχαρότευτλα στην ΕΕ. Επίσης το γλυκό σόργο είναι μια νέα και πολλά υποσχόμενη καλλιέργεια για παραγωγή βιοαιθανόλης και παραγώγων της μέσω ζύμωσης των σακχάρων που περιέχονται στο φυτικό χυμό του. Αυτό αποκτά ιδιαίτερη αξία για περιοχές μη τροπικές όπου το ζαχαροκάλαμο δεν

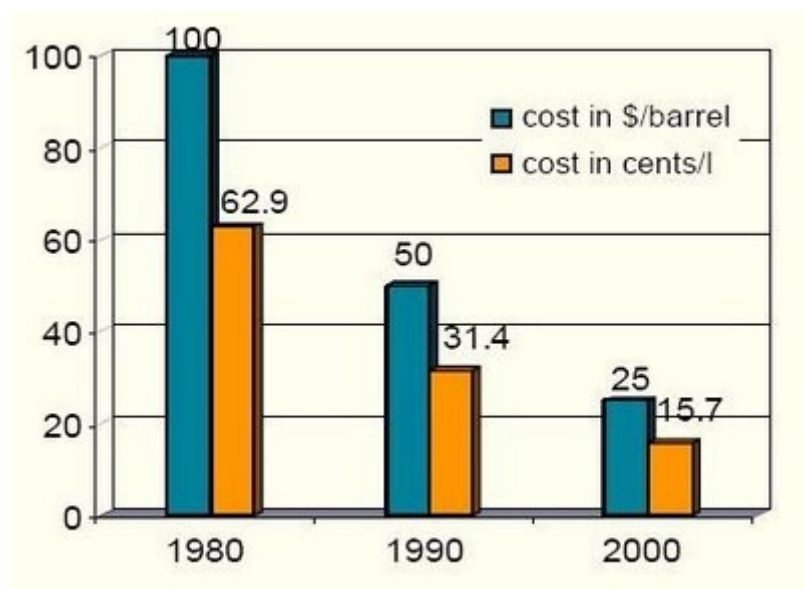
ευδοκιμεί, όπως είναι η Ευρώπη. Στον πίνακα αναφέρεται το κόστος παραγωγής της βιοαιθανόλης από διάφορες πρώτες ύλες.

ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ	ΚΟΣΤΟΣ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ (€/m <sup>3</sup> )
Ζαχαρότευτλα	230 - 530
Ζαχαροκάλαμο	170 - 200
Γλυκό Σόργο	155 - 230
Καλαμπόκι	210 - 320
Σιτάρι	600
Λιγνοκυτταρινούχες	140 - 350
Πατάτα	760

Πίνακας: Εκτιμώμενο κόστος παραγωγής βιοαιθανόλης από διάφορες πρώτες ύλες.

Το κόστος παραγωγής αιθανόλης από καλαμπόκι στις ΗΠΑ είναι 0,21 ευρώ/λίτρο και στα πρατήρια καυσίμων, η τιμή πώλησης του καυσίμου E85 (85% αιθανόλη + 15% βενζίνη) είναι 0,50 ευρώ/λίτρο όταν η αντίστοιχη τιμή της βενζίνης είναι 0,58 ευρώ/λίτρο (Ιούλιος 2007). Επειδή η αιθανόλη έχει 67% του ενεργειακού περιεχομένου (θερμογόνου δύναμης, κατ' όγκο) της βενζίνης, το κόστος της αιθανόλης που ισοδυναμεί με ένα λίτρο βενζίνης είναι 0,71 ευρώ/λίτρο.

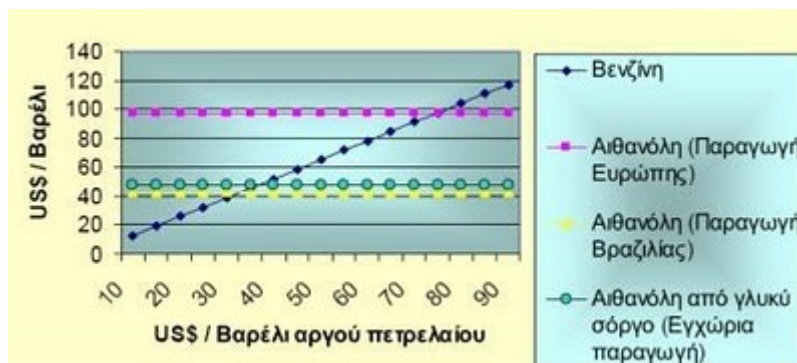
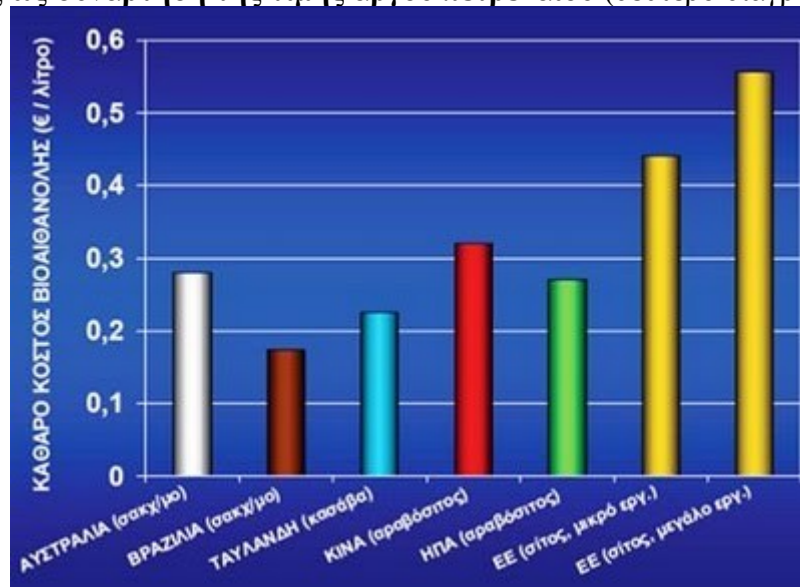
Η Βραζιλία παράγει ακόμη φθηνότερη βιοαιθανόλη, με κόστος παραγωγής 0,17 ευρώ/λίτρο. Η λιανική τιμή πώλησης της αιθανόλης είναι 0,55 ευρώ/λίτρο όταν η αντίστοιχη τιμή της βενζίνης είναι 0,94 ευρώ/λίτρο (Ιούλιος 2007). Το κόστος της αιθανόλης που ισοδυναμεί με ένα λίτρο βενζίνης είναι 0,74 ευρώ/λίτρο. Η Βραζιλία είναι η μοναδική χώρα παγκοσμίως όπου πλέον η βιοαιθανόλη που παράγεται από ζαχαροκάλαμο είναι ήδη ανταγωνιστική έναντι των ορυκτών υγρών καυσίμων.



Μείωση του κόστους παραγωγής της βιοαιθανόλης στη Βραζιλία (πηγή Jose Goldberg)

Για την ΕΕ όπου η βιομηχανία αιθανόλης είναι λιγότερο αναπτυγμένη, η παραγόμενη βιοαιθανόλη γίνεται ανταγωνιστική της βενζίνης για τιμές πετρελαίου 90 € ανά βαρέλι, ενώ υπολογίζεται ότι η έρευνα και η τεχνολογική ανάπτυξη στον τομέα των βιοκαυσίμων θα επιφέρει μείωση κόστους κατά 30% μετά το έτος 2010. Οι κύριες παραγωγοί αιθανόλης είναι η Ισπανία και η Σουηδία, με τον Ισπανικό όμιλο Abengoa να ηγείται στην Ευρώπη.

Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται το **κόστος παραγωγής αιθανόλης σε διάφορες χώρες από διάφορες καλλιέργειες** (πρώτο διάγραμμα) και η **σύγκριση των τιμών βενζίνης και αιθανόλης ως συνάρτηση της τιμής αργού πετρελαίου** (δεύτερο διάγραμμα).



Προς το παρόν, η βιομηχανία αιθανόλης είναι ανύπαρκτη στην Ελλάδα, ενώ αναμένονται εξελίξεις σχετικά με τη μετατροπή από ζαχαρουργεία σε εργοστάσια βιοαιθανόλης, των εργοστασίων της Ελληνικής Βιομηχανίας Ζάχαρης σε Λάρισα και Ξάνθη. Το δυναμικό παραγωγής βιοαιθανόλης των καλλιεργειών στην Ελλάδα, παρουσιάζεται στον πίνακα που ακολουθεί:

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ	ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕ ΠΡΩΤΗ ΥΛΗ (κιλά/στρέμμα)	ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΕ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗ (λίτρα/στρέμμα)
ΣΙΤΑΡΙ	150 - 800	45 - 240
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	900	270
ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΟ	6.000	600
ΓΛΥΚΟ ΣΟΡΓΟ	7.000 - 10.000	675 - 900

Πηγή: ΚΑΠΕ

Στη Βραζιλία, ένα στρέμμα ζαχαροκάλαμου παράγει 570-760 λίτρα βιοαιθανόλης. Το γλυκό σόργο μπορεί να γίνει στο κοντινό μέλλον, το ζαχαροκάλαμο της Μεσογείου, διότι με χρήση νέων τεχνικών η στρεμματική απόδοση σε βιοαιθανόλη μπορεί να ξεπεράσει τα 1100 λίτρα.

### 2.3.4 Η διαδικασία παραγωγής βιοαιθανόλης

Η παραγωγή αιθανόλης από άμυλο (δημητριακά, καλαμπόκι) ή σάκχαρα (ζαχαροκάλαμο, ζαχαρότευτλα, γλυκό σόργο) είναι απλή και γίνεται μέσω αλκοολικής ζύμωσης. Τα εργοστάσια παραγωγής βιοαιθανόλης είναι ουσιαστικά τεράστια αποστακτήρια.



**Μονάδα παραγωγής βιοαιθανόλης (www.nrel.gov)**  
Αριστερά οι ζυμωτήρες - Δεξιά οι πύργοι απόσταξης

Στην περίπτωση που πρώτη ύλη είναι το ζαχαροκάλαμο ή το γλυκό σόργο, τα στελέχη τους (καλάμια) θρυμματίζονται και στο αλεσμένο προϊόν γίνεται αποχύμωση (μηχανικά με πίεση) και με την προσθήκη ζεστού νερού γίνεται εκχύλιση και συλλογή του υδατικού σακχαρούχου διαλύματος.





**Καλλιέργεια γλυκού σόργου - το ξηρό καλάμι του έχει πάνω από 40% σάκχαρα**

Σε αντίθεση με το ζαχαροκάλαμο και το σόργο που λαμβάνεται απευθείας ο σακχαρούχος χυμός των βλαστών, στα σιτηρά (σιτάρι, κριθάρι, καλαμπόκι) απαιτείται προσθήκη ακριβών ενζύμων (αμυλάσες) για τη διάσπαση (υδρόλυση) του αμύλου σε σάκχαρα. Οι σπόροι των σιτηρών αλέθονται, αναμιγνύονται με νερό και ακολουθεί θέρμανση και ζύμωση σε αλκοόλη.

Η ζύμωση του σακχαρούχου διαλύματος γίνεται σταδιακά σε τεράστιες δεξαμενές (ζυμωτήρες) με την προσθήκη κατάλληλων σακχαρομυκήτων, συνήθως στελέχη του *Saccharomyces cerevisiae*. Στο τελικό προϊόν της ζύμωσης γίνεται καθαρισμός με φυγοκέντριση ή διήθηση και το υγρό οδηγείται στην τελική δεξαμενή όπου γίνεται διαχωρισμός και ανάκτηση της καθαρής αιθανόλης. Ανάλογα με το σκοπό, η αιθανόλη ως τελικό προϊόν μπορεί να είναι ένυδρη (95% v/v) ή άνυδρη (99,5% v/v).

Η διαδικασία παραλαβής της αιθανόλης είναι το τελευταίο στάδιο παραγωγής και περιλαμβάνει απόσταξη και αφυδάτωση με θέρμανση. Το τελευταίο αυτό στάδιο είναι από τα πλέον ενεργοβόρα άρα και πιο δαπανηρά στάδια της παραγωγικής διαδικασίας και αποτελεί κρίσιμο παράγοντα της βιομηχανικής παραγωγής βιοαιθανόλης.



**Σχήμα: Διάγραμμα ροής της παραγωγής αιθανόλης**

Τα απόβλητα της βιομηχανίας αιθανόλης έχουν υψηλό ρυπαντικό φορτίο και είναι δύσκολα επεξεργάσιμα. Στη Βραζιλία έχουν υιοθετηθεί δύο πρακτικές για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων της βιομηχανικής παραγωγής αιθανόλης από ζαχαροκάλαμο. Η πρώτη μέθοδος

αφορά τη συλλογή των αποβλήτων σε δεξαμενές και εξάτμιση του νερού. Κατά τη δεύτερη πρακτική γίνεται διασπορά τους με ψεκασμό σε καλλιέργειες ζαχαροκάλαμου ως αζωτούχος λίπανση.

### 2.3.5 Δεύτερης γενιάς βιοαιθανόλη από κυτταρίνη

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει έντονη ερευνητική δραστηριότητα για την παραγωγή δεύτερης γενιάς βιοαιθανόλης αλλά σε βιομηχανική κλίμακα βρίσκεται προς το παρόν σε πιλοτικό στάδιο. Στην περίπτωση που επαληθευτεί η οικονομικότητα της παραγωγή αιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχες πρώτες ύλες (που φυσικά είναι θέμα χρόνου), θα γίνει ιδιαίτερα φθηνή η βιομηχανική παραγωγή αιθανόλης από γεωργικά υπολείμματα (άχυρο, βαμβακοστελέχη κτλ), υπολείμματα υλοτομίας (πχ πριονίδια), οικιακά απορρίμματα και προϊόντα χαρτιού καθώς και από ταχουαξή μη διατροφικά φυτά με πολύ μεγάλη στρεμματική παραγωγή βιομάζας όπως ινώδες σόργο, καλάμι, αγριαγκινάρα και κεχρί (switch grass).

Η νέα αυτή μέθοδος βασίζεται στην αξιοποίηση της κυτταρίνης και ημικυτταρίνης. Επειδή δεν είναι δυνατή η απευθείας ζύμωση των πολυσακχαριτών αυτών, πρέπει να γίνει διάσπασή τους σε απλά σάκχαρα.

Βέβαια, στην πραγματικότητα η ιδέα **δεν είναι και τόσο νέα**, αλλά σήμερα γίνεται ιδιαίτερα σημαντική λόγω της ενεργειακής και περιβαλλοντικής ανασφάλειας που μαστίζει τον πλανήτη. Συγκεκριμένα, για πρώτη φορά αναπτύχθηκε το **1898 στη Γερμανία** μέθοδος παραγωγής αιθανόλης από κυτταρίνη σε εμπορική κλίμακα. Οι επιστήμονες τότε παρήγαγαν αιθανόλη από ξύλο, μέσω υδρόλυσης με οξέα, της κυτταρίνης προς γλυκόζη. Με τη συγκεκριμένη μέθοδο ήταν δυνατή η παραγωγή 7,6 λίτρων αιθανόλης ανά 100 κιλά ξύλου. Οι Γερμανοί επιστήμονες σύντομα βελτίωσαν τη μέθοδο, ώστε ήταν δυνατή (πριν έναν αιώνα) η βιομηχανική παραγωγή 22 λίτρων αιθανόλης ανά 100 κιλά ξύλου (τριπλασιασμός απόδοσης). Σήμερα παρόμοιες μέθοδοι αναπτύσσονται ή βελτιώνονται από τους επιστήμονες ανά τη γη.

Το πρώτο στάδιο της παραγωγής περιλαμβάνει υδρόλυση της κυτταρίνης με τη χρήση οξέος (πχ θειικό οξύ) ή ενζύμων και παραγωγή μίγματος γλυκόζης και ξυλόζης. Στη συνέχεια τα σάκχαρα ζυμώνονται και παράγεται αιθανόλη όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα: Διάγραμμα ροής της παραγωγής αιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχες πρώτες ύλες

Η ενζυμική υδρόλυση γίνεται με ένζυμα (κυτταρινάσες) που παράγονται από μύκητες, βακτήρια και πρωτόζωα.



Τελευταία γίνεται μεγάλη έρευνα για ανάπτυξη οικονομικών μεθόδων υδρόλυσης και εφαρμογή τους σε βιομηχανική κλίμακα. Η μέθοδος υδρόλυσης με χρήση οξέων είναι ακριβή ενώ σχετικά με τη χρήση ενζύμων, η παραγωγή τους είναι επίσης ακριβή ενώ δεν έχει επιβεβαιωθεί η αποτελεσματικότητα σε βιομηχανικό επίπεδο. Πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι ο μύκητας *Trichoderma reesei* μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή των περισσότερων ενζύμων που απαιτούνται.

Προς το παρόν με την υπάρχουσα τεχνολογία μόνο το 45% του ενεργειακού περιεχομένου της βιομάζας μετατρέπεται σε αιθανόλη οπότε αναζητούνται λύσεις για μεγιστοποίηση της απόδοσης. Επειδή οι περισσότερες λύσεις βρίσκονται στη φύση, πολλές έρευνες στηρίζονται στους **τερμίτες** και στην ιδιότητά τους να τρέφονται με κυτταρίνη (ξύλο) την οποία διασπούν κατά την πέψη μέσω ενζύμων που παράγουν στο πεπτικό τους σύστημα. Έτσι με βάση τους σχετιζόμενους με τους τερμίτες μικροοργανισμούς (μικροχλωρίδα πεπτικού), μεταφέρονται γονιδιά τους σε νέους οργανισμούς με στόχο τη φθηνή μαζική παραγωγή ενζύμων για βιομηχανική χρήση στην παραγωγή κυτταρινικής βιοαιθανόλης.

Στην Ευρώπη ξεκίνησε το 2004 να λειτουργεί πιλοτικά στη Σουηδία μονάδα παραγωγής αιθανόλης από δασικά υπολείμματα, άχυρο και άλλα κυτταρινούχα υπολείμματα, ενώ τέτοιες μονάδες λειτουργούν επίσης στην Ισπανία και τη Δανία. Επίσης έχει αναπτυχθεί μια νέα τεχνολογία ενζυμικής υδρόλυσης στον Καναδά όπου και έχει ξεκινήσει βιομηχανική παραγωγή αιθανόλης από δασικά υπολείμματα και άχυρο ενώ πιλοτική παραγωγή γίνεται και σε άλλες χώρες (Βραζιλία και ΗΠΑ).

Συγκεκριμένα, η Καναδική εταιρεία βιοτεχνολογίας **IOGEN**, είναι η πρώτη παγκοσμίως που άρχισε να παράγει και να εμπορεύεται κυτταρινική αιθανόλη, τον Απρίλιο του 2004. Η εταιρεία χρησιμοποιεί για την ενζυματική υδρόλυση της κυτταρίνης το μύκητα *Trichoderma reesei*.

Μεγάλη επίσης έρευνα γίνεται και στον τομέα παραγωγής **βιοαιθανόλης από άλγη** (φύκια) τα οποία αποτελούν μια εξαιρετικά παραγωγική πηγή βιομάζας και μάλιστα χωρίς τη χρήση

αγροτικών εκτάσεων. Ήδη αρκετές εταιρείες και ερευνητικά κέντρα αναπτύσσουν ή βελτιώνουν μεθόδους φυκοκαλλιέργειας και παραγωγής βιοκαυσίμου.

Τέλος, έρευνα γίνεται και για την παραγωγή αιθανόλης από φυτά όπως το γλυκό σόργο και το ζαχαροκάλαμο, με ταυτόχρονη ζύμωση (one-step) σακχάρων και κυτταρίνης. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται μίγματα καλλιέργειών μικροοργανισμών, όπως για παράδειγμα μίγμα *Fusarium oxysporum* και στελεχών *Saccharomyces cerevisiae*. Με τη συγκεκριμένη μέθοδο η παραγωγή αλκοόλης από την καλλιέργεια του σόργου ανέρχεται σε 1000-1100 λίτρα/στρέμμα όταν με απλή ζύμωση του σακχαρούχου χυμού αναμένονται αποδόσεις 650-900 λίτρα/στρέμμα. Με παρόμοιες τεχνικές η στρεμματική απόδοση βιοαιθανόλης από καλαμπόκι αναμένεται να διπλασιαστεί με αξιοποίηση της κυτταρίνης του βλαστού και των φύλλων του.

### **2.3.6 Βιοαιθανόλη και περιβάλλον**

Κύρια πλεονεκτήματα της βιοαιθανόλης σε σχέση με τη βενζίνη είναι ότι θεωρητικά είναι CO<sub>2</sub>-ουδέτερη, κατά την καύση της εκπέμπονται μικρότερες ποσότητες ρύπων, είναι βιοαποδομήσιμη και συμβάλλει στην αειφορία, ενώ πρακτικά δεν παράγονται οξείδια του θείου. Επιπρόσθετα, η αιθανόλη δεν περιέχει επικίνδυνους αρωματικούς υδρογονάνθρακες, όπως για παράδειγμα βενζένιο το οποίο είναι καρκινογόνο, ενώ πλεονεκτεί και στις εκπομπές μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα.

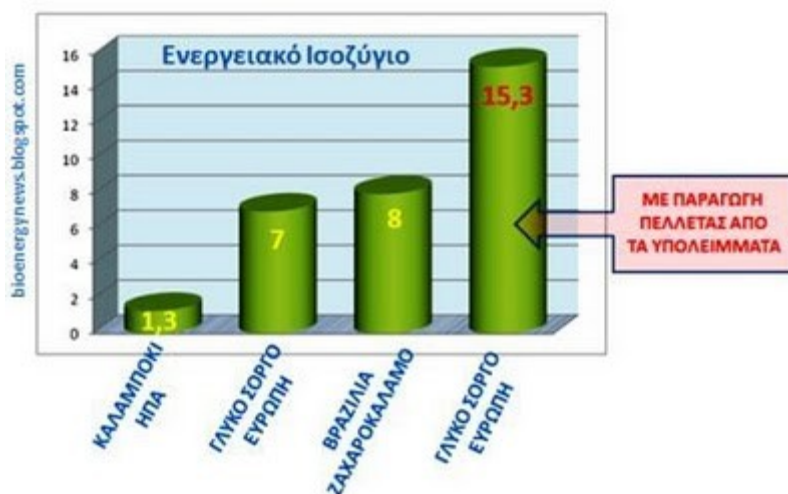
Ειδικότερα, η προσθήκη 5% αιθανόλης σε βενζίνη μειώνει κατά 7% τους αρωματικούς υδρογονάνθρακες και κατά 50% τις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Έρευνες στη Γαλλία δείχνουν ότι μίξη αιθανόλης κατά 5-7% με βενζίνη μειώνει τις εκπομπές CO κατά 15-40% με αντίστοιχες μελέτες στις ΗΠΑ να δείχνουν μείωση κατά 11-30%.

Επίσης η χρήση της βιοαιθανόλης ως καύσιμο οδηγεί σε μείωση της φωτοχημικά σχηματιζόμενης αιθαλομίχλης στην ατμόσφαιρα.

Εκτός από τη μείωση της μη σημειακής ρύπανσης που οφείλεται στις εκπομπές αέριων ρύπων, η βιοαιθανόλη δεν προκαλεί σημαντική σημειακή ρύπανση, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση ατυχημάτων ή διαρροών πετρελαιοειδών, διότι έχει πολύ χαμηλή τοξικότητα σε σχέση με τα πετρελαιοειδή και είναι άμεσα βιοαποδομήσιμη στο νερό και το έδαφος.

Εστιάζοντας στις **καθαρές εκπομπές CO<sub>2</sub> από τη χρήση αιθανόλης ως καύσιμο**, δηλαδή λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των εκπομπών κατά την παραγωγή (καλλιέργεια & βιομηχανία) και την καύση, τα αποτελέσματα ποικίλουν ανάλογα με την πρώτη ύλη και τη μέθοδο παραγωγής. Στο μοντέλο των ΗΠΑ, δηλαδή την παραγωγή αιθανόλης από καλαμπόκι, η μείωση CO<sub>2</sub> είναι μόνο 15-25% σε σχέση με τη βενζίνη. Αντιθέτως, η αιθανόλη που παράγεται ζαχαροκάλαμο με το βραζιλιάνικο μοντέλο, συντελεί σε μείωση μέχρι και 90% των εκπομπών CO<sub>2</sub> σε σχέση με τη βενζίνη. Τέλος η χρήση κυτταρινικής αιθανόλης μειώνει τις εκπομπές CO<sub>2</sub> κατά 70-90%, ενώ στην περίπτωση που κατά την παραγωγική διαδικασία γίνει και συμπαραγωγή θερμότητας – ηλεκτρισμού από τη βιομάζα, τότε οι εκπομπές CO<sub>2</sub> είναι μηδενικές (100% μείωση).

Ένα άλλο σημαντικό θέμα είναι το **ενεργειακό ισοζύγιο της αλυσίδας παραγωγής βιοαιθανόλης**, δηλαδή την ποσότητα ενέργειας (εισροές) που δαπανάται κατά την παραγωγική διαδικασία και προέρχεται από ορυκτά καύσιμα σε σχέση με την τελική ενέργεια που παρέχει η αιθανόλη (εκροές).



Ενεργειακό Ισοζύγιο της παραγωγής βιοαιθανόλης  
(πηγές National Geographic & LAMNET)

Και στο ενεργειακό ισοζύγιο, το αμερικάνικο μοντέλο έχει τις χειρότερες επιδόσεις, αφού καταναλώνεται 1 μονάδα ορυκτού καυσίμου για να παραχθούν μόνο 1,3 μονάδες αιθανόλης, δηλαδή 1 λίτρο βενζίνης για παραγωγή αιθανόλης που ισοδυναμεί με 1,3 λίτρα βενζίνης. Αντιθέτως, στο βραζιλιάνικο μοντέλο καταναλώνεται 1 μονάδα ορυκτού καυσίμου για να παραχθούν 8 μονάδες αιθανόλης από ζαχαροκάλαμο, με προοπτική για 9-13 μονάδες ισοδύναμου βενζίνης όταν γίνεται αξιοποίηση και των στερεών παραπροϊόντων της βιομηχανίας και χρησιμοποιηθούν αυτά για παραγωγή ενέργειας (πχ ηλεκτροπαραγωγή, πελλέτες κ.α). Στην κυτταρινική αιθανόλη το ενεργειακό ισοζύγιο κυμαίνεται από 2 ως 36 ανάλογα με τη μέθοδο παραγωγής. Στον παρακάτω πίνακα δίνεται η επιμέρους ανάλυση του ενεργειακού ισοζυγίου της βιοαιθανόλης από ζαχαροκάλαμο.

Ενεργειακή ανάλυση	Ενέργεια (MJ)
<b>ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΕΚΡΟΕΣ (Παραγωγή)</b>	
Ενέργεια βιοαιθανόλης	118.851
Ενέργεια υπολειμμάτων	53.115
<b>Σύνολο εκροών</b>	<b>171.966</b>
<b>ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΕΙΣΡΟΕΣ (Δαπάνη)</b>	
Δαπάνη ενέργειας κατά την καλλιέργεια	15.830
Δαπάνη ενέργειας στη βιομηχανία	3.236
<b>Σύνολο εισροών</b>	<b>19.066</b>
<b>Καθαρά παραγόμενη ενέργεια</b>	<b>152.900</b>

Πίνακας: Ενεργειακό ισοζύγιο παραγωγής βιοαιθανόλης από ζαχαροκάλαμο στη Βραζιλία.

Κλείνοντας, αξίζει να γίνει αναφορά και για το ενεργειακό ισοζύγιο της παραγωγής αιθανόλης από γλυκό σόργο. Η τυπική ενεργειακή αποδοτικότητα (ενεργειακές

εκροές/ενεργειακές εισροές) είναι περίπου 7, ενώ για την περίπτωση που γίνεται παραγωγή αιθανόλης από τα σάκχαρα και συμπαραγωγή στερεών καυσίμων (πελλέτες) από τα υποπροϊόντα της καλλιέργειας (υπολείμματα) τότε η αποδοτικότητα είναι 15.



**Μονάδα παραγωγής βιοαιθανόλης από ζαχαροκάλαμο - το βέλος δείχνει το χώρο συγκέντρωσης των κυτταρινούχων παραπροϊόντων τα οποία αξιοποιούνται με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που καλύπτει πλήρως τις ανάγκες του εργοστασίου.**

### **2.3.7 Βιοαιθανόλη: Τα συν και τα πλην από τη χρήση της πράσινης ενέργειας.**

Η παραγωγή αιθανόλης απαιτεί εξαιρετικά υψηλά ποσά ενέργειας. Για να παραχθούν 10,6 δισεκατομμύρια λίτρα αιθανόλης, οι ΗΠΑ χρησιμοποιούν περίπου 3,3 εκατομμύριο εκτάρια εδάφους, τα οποία απαιτούν κατόπιν ογκώδεις ενεργειακές εισαγωγές για λίπανση, αντιμετώπισης ζιζανίων και συγκομιδής του καλαμποκιού (Pimentel, 2003). Αυτά τα 10,6 δισεκατομμύρια λίτρα αιθανόλης παρέχουν μόνο 2% της βενζίνης που χρησιμοποιείται από τα αυτοκίνητα κάθε χρόνο στις Η.Π.Α.

Παρά τις μελέτες των Sharougi και άλλων (2004) του USDA που παρουσιάζουν πλεόνασμα καθαρής ενέργειας για την παραγωγή αιθανόλης, οι Pimentel και Patzek (2005), χρησιμοποιώντας στοιχεία και από τις 50 πολιτείες και συμψηφίζοντας όλες τις ενεργειακές εισαγωγές (συμπεριλαμβανομένης της κατασκευής και επισκευής αγροτικών μηχανημάτων και του εξοπλισμού ζύμωση-απόσταξης) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η παραγωγή αιθανόλης δεν παράσχει όφελος καθαρής ενέργειας. Διατείνονται ότι πιθανότερα απαιτεί περισσότερη ενέργεια από ορυκτά καύσιμα για να παραχθεί από ότι θα παράγει. Στους υπολογισμούς τους, η παραγωγή αιθανόλης από καλαμπόκι απαιτεί 1,29 γαλόνια ορυκτών καυσίμων ανά γαλόνι αιθανόλης που θα παράγεται, και η παραγωγή ενός γαλονιού ντίτζελ από σόγια απαιτεί 1,27 γαλόνια ενέργειας από ορυκτά καύσιμα. Επιπλέον, λόγω της σχετικά χαμηλής ενεργειακής πυκνότητας της αιθανόλης, περίπου τρία γαλόνια της αιθανόλης απαιτούνται για να αντικαταστήσουν δύο γαλόνια βενζίνης.

Η αμερικανική παραγωγή αιθανόλης έχει χρηματοδοτηθεί με 3 δις δολάρια από ομοσπονδιακές και κρατικές επιχορηγήσεις ετησίως (0,54 δολάρια ανά γαλόνι), η περισσότερη από τις οποίες πηγαίνει σε μεγάλες αγρο-βιομηχανικές μονάδες. Το 1978 οι Η.Π.Α. εισήγαγαν έναν φόρο στην αιθανόλη, αλλά έκαναν μια εξαίρεση 54 σεντ ανά γαλόνι για αυτήν που χρησιμοποιούνταν για το gasohol (βενζίνη με 10% αιθανόλη). Αυτό οδήγησε

σε επιχορηγήσεις για αγρο-βιομηχανίες όπως για την Archer Midland της τάξεως των 10 δις δολαρίων από το 1980 ως το 1997 (Bravo, 2006). Το 2003 περισσότερο από 50% των εγκαταστάσεων παραγωγής αιθανόλης στις Η.Π.Α. ανήκαν σε αγρότες. Μέχρι το 2006, το 80% των νέων εγκαταστάσεων επεξεργασίας ανήκαν σε Α.Ε. και 556 εκ. δολάρια των προγραμμάτων επιδότησης ωφέλησαν μόνο τους μεγαλύτερους παραγωγούς. Μέχρι το 2007 αυτός ο αριθμός αναμένεται να φθάσει στις Η.Π.Α. τα 1,3 δις δολάρια.

### **2.3.8 Η ασφάλεια των τροφίμων και η μοίρα των αγροτών .**

Οι θιασώτες της βιοτεχνολογίας υπερμάχονται της εξάπλωση της καλλιέργειας σόγιας ως παράδειγμα επιτυχούς υιοθέτησης της γ.τ. τεχνολογίας από τους αγρότες. Ωστόσο αυτό το στοιχείο αποκρύπτει το γεγονός ότι η επέκταση σόγιας οδηγεί στον ακραίο συγκεντρωτισμό γης και εισοδήματος. Στη Βραζιλία, η καλλιέργεια σόγιας μετατοπίζει ένδεκα αγρο-εργάτες για κάθε νέο εργάτη που απασχολεί. Αυτό δεν είναι ένα νέο φαινόμενο. Στη δεκαετία του '70, 2,5 εκατομμύρια άνθρωποι εκτοπίστηκαν λόγω της παραγωγής σόγιας στη περιοχή Parana, και 300.000 στο Rio Grande do Sul. Πολλοί από αυτούς τους τώρα ακτήμονες ανθρώπους κινήθηκαν προς τον Αμαζόνιο όπου και αποψίλωσαν αρχαία δάση. Στην περιοχή Cerrado, όπου η παραγωγή γ.τ. σόγιας επεκτείνεται, τέτοιου είδους φαινόμενα εκτοπίσεως είναι σχετικά μέτρια επειδή η περιοχή δεν είναι πυκνά εποίκημένη (Altieri και Pengue, 2006).

Στην Αργεντινή, 60.000 αγροκτήματα κατασχέθηκαν ενώ η έκταση της καλλιέργειας γ.τ. σόγιας Roundup σχεδόν τριπλασιάστηκε. Το 1998, στην Αργεντινή υπήρχαν 422.000 αγροκτήματα ενώ το 2002 μόνο 318.000, μια μείωση κατά 1/4. Σε μια δεκαετία, οι εκτάσεις σόγιας αυξήθηκαν 126% εις βάρος του καλαμποκιού, σιτηρών, φρούτων και της παραγωγής γαλακτοκομικών. Το 2003-04 φυτεύτηκαν 13,7 εκατομμύριο εκτάρια σόγιας, ενώ υπήρξε μείωση 2,9 εκατομμυρίων εκταρίων καλαμποκιού και 2,15 εκατομμύρια εκτάρια ηλίανθων. Για τη βιοτεχνολογική βιομηχανία, οι τεράστιες αυξήσεις καλλιεργούμενων εκτάσεων σόγιας και ο διπλασιασμός των παραγωγών ανά περιοχή είναι οικονομική και γεωργική επιτυχία. Για τη χώρα ωστόσο, αυτό σημαίνει περισσότερες εισαγωγές βασικών τροφίμων και επομένως απώλεια αυτόαρκειας, αυξανόμενων τιμών και πείνας (Pengue, 2005).

Η προώθηση του "αγρο-μετώπου" των βιοκαυσίμων είναι μια απόπειρα ενάντια στην αυτόαρκεια τροφίμων των αναπτυσσόμενων εθνών δεδομένου ότι τα εδάφη για την παραγωγή τροφίμων θυσιάζονται όλο και περισσότερο για να ταΐσουν τα αυτοκίνητα των ανθρώπων του παγκόσμιου Βορρά. Η παραγωγή βιοκαυσίμων έχει επίσης άμεσες επιπτώσεις στους καταναλωτές με την αύξηση του κόστους διατροφής. Εξαιτίας του γεγονότος ότι περισσότερο από 70% του καλαμποκιού στις Η.Π.Α. χρησιμοποιείται για ζωοτροφή, διπλασιάζοντας ή τριπλασιάζοντας την παραγωγή αιθανόλης μπορεί να προκαλέσει αύξηση των τιμών καλαμποκιού, και κατά συνέπεια, την τιμή του κρέατος. Η απαίτηση για τα βιοκαύσιμα στις Η.Π.Α. έχει συνδεθεί με μια μαζική άνοδο στην τιμή του καλαμποκιού που οδήγησε σε μια πρόσφατη αύξηση 400% στις τιμές παρασκευασμάτων όπως η tortilla στο Μεξικό.

#### **Η κλιματική αλλαγή:**

Ένα από τα κύρια επιχειρήματα των υπερασπιστών των βιοκαυσίμων είναι πως αυτές οι νέες μορφές ενέργειας θα βοηθήσουν στην μετρίαση της κλιματικής αλλαγής. Ωστόσο, με την προώθηση μεγάλης κλίμακας μηχανοποιημένων μονοκαλλιεργειών που απαιτούν αγρο-χημικές εισροές και μηχανήματα, το πιθανότερο τελικό αποτέλεσμα είναι μια γενικότερη

αύξηση στις εκπομπές του CO<sub>2</sub>. Καθώς τα δάση που δεσμεύουν αέρια του θερμοκηπίου αποψιλώνονται για να αντικατασταθούν από καλλιέργειες βιοκαυσίμων, οι εκπομπές αυτές θα αυξάνονται παρά θα μειώνονται (Bravo, 2006, Donald, 2004).

Εφόσον οι χώρες στο παγκόσμιο νότο μπαίνουν στη παραγωγή βιοκαυσίμων, το σχέδιο είναι να εξαχθεί ένα μεγάλο μέρος αυτής της παραγωγής. Η μεταφορά σε άλλες χώρες θα αυξήσει κατά πολύ τη χρήση καυσίμων και τις εκπομπές ρύπων. Επιπλέον, η μετατροπή βιομάζας σε υγρό καύσιμο σε εγκαταστάσεις μετατροπής παράγει τεράστιες αέριων του θερμοκηπίου (Pimentel και Patzek, 2005).

Η παγκόσμια αλλαγή κλίματος δεν πρόκειται να διορθωθεί με την χρήση των βιομηχανικών βιοκαυσίμων. Θα πρέπει να υπάρξει μια ριζοσπαστική μετατροπή των τρόπου κατανάλωσης στο παγκόσμιο Βορρά. Ο μόνος τρόπος για να σταματήσει η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι η μετάβαση από τις εκτατικές βιομηχανικές καλλιέργειες στην μικρής-κλίμακας βιολογική γεωργία, και τη μείωση της παγκόσμιας κατανάλωσης καυσίμων.

### **2.3.9 Συμπεράσματα**

Η ενέργεια κρίση-λόγω της υπερκατανάλωσης και εξάντλησης των πετρελαϊκών κοιτασμάτων- έχουν δώσει μια ευκαιρία για ισχυρές παγκόσμιες συνεργασίες μεταξύ των εταιριών πετρελαίου, τροφίμων, γενετικής μηχανικής και αυτοκινήτων. Αυτές οι νέες συμμαχίες τροφίμων και καυσίμων αποφασίζουν για το μέλλον των παγκόσμιου αγροτικού τοπίου. Η άνοδος των βιοκαυσίμων θα παγιώσει ακόμη περισσότερο την επικράτηση τους στα ζητήματα των τροφίμων και των καυσίμων μας και θα επιτρέψει να καθορίσουν τι, πώς και πόσο θα καλλιεργηθεί, με συνέπεια ακόμη περισσότερη φτώχεια των αγροτών, περιβαλλοντική καταστροφή και πείνα. Αυτοί που θα ωφεληθούν περισσότερο από την επανάσταση των βιοκαυσίμων θα είναι μεγάλες εμπορικές εταιρείες σιτηρών, όπως η Cargill, η ADM και η Bunge, πετρελαϊκές εταιρείες όπως η BP, η Shell, η Chevron, η Neste Oil, η Repsol και η Total, αυτοκινητοβιομηχανίες όπως η General Motors, η Volkswagen, η FMC-Ford France, η PSA Peugeot-Citroen και η Renault και βιοτεχνολογικοί γίγαντες όπως η Monsanto, η DuPont, και η Syngenta.

Η βιοτεχνολογική βιομηχανία χρησιμοποιεί τον πυρετό των βιοκαυσίμων για να χρωματίσει "πράσινη" την εικόνα της με την ανάπτυξη και εξάπλωση των γ.τ. ποικιλιών για παραγωγή ενέργειας και όχι για παραγωγή τροφίμων. Λαμβάνοντας υπόψη την αυξανόμενη δημόσια δυσπιστία και απόρριψη των γ.τ. καλλιεργειών ως τρόφιμα, η βιοτεχνολογία θα χρησιμοποιηθεί από τις εταιρίες για να βελτιώσει την εικόνα τους, υποστηρίζοντας ότι θα αναπτύξουν νέες γ.τ. καλλιέργειες για μεγαλύτερη παραγωγή βιομάζας ή ότι θα περιέχεται το ένζυμο άλφα-αμυλάση που θα επιτρέπει την εκκίνηση της διαδικασίας παραγωγής αιθανόλης να αρχίσει όταν το καλαμπόκι θα είναι ακόμα στο χωράφι- μια τεχνολογία που διατείνονται ότι δεν ασκεί καμία αρνητική επίδραση στην ανθρώπινη υγεία. Η εξάπλωση τέτοιων καλλιεργειών στο περιβάλλον θα προσθέσει ακόμη ένα περιβαλλοντικό κίνδυνο σε αυτούς που ήδη εμφανίστηκαν το 2006 με το γ.τ. καλαμπόκι σε 32,2 εκατομμύριο εκτάρια γης και



την εισαγωγή μη επιθυμητού γενετικού υλικού στην ανθρώπινη τροφική αλυσίδα, όπως ήδη έχει γίνει με το καλαμπόκι Starlink και το ρύζι LL601.

Καθώς οι κυβερνήσεις πείθονται από τις υποσχέσεις της παγκόσμιας αγοράς βιοκαυσίμων, σχεδιάζουν εθνικά προγράμματα παραγωγής τους που θα δεσμεύσουν τα αγρο-συστήματά τους σε μονοκαλλιέργειες μεγάλης κλίμακας, εξαρτώμενες από την εντατική χρήση ζιζανιοκτόνων και χημικών λιπασμάτων, εκτρέποντας έτσι εκατομμύρια εκταρίων πολύτιμων εκτάσεων από την απαραίτητη παραγωγή τροφίμων. Υπάρχει μεγάλη ανάγκη κοινωνικής κριτικής ώστε να προβλεφθεί η τροφική ασφάλεια και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των βιοκαυσίμων σε μικρές χώρες όπως ο Ισημερινός. Αυτή η χώρα αναμένεται να επεκτείνει την παραγωγή ζαχαροκάλαμου κατά 500.000 στρέμματα, και να καθαρίσει 100.000 εκτάρια φυσικών δασών ώστε να δώσει τόπο στις φυτείες για φοινικέλαιο. Φυτείες σαν αυτές προκαλούν ήδη μεγάλη περιβαλλοντική καταστροφή στην περιοχή Choco της Κολομβίας (Bravo, 2006).

Σαφώς, τα οικοσυστήματα των περιοχών στις οποίες παράγονται οι καλλιέργειες βιοκαυσίμων γρήγορα υποβιβάζονται, και η παραγωγή τους δεν είναι περιβαλλοντικά και κοινωνικά βιώσιμη ούτε τώρα, ούτε στο μέλλον.

Είναι επίσης ανησυχητικό ότι τα δημόσια πανεπιστήμια και ερευνητικά ιδρύματα (π.χ. η πρόσφατη συμφωνία που υπογράφεται από τη BP και το πανεπιστήμιο του Berkeley-Καλιφόρνια) θύμα της αποπλάνησης για εύκολο και μεγάλα κέρδη και την επιρροή πολιτικής και εταιρικής δύναμης. Εκτός από τις επιπτώσεις της παρείσφρησης του ιδιωτικού κεφαλαίου στη διαμόρφωση της ερευνητικών προγραμμάτων και της σύνθεσης της σχολής -που διαβρώνει το δημόσιο χαρακτήρα των πανεπιστημίων υπέρ του ιδιωτικού ενδιαφέροντος- υφίσταται πλέον ως επίθεση ενάντια στη ακαδημαϊκή ελευθερία και διαχείριση των Ιδρυμάτων. Τέτοιες συνεργασίες αποτρέπουν τα πανεπιστήμια από τη συμμετοχή σε αμερόληπτη έρευνα και εμποδίζουν το διανοητικό κεφάλαιο από να ερευνούν τις πραγματικά αειφορικές εναλλακτικές λύσεις για την ενεργειακή κρίση και την κλιματική αλλαγή.

Δεν υπάρχει καμία αμφιβολία ότι ο συνασπισμός του πετρελαϊκού και βιοτεχνολογικού κεφαλαίου θα αποφασίζει όλο και περισσότερο για τη μοίρα των αγροτικού τοπίου της Αμερικής. Μόνο οι στρατηγικές συμμαχίες και η συντονισμένη δράση των κοινωνικών κινημάτων (οργανώσεις αγροτών, κινήματα περιβαλλοντικής και αγροτικής εργασίας, ΜΚΟ, Ενώσεις καταναλωτών, αφοσιωμένα μέλη του ακαδημαϊκού τομέα, κ.λ.π.) μπορούν να ασκήσουν πίεση σε κυβερνήσεις και πολυεθνικές επιχειρήσεις ώστε να εξασφαλίσουν ότι τέτοιες τάσεις θα σταματήσουν. Πιο σημαντικό είναι ότι πρέπει να συνεργαστούμε για να εξασφαλίσουμε πως όλες οι χώρες θα διατηρήσουν το δικαίωμα να επιτυγχάνουν αυτάρκεια στα τρόφιμα μέσω αγρο-οικολογικών, τοπικών συστημάτων παραγωγής τροφίμων, τη μεταρρύθμιση του εδάφους, πρόσβαση σε νερό, σπόρους και άλλους αγροτικούς πόρους και πολιτικές παραγωγής τροφίμων που να ανταποκρίνονται στις αληθινές ανάγκες των αγροτών και όλων των καταναλωτών, ιδιαίτερα των φτωχών.

## **2.4 Βιοντίζελ**

### **2.4.1 Εισαγωγή**

**Βιοντίζελ** (αγγλ. biodiesel) ονομάζονται οι εστέρες ανώτερων λιπαρών οξέων οι οποίοι έχουν συναφείς φυσικές ιδιότητες με το καύσιμο Ντίζελ και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υποκατάστατά του.

## 2.4.2 Χαρακτηριστικά

Αντίθετα με ότι έχει επικρατήσει στην καθημερινή γλώσσα, ο όρος βιοντίζελ εκφράζει μια πολύ συγκεκριμένη ομάδα χημικών ενώσεων τους μεθυλεστέρες των ανώτερων λιπαρών οξέων οι οποίοι προέρχονται από οργανικά έλαια και όχι οποιοδήποτε καύσιμο οργανικής προέλευσης το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κινητήρες έναυσης με συμπίεση (κινητήρες ντίζελ). Το γεγονός ότι οι μεθυλεστέρες προέρχονται από πρώτες ύλες οργανικής βάσης, οι οποίες είναι ανανεώσιμες, δικαιολογεί το χαρακτηρισμό τους ως βιοκαύσιμα.

## 2.4.3 Ιστορικά

Η δυνατότητα του βιοντίζελ να υποκαταστήσει το συμβατικό ντίζελ σε κινητήρες εσωτερικής καύσης είναι γνωστή εδώ και 2 δεκαετίες. Το βιοντίζελ προτάθηκε σαν εναλλακτική λύση ως προς τα σκέτα φυτικά έλαια τα οποία τις περισσότερες φορές παρουσιάζουν χαρακτηριστικά που τα καθιστούν ακατάλληλα για χρήση στους κινητήρες αυτούς. Τα τελευταία 10 χρόνια η παραγωγή βιοντίζελ έχει σημειώσει ιδιαίτερη ανάπτυξη στην Ευρωπαϊκή Ένωση, που είναι και ο μεγαλύτερος παραγωγός παγκοσμίως, και ιδιαίτερα στη Γερμανία. Η αύξηση αυτή της παραγωγής ενισχύεται από την επιταγή της κοινοτικής οδηγίας 2003/30/EK η οποία προβλέπει την εισαγωγή των βιοκαυσίμων στις αγορές των κρατών μελών.

## 2.4.4 Πρότυπα

Οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά του βιοντίζελ το οποίο διακινείται στην ευρωπαϊκή αγορά προδιαγράφονται από το ευρωπαϊκό πρότυπο EN14214.

## 2.4.5 ΤΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΤΟΥ ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ

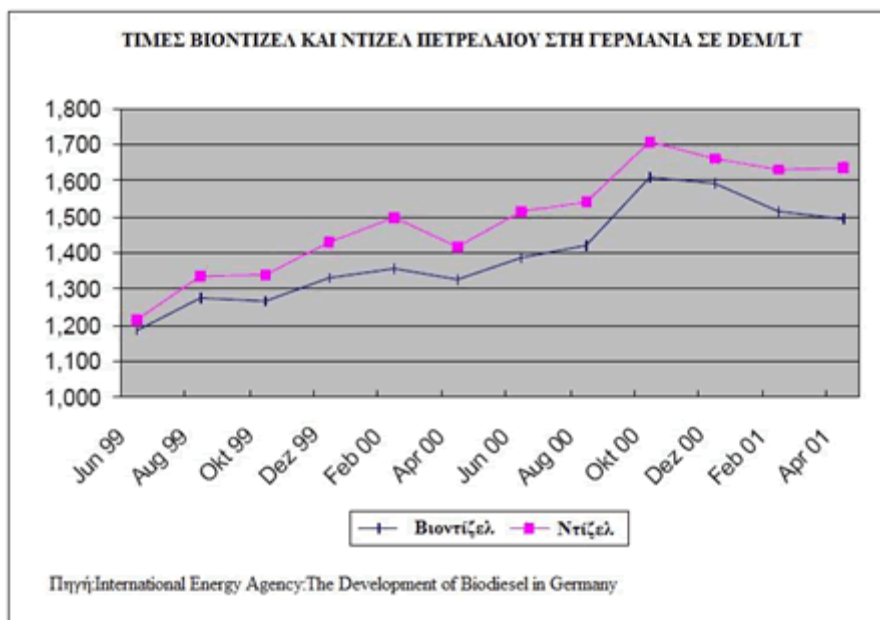
Το αρχικό κόστος του βιοντίζελ είναι το κόστος της πρώτης ύλης, δηλαδή των ελαίων. Απαιτούνται περίπου 7,3 lb (:= 3,3 kg) σογιέλαιου για την παραγωγή ενός γαλονιού (:= 4 lt) βιοντίζελ. Η τιμή του σογιέλαιου ποικίλλει ευρέως αλλά τα τελευταία χρόνια (1999-2003) κυμαίνεται μεταξύ 0,15\$ και 0,25\$/lb. Αυτό σημαίνει ότι το κόστος της πρώτης ύλης, θα είναι μεταξύ 1,10\$ και 1.83\$/γαλόνι. Δηλαδή μεταξύ 0,29\$ και 0,48\$/ lt ή 0,24€ και 0,4€/lt (Ισοτιμία Μαρτίου 2004: 1€:= 1,2\$). Οι περισσότερες εκτιμήσεις των δαπανών παραγωγής βιοντίζελ είναι 0,20\$ έως 0,50\$ ανά γαλόνι, με τις μεγάλες εγκαταστάσεις στο χαμηλό όριο της διακύμανσης και τις μικρές εγκαταστάσεις στο υψηλό. Η αξία κατασκευής νέων εγκαταστάσεων για παραγωγή βιοντίζελ είναι περίπου 1,00\$ ανά γαλόνι για ετήσια παραγωγή. Επομένως στις παραπάνω τιμές προστίθεται το κόστος παραγωγής και απόσβεσης εγκαταστάσεων από 0,27€/lt ως 0,33€/lt

Ένα από τα παραπροϊόντα της διαδικασίας της μετεστεροποίησης είναι η γλυκερίνη που μπορεί να έχει υψηλή αξία εάν καθαρίζεται. Η αξία της γλυκερίνης ακυρώνει ουσιαστικά το κόστος της αλκοόλης και του καταλύτη. Η τιμή της γλυκερίνης είναι αυτήν την περίοδο σταθερή αλλά εάν αναπτυχθεί μια μεγάλη αγορά για το βιοντίζελ, είναι πιθανό να υπάρξει πλεόνασμα της γλυκερίνης και επομένως πολύ χαμηλότερες τιμές. Η τιμή πώλησης του βιοντίζελ πρέπει να είναι υψηλότερη από το κόστος της πρώτης ύλης ώστε να καλυφθεί η επεξεργασία, η συσκευασία, η μεταφορά, η διανομή και το κέρδος.

Στις Η.Π.Α παρέχονται επιδοτήσεις στους παραγωγούς βιοντίζελ μέσω του υπουργείου Γεωργίας. Έχει εξασφαλιστεί γι' αυτό το σκοπό ετήσιο κονδύλιο ύψους 150 εκατομμυρίων δολαρίων ως το 2006 . Η επιδότηση καλύπτει το 40% του κόστους της σόγιας ή άλλων ελαιοφόρων σπόρων εφόσον

προορίζονται για παραγωγή βιοντίζελ. Ειδικά για την περίπτωση της σόγιας το ποσοστό κάλυψης αυξάνεται περισσότερο καθόσον ο παραγωγός μπορεί να εμπορευτεί το αλεύρι της σόγιας (soyia meal) που αποτελεί παραπροϊόν της εξαγωγής του ελαίου από τους καρπούς της σόγιας. Από το ίδιο πρόγραμμα επιδοτούνται επίσης ,με μικρότερο όμως ποσοστό, τα ανακυκλωμέν α ζωικά λίπη ή τα χρησιμοποιημένα έλαια των εστιατορίων.

Στην Ευρώπη το κόστος παραγωγής βρίσκεται στα ίδια επίπεδα . Για παράδειγμα στη Γαλλία είναι 0,35€/lt . Η Ευρωπαϊκή Ένωση προς το παρόν μέσω της Κοινής Αγροτικής Πολιτικής (CAP) υποστηρίζει την παραγωγή βιοκαυσίμων , και επιτρέπει στα κράτη μέλη να αναπτύξουν ευνοϊκή φορολογική πολιτική για την διάδοσή τους. Η Γερμανία εφαρμόζει την ευνοϊκότερη φορολογική πολιτική για το βιοντίζελ με μείωση φόρων που φτάνει τα 470€/m3 με αποτέλεσμα η τιμή του βιοντίζελ να φτάνει στον καταναλωτή σε τιμές καλύτερες από του ντίζελ πετρελαίου όπως φαίνεται και από την διπλανή εικόνα και τον παρακάτω πίνακα.



Οι ανταγωνιστικές τιμές πώλησης στη Γερμανία οδήγησαν σε μεγάλη αύξηση της παραγωγής τα τελευταία χρόνια. Βλέπε σχετικό πίνακα.

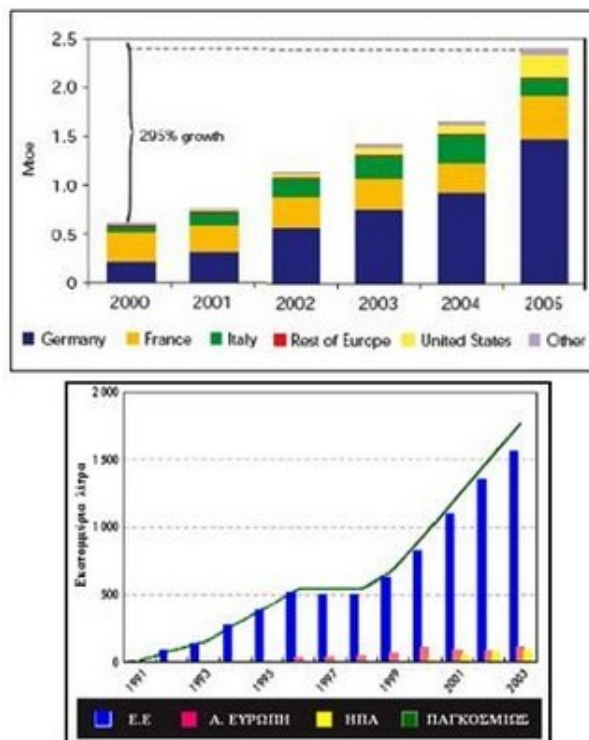
Η υψηλή τιμή του βιοντίζελ είναι το σημαντικότερο εμπόδιο στην ανάπτυξη αγοράς στις Η.Π.Α. Η πλέον ελπιδοφόρος προσέγγιση για τη μείωση της τιμής είναι η χρησιμοποίηση πιο φτηνής πρώτης ύλης. Θα μπορούσαν για παράδειγμα να χρησιμοποιηθούν οι ποσότητες της

χαλασμένης σόγιας, το ζωικό λίπος του βοδινού και χοιρινού κρέατος, το τηγανισμένο λίπος εστιατορίων (κίτρινο λίπος), και τα υποπροϊόντα από άλλες διαδικασίες. Σ' αυτή την περίπτωση όμως υπεισέρχεται το πρόβλημα της συλλογής και της ομοιογένειας της πρώτης ύλης όπως και του μεγέθους των αποθεμάτων που καθιστούν τη διαδικασία επικουρική που μειώνει λίγο το κόστος. Βέβαια να μην ξεχνάμε ότι η χρήση κάποιων απ' αυτά τα υλικά για την παραγωγή βιοντίζελ λύνει τα προβλήματα της απόσυρσης τους και διατίθενται σε ελάχιστη τιμή.

Σήμερα το βιοντίζελ χρησιμοποιείται σε πετρελαιοκινητήρες, μόνο του ή σε μίγμα με πετρέλαιο κίνησης. Τα μίγματα μέχρι 20% βιοντίζελ με πετρέλαιο κίνησης (B20) μπορούν να χρησιμοποιηθούν σχεδόν σε όλες τις μηχανές ντίζελ και είναι συμβατά με τον υπάρχοντα εξοπλισμό αποθήκευσης και διανομής. Αυτά τα χαμηλά μίγματα (5-20%) γενικά δεν απαιτούν τροποποιήσεις των μηχανών. Τα υψηλότερα μίγματα, ακόμη και το καθαρό βιοντίζελ (βιοντίζελ 100%, ή B100), μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μηχανές που κατασκευάστηκαν την τελευταία δεκαετία, με ελάχιστη ή καμία τροποποίηση.

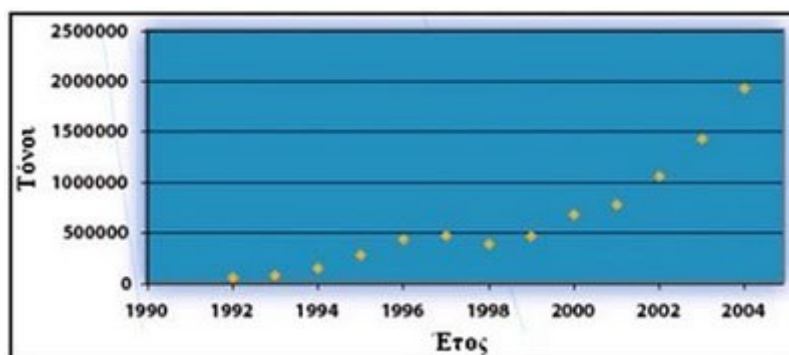
## 2.4.6 Ανάλυση της παγκόσμιας αγοράς βιοντίζελ

Η Ευρωπαϊκή Ένωση είναι μακράν ο κύριος παραγωγός βιοντίζελ σε παγκόσμιο επίπεδο. Η παγκόσμια παραγωγή βιοντίζελ το 2003 ήταν περίπου 1,8 δισεκατομμύρια λίτρα όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διαγράμματα: Εξέλιξη της παγκόσμιας παραγωγής βιοντίζελ (πηγή IEA)

Η παραγωγή βιοντήζελ στην ΕΕ παρουσίασε μέση ετήσια αύξηση 34,5% κατά την περίοδο 1992-2003, η οποία αντιστοιχεί σε επίπεδο παραγωγής 26 φορές μεγαλύτερο από αυτό του 1992.



Διάγραμμα: Παραγωγή βιοντήζελ στην Ευρωπαϊκή Ένωση κατά την περίοδο 1992-2004 (πηγή E. Commission)

Το 2006 η παραγωγή βιοντήζελ στην ΕΕ ανήλθε σε 4.890.000 τόνους σημειώνοντας αύξηση 54% σε σχέση με το 2005. Η Γερμανία παράγει το μισό βιοντήζελ της Ευρώπης (54%) και μέρος του διατίθεται σε 1.900 πρατήρια καυσίμων, ενώ μεγάλες παραγωγί είναι η Γαλλία και η Ιταλία. Σήμερα στην ΕΕ λειτουργούν περίπου 200 εργοστάσια παραγωγής βιοντήζελ με δυναμικότητα παραγωγής που ξεπερνά τους 10.000.000 τόνους. Σύμφωνα με τους στόχους της Κομισιόν, η Ευρωπαϊκή Ένωση θα πρέπει να καταναλώνει 11.000.000 τόνους βιοντήζελ μέχρι το 2010 και διπλάσια περίπου ποσότητα μέχρι το 2020.



Στις ΗΠΑ που είναι η δεύτερη παραγωγός βιοντήζελ σε παγκόσμιο επίπεδο, η παραγωγή από 25 εκατομμύρια γαλόνια το 2004 **18-πλασιάστηκε** στα 450 εκατομμύρια γαλόνια το 2007. Σχετικά με τη βιομηχανία στις ΗΠΑ, λειτουργούν 45 μονάδες παραγωγής βιοντήζελ, ενώ άλλες 54 βρίσκονται υπό κατασκευή. Η δυναμικότητα της βιομηχανίας παραγωγής βιοντήζελ των ΗΠΑ σήμερα υπολογίζεται στα 1,85 δις γαλόνια. Μάλιστα μεγάλες εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην παραγωγή βιοαιθανόλης, στρέφονται πλέον και στην παραγωγή

βιοντήζελ. Το 30% των αμερικανών αγροτών χρησιμοποιεί ήδη ένα ποσοστό βιοντήζελ στα καύσιμα των αγροτικών οχημάτων τους.



Για την παραγωγή του βιοντήζελ, ως πρώτη ύλη χρησιμοποιείται κυρίως ελαιοκράμβη στις χώρες της ΕΕ και σόγια στις ΗΠΑ.

Στην Ελλάδα 10 εταιρείες παράγουν βιοντήζελ (ΕΛΙΝ Βιοκαύσιμα, Agroinvest κ.ά.) κυρίως από εισαγόμενες πρώτες ύλες (κραμβέλαιο κτλ), ενώ ετοιμάζονται και νέες επενδύσεις.

### **2.4.7 Καλλιέργειες για παραγωγή βιοντήζελ**

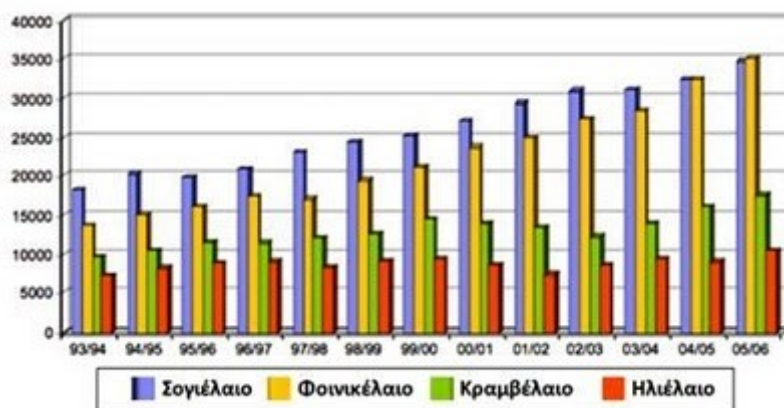
Σήμερα το βιοντήζελ πρώτης γενιάς παράγεται κυρίως από ελαιούχους σπόρους καλλιεργειών όπως η ελαιοκράμβη, η σόγια και ο ηλίανθος, από δένδρα όπως ο φοίνικας και η καρύδα, αλλά μπορεί να παραχθεί και από θάμνους όπως η jatropa και η jojoba. Τα παραγόμενα φυτικά λάδια μετατρέπονται με κατάλληλη επεξεργασία σε βιοντήζελ.



Η περιεκτικότητα των διαφόρων σπόρων σε λάδι δίνεται στο παρακάτω πίνακα (FEDIOL):

Σπόροι και άλλες πρώτες ύλες	Έλαιο (%)		
	Τυπική	Ελάχιστη	Μέγιστη
Αραχίδα	47,5	36,1	44,4
Σόγια	17,5	16,0	19,4
Ελαιοκράμβη	39	40	43
Ηλιανθος	42	36,2	43,9
Βαμβάκι	-	13,0	18
Αποξηραμένη καρύδα (copra)	63,5	-	-
Σπόροι φοίνικα	46	-	-
Λινάρι	37	29,7	38,5
Ρεσινολαδιά	47	45	46
Καλαμπόκι (σπόροι)	48	35	
Αγριαγκινάρα	-	15	25
Σπόρος καπνόφυτων	-	38	40
Τοματόσπορος	30	-	-
Jatropha	-	-	40

Σχετικά με την παγκόσμια παραγωγή, τα τελευταία 10 χρόνια η παραγωγή του σογιέλαιου και του φοινικέλαιου σχεδόν έχουν διπλασιαστεί, κυριαρχώντας στην παγκόσμια αγορά. Κατά την ίδια περίοδο η παραγωγή του κραμβέλαιου και το ηλιέλαιου έχουν μεταβληθεί ελάχιστα. Στο διάγραμμα φαίνεται η παραγωγή φυτικών ελαίων από τις κυριότερες ελαιοδοτικές καλλιέργειες στον κόσμο την τελευταία δεκαετία.



Διάγραμμα: Παγκόσμια παραγωγή των κυριότερων φυτικών ελαίων σε 1.000 τόνους (FEDIOL)

Στη συνέχεια συνοψίζονται τα κυριότερα ελαιοδοτικά φυτά που καλλιεργούνται παγκοσμίως, τα οποία χρησιμοποιούνται ή δοκιμάζονται για ενεργειακούς σκοπούς.

## 2.4.7 Κύριες καλλιέργειες παραγωγής βιοελαίων

### Ελαιοκράμβη (Oilseed rape, rapeseed)

Η ελαιοκράμβη είναι καλλιέργεια του βορείου τμήματος της εύκρατης ζώνης. Τα είδη που καλλιεργούνται σήμερα ανήκουν στο γένος *Brassica* και είναι κυρίως τα *Brassica napus* (χειμερινή ελαιοκράμβη) και *Brassica rapa*. Η ελαιοκράμβη είναι μία από τις παλαιότερες καλλιέργειες και κατάγεται από την Ν.Α. Ευρώπη. Διακρίνεται σε χειμερινές και εαρινές

ποικιλίες. Στην Ευρώπη κυριαρχούν οι χειμερινές ποικιλίες ενώ στον Καναδά καλλιεργούνται μόνο οι εαρινές. Η περιεκτικότητα του σπόρου σε λάδι είναι περίπου 40%.



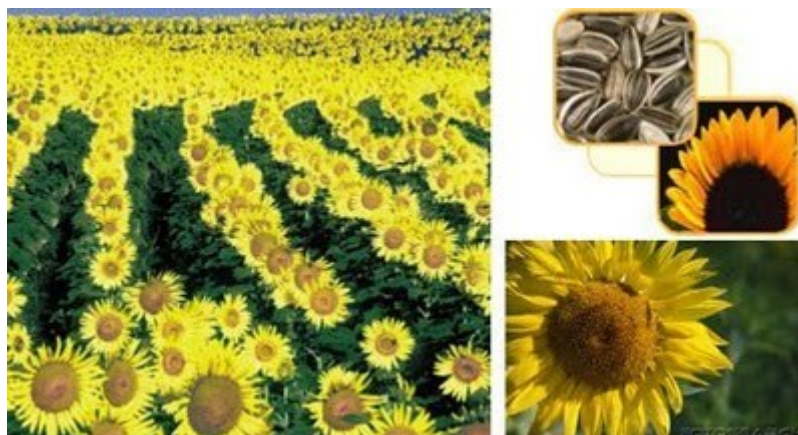
Φυτά και σπόροι ελαιοκράμβης

Καλλιεργείται κυρίως στην Ε.Ε (κεντρική και βόρεια Ευρώπη). Άλλες χώρες που καλλιεργούν την ελαιοκράμβη σε μεγάλη έκταση είναι η Κίνα, η Ινδία, ο Καναδάς και η Αυστραλία. Η Ε.Ε είναι αυτάρκης σε κραμβέλαιο (canola). Παράγει 5,5 εκατ. τόνους κραμβέλαιου, οι οποίοι καταναλώνονται εντός της ΕΕ. **Το κραμβέλαιο είναι η κατεξοχήν πρώτη ύλη του ευρωπαϊκού βιοντήζελ.**

Στην **Ελλάδα** άρχισε να καλλιεργείται ελαιοκράμβη τα τελευταία 2-3 χρόνια, για τη χρήση του κραμβέλαιου στην παραγωγή βιοντήζελ. Στη χώρα μας η απόδοση σε σπόρο κυμαίνεται από 50-350 κιλά/στρέμμα που συνεπάγεται μέγιστη παραγωγή βιοκαυσίμου περί τα 120 λίτρα. Η καλλιέργεια παρουσιάζει προβλήματα κατά τη συγκομιδή (μικρή περίοδος συγκομιδής και τίναγμα σπόρων). Σύμφωνα με τα πρώτα αποτελέσματα, η ελαιοκράμβη ενδείκνυται για καλλιέργεια μόνο στη **βόρεια Ελλάδα**. Κρίσιμο σημείο για την επιτυχία της καλλιέργειας είναι ο σωστός χρόνος σποράς, διότι όψιμη σπορά οδηγεί σε αποτυχία.

## Ηλίανθος (Sunflower)

Ο ηλίανθος (*Helianthus annuus*) είναι μονοετής καλλιέργεια, κατάγεται από την Κ. και Ν. Αμερική και μεταφέρθηκε στην Ευρώπη από ισπανούς εξερευνητές. Η καλλιέργεια του ηλίανθου έγινε δημοφιλής το 18ο αιώνα. Ο σπόρος του ηλίανθου περιέχει 30%-45% έλαιο.



Η Ρωσία παράγει τις μεγαλύτερες ποσότητες ηλιόσπορου και ακολουθείται από την Ανατολική Ευρώπη, την Αργεντινή και την ΕΕ. Η χώρα που εξάγουν τις μεγαλύτερες



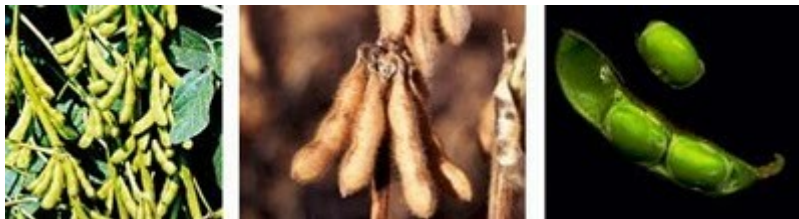
ποσότητες ηλιέλαιου είναι η Αργεντινή, οι ΗΠΑ και η Ανατολική Ευρώπη. Η ΕΕ παράγει 2,7 εκατ. τόνους ηλιόσπορου/έτος και εισάγει 1,6 εκατ. τόνους.

Η Ιταλία που είναι η τρίτη μεγαλύτερη παραγωγός βιοντήζελ στην Ευρώπη, χρησιμοποιεί σαν πρώτη ύλη κυρίως ηλίανθο, με το 10% της παραγωγής βιοντήζελ της Ε.Ε να προέρχεται από το συγκεκριμένο φυτό.

Στη χώρα μας η απόδοση σε σπόρο κυμαίνεται από 100-400 κιλά/στρέμμα (ξηρική ή ποτιστική) οπότε η μέγιστη παραγωγή σε βιοκαύσιμο ανά στρέμμα είναι περίπου 150 λίτρα. Τεράστιες καταστροφές προκαλούνται στην παραγωγή (μείωση ως 80%) από τα πουλιά και χρειάζεται λήψη κατάλληλων μέτρων. Σύμφωνα με τα μέχρι στιγμής αποτελέσματα, **είναι η καταλληλότερη καλλιέργεια για παραγωγή βιοντήζελ στην Ελλάδα.**

## Σόγια (Soybean)

Η σόγια (*Glycine max*) είναι μία από τις παλαιότερες μονοετείς καλλιέργειες, κατάγεται από την Α. Ασία και ανήκει στην οικογένεια των ψυχανθών δηλαδή αζωτοδεσμεύει. Το σογιέλαιο αποτελεί το 19,5% του σπόρου.



Λοβοί και σπόροι σόγιας

Η σόγια αποτελεί τη δεύτερη μεγαλύτερη, μετά το καλαμπόκι, σοδειά των ΗΠΑ, με αξία περίπου 26,8 δισ. δολάρια, . Η Βραζιλία και η Αργεντινή είναι οι μεγαλύτεροι παραγωγοί μετά τις ΗΠΑ και την Κίνα. Σήμερα, η ΕΕ παράγει μόνο το 5% της σόγιας που χρειάζεται για κάλυψη των αναγκών της σε όλους τους τομείς (κυρίως κτηνοτροφία), ενώ το 95% (15 εκατ. τόνοι) εισάγεται.

Στη χώρα μας είχε καλλιεργηθεί παλαιότερα και είχε μέση απόδοση σε σπόρο 400 κιλά/στρέμμα (ελάχιστη 100 και μέγιστη 700 κιλά/στρέμμα). Σύμφωνα με τα ιστορικά αυτά δεδομένα, πρέπει να αναμένεται μέγιστη παραγωγή σε βιοκαύσιμο περί τα 70-80 λίτρα ανά στρέμμα.

### 2.4.8 Λοιπές καλλιέργειες παραγωγής βιοελαίων

#### Αγριαγκινάρα (Cardoon)

Η αγριαγκινάρα (*Cynara cardunculus L.*) είναι το κοινό γαϊδούράγκαθο. Είναι πολυετές φυτό της Μεσογειακής ζώνης και ήταν γνωστή στους αρχαίους Αιγυπτίους, Έλληνες και Ρωμαίους. Σήμερα

αυτοφύεται σε πολλά μέρη του κόσμου αλλά τα τελευταία 15 χρόνια μελετάται συστηματικά από τους επιστήμονες και φαίνεται ότι είναι ένα πολλά υποσχόμενο ενεργειακό φυτό για τις χώρες της Μεσογείου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας από τη βιομάζα του.



**Καλλιέργεια αγριαγκινάρας, ταξιανθίες και σπόροι**

Εκτός από τη βιομάζα που είναι το κύριο προϊόν της καλλιέργειας, ο σπόρος της αγριαγκινάρας περιέχει μέχρι 25% λάδι που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή βιοντήζελ. Η καλλιέργεια παράγει 100-200 κιλά σπόρου ανά στρέμμα που μεταφράζεται σε μέγιστη παραγωγή 50 λίτρων βιοκαυσίμου ανά στρέμμα. Ήδη στην Κ. Ελλάδα καλλιεργούνται πιλοτικά 4.000 στρέμματα αγριαγκινάρας για παραγωγή βιοντήζελ από την εταιρεία Agroinvest.

## **Σουσαμιά (Sesame)**

Η σουσαμιά (*Sesamum indicum*), είναι μονοετές φυτό και ο σπόρος του περιέχει μέχρι 50% έλαιο (ανάλογα με την ποικιλία). Το φυτό καλλιεργούνταν από τους Πέρσες από το 4000 π.Χ.



## Σπόροι και άνθη σουσαμιάς

Σήμερα καλλιεργείται σε τροπικές και υπό-τροπικές περιοχές, κυρίως στην Ινδία, την Κίνα, το Σουδάν, τη Νιγηρία το Μεξικό και τη Γουατεμάλα. Οι στρεμματικές αποδόσεις κυμαίνονται μεταξύ 150-200 κιλών. Στη χώρα μας έπαυσε να καλλιεργείται πλέον.

## Λινάρι (Lin, Flax)

Το λινάρι (*Linus usitatissimum*) είναι μονοετής καλλιέργεια και κατάγεται από τη Μεσόγειο. Οι Αιγύπτιοι το 2500 π.Χ. το χρησιμοποιούσαν ως κλωστικό για το ρουχισμό τους.



## Φυτά και άνθη λιναριού

Σήμερα καλλιεργείται κυρίως σε Ευρώπη, Καναδά, Αργεντινή και ΗΠΑ, για την ίνα και το σπόρο του. Στην Ελλάδα αν και είχε πρωτοκαλλιεργηθεί λινάρι τον 5ο αιώνα π.Χ, σήμερα δεν καλλιεργείται. Οι μέσες αποδόσεις είναι περίπου 150-200 κιλά σπόρος στο στρέμμα και ο σπόρος του περιέχει 34-37% έλαιο. Στις ΗΠΑ επιτυγχάνονται παραγωγές σε σπόρο μέχρι 400 κιλά/στρέμμα.

## Ρετσίνολαδιά (Castor bean)

Η ρετσίνολαδιά (*Ricinus communis*) είναι φυτό πολυετές, αλλά καλλιεργείται ως ετήσιο φυτό επειδή είναι πολύ ευαίσθητο στον παγετό. Στα τροπικά κλίματα μπορεί να φθάσει ως και 12 μέτρα ύψος. Οι σπόροι, οι βλαστοί και τα φύλλα είναι δηλητηριώδη. Καλλιεργείται από αρχαιοτάτων χρόνων στην Ινδία για τους σπόρους του, που περιέχουν 40-60% λάδι.



Φυτά, ταξιανθίες και σπόροι ρετσίνολαδιάς

Η παγκόσμια παραγωγή σε ρετσινόλαδο ή κικινέλαιο φθάνει τον ένα εκατ. τόνους. Οι χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή είναι η Ινδία, η Κίνα, η Βραζιλία και η πρώην Σοβ. Ένωση.

Το λάδι της χρησιμοποιείται και ως λιπαντικό μηχανών αεροπλάνων και πλοίων. Στη χώρα μας δεν καλλιεργείται αν και έχει γίνει επιστημονική έρευνα για το φυτό ως εναλλακτική λύση στην αναδιάρθρωση των καλλιεργειών στη νότια Ελλάδα. Το φυτό καλλιεργούμενο ως ετήσιο αποδίδει σε σπόρο μέχρι 270 κιλά ανά στρέμμα.

## **Αραχίδα (groundnut, *Arachis*, peanuts)**

Η αραχίδα (*Arachis hypogaea*) δηλαδή το γνωστό αράπικο φυστίκι, είναι μονοετής καλλιέργεια και κατάγεται από τη Βραζιλία. Οι Ίνκας καλλιεργούσαν το φυτό από το 3000 π.Χ. Στην Ευρώπη ήλθε από τους πρώτους Ισπανούς και Πορτογάλους εξερευνητές και στη συνέχεια διαδόθηκε στις υπόλοιπες χώρες. Σε πολλές χώρες, όπως η Κίνα, η Ινδία, η Δ. Αφρική, η Ιαπωνία, η Κορέα και οι ΗΠΑ είναι ένα από τα κυριότερα ελαιούχα φυτά μεγάλης καλλιέργειας.



**Καλλιέργεια αραχίδας, καρποί και σπέρματα**

Στη χώρα μας όπως και σε όλες τις παραμεσόγειες χώρες όπου ευδοκίμει η ελιά, η αραχίδα χάνει τη σημασία της ως πηγή βρώσιμου λαδιού, επειδή η υπεροχή του ελαιόλαδου είναι μεγάλη. Στην Ελλάδα καλλιεργούνται μόνο 45.000 στρέμματα, μολονότι οι συνθήκες της χώρας μας είναι ιδανικές για την αραχίδα.

Τα σπέρματα της αραχίδας περιέχουν 48-58% λάδι και η απόδοση της καλλιέργειας σε βιοκαύσιμο ξεπερνά τα 100 λίτρα ανά στρέμμα. Όπως προαναφέρθηκε, ο Ρούντολφ Ντίτζελ χρησιμοποίησε το αραχιδέλαιο (φυστικέλαιο) ως καύσιμο για τη λειτουργία του ομώνυμου κινητήρα του.

## **Ατρακτυλίδα (Safflower)**

Η ατρακτυλίδα (*Carthamus tinctorius*) είναι μονοετής, κατάγεται από την Ινδία και τη Β. Αφρική και καλλιεργείται για τα ελαιούχα σπέρματά της. Η περιεκτικότητα του σπόρου σε λάδι είναι 32-40%.



Φυτά, άνθη και σπόροι ατρακτυλίδας

Καλλιεργείται στην Ινδία κυρίως, αλλά και στο Πακιστάν, το Αφγανιστάν, το Ιράν, τη Β. Αφρική και στην Αυστραλία. Στις ΗΠΑ καλλιεργούνται περίπου 1 εκατ. στρέμματα. Στη χώρα μας έχει καλλιεργηθεί δοκιμαστικά.

## Ελαιοδοτικά δένδρα και θάμνοι

Εκτός βέβαια από τα ελαιούχα φυτά μεγάλης καλλιέργειας, για παραγωγή βιοντήζελ χρησιμοποιούνται και τροπικά φυτά όπως ο φοίνικας, η καρύδα και η jatropa.

Ο **φοίνικας** (*Elaeis guineensis*) καλλιεργείται σε τροπικές χώρες και παράγονται 200 κιλά φοινικέλαιο ανά στρέμμα. Λόγω της υψηλής ζήτησης του προϊόντος στην παγκόσμια αγορά, σήμερα γίνεται ένα **τεράστιο περιβαλλοντικό έγκλημα** σε τροπικές αναπτυσσόμενες χώρες (Μαλαισία, Ινδονησία) όπου καταστρέφονται τροπικά δάση για να καλλιεργηθεί ο φοίνικας.



Δένδρα και καρποί του φοίνικα

Από τον καρπό του φοίνικα λαμβάνονται δύο είδη λαδιών. Το **φοινικέλαιο** (palm oil, σκούρο κίτρινο έως κίτρινο-κόκκινο χρώμα με άρωμα βιολέτας και γλυκιά γεύση), το οποίο προέρχεται από τη **σάρκα** του καρπού **και το λάδι που προέρχεται από τους σπόρους του καρπού** (palm kernel oil, λευκό ή κίτρινο με ευχάριστη οσμή και γεύση. Η σύνθεσή του τελευταίου μοιάζει με αυτή του λαδιού από καρύδα). Το φοινικέλαιο είναι πρωτογενές υλικό και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας για την παραγωγή βιοντήζελ και πρέπει πρώτα να επεξεργαστεί ή και να επανεπεξεργαστεί. Η Μαλαισία παράγει το μισό περίπου φοινικέλαιο του πλανήτη.

Σχετικά με την παραγωγή λαδιού από την **καρύδα** (*Cocos nucifera*), η ψίχα αρχικά αποξηραίνεται μέχρι η υγρασία να φθάσει 5-7%. Στη συνέχεια από την αποξηραμένη ψίχα (copra) λαμβάνεται το λάδι.



**Δένδρα καρύδας και συγκομιδή καρπών**

Απαιτούνται 5.000 καρύδες για την παραγωγή 1 τόνου copra. Από ένα κιλό αποξηραμένης καρυδόψιχας παραλαμβάνονται 650 γραμμάρια λαδιού. Κύριες παραγωγί χώρες είναι οι Ινδονησία, Φιλιππίνες, Ινδία και Βραζιλία.

Κλείνοντας, αξίζει να αναφερθεί και ένα **αμφιλεγόμενο**, εν δυνάμει ενεργειακό φυτό, η **jatropha** (*Jatropha curcas*), που είναι θάμνος με μεγάλους ελαιούχους σπόρους περιεκτικότητας σε λάδι μέχρι 40% και μπορεί να αποτελέσει πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοντήζελ. Η jatropha είναι ένα εξαιρετικά ανθεκτικό φυτό σε δυσμενείς συνθήκες (ξηροθερμικές & άγονες) γι' αυτό και είναι στη λίστα των **χειρότερων** φυτών-εισβολέων (ζιζανίων) παγκοσμίως.



**Jatropha, ένα αμφιλεγόμενο φυτό για παραγωγή βιοντήζελ**

Ήδη επιχειρηματίες που επενδύουν στην παραγωγή βιοντήζελ σε τροπικές περιοχές της Αφρικής και της Ινδίας, δημιουργούν τεράστιες φυτείες jatropha σε άγονες και ξηρές περιοχές. Η βρετανική εταιρεία παραγωγής βιοντήζελ D1 Oils φύτεψε 1,5 εκατομμύρια στρέμματα jatropha στη Σουαζιλάνδη, στη Ζάμπια στη Νότια Αφρική και στην Ινδία. Η εταιρεία σχεδιάζει να διπλασιάσει το μέγεθος των καλλιεργειών της άμεσα.

Επίσης η BioKing, ολλανδική εταιρεία κατασκευής εξοπλισμού για βιοντήζελ, αναπτύσσει καλλιέργειες στη Σενεγάλη, ενώ και η Australian Biodiesel Group έχει ανακοινώσει ότι θα ξεκινήσει παραγωγή από jatropha αφού υπολογίζεται ότι στην Αυστραλία υπάρχουν 200 εκατομμύρια στρέμματα αναξιοποίητων άγονων εδαφών που μπορεί να καλλιεργηθεί το φυτό. Τέλος, η κυβέρνηση της Κίνας έχει θέσει σε εφαρμογή ένα μεγάλο πρόγραμμα εκτατικής καλλιέργειας jatropha

## 2.4.9 Η διαδικασία παραγωγής βιοντήζελ

Το βιοντήζελ είναι μεθυλεστέρας που παράγεται με μετεστεροποίηση των φυτικών ελαίων και παραγωγή εστέρων των τριγλυκεριδίων. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ακόμη φθηνότερου βιοντήζελ, εκτός από ελαιούχοι σπόροι και μεταχειρισμένα φυτικά έλαια (τηγανόλαδα) ή και ζωικά λίπη (πχ ως απόβλητα σφαγείων). Η εξαγωγή του ελαίου από τους σπόρους γίνεται μηχανικά ή χημικά. Το βιοντήζελ έχει θερμογόνο δύναμη 15% μικρότερη από αυτή του πετρελαίου. Ένα γενικό σχήμα της παραγωγικής αλυσίδας βιοντήζελ δίνεται στο παρακάτω σχήμα.

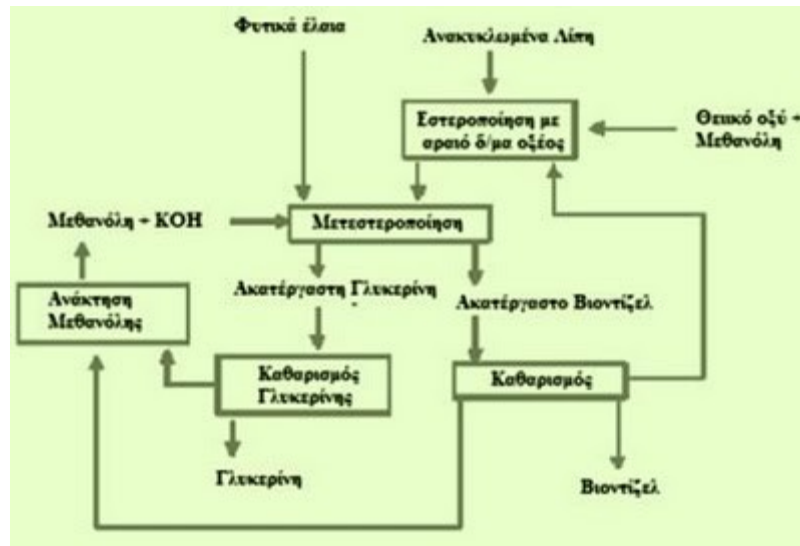


Διαγραμματική απεικόνιση της παραγωγής βιοντιζελ

Με την υπάρχουσα τεχνολογία τα έλαια (τριγλυκερίδια) μετατρέπονται με μια απλή διαδικασία σε εστέρες των τριγλυκεριδίων, με μεθανόλη ή και αιθανόλη. Οι καθαροί εστέρες των τριγλυκεριδίων είναι άριστα υποκατάστατα του πετρελαίου χωρίς να χρειάζεται καμία μετατροπή στον κινητήρα. Μια ορισμένες φθηνές μετατροπές στη μηχανή είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί και καθαρό βιοέλαιο.

## 2.4.10 Τα Στάδια της παραγωγικής διαδικασίας συνοψίζονται στα εξής:

1. Εξευγενισμός πρώτης ύλης
2. Μετεστεροποίηση πρώτης ύλης
3. Καθαρισμός βιοντήζελ (πλύσεις)
4. Εξευγενισμός γλυκερίνης
5. Ανάκτηση μεθανόλης



Διαδικασία μετεστεροποίησης για την παραγωγή βιοντίζελ

Κατά την παραγωγική διαδικασία τα άνυδρα έλαια (τριγλυκερίδια) θερμαίνονται με μεθανόλη σε αλκαλικό περιβάλλον (με βασικό καταλύτη) και προκύπτει μίγμα μεθυλεστέρων και γλυκερίνης που ανακτάται σαν πολύτιμο παραπροϊόν. Το υδροξείδιο νατρίου και το μεθοξείδιο του νατρίου χρησιμοποιούνται ευρέως ως καταλύτες, όμως η χρήση επαναχρησιμοποιούμενου καταλύτη λιπάσης και υπερκρίσιμο διοξείδιο του άνθρακα είναι περισσότερο φιλική προς το περιβάλλον.

Τα βασικά παραπροϊόντα της βιομηχανικής παραγωγής είναι **γλυκερίνη** και **κέικ** (πρωτεϊνούχος κτηνοτροφική πίτα που χρησιμοποιείται ως ζωοτροφή). Η γλυκερίνη έχει υψηλή αξία διότι χρησιμοποιείται στη βιομηχανία τροφίμων, την ποτοποιία, την βιομηχανία καλλυντικών, τη φαρμακοβιομηχανία και σαπωνοποιία κ.α. Η **κτηνοτροφική πίτα** έχει επίσης μεγάλη αξία ως ζωοτροφή διότι είναι πλούσια σε πρωτεΐνες (10-45%).

Κλείνοντας, πρέπει να αναφερθεί ότι το βιοντίζελ είναι πολύ εύκολο να παρασκευαστεί και σε επίπεδο ατομικό, δηλαδή ως οικιακό βιοντίζελ. Είναι διαθέσιμος στην αγορά φθηνός εξοπλισμός παραγωγής βιοντίζελ (αξίας 1500 ευρώ περίπου) ώστε είναι δυνατή η παραγωγή σε επίπεδο φάρμας. Έτσι μπορεί ο κάθε γεωργός που καλλιεργεί ενεργειακά φυτά (πχ ελαιοκράμβη, ηλίανθο) να παρασκευάζει το δικό του καύσιμο για την κίνηση των γεωργικών μηχανημάτων και οχημάτων, μία πρακτική που χρησιμοποιείται κατά κόρον από τους αμερικανούς αγρότες.



### **2.4.11 Δεύτερης γενιάς βιοντίζελ από βιομάζα**

Η έρευνα για την παραγωγή δευτέρης γενιάς βιοντίζελ, έχει στραφεί πλέον σε μεθόδους παραγωγής του βιοντίζελ από κάθε είδος βιομάζα (συμπεριλαμβανομένης και αυτής από φύκη), με υψηλό βαθμό απόδοσης, υψηλή ποιότητα προϊόντος, που να μην υποβαθμίζεται με το χρόνο, να βελτιώνει τη λειτουργία των υπαρχόντων μηχανών ντίζελ και με κόστος παραγωγής κάτω από την τιμή του ορυκτού πετρελαίου ντίζελ.

Μέθοδοι παραγωγής πετρελαίου ντίζελ από ορυκτό άνθρακα υπήρχαν ήδη από την εποχή του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, όταν οι Γερμανοί ανέπτυξαν τη μέθοδο Fischer -Tropsch για την παραγωγή πετρελαίου ντίζελ με αεριοποίηση του ορυκτού κάρβουνου. Τα τελευταία χρόνια γίνεται μεγάλη προσπάθεια από τους επιστήμονες να προσαρμόσουν τη μέθοδο Fischer -Tropsch στην παραγωγή βιοντίζελ από βιομάζα.

Σήμερα οι υπάρχουσες τεχνολογίες **Fischer- Tropsch** και οι παρεμφερείς τους, παράγουν βιοντίζελ από βιομάζα με βαθμό απόδοσης 45%-48% και με κόστος επένδυσης υψηλό, που ανεβάζει το κόστος του προϊόντος πάνω από την τιμή του φορολογημένου ορυκτού ντίζελ. Όμως, καθώς η τεχνολογία προχωρά, έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι οι οποίες ανεβάζουν τον βαθμό απόδοσης πάνω από το 80% ενώ ταυτόχρονα ρίχνουν το κόστος του παραγόμενου βιοντίζελ (σχεδόν από κάθε είδος βιομάζας) στα όρια οικονομικής εκμετάλλευσης ευρείας κλίμακας.

Η ποιότητα του προϊόντος είναι τέτοια που στην πραγματικότητα πρόκειται για Σούπερ-Ντίζελ με περισσότερα από 60 κετάνια (το κανονικό Ντίζελ έχει 50 κετάνια, το Σούπερ Ντίζελ έχει 55 - με 60 κετάνια όχι μόνο βελτιώνεται η καύση και η απόδοση των μηχανών ντίζελ, αλλά καθαρίζουν και οι μηχανές από παλιές επικαθίσεις).



Κλασικό παράδειγμα δευτέρης γενιάς βιοντίζελ είναι το **SunDiesel**, ένα νέο συνθετικό BTL βιοκαύσιμο (Biomass- To -Liquid) που παράγεται με παραλλαγή της μεθόδου Fischer -Tropsch. Η συγκεκριμένη τεχνολογία αναπτύχθηκε από τις εταιρίες Shell και Choren και ήδη κατασκευάζεται πιλοτικό εργοστάσιο στην ανατολική Γερμανία. Το εργοστάσιο θα παράγει ετησίως 15.000 τόνους SunDiesel από βιομάζα, με πρώτη ύλη πριονίδι, τεμαχίδια ξύλου και άχυρο. Ήδη ανακοινώθηκε για το 2009 η κατασκευή και δεύτερου εργοστασίου δυναμικότητας 200.000 τόνων.

Η έρευνα για την παραγωγή δεύτερης γενιάς βιοντήζελ, εκτός από τη βιομάζα, έχει στραφεί και στην ανάπτυξη τεχνολογιών **παραγωγής του βιοντήζελ από φύκη και φυτοπλαγκτόν**.

Αρχικά, για το σκοπό αυτό μελετήθηκαν μικροάλγη με μεγάλη περιεκτικότητα σε έλαια όπως είδη του γένους *Nannochloropsis* με περιεκτικότητα 60% σε λιπίδια, ενώ πλέον η έρευνα επεκτείνεται σε διάφορα είδη που είναι ιδιαίτερα παραγωγικά σε βιομάζα και αναπτύσσονται σε μεγάλο εύρος περιβαλλοντικών συνθηκών.

Πέρυσι η εταιρεία Bio Fuel Systems, που βρίσκεται στην Αλικάντε της Ισπανίας, ανακοίνωσε τη δυνατότητα βιομηχανικής παραγωγής βιοντήζελ από **φυτοπλαγκτόν** που αναπτύσσεται σε ειδικές δεξαμενές. Προς το παρόν το κυρίως πρόβλημα της μεθόδου είναι το ραφινάρισμα αλλά οι επιστήμονες της εταιρίας θεωρούν ότι σύντομα θα έχουν λύσει το πρόβλημα και η εταιρία θα παράγει βιοντήζελ με κόστος 0,25 ευρώ το λίτρο.

Παρόμοιες μεθόδους έχει αναπτύξει και η εταιρεία GreenFuel Technologies Corporation, για παραγωγή βιοντήζελ και βιοαιθανόλης από **άλγη** (φύκια). Σύμφωνα με τη μέθοδο που ανέπτυξε η εταιρεία, είναι δυνατή η **παραγωγή βιομάζας από άλγη με εξαιρετικά υψηλούς ρυθμούς** που φτάνουν τα 174 g/m<sup>2</sup>/d (γραμμάρια βιομάζας ανά τετραγωνικό μέτρο ανά ημέρα). Για λόγους σύγκρισης αναφέρεται ότι τα καλλιεργούμενα φυτά έχουν μέγιστο ρυθμό ανάπτυξης 40-60 g/m<sup>2</sup> ανά ημέρα (φυτά C4), ενώ οι C3 καλλιέργειες 20-40 g/m<sup>2</sup> ανά ημέρα. Η εταιρία υπολογίζει ότι θεωρητικά μπορούν να παράγονται **4.500 λίτρα βιοκαυσίμου ανά στρέμμα το χρόνο**.



Διάφορα συστήματα φυκο-καλλιέργειας ([www.greenfuelonline.com](http://www.greenfuelonline.com))

Σήμερα 18 εταιρείες δραστηριοποιούνται παγκοσμίως στην παραγωγή βιοκαυσίμων από φύκια.

Είναι προφανές ότι με τη συνεχή πρόοδο της τεχνολογίας και την ανάπτυξη σε βιομηχανικό επίπεδο της παραγωγής βιοντήζελ δεύτερης γενιάς, με πρώτη ύλη τη βιομάζα, θα μειωθεί ο

ανταγωνισμός για καλλιεργούμενες εκτάσεις και άλλες αγροτικές πρώτες ύλες. Με πρώτες ύλες φύκη, φυτοπλακτόν ή κυτταρίνη θα γίνει φθηνή η βιομηχανική παραγωγή βιοντήζελ από γεωργικά υπολείμματα (άχυρο κτλ), πριονίδια, οικιακά απορρίμματα και προϊόντα χαρτιού καθώς και από ταχυσυζή μη διατροφικά φυτά με πολύ μεγάλη στρεμματική παραγωγή βιομάζας όπως ινώδες σόργο, καλάμι, αγριαγκινάρα και κεχρί.

#### **2.4.12 Κόστος παραγωγής βιοντήζελ**

Σχετικά με το κόστος παραγωγής του βιοντήζελ, τα δεδομένα ποικίλουν ανάλογα με την πρώτη ύλη και τη μέθοδο παραγωγής. Το βιοντήζελ από ζωικά λίπη είναι έχει το χαμηλότερο κόστος παραγωγής που κυμαίνεται από 0.4 έως 0.5 \$ ανά **ισοδύναμο λίτρο πετρελαίου κίνησης** (το βιοντήζελ έχει θερμογόνο δύναμη περίπου 15% μικρότερη από αυτή του πετρελαίου).

Το βιοντήζελ που παράγεται από καλλιέργειες (ελαιούχοι σπόροι) έχει αντίστοιχο κόστος 0.6-0.8 \$ ενώ αναμένεται να μειωθεί μελλοντικά κατά 0.1-0.3 \$.

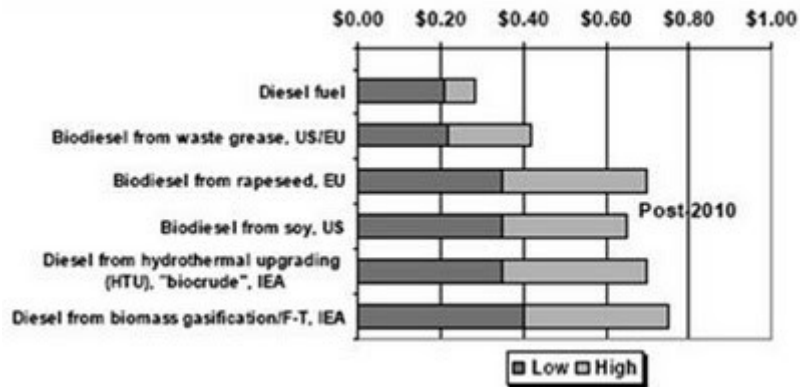
Το βιοντήζελ δεύτερης γενιάς που παράγεται από βιομάζα έχει προς το παρόν υψηλό κόστος παραγωγής, 0.9 \$ ανά ισοδύναμο λίτρο πετρελαίου κίνησης, με το κόστος τα επόμενα χρόνια να διαμορφώνεται σε 0.7- 0.8 \$.

Το κόστος παραγωγής του βιοντήζελ στις χώρες της ΕΕ είναι περίπου 0,5 €/l (15 €/GJ) ενώ προβλέπεται μακροπρόθεσμα μείωσή του κατά 0,2 €/l (6 €/GJ) συμπεριλαμβανομένης της αξίας των υποπροϊόντων του (γλυκερίνη, πίτα). Για την ΕΕ το παραγόμενο βιοντήζελ γίνεται ανταγωνιστικό έναντι του πετρελαίου κίνησης σε τιμές πετρελαίου περίπου 60 ευρώ ανά βαρέλι. Το κόστος παραγωγής της καλλιέργειας αντιπροσωπεύει περίπου το 80% του τελικού κόστους παραγωγής του βιοντήζελ στην Ευρώπη.

Η υψηλή τιμή του βιοντήζελ σε σχέση με το «φθηνό» ντίζελ, είναι το σημαντικότερο εμπόδιο στην ανάπτυξη της αγοράς του στις Η.Π.Α. Σήμερα το γαλόني κοστίζει 1 \$ ακριβότερα σε σχέση με το ντίζελ κίνησης στα πρατήρια, ενώ η συνεχώς αυξανόμενες τιμές της σόγιας δρουν αρνητικά.

Η πλέον ελπιδοφόρος προσέγγιση για τη μείωση του κόστους παραγωγής βιοντήζελ στο κοντινό μέλλον, είναι η χρησιμοποίηση πιο φθηνής πρώτης ύλης όπως για παράδειγμα να χρησιμοποιηθούν οι ποσότητες της χαλασμένης σόγιας, το ζωικό λίπος του βοδινού και χοιρινού κρέατος, το τηγανισμένο λίπος και τα χρησιμοποιημένα λάδια εστιατορίων και άλλα παρόμοια υποπροϊόντα. Σ' αυτή την περίπτωση όμως παρουσιάζονται προβλήματα συλλογής, αποθήκευσης και ομοιογένειας της πρώτης ύλης.

Κλείνοντας, μία εκτίμηση για τη **διαμόρφωση του κόστους παραγωγής βιοντήζελ μετά το 2010** παρουσιάζεται στο παρακάτω ραβδόγραμμα (πηγή IEA).



Στο διάγραμμα, η δεύτερη , τρίτη, τέταρτη και τελευταία ράβδος αναφέρονται στο κόστος παραγωγής βιοντήζελ από λίπη (ΕΕ & ΗΠΑ), ελαιοκράμβη (ΕΕ), σόγια (ΗΠΑ) και βιομάζα (με τη μέθοδο Fischer- Tropsh), αντίστοιχα.

### 2.4.13 Βιοντήζελ και περιβάλλον

Κύρια περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα των βιοελαίων είναι ότι θεωρητικά μπορεί να είναι CO<sub>2</sub>-ουδέτερα, κατά την καύση τους εκπέμπονται μικρότερες ποσότητες ρύπων, είναι βιοαποδομήσιμα, ενώ πρακτικά δεν παράγουν οξείδια του θείου και αρωματικές (καρκινογόνες) ενώσεις. Γενικότερα τα βιοέλαια συμβάλλουν στην αειφορία.

Εστιάζοντας στις **καθαρές εκπομπές CO<sub>2</sub>** από τη χρήση του βιοντήζελ ως καύσιμο, δηλαδή λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των εκπομπών κατά την παραγωγή (καλλιέργεια & βιομηχανία) και την καύση, τα αποτελέσματα ποικίλουν ανάλογα με την πρώτη ύλη, τη μέθοδο παραγωγής και το είδος του παραγόμενου βιοντήζελ. Γενικά, βάσει των υπάρχουσών μελετών θα μπορούσε να λεχθεί ότι το βιοντήζελ συντελεί σε μείωση 40% - 70% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με το πετρέλαιο κίνησης.

Επιπλέον, χρησιμοποίηση του βιοντήζελ σε μια συμβατική πετρελαιοκίνητη μηχανή μειώνει ουσιαστικά τις εκπομπές των άκαυτων υδρογονανθράκων, το μονοξείδιο του άνθρακα, τα οξείδια του θείου, τους πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες, τους νιτρωμένους πολυκυκλικούς αρωματικούς υδρογονάνθρακες, και τα σωματίδια. Αυτή η μείωση αυξάνεται όσο αυξάνεται το ποσοστό του βιοντήζελ στο καύσιμο μίγμα.



Για παράδειγμα, χρήση B20 (μίγμα 20% βιοντήζελ + 80% πετρέλαιο κίνησης) οδηγεί σε μείωση κατά 15% του μονοξειδίου του άνθρακα και των σωματιδίων και κατά 20% των υδρογονανθράκων, σε σχέση με το πετρέλαιο κίνησης. Κατ' αντιστοιχία η καύση B100 (καθαρό βιοντήζελ) οδηγεί σε μείωση των συγκεκριμένων ρύπων κατά 50% (CO, σωματίδια) και 70% (υδρογονάνθρακες).

Αντίθετα, με τη χρήση βιοντήζελ, οι εκπομπές των οξειδίων αζώτου αυξάνονται 2-10%, αυξανόμενης της περιεκτικότητας του βιοντήζελ στα καύσιμα.

Εκτός από τη μείωση της μη σημειακής ρύπανσης που οφείλεται στις εκπομπές αέριων ρύπων, το βιοντήζελ δεν προκαλεί σημαντική σημειακή ρύπανση, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση ατυχημάτων ή διαρροών πετρελαιοειδών. Συγκεκριμένα, τα βιοέλαια βιοαποδομούνται κατά 80% σε 28 ημέρες. Αν για παράδειγμα γίνει κάποιο ναυτικό ατύχημα σε τάνκερ που μεταφέρει βιοέλαιο, το διαρρέον έλαιο στη θάλασσα κάλλιστα θα μπορούσε να αποτελέσει τροφή των ψαριών και όχι τοξικό παράγοντα όπως το πετρέλαιο.

Ένα δεύτερο κρίσιμο θέμα από περιβαλλοντικής άποψης είναι το ενεργειακό ισοζύγιο της αλυσίδας παραγωγής βιοντήζελ, δηλαδή την ποσότητα ενέργειας (εισροές) που δαπανάται κατά την παραγωγική διαδικασία και προέρχεται από ορυκτά καύσιμα σε σχέση με την τελική ενέργεια που παρέχει το βιοντήζελ (εκροές).

Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (IEA), με τη σημερινή πρακτική καταναλώνεται 1 μονάδα ορυκτού καυσίμου για να παραχθούν 3,3 μονάδες βιοντήζελ, δηλαδή 1 λίτρο ντίζελ για παραγωγή βιοντήζελ που ισοδυναμεί με 3,3 λίτρα ντίζελ.

Στην περίπτωση της παραγωγής βιοντήζελ από ελαιοκράμβη, το ενεργειακό ισοζύγιο της παραγωγικής αλυσίδας είναι περίπου 2 εάν ληφθεί υπόψη μόνο το παραγόμενο βιοντήζελ, ενώ ανέρχεται σε 3, στην περίπτωση αξιοποίησης και των υποπροϊόντων.

#### **2.4.14 ΠΟΙΑ ΕΙΝΑΙ ΤΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ**

Ως προϊόν ανανεώσιμων πηγών ενέργειας το βιοντίζελ είναι καθαρό, μη τοξικό και βιοαποικοδομήσιμο καύσιμο, δεν περιέχει αρωματικές ενώσεις και οι εκπομπές των ρυπαντών οξειδίων του θείου, μονοξειδίου του άνθρακα, άκαυστων υδρογονανθράκων και αιθάλης που προέρχονται από την καύση του στις μηχανές ντίζελ είναι πολύ χαμηλές. Η παρουσία του θείου στα καύσιμα ευθύνεται για τα οξείδια του θείου (SO<sub>x</sub>) στα καυσαέρια τα οποία αποτελούν έναν από τους κυριότερους ρύπους του ντίζελ. Στο βιοντίζελ η περιεκτικότητα σε θείο είναι πάρα πολύ μικρή, σχεδόν μηδενική. Επίσης, το βιοντίζελ περιέχει αρκετό οξυγόνο (περίπου 10% κ.β.) που καθιστά την καύση λιγότερο ατελή, με αποτέλεσμα η περιεκτικότητα των καυσαερίων σε μονοξείδιο του άνθρακα (CO), σε άκαυστους υδρογονάνθρακες (H/C) και σε αιθάλη να είναι πολύ μικρότερη απ'ότι στο συμβατικό ντίζελ. Επιπλέον, η καύση του βιοντίζελ δεν αυξάνει το επίπεδο του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα (το οποίο είναι υπεύθυνο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου), αφού η ποσότητα του CO<sub>2</sub> που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της καύσης αφομοιώνεται στη συνέχεια από το φυτό κατά τη φωτοσύνθεση. Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει το τυπικό προφίλ εκπομπών από την καύση του καθαρού βιοντίζελ (B100), αλλά και ενός από τα πλέον συνηθισμένα μίγματά του με συμβατικό ντίζελ το οποίο αποτελείται από 20% βιοντίζελ και 80% ντίζελ (B20), χρησιμοποιώντας ως αναφορά τις εκπομπές από την καύση του πετρελαϊκού ντίζελ.

Εκπομπές % για B100 και B20 σε σύγκριση με του συμβατικού ντίζελ		
Εκπομπή	B100*	B20*
Μονοξείδιο του άνθρακα	-48%	-12%
Άκαυστοι υδρογονάνθρακες	-67%	-20%
Σωματίδια	-47%	-12%
Οξείδια του αζώτου	+10%	+2%
Οξείδια του Θείου	-100%	-20%
Τοξικά αέρια	-60% έως -90%	-12% έως -20%

\*B100 (100% Βιοντίζελ), B20 (μίγμα αποτελούμενο από 20% Βιοντίζελ και 80% ντίζελ)

Εκτός από το γεγονός ότι πλεονεκτεί ως ανανεώσιμο καύσιμο το βιοντίζελ εμφανίζει παρόμοιες φυσικοχημικές ιδιότητες με το συμβατικό ντίζελ, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις έχει και καλύτερα χαρακτηριστικά από αυτό, όπως μεγαλύτερο σημείο ανάφλεξης οπότε είναι ασφαλέστερο στη χρήση, μικρότερη ποσότητα θείου αλλά μεγαλύτερη λιπαντική ικανότητα λόγω του οξυγόνου που περιέχει και μεγαλύτερο αριθμό κετανίου. Η μείωση του περιεχόμενου θείου που επιβάλλεται στα ορυκτά καύσιμα έχει αρνητική επίδραση στη λίπανση του κινητήρα γιατί μειώνονται οι λιπαντικές ενώσεις του θείου. Έτσι, τα διυλιστήρια κάνουν χρήση πανάκριβων και ταυτόχρονα μη βιοαποικοδομήσιμων πρόσθετων για την επαναφορά της λιπαντικότητας του καυσίμου. Η προσθήκη, όμως, του βιοντίζελ στο πετρελαϊκό ντίζελ, ακόμα και σε περιεκτικότητες μικρότερες από 1% κ.β., επαναφέρει τη λιπαντική ικανότητα του καυσίμου, οπότε με τη χρήση του βιοντίζελ παρατείνεται η ζωή του πετρελαιοκινητήρα και τα διυλιστήρια εξοικονομούν αρκετά χρήματα. Ο μεγαλύτερος αριθμός κετανίου που παρουσιάζει το βιοντίζελ έναντι του συμβατικού ντίζελ αντισταθμίζει το γεγονός ότι κατά την καύση του το βιοντίζελ απελευθερώνει ενέργεια μικρότερη από την ενέργεια που απελευθερώνει το συμβατικό ντίζελ. Έτσι η απόδοση ενός πετρελαιοκινητήρα που κινείται με καθαρό βιοντίζελ κυμαίνεται τουλάχιστον στα επίπεδα του συμβατικού ντίζελ. Επίσης, το βιοντίζελ είναι κατάλληλο για τους ήδη υπάρχοντες πετρελαιοκινητήρες, όπου δεν χρειάζεται να γίνει σχεδόν καμία μετατροπή ακόμα και αν χρησιμοποιηθεί αμιγές βιοντίζελ.

## **2.5 ΠΙΛΟΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΧΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ**

### **2.5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Οι μεθυλεστέρες των λιπαρών οξέων αποτελούν ένα ανανεώσιμο υποκατάστατο του ντίζελ, γνωστό ως βιοντίζελ. Ο όρος βιοντίζελ αναφέρεται σε ανανεώσιμο υγρό καύσιμο προερχόμενο από φυτικά έλαια που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν αποτελεσματικό υποκατάστατο του τυπικού ντίζελ. Από χημικής άποψης, το βιοντίζελ παράγεται από μετεστεροποίηση των τριγλυκεριδίων φυτικών ελαίων με μεθανόλη <sup>(1)</sup>. Το βιοντίζελ δεν είναι τοξικό, δεν περιέχει αρωματικές ενώσεις και είναι εύκολα βιοδιασπώμενο. Σε σύγκριση με το ντίζελ έχει χαμηλότερες εκπομπές σωματιδίων, μονοξειδίου του άνθρακα και υδρογονανθράκων από κινητήρες <sup>(2-5)</sup>. Επίσης λόγω της πολικότητας του αυξάνει την χαμηλή λιπαντική ικανότητα του ντίζελ χαμηλού θείου <sup>(6)</sup>.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα χρήσης βιοντίζελ σε ένα τυπικό στόλο πετρελαιοκίνητων αυτοκινήτων της περιοχής Αθηνών καθώς και η αποδοχή της χρήσης βιοντίζελ στο αγοραστικό κοινό κατά την πώληση του στα πρατήρια καυσίμων ΕΛΙΝΟΙΛ της περιοχής Θράκης. Σε αμφότερες τις περιπτώσεις τα αποτελέσματα ήταν ιδιαίτερα ωφέλιμα τόσο από άποψη εκπομπών και απόδοσης όσο και αγοραστικής αποδοχής.

## 2.5.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Το πρώτο ερευνητικό πρόγραμμα αποσκοπούσε στην διερεύνηση των εκπομπών (CO, υδρογονάνθρακες, NOx, καπνός) από τη χρήση βιοντίζελ παραγόμενο από διάφορες πρώτες ύλες <sup>(7)</sup>. Η κύρια δραστηριότητα περιελάμβανε τον έλεγχο της απόδοσης ενός στόλου 9 οχημάτων (3 φορτηγά, 4 ταξί, 1 minibus, 1 επιβατικό) που χρησιμοποιούσαν κανονικό καύσιμο και μίγματα με βιοντίζελ σε διάφορες αναλογίες. Τα είδη βιοντίζελ που χρησιμοποιήθηκαν ήταν προερχόμενα από ηλιέλαιο, καλαμποκέλαιο, χαμηλής ποιότητας ελαιόλαδο και προτηγανισμένα έλαια.

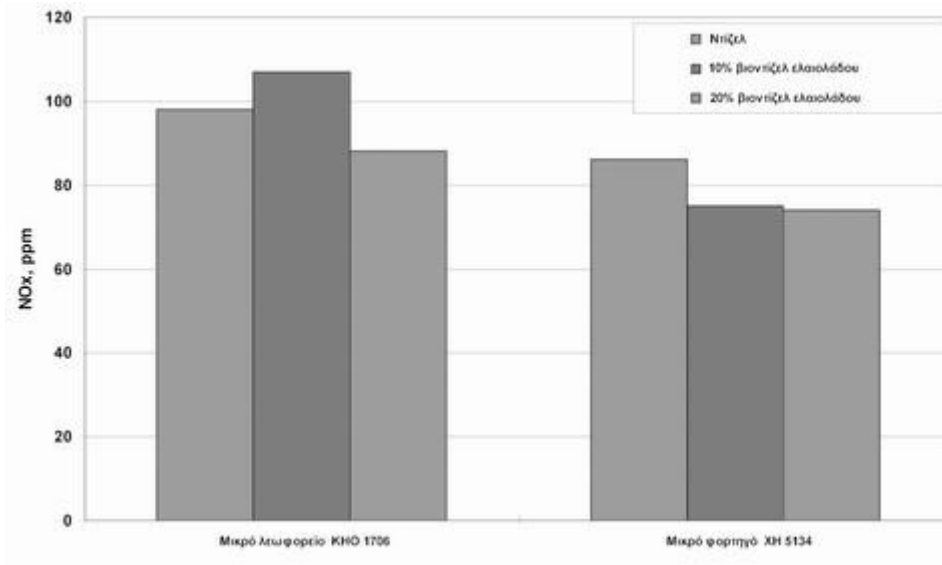
Κατά την χρονική περίοδο του προγράμματος τα οχήματα κυκλοφορούσαν στην ευρύτερη περιοχή Αθηνών εκτελώντας τις τυπικές τους χρήσεις. Τα οχήματα χρησιμοποιούσαν πετρέλαιο κίνησης ή μίγματα πετρελαίου κίνησης με βιοντίζελ σε διάφορες αναλογίες. Οι πειραματικές μετρήσεις των ρύπων διεξήχθησαν στο ρελαντί και στις 2500 min<sup>-1</sup> (στροφές) για κάθε όχημα..

Εκτός από την επίδραση του βιοντίζελ στις εκπομπές μελετήθηκε επίσης η επίδραση στην φθορά των κινητήρων. Τα οχήματα χρησιμοποιούσαν τον ίδιο τύπο λιπαντικού ενώ στους προαναφερόμενους κύκλους καυσίμου ανά 1000 km, ποσότητα λιπαντικού αναλυόταν για τα σημαντικότερα μέταλλα φθοράς (Fe, Ag, Cu, Cr, Pb).

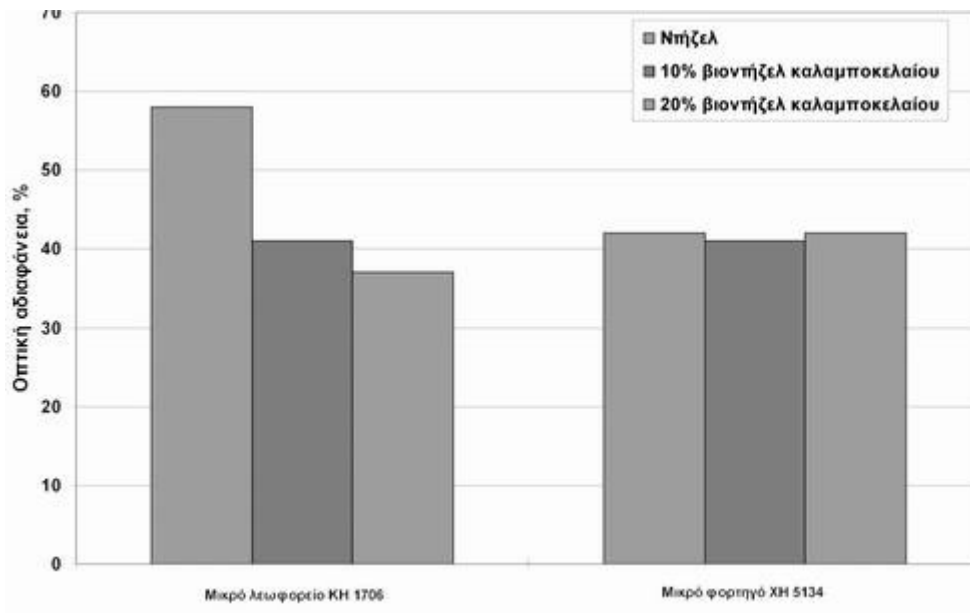
Στην Εικόνα 1 παρουσιάζεται η επίδραση προσθήκης βιοντίζελ από ελαιόλαδο στις εκπομπές NOx σε δύο από τα οχήματα που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων. Η Εικόνα 2 παρουσιάζει την επίδραση προσθήκης βιοντίζελ από καλαμποκέλαιο στην οπτική αδιαφάνεια καπνού.

Τα αποτελέσματα δείχνουν παρόμοιες εκπομπές για τα NOx παρόλο που γενικά είναι αποδεκτό ότι οι εκπομπές NOx επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο του κινητήρα, όπως έδειξαν και άλλες έρευνες με χρήση βιοντίζελ <sup>(8,9)</sup>. Τα αποτελέσματα για τις εκπομπές καπνού και σωματιδίου έδειξαν ότι η χρήση βιοντίζελ οδηγεί σε μείωση των εκπομπών ακόμα και σε υψηλά φορτία της μηχανής.

Στην Εικόνα 3 φαίνεται η επίδραση του βιοντίζελ στην φθορά του κινητήρα. Με εξαίρεση τον Fe, οι συγκεντρώσεις των υπολοίπων μετάλλων φθοράς ήταν παρόμοιες κατά τη χρήση βιοντίζελ κίνησης και βιοντίζελ . Οι αυξημένες συγκεντρώσεις που εμφανίστηκαν για το Fe πιθανόν λόγω όξινων συστατικών του βιοντίζελ μπορούν να αντιμετωπιστούν με κατάλληλα λιπαντικά.



**Εικόνα 1: Επίδραση της προσθήκης 10% και 20% βιοντίζελ ελαιολάδου στις εκπομπές NOx στις 2500 στροφές/λεπτό**



**Εικόνα 2: Επίδραση της προσθήκης 10% και 20% βιοντίζελ καλαμποκελαίου στην οπτική αδιαφάνεια καπνού**

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων του στόλου των αυτοκινήτων οδηγεί στα ακόλουθα συμπεράσματα:

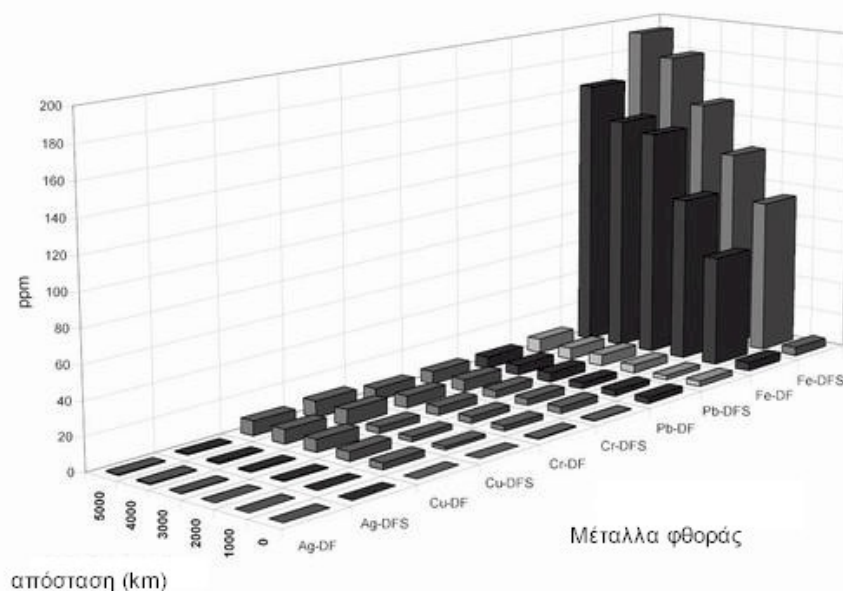
Η προσθήκη του βιοντίζελ στο συνηθισμένο ντίζελ κίνησης έχει σαν αποτέλεσμα σημαντική μείωση των εκπομπών καπνού. Ακόμα η χρήση του βιοντίζελ οδηγεί σε χαμηλότερες εκπομπές σωματιδίων σε υψηλά φορτία της μηχανής.

Σχετικά με την κατανάλωση καυσίμου, κάτω από τις ίδιες κυκλοφοριακές συνθήκες (όλα τα οχήματα κυκλοφορούσαν στην ευρύτερη περιοχή Αθηνών) τα καύσιμα με βιοντίζελ έχουν μία μικρή αύξηση στην κατανάλωση όπως είναι αναμενόμενο.



Ενώ τα μέταλλα φθοράς Ag, Cu, Pb και Cr δεν επηρεάστηκαν από την προσθήκη βιοντίζελ, παρατηρήθηκε μικρή αύξηση του Fe στο λιπαντικό.

Είναι σημαντικό να παρατηρηθεί ότι όλοι οι οδηγοί που συμμετείχαν στις δραστηριότητες υποδέχθηκαν το νέο τύπο καυσίμου με ενθουσιασμό. Η κοινή διαπίστωση ήταν ότι η προσθήκη βιοντίζελ δεν επηρέασε σε καμία περίπτωση την απόδοση του οχήματος.



Εικόνα 3: Μέταλλα φθοράς, φορτηγό με ντήζελ κίνησης και μείγμα με 10% ηλιέλαιο, λιπαντικό SAE 20W 50.

## **2.5.3 ΠΙΛΟΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ ΤΟΥ ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΓΟΡΑ ΚΑΥΣΙΜΩΝ**

### **2.5.3.1 Εμπορική διάθεση βιοντίζελ στη Θράκη**

Ακολουθώντας τα συμπεράσματα του προηγούμενου προγράμματος και με βάση τα ενθαρρυντικά αποτελέσματα που είχαν επιτευχθεί, η Ευρωπαϊκή Ένωση ενέκρινε ένα δεύτερο πρόγραμμα, με στόχο την πραγματική εισαγωγή του βιοντίζελ στην Ελληνική αγορά σε πιλοτική μορφή [10]. Επειδή δεν υπάρχει ακόμα παραγωγή βιοντίζελ στην Ελλάδα, οι απαιτούμενες ποσότητες εισαχθήκαν από την Αυστρία και διακινήθηκαν στο δίκτυο πρατηρίων ΕΛΙΝ της Θράκης κατά το καλοκαίρι του 1999 και 2000. Αρχικά συμμετείχαν 5 πρατήρια στην αρχική φάση το 1999, και με βάση την αποδοχή του καυσίμου και την επιτυχημένη υποδομή και διανομή αυξήθηκαν σε 25 το καλοκαίρι του 2000.

Η διεξαγωγή του προγράμματος έγινε τους καλοκαιρινούς μήνες διότι σταματά η διάθεση του πετρελαίου θέρμανσης και τα πρατήρια έχουν δεξαμενές για την διάθεση ενός ακόμα προϊόντος.

Ο λόγος για τον οποίο το βιοντίζελ διακινήθηκε μόνο από 5 πρατήρια το 1999 είναι ότι το ενδιαφέρον εστιάστηκε στα ζητήματα α) της ιδανικής αναλογίας του μείγματος βιοντίζελ –

ντίζελ και β) του εφοδιασμού και της διανομής του προϊόντος από τις εγκαταστάσεις αποθήκευσης στα πρατήρια.

Η λιανική τιμή πώλησης του βιοντίζελ (τιμή αντλίας) καθορίστηκε ίση με την τιμή του ντίζελ, για να εξασφαλιστεί ότι ο καταναλωτής δεν θα επηρεαζόταν στην λήψη της απόφασης του από πιθανή διαφορά τιμής.

Για να επιτευχθεί αυτό, μετά από αίτηση της ΕΛΙΝΟΙΑ, το Υπουργείο Ανάπτυξης απάλλαξε το βιοντίζελ από τον ειδικό φόρο κατανάλωσης ειδάλλως λόγω της εισαγωγής του από την Αυστρία, η τιμή του θα ήταν υψηλότερη του κανονικού ντίζελ. Τα επιχειρήματα για την φοροαπαλλαγή ήταν τα ακόλουθα:

- Το βιοντίζελ είναι φυτικό οικολογικό προϊόν.
- Η ενδεχόμενη τοπική παραγωγή του μπορεί να αξιοποιήσει προϊόντα και υποπροϊόντα γεωργικής παραγωγής, συμβάλλοντας στην βελτίωση του γεωργικού εισοδήματος.
- Η επιτυχία του πιλοτικού προγράμματος για τη διάδοση του βιοντίζελ στη Θράκη.
- Η απόφαση της ΕΛΙΝΟΙΑ να επιδοτήσει και η ίδια την τιμή πώλησης του από τα πρατήρια της.
- Όπως δείχνουν τα στοιχεία των πωλήσεων για το 1999 από τον παρακάτω πίνακα, η αποδοχή του βιοντίζελ από το κοινό ήταν ικανοποιητική:

Πρατήριο	Πωλήσεις Βιοντίζελ (lt)	% Συνολικών Πωλήσεων Ντίζελ
Ξάνθη (1)	15300	28
Ξάνθη (2)	28200	53
Κομοτηνή	69000	42
Αλεξανδρούπολη	101000	29
Φέρες	17800	41

**Πίνακας 1: Πωλήσεις βιοντίζελ από τα πρατήρια της ΕΛΙΝΟΙΑ το 1999**

Κατά την διάρκεια του Σεπτεμβρίου 1999, διεξήχθη έρευνα καταναλωτών στα πρατήρια που διέθεσαν βιοντίζελ, προκειμένου να αναδειχθούν οι κύριοι λόγοι προτίμησης του καυσίμου. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν:

- Το 93% όσων αγόρασαν βιοντίζελ χρησιμοποίησαν για πρώτη φορά βιοντίζελ μετά από προτροπή του πρατηριούχου.
- Το 47% χρησιμοποίησαν συστηματικά βιοντίζελ γιατί αντιλήφθηκαν αισθητή μείωση καπνού στα καυσαέρια του οχήματος.
- Το 23% των χρηστών βιοντίζελ διαπίστωσαν καλύτερη λειτουργία της μηχανής.
- Το 42% των χρηστών θεώρησε ότι είχε την δυνατότητα να αγοράσει ένα καλύτερο προϊόν στην ίδια τιμή.

Όσοι προτίμησαν να χρησιμοποιήσουν βιοντίζελ ήταν κυρίως:

- Αγρότες ιδιοκτήτες τρακτέρ και γεωργικών οχημάτων, σε ποσοστό 69%.

- Ιδιοκτήτες πετρελαιοκίνητων οχημάτων (ταξί, φορτηγά, λεωφορεία, σε ποσοστό 44%.
- Ιδιώτες ιδιοκτήτες ΙΧ οχημάτων σε ποσοστό 6%. Το ποσοστό τους είναι μικρό γιατί είναι μικρό το ποσοστό των πετρελαιοκίνητων αυτοκίνητων στην Ελλάδα.

### **2.5.3.2 Διερεύνηση Πιθανών Πρώτων Υλών για Παραγωγή Βιοντίζελ**

Ταυτόχρονα με την εισαγωγή του βιοντίζελ στα πρατήρια πραγματοποιήθηκε από τον Ιούνιο 1999 ως και τον Ιούνιο 2000 μία αρχική διερεύνηση και αξιολόγηση των πρώτων υλών για την παραγωγή βιοντίζελ στην Ελλάδα. Η αναζήτηση των πρώτων υλών στηρίχθηκε στην υιοθέτηση ενός μοντέλου παραγωγής με ανάμειξη πολύ καλών και ακριβών πρώτων υλών (ελαίων) με πρώτες ύλες κατώτερης ποιότητας άρα και φτηνότερες, για την παραγωγή ενός άριστου ποιοτικά προϊόντος σε εφικτή τιμή διάθεσης στην αγορά.

Αναζητήθηκαν πιθανές πρώτες ύλες με δυνατότητα παραγωγής στην Ελλάδα, εφόσον υπάρχει έντονο ενδιαφέρον για τοπική παραγωγή βιοντίζελ. Οι ποσότητες που παρατίθενται αφορούν υπάρχουσες καλλιέργειες και πρώτες ύλες και όχι πρόσθετες καλλιέργειες. Οι πρώτες ύλες που επελέγησαν για παραπέρα διερεύνηση είναι:

- Βαμβακέλαιο
- Καπνέλαιο
- Ηλιέλαιο
- Ντοματέλαιο
- Τηγανισμένα λάδια
- Ζωικά λίπη

Το βαμβακέλαιο υπάρχει σε επαρκείς ποσότητες, πληροί τις προδιαγραφές και η τιμή του επιτρέπει στο παραγόμενο βιοντίζελ να είναι ανταγωνιστικό. Η πιθανή παραγωγή μπορεί να φτάσει στους 80.000 τόνους/έτος με κύριους παραγωγούς τα εκκοκκιστήρια και σπορελελαιουργεία της βόρειας και κεντρικής Ελλάδας.

Το καπνέλαιο αποτελεί λάδι πολύς καλής ποιότητας με πιθανή παραγωγή ως 8.000 τόνους/έτος. Δεν παράγεται προς το παρόν και θα πρέπει να οργανωθεί το δίκτυο συλλογής του.

Το ηλιέλαιο μπορεί να παρέχει 9.000 τόνους/έτος με εντοπισμένη παραγωγή στο νομό Έβρου. Είναι λάδι υψηλής ποιότητας και έχει προς το παρόν υψηλή τιμή, που το καθιστά ασύμφορο για αποκλειστική πρώτη ύλη.

Τα τηγανισμένα έλαια μπορούν να προέρχονται από χώρους μαζικής εστίασης (ξενοδοχεία, εστιατόρια, στρατόπεδα). Από τις μεγάλες αλυσίδες fast food μπορούν να συλλεχθούν ως και 1.000 τόνοι λαδιού συγκεκριμένης σύστασης και ποιότητας.

Το ντοματέλαιο μπορεί να προέλθει από τις σημαντικές βιομηχανίες κονσερβοποιίας ντομάτας με κατάλοιπα φλοιό και σπόρο ντομάτας, που μπορούν να δώσουν καλής ποιότητας λάδι.

## **2.5.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Τα δύο προγράμματα που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους ασχολούνται με τις τεχνικές παραμέτρους που σχετίζονται με τη χρήση βιοντίζελ σε διάφορους τύπους οχημάτων καθώς και με τη διανομή και αγοραστική αποδοχή του νέου καυσίμου. Μπορεί να ειπωθεί με βεβαιότητα ότι από τα εναλλακτικά, ανανεώσιμα υποκατάστατα καυσίμων στον τομέα των μεταφορών, το βιοντίζελ έχει τις περισσότερες πιθανότητες τελικής επιτυχίας.

## **2.6 ΒΙΟΑΕΡΙΟ**

### **2.6.1 Τι είναι το βιοαέριο:**

Το βιοαέριο είναι μια ανανεώσιμη μορφή ενέργειας που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για την παραγωγή θερμότητας, ηλεκτρισμού, εδαφοβελτιωτικών λιπασμάτων, ενώ μετά την επεξεργασία και την αναβάθμισή του μπορεί να διοχετευθεί στο δίκτυο του φυσικού αερίου και να χρησιμοποιηθεί ακόμα και για την κίνηση των αυτοκινήτων.

Η διαφορά του με τα ορυκτά καύσιμα είναι ότι αποτελεί μια "καθαρή" μορφή ενέργειας. Δηλαδή, το συνολικό ισοζύγιο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που παράγεται κατά την καύση του βιοαερίου είναι ισοδύναμο αυτού που απορροφάται κατά την παραγωγή του, άρα δεν επιβαρύνει την ατμόσφαιρα.

Το βιοαέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα και σε ελάχιστες ποσότητες περιέχει άζωτο, υδρογόνο, αμμωνία και υδρόθειο κ.λ.π.

Η σημαντική περιεκτικότητα μεθανίου (40%- 70%) είναι αυτή που το καθιστά κατάλληλο να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας. Το πλεονέκτημα του βιοαερίου είναι ότι παράγεται από τα απορρίμματα και υπάρχει δίπλα μας άφθονο.

### **2.6.2 Οι πηγές βιοαερίου στην Ευρώπη:**

Το 2005, το ευρωπαϊκό βιοαέριο προερχόταν: 1) Κατά 64 % από οικιακά απόβλητα 2) 19% από τα αστικά και βιομηχανικά λύματα 3) 17% από άλλες πηγές: απόβλητα εκτροφής. Η ευρωπαϊκή παραγωγή βιοαερίου ανήλθε σε 5 εκατ. τόνων ισοδυνάμου πετρελαίου(1, 8 στο Ηνωμένο – Βασίλειο, ουσιαστικά με προέλευση από τις χωματερές, 1,6 στη Γερμανία, 0,2 στη Γαλλία)

Το βιοαέριο παράγεται από τις διεργασίες της αναερόβιας χώνευσης των αγροβιομηχανικών απορριμμάτων, της κοπριάς των ζώων και της χώνευσης των λυμάτων και αποβλήτων στις χωματερές, στους ΧΥΤΑ και τους βιολογικούς καθαρισμούς.

Πιο απλά, από τα αέρια που εκλύονται όταν αποσυντίθεται το οργανικό μέρος των αστικών απορριμμάτων, τα αποχετευτικά λύματα, οι κοπριές των ζώων, τα οργανικά βιομηχανικά απόβλητα και από την επεξεργασία τους σε συνδυασμό με ενεργειακά φυτά, δηλαδή αυτά που καλλιεργούνται με σκοπό όχι την τροφή, αλλά την παραγωγή ενέργειας.

### **2.6.3 Παραγωγή θερμότητας:**

Η παραγωγή θερμότητας αποτελεί αναμφισβήτητα την πιο απλή και πιο συχνή χρήση και,

προς το παρόν, τη λιγότερο επιβαρυντική του βιοαερίου διότι δεν απαιτεί ούτε αναγκαστικό καθαρισμό ούτε μεγάλη συμπίεση του βιοαερίου. Το θερμαντικό δυναμικό του βιοαερίου εξαρτάται ασφαλώς από την περιεκτικότητά του σε μεθάνιο. Με το 70% μεθάνιο, το βιοαέριο έχει θερμαντικό δυναμικό 24 Mj /m<sup>3</sup>, λιγότερο από εκείνο του φυσικού αερίου (34 Mj/m<sup>3</sup>) και πολύ κατώτερο από αυτό του προπανίου (85 Mj/m<sup>3</sup>) ή του βουτανίου (110 Mj/m<sup>3</sup>). Το 2005 στη Γαλλία, η θερμική αξιοποίηση του βιοαερίου είχε παράγει 640 GWh, δηλαδή 55000 τον. ισοδύναμου πετρελαίου.

#### **2.6.4 Παραγωγή ηλεκτρισμού:**

Η κατανάλωση του ηλεκτρισμού, η οποία είναι καλύτερα κατανοημένη στη διάρκεια του έτους, διαφεύγει του μειονεκτήματος που μόλις σημειώσαμε σχετικά με την κατανάλωση θερμότητας. Σε αντίθεση, αποτελεί γενικά μια επιβαρυντική λύση εξαιτίας των εξόδων επένδυσης και συντήρησης των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών. Αυτά τα "ζεύγη" αποτελούνται από έναν παραδοσιακό κινητήρα με έμβολα που θέτει σε λειτουργία μια ηλεκτρική γεννήτρια και είναι σχεδόν πανομοιότυπα με τις ομάδες ντίζελ που λειτουργούν με μαζούτ. Παρόλα αυτά το βιοαέριο, σε αντίθεση με το μαζούτ, δεν αυτοαναφλέγεται με την συμπίεση των κυλίνδρων του κινητήρα. Πρέπει επομένως να "αναφλέξουμε" το βιοαέριο ή να αναμειξουμε λίγο μαζούτ στο βιοαέριο. Μπορεί να υπάρξει ακόμη και συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας χρησιμοποιώντας τη θερμότητα των καμένων αερίων. Αυτό είναι αναγκαίο, για να τροφοδοτήσουμε το χωνευτήρα με θερμότητα την οποία χρειάζεται για τη ζύμωση. Το 2005, στην Γαλλία η ηλεκτρική αξιοποίηση του βιοαερίου παράγαγε 460 GWh (από τα οποία περισσότερο από τα τρία τέταρτα προερχόταν από τις χωματερές). Η Μεγάλη Βρετανία και η Γερμανία παράγαγαν εκάστη περίπου 5000 GWh. Στη Γαλλία η νέα διατίμηση εξαγοράς παραγομένου ηλεκτρισμού από βιοαέριο, που αποφασίστηκε το 2006 (7,5-12 λεπτά του ευρώ /KWh) θα ενισχύσει πιθανόν αυτόν τον τομέα.

#### **2.6.5 Η χρήση του ως καύσιμο:**

Σε παγκόσμια κλίμακα περισσότερα από 4 εκατομμύρια αυτοκίνητα κινούνταν το 2005, με συμπιεσμένο μεθάνιο, το οποίο ονομάζεται επίσης φυσικό αέριο για οχήματα (GNV), κυρίως στη Νότιο Αμερική. Στη Γαλλία ωστόσο, μετά από ανάπτυξη που παρατηρήθηκε στο νότιο τμήμα της χώρας τη δεκαετία του 1960 (50000 οχήματα με GNV την εποχή εκείνη), το καύσιμο αυτό.

Όλοι οι συνηθισμένοι κινητήρες με βενζίνη ή ντίζελ μπορούν να μετατραπούν και να λειτουργήσουν πολύ εύκολα με GNV ή βιοαέριο. Μειωμένη αυτονομία αλλά ελάχιστη ρύπανση του αέρα και ελάχιστος θόρυβος κάνουν το βιοαέριο ένα ιδανικό καύσιμο για τις αστικές συγκοινωνίες. Το βιοαέριο χρησιμοποιήθηκε το 2005, στη Γαλλία σε 1600 λεωφορεία και 300 απορριμματοφόρα.

Η Νέα Ζηλανδία, η Ελβετία υπήρξαν από τις πιο δυναμικές χώρες στη χρησιμοποίηση του βιοαερίου ως καυσίμου.

#### **2.6.6 Εφαρμογή στην Ελλάδα:**

Υπάρχει στην Ελλάδα Γερμανικό σχέδιο για την δημιουργία 10 μονάδων Βιοαερίου, οι οποίες θα εγκατασταθούν σε 10 νομούς της Ελλάδας που έχουν επιλεγεί, με ελάχιστη ισχύ τα 20 MWe. Το κάθε πάρκο, σε πλήρη λειτουργία, χρειάζεται ετησίως 60.000 υγρά

κτηνοτροφικά υπολείμματα, και από ενεργειακές καλλιέργειες 350 τόνους Αραβόσιτο και 20.000 τόνους σιτηρά.

Η ηλεκτρική ενέργεια που θα παράγεται ανά έτος ανέρχεται σε 175.200.000 KWh, το παραγόμενο λίπασμα σε 23.000 τον.

Η βασική πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαερίου από την γερμανική εταιρεία, βασίζεται σε παραδοσιακές καλλιέργειες όπως ο ενεργειακός αραβόσιτος και τα σιτηρά. Ο αραβόσιτος και τα σιτηρά με ενσίρωση (Silage) σε αναλογία 65% και 5% μετατρέπονται σε βιομάζα. Έπειτα με προσθήκη κτηνοτροφικών υγρών λυμάτων και νερού σε αναλογίες 10% και 20%, ξεκινάει η αναερόβια ζύμωση για την παραγωγή του βιοαερίου. Η επένδυση αναμένεται να φτάσει το 1 δις. ευρώ, ενώ άμεσα μπορούν να κατασκευαστούν οι πέντε από τις δέκα μονάδες.

## **2.7 Βιο -Μεθανόλη ( BIO-MEOH )**

Η βιο- μεθανόλη μπορεί να παραχθεί από μίγματα σύνθεσης αερίου H<sub>2</sub> και CO μέσω της γνωστής διαδικασίας οξυγονο – αλλοθερμικής αεριοποίησης από βιομάζα, αναδόμηση ατμού από τον ξυλάνθρακα και την επακόλουθη διαδικασία καταλυτικής σύνθεσης του CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub>.

Μπορεί να αποτελέσει μελλοντικό καύσιμο για οχήματα κυψελών καυσίμου, (με μετατροπή σε υδρογόνο πάνω στο όχημα) λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς της σε υδρογόνο.

Προς το παρόν η μεθανόλη παράγεται από φυσικό αέριο (παγκόσμια παραγωγή 27 mισιτ /year) με απόδοση μετατροπής ~55%.

Η Βιο- Μεθανόλη έχει μακροπρόθεσμα την οικονομική δυνατότητα να αντικαταστήσει τη μεθανόλη από φυσικό αέριο

## **2.8 Αλλά είδη βιοκαυσίμων**

**Βιο -ETBE** είναι ο αιθυλο- τριτοταγής- βουτυλαιθέρας (ETBE) που παράγεται από βιοαιθανόλη, για χρήση ως Βιοκαύσιμο. Το κατ' όγκο ποσοστό Βιο-ETBE που υπολογίζεται ως Βιοκαύσιμο είναι 47% επί του συνόλου του.

**Βιο- MTBE** είναι ο μεθυλο- τριτοταγής- βουτυλαιθέρας (MTBE) που παράγεται από μεθανόλη, για χρήση ως Βιοκαύσιμο. Το κατ' όγκο ποσοστό Βιο-MTBE που υπολογίζεται ως Βιοκαύσιμο είναι 36% επί του συνόλου του.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο: Αέρια καύσιμα

## 3.1 Εισαγωγή

Σαν καύσιμο οι πιο διαδεδομένες μορφές αερίου είναι το φυσικό αέριο και το υγραέριο, επειδή σε ένα αυτοκίνητο μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο ένας τύπος αερίου πρέπει να έχουμε αποφασίσει εκ των προτέρων ποιόν τύπο αερίου θα χρησιμοποιήσουμε για να κάνουμε την κατάλληλη μετατροπή.

## 3.2 Τύπος CNG (Compressed Natural Gas)

### 3.2.1 Γενικά

Η τεχνολογία των αυτοκινήτων που κινούνται με φυσικό αέριο είναι αρκετά ώριμη και ασφαλής. Το φυσικό αέριο καίγεται σε κινητήρα τύπου Otto (με σπινθήρα), καθιστώντας δυνατή την εναλλαγή καυσίμου μεταξύ της βενζίνης και του φυσικού αερίου. Τα οχήματα που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο κάνουν λιγότερο θόρυβο από ότι τα πετρελαιοκίνητα.

Έρευνες κάνουν λόγο για *μείωση θορύβου* κατά 1 ντεσιμπέλ κατά την κίνηση, με σταθερή ταχύτητα και 3,3 ντεσιμπέλ, κατά τη διάρκεια της επιτάχυνσης. Κατανοώντας το μέγεθος του θορύβου, αρκεί να επισημάνουμε ότι μια διαφορά τριών ντεσιμπέλ ισοδυναμεί με υποδιπλασιασμό του θορύβου.

Αν και το φυσικό αέριο (CNG), δεν αποτελεί το πιο "καθαρό" καύσιμο από όσα προτείνονται, μπορεί όμως για έναν μεγάλο χρονικό ορίζοντα να επιλύσει προβλήματα ενεργειακά και περιβαλλοντικά. Αυτός είναι ο κύριος λόγος που αποτελεί το βασικό εναλλακτικό καύσιμο, που έχει επιλέξει η Ιταλία, όπου το ποσοστό από τις συνολικές ευρωπαϊκές πωλήσεις αυτοκινήτων CNG, φθάνει το 70%. Μεγάλα ποσοστά αυτοκινήτων που κινούνται με φυσικό αέριο έχει και η Γερμανία (27%), ενώ πολύ πιο πίσω ακολουθούν η Ελβετία (2,5%) και η Μεγάλη Βρετανία, η Γαλλία και η Αυστρία με ποσοστά κάτω της μονάδας.

### 3.2.2 Τιμές:

Για την τιμή του φυσικού αερίου κυρίαρχο ρόλο παίζει το βάρος του. Ένα κιλό φυσικού αερίου κινεί ένα αυτοκίνητο στην ίδια απόσταση όσο θα το κινήσει και 1,5 λίτρο βενζίνης. Λόγω των πολλών αυξομειώσεων στην τιμή της βενζίνης είναι δύσκολη μια ακριβείς σύγκριση, γενικότερα μπορούμε να πούμε ότι: Η κίνηση με φυσικό αέριο κοστίζει 50% φτηνότερα από την κίνηση με βενζίνη.

Ένα θέμα, πάντως, που είναι προς συζήτηση είναι η αποδοτικότητα του κινητήρα με φυσικό αέριο. Μηχανικοί κάνουν λόγο για αρκετά κατάλοιπα κατά την καύση, ενώ η ιπποδύναμη του αυτοκινήτου μειώνεται σε μικρή κλίμακα. Σε αντίθεση με το υγραέριο, που

ο κινητήρας έχει καλύτερη καύση, υπάρχει μακροζωία και ελάχιστη αύξηση της δύναμης για νέες γενιές συστήματα.

### 3.2.3 Λύσεις του μέλλοντος

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

Κυβέλλες καυσίμου, υδρογόνο και γενικότερα εναλλακτικά καύσιμα, ηλεκτρικά αυτοκίνητα, υβριδικά αυτοκίνητα. Ακούγονται όλο και συχνότερα, μπήκαν στη σκέψη μας, μπαίνουν και στη ζωή μας, ειδικά στην περίπτωση των υβριδικών που αυξάνονται και πληθύνονται, βάζοντας σε σκέψεις ακόμα και Έλληνες υποψήφιους αγοραστές. Η “οικολογικοποίηση” του αυτοκινήτου είναι μια διαδικασία σε εξέλιξη και ανεξάρτητα από τα βαθύτερα κίνητρα, κάθε πρότασης που πέφτει στο τραπέζι η αναγκαιότητά της δεν μπορεί να αμφισβητηθεί. Άσχετα από το γεγονός ότι για άλλους αποδεδειγμένα πιο ρυπογόνους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας δεν γίνεται ο ίδιος ντόρος.

Το φυσικό αέριο, ως καύσιμο, μόνο καινούριο δεν είναι. Στον ενεργειακό –αλλά και στον οικιακό- τομέα έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στην Ευρώπη, ενώ και στην Ελλάδα γίνονται κάποια βήματα, αργά είναι αλήθεια. Η χρήση του στη χώρα μας έχει περιοριστεί κατά κύριο λόγο στη βιομηχανία, αλλά και εκεί δεν έχει πάρει την έκταση που μπορούσε και που έπρεπε. Τιμή, οικολογικά χαρακτηριστικά και η διαρκής διαθεσιμότητα που εξασφαλίζει στον καταναλωτή μέσω του δικτύου διανομής το έχουν κάνει ελκυστικό και έχουν αυξήσει το ειδικό του βάρος στο παγκόσμιο ενεργειακό παιχνίδι. Βέβαια στο εξωτερικό υπάρχει και μια άλλη πλευρά της χρήσης και χρησιμότητας του φυσικού αερίου, με αρκετά “πράσινο” χρώμα και η οποία έχει να κάνει με το αυτοκίνητο. Και που παρά την κυκλοφορία αρκετών εκατοντάδων λεωφορείων που καίνε συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG) στην Πρωτεύουσα, παραμένει πρακτικά άγνωστη.



414 λεωφορεία της ΕΘΕΛ κινούνται με φυσικό αέριο

Τα προσόντα...



Πριν πούμε οτιδήποτε για φυσικό αέριο θα πρέπει να κάνουμε το βασικό διαχωρισμό για να μην μπερδευτούμε με το υγραέριο (LPG). Η χρήση του τελευταίου, όπως γνωρίζουμε, ήταν ιδιαίτερα διαδεδομένη στα ταξί και στην Ελλάδα, ενώ αργότερα είχε επιτραπεί (και επιτρέπεται ακόμα) η μετατροπή υπαρχόντων επιβατικών αυτοκινήτων ώστε να καίνε υγραέριο. Ωστόσο στην περίπτωση του υγραερίου τα οφέλη από τη χρήση του ήταν και είναι κατά κύριο λόγο οικονομικά και κατά δεύτερο οικολογικά. Όσο οικολογικό μπορεί να χαρακτηριστεί το υγραέριο με βάση τα συν και πλην των καυσαερίων του, που τελικά μπορεί και να αφήνουν κάποιο θετικό αποτέλεσμα, ανάλογα με την περίπτωση. Η χρήση λοιπόν γενικότερα των αερίων καυσίμων, δεν είναι κάτι καινούριο. Ωστόσο το φυσικό αέριο αποτελεί ένα καινούριο κεφάλαιο στο έργο που λέγεται αυτοκίνητο.



**Η οικονομική υπεροχή του φυσικού αερίου: Χιλιόμετρα που μπορεί να διανύσει κανείς με καύσιμο αξίας 10 ευρώ στην Ιταλία, με τρία διαφορετικά αυτοκίνητα (Fiat Punto, Doblo και Multipla), ανάλογα με τον τύπο καυσίμου που μπορούν να χρησιμοποιήσουν (Benzina=Βενζίνη - Metano =Φυσικό Αέριο, Diesel = πετρέλαιο).**

Το φυσικό αέριο υπάρχει σε μεγάλες ποσότητες στο στερεό φλοιό της γης. Αποτελείται στο μεγαλύτερο ποσοστό του από μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ), σε ποσοστό 92%. Ακολουθούν το αιθάνιο  $\text{C}_2\text{H}_6$  (1%), βουτάνιο  $\text{C}_3\text{H}_8$  (0,2%), άζωτο  $\text{N}_2$  (5%) και διοξείδιο του άνθρακα  $\text{CO}_2$  (1%). Βέβαια, η σύσταση του φυσικού αερίου μπορεί να διαφοροποιείται ελαφρά ανάλογα με την προέλευσή του.

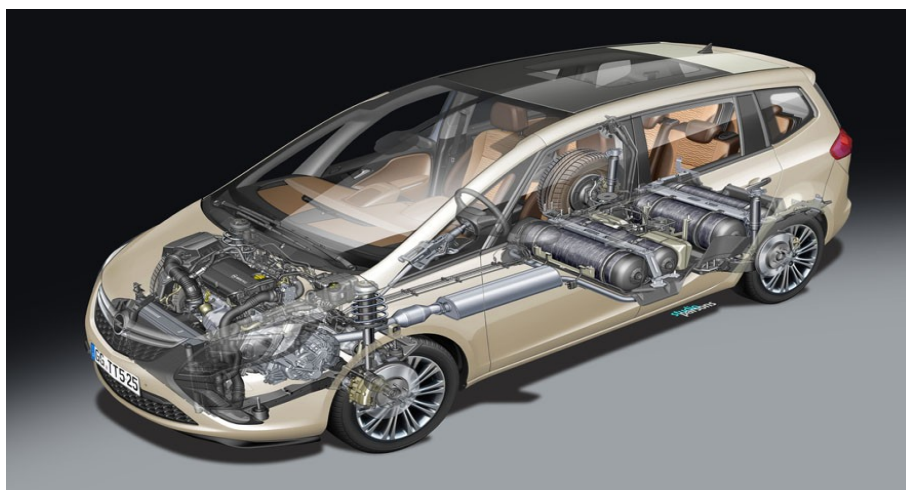
Το φυσικό αέριο λοιπόν έχει ως κύριο συστατικό το μεθάνιο, ενώ το υγραέριο είναι μείγμα προπανίου και βουτανίου, σε διάφορες αναλογίες. Εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητας του μεθανίου σε υδρογόνο, το φυσικό αέριο αποτελεί ένα υψηλής ποιότητας καύσιμο για Μηχανές Εσωτερικής Καύσης. Η θερμογόνο δύναμη του φυσικού αερίου η ενέργεια δηλαδή που παράγεται κατά την καύση του ανά μονάδα μάζας, ξεπερνά αυτήν όλων των υπόλοιπων υδρογονανθράκων. Ωστόσο τα πράγματα δεν είναι τόσο ευχάριστα από την άποψη της ενεργειακής πυκνότητας, γιατί ο όγκος που καταλαμβάνει η μάζα αυτή του φυσικού αερίου είναι πολλαπλάσια από αυτή της βενζίνης.



**Mercedes E200 NGT. Όπως συμβαίνει συνήθως σε αυτές τις περιπτώσεις πρόκειται για αυτοκίνητο διπλού καυσίμου. Οι δεξαμενές φυσικού αερίου βρίσκονται στο πορτ-μπαγκάζ**

Από τεχνική σκοπιά λοιπόν, το κύριο μειονέκτημα της χρήσης του φυσικού αερίου στο χώρο των μεταφορών είναι ότι για αποκτήσει ένα αυτοκίνητο φυσικού αερίου αυτονομία αντίστοιχη με αυτήν ενός βενζινοκίνητου ή ενός diesel, χρειάζεται ρεζερβουάρ πολλαπλάσιο σε όγκο από αυτό της βενζίνης. Αυτό προκύπτει λόγω της δυσκολίας (πρακτικά αδυναμίας) υγροποίησης του φυσικού αερίου, για την οποία η κρίσιμη θερμοκρασία είναι οι  $-162^{\circ}\text{C}$ . Αναγκαστικά οδηγούμαστε έτσι σε αποθήκευσή του στο αυτοκίνητο σε αέρια μορφή, σε ειδικές φιάλες υψηλής πίεσης οι οποίες κατασκευάζονται από υπερανθεκτικά υλικά και τοποθετούνται στα οχήματα, με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος ρήξης τους ακόμα και στις πιο σφοδρές συγκρούσεις. Το φυσικό αέριο *αποθηκεύεται* στις φιάλες του οχήματος υπό υψηλή πίεση (250 bar), γι' αυτό και αποκαλείται «Συμπιεσμένο Φυσικό Αέριο» (Compressed Natural Gas ή CNG).

Με τον τρόπο αυτό το αυτοκίνητο αποκτά ικανοποιητική αυτονομία. Η περιορισμένη δυνατότητα αποθήκευσης στο αυτοκίνητο, οδήγησε στην εμφάνιση αυτοκινήτων διπλού καυσίμου (bi-fuel), που μπορούν εναλλακτικά να κάψουν και βενζίνη.



**Το Zafira Tourer 1.6 CNG (Compressed Natural Gas) Turbo ecoFLEX διαθέτει ισχύ 110 kW/150 hp, καταναλώνει 4,7 kg (7.2 m<sup>3</sup>) φυσικού αερίου ανά 100 km (μικτός κύκλος), πληροί τις προδιαγραφές Euro 5 και μπορεί να αναπτύξει ταχύτητα 200 km/h. Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> περιορίζονται στα 129 g/km. Η αυτονομία με φυσικό αέριο φτάνει τα 530 km. Οι**

χωρητικότητας 25 κιλών «μπουκάλες» είναι κατασκευασμένες από προηγμένο συνθετικό υλικό από ανθρακονήματα, που είναι πολύ ελαφρύτερο από το χάλυβα που χρησιμοποιείται συνήθως σε αυτές τις περιπτώσεις, γεγονός που επέτρεψε τη μείωση βάρους κατά 85 kg. Από το 2001 που λανσάρισε το πρώτο όχημα φυσικού αερίου, η Opel έχει πουλήσει πάνω από 70.000 αυτοκίνητα CNG σε όλη την Ευρώπη, μεταξύ των οποίων Zafira, Astra Caravan και Combo.

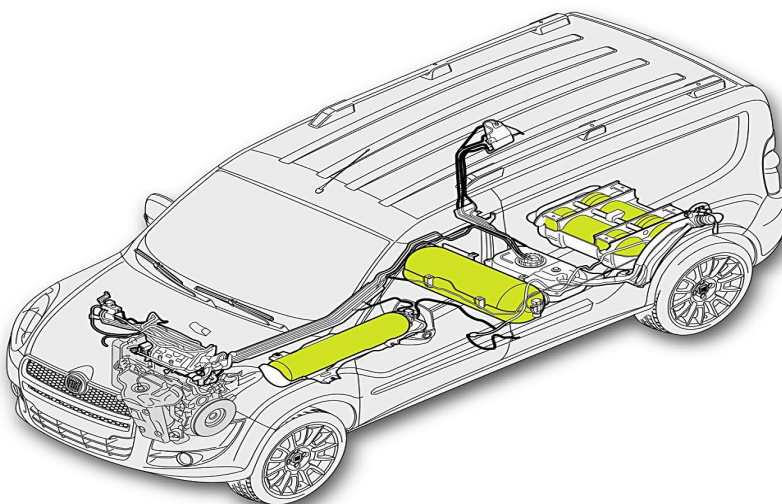
Επιπλέον, το φυσικό αέριο χαρακτηρίζεται από υψηλό αριθμό οκτανίου, με συνέπεια να μπορεί να καίγεται σε βενζινοκινητήρες με υψηλή σχέση συμπίεσης, χωρίς κίνδυνο να εμφανιστεί προανάφλεξη (να έχουμε δηλαδή τα λεγόμενα «πειράκια») που μπορεί να προκαλέσει ζημιά στον κινητήρα. Η λειτουργία με υψηλότερη σχέση συμπίεσης σημαίνει πιο αποδοτική εκμετάλλευση του καυσίμου.

Από την πλευρά των εκπομπών καυσαερίων τώρα, βλέπουμε ότι οι εκπομπές CO<sub>2</sub> των αυτοκινήτων που καίνε φυσικό αέριο είναι σημαντικά χαμηλότερες των βενζινοκίνητων, λόγω της υψηλής αναλογίας υδρογόνου ανά άνθρακα (H/C) του καυσίμου. Ενώ οι εκπομπές άκαυστων υδρογονανθράκων των κινητήρων φυσικού αερίου αποτελούνται κατά 90% από μεθάνιο, που είναι σχετικά «αθώο», αλλά από την άλλη μεριά είναι από τα αέρια που συμβάλλουν στη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου.

### 3.2.4 Στην πράξη

Σήμερα στην Ευρώπη κυκλοφορούν περίπου 450.000 αυτοκίνητα που καίνε φυσικό αέριο, γεγονός που δεν είναι άσχετο και από τα οικονομικά κίνητρα που έχουν δοθεί.

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



Το νέο Fiat Doblo Natural Power διαθέτει υπερτροφοδοτούμενο κινητήρα 1.4 T-Jet, 1.368 κ.εκ./120 ίππων που μπορεί να λειτουργήσει τόσο με φυσικό αέριο όσο και με βενζίνη. Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> περιορίζονται σε 134 g/km και η κατανάλωση σε 4,9 κιλά φυσικού αερίου ανά 100 χιλιόμετρα (τυποποιημένη - συνδυασμένος κύκλος). Οι τέσσερις, τοποθετημένες κάτω από το πάτωμα, «μπουκάλες» CNG έχουν χωρητικότητα 16 κιλών. Έτσι, το Doblo Natural Power

μπορεί να διανύσει συνολικά 325 χλμ. με το φυσικό αέριο και άλλα 300 αν αξιοποιηθεί και η βενζίνη (ρεζερβουάρ 22 λίτρων), οπότε η συνολική αυτονομία ανεβαίνει στα 625 χιλιόμετρα. Η κατανάλωση με βενζίνη φτάνει τα 7,9 λίτρα/100 χλμ. (0-100 χλμ./ώρα σε 12,3 δευτερόλεπτα, τελική ταχύτητα: 172 km/h)

Αυτοκίνητα φυσικού αερίου βρίσκουμε πλέον και στον επίσημο τιμοκατάλογο των αντιπροσωπειών αυτοκινήτων της χώρας. Μπορεί κανείς για παράδειγμα να παραγγείλει και στην Ελλάδα ένα Volkswagen Passat Ecofuel.

Ο ανεφοδιασμός είναι ένα μικρό πρόβλημα, καθώς το μοναδικό πρατήριο όπου μπορεί κανείς να «φουλάρει» με φυσικό αέριο είναι αυτό της ΔΕΠΑ, στην Ανθούσα Αττικής, όπου ανεφοδιάζεται καθημερινά και ο στόλος των λεωφορείων της ΕΘΕΛ. Το κόστος όμως του καυσίμου αυτού (1,12 ευρώ/κilo) είναι ασύγκριτα χαμηλότερο από το κόστος της βενζίνης (άνω του 1,80 ευρώ/λίτρο πλέον) με αποτέλεσμα το κόστος κίνησης να είναι μικρότερο από το μισό του κόστους κίνησης με βενζίνη. Για παράδειγμα, με το Passat 1.4 Ecofuel κάθε χιλιόμετρο στον αυτοκινητόδρομο κοστίζει 6 λεπτά όταν με το ίδιο ή αντίστοιχο αυτοκίνητο που κινείται με βενζίνη θα πλήρωνες παραπάνω από 14 λεπτά το χιλιόμετρο.



**Το VW Passat 1.4 TSI Ecofuel διαθέτει τρεις μπουκάλες για 22 κιλά φυσικού αερίου (συνολ. 130 λίτρα) κάτω από το πάτωμα, που δίνουν θεωρητική αυτονομία 480 χιλιομέτρων. Κινείται όμως χωρίς πρόβλημα και με βενζίνη, αφού διαθέτει ρεζερβουάρ 31 λίτρων που δίνουν θεωρητική αυτονομία 460 χιλιομέτρων.**

Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και στη Γερμανία, όπου υπάρχουν φορολογικές ελαφρύνσεις και υπολογίζεται ότι το χιλιομετρικό κόστος του φυσικού αερίου είναι επίσης κάτω από το 50% του αντίστοιχου της βενζίνης. Στις ΗΠΑ η τιμή του CNG στο πρατήριο είναι 30% χαμηλότερη από της βενζίνης, ενώ υπάρχουν «κιτ» με συμπιεστή για γέμισμα από το οικιακό δίκτυο (Phill), όπου η τιμή του αερίου καταλήγει να είναι το μισό της τιμής της βενζίνης.

Σημειώνουμε ότι για την καλύτερη εκμετάλλευση των δυνατοτήτων του φυσικού αερίου για χρήση στις μηχανές εσωτερικής καύσης, οι αυτοκινητοβιομηχανίες εξελίσσουν πρωτότυπα TNG (Turbo Natural Gas), δηλαδή αυτοκίνητα με υπερφοδοτούμενους κινητήρες φυσικού αερίου.



Φορτηγό φυσικού αερίου. Εδώ οι μπουκάλες τοποθετούνται σε ειδικά πλαίσια, αναρτημένα στο σασί.

### **3.2.5 Συμπερασματικά**

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



Στην Ελβετία, το 2008, κυκλοφορούσαν ήδη 5800 αυτοκίνητα που κινούνταν με συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG) και είχε δημιουργηθεί ήδη σημαντική υποδομή για τη διανομή του καυσίμου αυτού. Υπάρχουν πολλά πρατήρια σε όλη τη χώρα, ενώ 11 εταιρίες διαθέτουν στην αγορά 25 διαφορετικά μοντέλα που κινούνται με CNG, συμπεριλαμβανομένων 2 βαρέων φορτηγών και 2 λεωφορείων.

Η θερμογόνος δύναμη (ενεργειακή πυκνότητα) κατά όγκο του φυσικού αερίου (μεθανίου) είναι αυτή που επιβάλλει τις δεξαμενές (μπουκάλες) υψηλής πίεσης, οι οποίες αναγκαστικά αυξάνουν το βάρος, αλλά ταυτόχρονα προσδίδουν και ικανοποιητική αυτονομία.

## ΠΙΝΑΚΑΣ

### ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΟΤΕΡΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

	Diesel	Βενζίνη	Υδρογόνο	Μεθανόλη	Μεθάνιο	Προπάνιο
Θερμοκρασία βρασμού (°C)	180-360	25-215	-253	65	-161	-41
Ενεργειακή πυκνότητα (MJ/l)*	33,2	31,4	8,5	16	21,1	26,9
Ενεργ. πυκνότητα (MJ/kg)	42,5	42,7	120	19,7	50	46,4
Θερμοκρασία ανάφλεξης (°C)	220	240	560	455	595	470
Εύρος ανάφλεξης (αέρας %)**	0,6-6,5	0,6-8	4-76	6-44	5-15	2,1-9,5
Μin ενέργεια ανάφλεξης (mJ)	0,3	0,24	0,02	0,14	0,28	0,24
*κατά όγκο, **κατά μάζα						

### 3.3 Τύπος LPG (Liquefied petroleum gas)

#### 3.3.1 Τι είναι το υγραέριο;

Το LPG ουσιαστικά δεν είναι παρά αέριοι υδρογονάνθρακες και, για την ακρίβεια, ένα μείγμα προπανίου ( $C_3H_8$ ) και βουτανίου ( $C_4H_{10}$ ), το οποίο σε αρκετές χώρες χρησιμοποιείται ήδη από το 1940. Στην Ιταλία, για παράδειγμα, περίπου 1.000.000 αυτοκίνητα καίνε υγραέριο. Στην πράξη το υγραέριο είναι ένα εναλλακτικό καύσιμο 109-116 οκτανίων, κάτι που εξαρτάται από την ποσοστιαία αναλογία του προπανίου στο μείγμα, η οποία στο υγραέριο που συνήθως χρησιμοποιείται στα αυτοκίνητα είναι της τάξης του 60%. Ο έτσι κι αλλιώς μεγαλύτερος αριθμός οκτανίων, όμως, σημαίνει μεγαλύτερη δύναμη; Δυστυχώς, δεν είναι τόσο εύκολες οι απαντήσεις. Το LPG έχει μεγαλύτερη θερμοδυναμική απόδοση ανά 1.000 γρ., αλλά μικρότερη αν το υπολογίσεις ανά όγκο ανά λίτρο, γιατί απλώς έχει μικρότερη πυκνότητα από τη βενζίνη. Σε ό,τι αφορά τη χρήση του στα αυτοκίνητα, ο όγκος είναι αυτός που έχει σημασία, γιατί απλούστατα ο χώρος καύσης δε γεμίζει με το κιλό! Για να το κάνουμε απλό, τα παραπάνω οκτάνια του LPG είναι κρίσιμα και καθοριστικά, όσο πιο πολλή συμπίεση έχει ένας κινητήρας, αφού το LPG είναι δυνατόν να συμπιεστεί ακόμα και σε κινητήρες που λειτουργούν με σχέση 12:1. Επομένως, ένας συμβατικός ατμοσφαιρικός κινητήρας με συμπίεση 9:1 θα αποδίδει λιγότερο σε λειτουργία LPG από ό,τι, για παράδειγμα, ένας κινητήρας άμεσου ψεκασμού, που συνήθως λειτουργεί με μεγαλύτερη αναλογία συμπίεσης, ή σε σχέση με υπερτροφοδοτούμενους κινητήρες, όπου η υπερπλήρωση αντικαθιστά την αυξημένη συμπίεση.

#### ΠΙΝΑΚΑΣ

##### ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΟΤΕΡΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

Τύπος καυσίμου	MJ/L*	MJ/kg	Οκτάνια
Βενζίνη	32	44,4	91
LPG (60% προπάνιο + 40% βουτάνιο)	26,8	46	108
Αιθανόλη	23,5	31,1	129
Μεθανόλη	17,9	19,9	123
Diesel(**)	38,6	45,4	25
*Μεγατζάουλ/λίτρο                      **Αριθμός κετανίων			

### 3.3.2 Μετατροπή αυτοκινήτου από βενζίνη σε υγραέριο

Η μετατροπή ενός αυτοκινήτου για να λειτουργεί με υγραέριο είναι μια αρκετά απλή διαδικασία και όχι ιδιαίτερα δαπανηρή. Τα κιτ μετατροπής που διατίθενται στην αγορά είναι αρκετά εξελιγμένα και εκμεταλλεύονται την τελευταία τεχνολογία ελέγχου εκπομπής καυσαερίων που χρησιμοποιείται στα σύγχρονα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα. Όλα τα κιτ περιλαμβάνουν μια φιάλη αποθήκευσης που συνήθως τοποθετείται στο χώρο αποσκευών (ΕΙΚΟΝΑ: 2.1).

Η τελευταία τεχνική είναι η χρήση μιας δακτυλιοειδούς δεξαμενής στο χώρο της ρεζέρβας (ΕΙΚΟΝΑ: 2.2 ΚΑΙ 2.3).



(ΕΙΚΟΝΑ: 2.1)



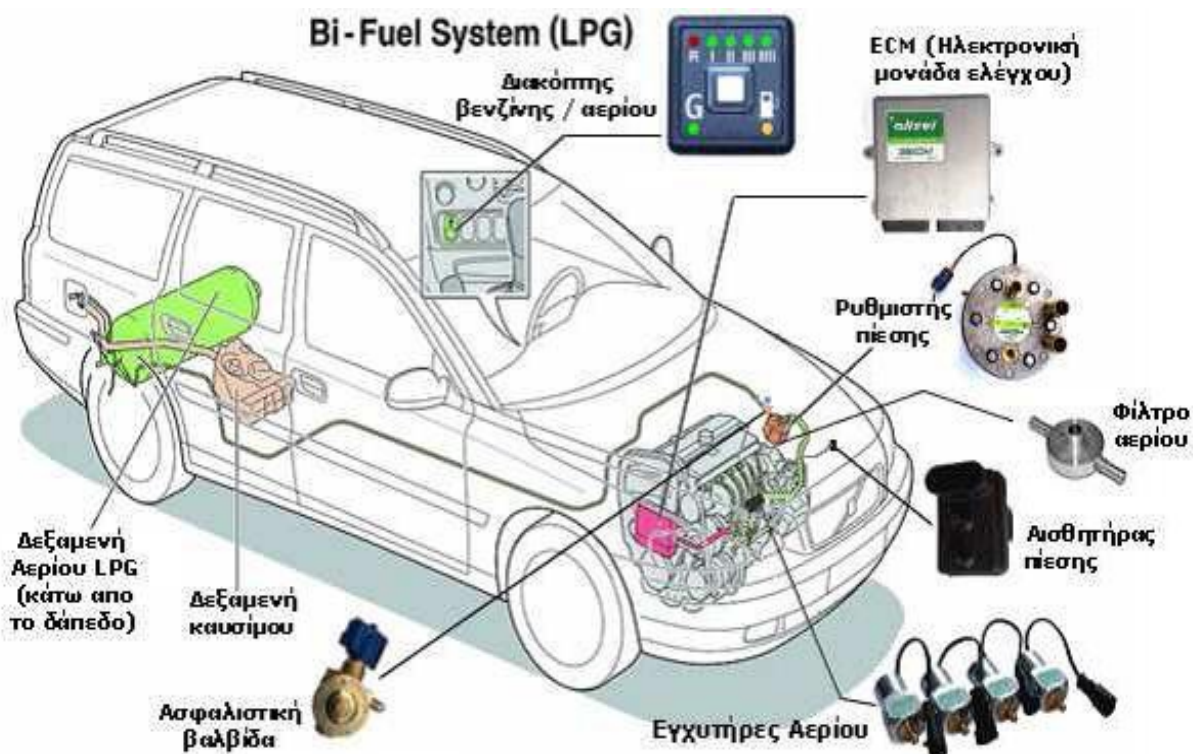
(ΕΙΚΟΝΑ: 2.2)



(ΕΙΚΟΝΑ: 2.3)

Το υγραέριο διοχετεύεται μέσω ενός σωλήνα, σε υγρή κατάσταση, στο χώρο του κινητήρα. Στη συνέχεια, μετατρέπεται σε αέριο από μια μονάδα μετατροπής και διοχετεύεται ελεγχόμενα από το σύστημα διανομής εισόδου. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μιας μονάδας μίξης αερίου αμέσως πριν από τη βαλβίδα ρύθμισης της ροής του καυσίμου ή με μονάδες ψεκασμού που προσαρμόζονται κατευθείαν στο σύστημα διανομής. Όταν χρησιμοποιείται το υγραέριο, οι μονάδες ψεκασμού της βενζίνης δεν λειτουργούν. Στον πίνακα του αυτοκινήτου υπάρχει πάντοτε ένας διακόπτης που επιτρέπει τη χρήση οποιουδήποτε από τους δύο τύπους καυσίμου. Όλα τα αυτοκίνητα που διατίθενται αυτή τη στιγμή έχουν δυνατότητα χρήσης και βενζίνης και υγραερίου, με ένα διακόπτη για την επιλογή του καυσίμου που θέλετε να χρησιμοποιήσετε κάθε φορά. Η αλλαγή του καυσίμου μπορεί να γίνει και κατά την οδήγηση, σχεδόν χωρίς να γίνεται αντιληπτή. Τα πιο σύγχρονα συστήματα διοχετεύουν το αέριο σε υγρή κατάσταση στο σύστημα διανομής, με τον ίδιο τρόπο που αυτό γίνεται στα συστήματα με βενζίνη (ΕΙΚΟΝΑ: 2.4).





(ΕΙΚΟΝΑ:2.4) Σχεδιάγραμμα εγκατάστασης υγραερίου (LPG) σε αυτοκίνητο Volvo S60. Το σχήμα, το μέγεθος και η θέση της ειδικής δεξαμενής (εδώ πρόκειται για μπουκάλια - σημειώνεται με πράσινο χρώμα) εξαρτάται από τις ιδιαιτερότητες του μοντέλου.

Ο ανεφοδιασμός με υγραέριο δεν διαρκεί παραπάνω από τον ανεφοδιασμό με βενζίνη. Η πίεση στην αντλία, κατά τη διάρκειά του, αγγίζει τα 10 bar, ενώ μέσα στο ρεζερβουάρ του αυτοκινήτου η πίεση είναι 5 bar, ώστε το υγραέριο να παραμένει σε υγρή μορφή.

Αν ανατρέξετε στη σχετική βιβλιογραφία δεν θα δυσκολευτείτε να ανακαλύψετε ότι τα αυτοκίνητα που λειτουργούν με υγραέριο εκπέμπουν κατά 10-20% λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Χαμηλότερες είναι επίσης και οι εκπομπές των υπολοίπων ρύπων, ιδιαίτερα των αρωματικών υδρογονανθράκων (μείωση έως 30%), των οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>) κατά 40%, ενώ το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) μειώνεται έως και κατά 50%. Τα ποσοστά που δίνουν οι διάφορες μελέτες ποικίλουν, αλλά δεν υπάρχει καμία αμφιβολία ότι το υγραέριο σε σύγκριση με τη βενζίνη είναι αισθητά πιο «καθαρό». Επίσης, σε σύγκριση με τους κινητήρες diesel, ακόμα και τους πιο σύγχρονους, οι κινητήρες που καίνε υγραέριο έχουν το μεγάλο προσόν ότι εκπέμπουν λιγότερα σωματίδια άνθρακα.

Ο οδηγός μπορεί ανά πάσα στιγμή να επιλέξει αν θέλει να κινηθεί με βενζίνη ή υγραέριο, με το πάτημα ενός κουμπιού στο ταμπλό (ΕΙΚΟΝΑ:2.5).



(ΕΙΚΟΝΑ: 2.5)

Σε περίπτωση, όμως που ένα από τα δύο καύσιμα τελειώσει, το πέρασμα από το ένα καύσιμο στο άλλο γίνεται αυτόματα. Η δυνατότητα λειτουργίας είτε με ένα καύσιμο είτε με το άλλο, προσφέρει, εκτός των άλλων και αυξημένη αυτονομία, αφού ένα μέσο αυτοκίνητο μπορεί να κινηθεί με βενζίνη για τουλάχιστον 400 χιλιόμετρα και στη συνέχεια για άλλα 250 χλμ. καίγοντας υγραέριο. Κατά τη λειτουργία με υγραέριο μπορεί να υπάρχει μία πολύ μικρή μείωση της απόδοσης (μειώνεται η μέγιστη ισχύς) αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις αυτή ποσοστιαία είναι πολύ μικρή και δεν γίνεται καν αντιληπτή. Σημειώστε ότι η κατανάλωση (σε λίτρα ανά 100 χιλιόμετρα) κατά τη λειτουργία με υγραέριο είναι μεγαλύτερη, καθώς η περιεκτικότητά του σε ενέργεια (ανά μονάδα όγκου) είναι μικρότερη από της βενζίνης.

Συμπληρωματικό όφελος για τον κάτοχο ενός αυτοκινήτου που καίει υγραέριο είναι το ότι η καύση του LPG δεν αφήνει κατάλοιπα στους κυλίνδρους του κινητήρα, γεγονός που επιδρά θετικά στη διάρκεια ζωής του (το λάδι λίπανσης της μηχανής μένει σχεδόν ανέπαφο από αλλαγή-σε αλλαγή, διατηρώντας σε μεγάλο βαθμό τις αρχικές του λιπαντικές ιδιότητες).

### **3.3.3 Πλεονεκτήματα και ασφάλεια υγραερίου ως καύσιμο στα αυτοκίνητα**

- Ένα πλεονέκτημα που έχουν τα αέρια καύσιμα ως προς την βενζίνη, είναι ο μεγάλος αριθμός οκτανίων που διαθέτουν και έτσι δεν έχουν ανάγκη από πρόσθεση ειδικών πρόσθετων. Η αντοχή του υγραερίου στην κρουστική καύση επιτρέπει την αύξηση της σχέσης συμπίεσης του κινητήρα έως και 12:1.

- Αποφυγή διάβρωσης που προκαλούν τα πρόσθετα για την καλυτέρευση των χαρακτηριστικών της βενζίνης.

•Επίσης η χρήση υγραερίου προκαλεί μικρότερη ρύπανση των λιπαντικών ,γιατί το υγραέριο δεν διαλύεται σ' αυτά.

•Τέλεια καύση χωρίς καπνό, ένεκα της οποίας δεν παραμένουν επικαλύψεις απανθράκωσης ή άλλης φύσης στους θαλάμους καύσης.

•Η χρήση υγραερίου επιτρέπει μια τέλεια και ολοκληρωμένη ανάμιξη με τον αέρα, γιατί πρόκειται περί ανάμιξης δύο αερίων, αέρα και υγραερίου και όχι ενός αερίου και ενός υγρού, όπως αέρα και βενζίνης, που στις χαμηλές θερμοκρασίες παρουσιάζει δυσκολίες.

•Τα καυσαερίά του περιέχουν περίπου 60% λιγότερο CO και 50% λιγότερους άκαυστους HC ενώ αντίθετα οι εκπομπές NOx είναι αυξημένες λόγω των υψηλότερων πιέσεων και θερμοκρασιών που αναπτύσσονται κατά την καύση .

•Η τιμή του είναι πολύ φθηνότερη από αυτή της βενζίνης .

•Τα οχήματα που χρησιμοποιούν υγραέριο έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής .

•Παρέχει μεγαλύτερη ασφάλεια από τη συμβατική βενζίνη επειδή:

1.Η πίεση στο εσωτερικό της δεξαμενής και η απουσία οξυγόνου αποκλείουν την πιθανότητα έκρηξης, κάτι που μπορεί να συμβεί στα ρεζερβουάρ των υγρών καυσίμων σε περίπτωση πυρκαγιάς .

2.Σε πιθανή διαρροή το αέριο διαχέεται στο περιβάλλον και δεν συγκεντρώνεται στο γύρω χώρο όπως τα υγρά καύσιμα .

3.Η εγκατάσταση δεν επικοινωνεί με το εσωτερικό του οχήματος

4.Οι δεξαμενές και οι συσκευές που τοποθετούνται στα αυτοκίνητα δοκιμάζονται σε υψηλές πιέσεις, είναι πιστοποιημένες και σύμφωνες με τα αυστηρότερα standards .

5.Το σύστημα καύσης προστατεύεται από κατάλληλες βαλβίδες (αντεπιστροφής, υπερβολικής ροής, μέγιστης στάθμης, ασφαλείας)

**Το υγραέριο (LPG) είναι καύσιμο φιλικό προς το περιβάλλον, γι' αυτό συχνά ονομάζεται “πράσινο καύσιμο”.** Οι εκπομπές ρύπων ενός κινητήρα με υγραέριο είναι μειωμένες σε σχέση με τη βενζίνη:

- Μειωμένη παραγωγή CO<sub>2</sub> τουλάχιστον κατά 14%
- Μέχρι και 68% μικρότερη εκπομπή σε μονοξειδία του αζώτου (Nox) και 40% σε υδρογονάνθρακες
- Πρακτικά μηδενική παραγωγή αιωρούμενων σωματιδίων κατά την κίνηση στην πόλη
- Το υγραέριο δεν περιέχει βενζένιο και μόλυβδο, δύο από τα πιο επιβλαβή συστατικά άλλων καυσίμων

### **3.3.4 Η ασφάλεια του συστήματος εξασφαλίζεται μέσα από τα διάφορα εξαρτήματα που περιγράφηκαν παραπάνω, και τα οποία ενεργοποιούνται όταν παρουσιαστεί κάποιο πρόβλημα στο σύστημα**

- Σύστημα αυτόματου γεμίματος που διακόπτει την τροφοδοσία, όταν η δεξαμενή φτάσει το 80% της πληρότητάς της.
- Σύστημα διακοπής της παροχής καυσίμου μόλις σβήσει ο κινητήρας.
- Δείκτης στάθμης υγραερίου στον πίνακα οργάνων.
- Βαλβίδα εκτόνωσης για αποφυγή έκρηξης σε περίπτωση που για οποιονδήποτε λόγο αυξηθεί πολύ η εξωτερική θερμοκρασία.
- Οι δεξαμενές υγραερίου, σύμφωνα με Crash Tests, αντέχουν σε μεγαλύτερες παραμορφώσεις από αυτές που υφίσταται ένα όχημα κατά την διάρκεια ακόμα και της πιο δυνατής σύγκρουσης.
- Διαθέτουν, επιπλέον, ειδική βαλβίδα ανακούφισης της πίεσης που δεν επιτρέπει την διάρρηξη της δεξαμενής.
- Τέλος έχουν ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα διακοπής παροχής καυσίμου σε περίπτωση απώλειας πίεσης ή έλλειψής του. Τα βενζινοκίνητα οχήματα ΔΕΝ διαθέτουν τέτοιου είδους αυτοματισμό. Όσοι είχαν την ατυχία να εμπλακούν σε κάποιο τροχαίο ατύχημα θα θυμούνται σίγουρα την αγωνία να βγουν γρήγορα από το όχημα και να διακόψουν την παροχή καυσίμου και ηλεκτρισμού ώστε να αποφύγουν έκρηξη σε βενζινοκίνητο αυτοκίνητο.

### **3.3.5 Το κέρδος σε ευρώ**

ΠΙΝΑΚΑΣ: Ετήσιο όφελος από τη χρήση υγραερίου.

Ετήσιο όφελος από τη χρήση υγραερίου		
<i>Κυβισμός</i>	<i>Κατανάλωση Βενζίνης</i>	<i>Όφελος (€) στα 15.000 km</i>
<i>1.400 – 1.600</i>	<i>7,5</i>	<i>720 έως 816</i>
<i>1.600 – 2.000</i>	<i>10</i>	<i>960 έως 1088</i>
<i>2.000 – 3.000</i>	<i>12,5</i>	<i>1200 έως 1360</i>
<i>άνω των 3.000</i>	<i>15</i>	<i>1440 έως 1632</i>

Ο συσχετισμός κυβισμού – κατανάλωσης είναι ενδεικτικός και ποικίλει ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται στον κινητήρα κάθε μοντέλου.

Αν θεωρήσουμε ότι ένα μέσο αυτοκίνητο καταναλώνει 10 λίτρα βενζίνης ανά 100 χιλιόμετρα τότε, τα 100 χιλιόμετρα κοστίζουν  $100 \times 1,754 = 17,54$  ευρώ και το κόστος κίνησης φτάνει τα 0,175 €/km. Με την τιμή του υγραερίου (LPG) να κυμαίνεται στα 0,857 ευρώ και λαμβάνοντας υπόψη ότι η κατανάλωση σε λίτρα κατά την κίνηση με LPG είναι κατά 20-30% αυξημένη (δηλαδή στη χειρότερη περίπτωση 13 λίτρα/100 km) προκύπτει ότι τα 100 χιλιόμετρα κοστίζουν  $13 \times 0,857 = 11,141$  ευρώ και το κόστος κίνησης περιορίζεται στα 0,111 €/km, υπάρχει δηλαδή διαφορά 0,064 €/km. Με δεδομένο ότι ο μέσος οδηγός στην Ελλάδα καλύπτει περίπου 15.000 το χρόνο το ετήσιο όφελος που προκύπτει είναι της τάξης των  $15.000 \times 0,064 = 960$  ευρώ. Το όφελος αυτό είναι τόσο μεγαλύτερο όσο μεγαλύτερη είναι η κατανάλωση σε βενζίνη, δηλαδή – κατά κανόνα – όσο μεγαλύτερος είναι ο κυβισμός του αυτοκινήτου. Κατά συνέπεια η απόσβεση του κόστους της εγκατάστασης μπορεί να έρθει ακόμα και σε ένα χρόνο. Από κει και μετά ο ιδιοκτήτης του αυτοκινήτου έχει πλέον – κάθε χρόνο – καθαρό κέρδος της τάξης των 1.000 ευρώ.

### **3.3.6 Ποια είναι η νομοθεσία στη χώρας μας;**

Η υγραεριοκίνηση στην Ελλάδα επιτρέπεται από το 1999, σύμφωνα με το άρ. 45 του Ν. 2773/1999, που δημοσιεύθηκε στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως στις 22-12-1999 και επιτρέπει την υγραεριοκίνηση όλων ανεξαιρέτως των οχημάτων ΙΧ, ΔΧ, ταξί κτλ. Τις τεχνικές προδιαγραφές και τους όρους κάτω από τους οποίους επιτρέπεται η υγραεριοκίνηση αυτοκινήτων οχημάτων αλλά και τις προϋποθέσεις και τους όρους ελέγχου και ασφαλούς κυκλοφορίας των υγραεριοκίνητων οχημάτων καθορίζει η υπουργική απόφαση 18586/698 της 29ης Μαρτίου 2000 και υπογράφεται από τον τότε υπουργό Μεταφορών, Τάσο Μαντέλη. Είναι διπλά επίκαιρη, εν ολίγοις... Από αυτές τις προϋποθέσεις ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι το βάρος από το νόμο δίνεται στην ασφάλεια. Μεταξύ άλλων, ουσιαστική αλλά και πρακτική σημασία έχει ότι: Η δεξαμενή υγραερίου αντικαθίσταται υποχρεωτικά μετά την πάροδο δεκαετίας από την ημερομηνία κατασκευής της και απαγορεύεται ρητά η επαναχρησιμοποίησή της. Τα αυτοκίνητα που έχουν διασκευαστεί για χρήση υγραερίου πρέπει να αντικαθιστούν εντός πενταετίας τα επιμέρους εξαρτήματά τους.

### **3.3.7 Πόσο διαδεδομένο είναι στις υπόλοιπες χώρες;**

Στην Ιταλία για παράδειγμα υπολογίζεται ότι ήδη κυκλοφορούν πάνω από 1 εκατομμύριο οχήματα που «καίνε» υγραέριο. Οι αντίστοιχοι αριθμοί για τη Μ. Βρετανία και την Αυστραλία είναι 40.000 και 500.000 αντίστοιχα. Στην Ιαπωνία μάλιστα το 90% των οχημάτων ταξί είναι υγραεριοκίνητα.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο: ΥΔΡΟΓΟΝΟ

## 4.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

### 4.1.1 Γενικά για το υδρογόνο

Το υδρογόνο αποτελεί το 90% της συνολικής μάζας του σύμπαντος και είναι το ελαφρύτερο στοιχείο που υπάρχει στη φύση. Σε καθαρή μορφή (αέρια) στο περιβάλλον της γης σπάνια συναντάται, αλλά δεσμευμένο, υπάρχει σχεδόν σε όλα τα ορυκτά της. Το υδρογόνο απαντιέται και σε πολλές σημαντικές δομικές οργανικές ενώσεις των έμβιων όντων της γης, μεταξύ αυτών των οργανικών ενώσεων στην κερατίνη, στα ένζυμα που συντελούν στη πέψη και στα μόρια του DNA. Επίσης, υπάρχει άφθονο και στις διάφορες τροφές που καταναλώνει ο άνθρωπος, υπό τη μορφή των λιπών, των πρωτεϊνών και των υδρογονανθράκων. Λόγω του μικρού του βάρους, δεν αποτελεί περισσότερο από το 1% της συνολικής μάζας της γης. Καθώς το υδρογόνο συντήκεται, παράγονται διάφορα βαρύτερα στοιχεία από αυτό, με σημαντικότερο μεταξύ αυτών το Ήλιο (He). Η συγκεκριμένη διαδικασία της σύντηξης του υδρογόνου παράγει την ενέργεια που εκλύουν τα άστρα μέσα στο σύμπαν, ενώ βάσει αυτής πιστεύεται ότι δημιουργήθηκε αρχικά και το ίδιο το σύμπαν. Σε συνήθη θερμοκρασία περιβάλλοντος, το υδρογόνο βρίσκεται πάντα σε αέρια φάση, στην οποία σαν υλικό είναι άχρωμο, άοσμο, και εύφλεκτο. Όταν καίγεται με το οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα (ή και με το «καθαρό» οξυγόνο), το υδρογόνο σχηματίζει νερό και παράγει θερμότητα σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση:  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{heat}$  (2.1)

Η ονομασία του, οφείλεται στον Γάλλο χημικό Antoine Lavoisier και προέρχεται από τη σύμπτυξη δύο αρχαιοελληνικών λέξεων: «ύδωρ» και «γίγνομαι». Ως ξεχωριστό χημικό στοιχείο αναγνωρίστηκε για πρώτη φορά από τον Άγγλο χημικό Henry Cavendish το 1766.

Το υδρογόνο κατέχει την πρώτη θέση στον περιοδικό πίνακα των χημικών στοιχείων και το άτομό του συμβολίζεται με το λατινικό γράμμα H. Κάθε άτομο του αποτελείται από ένα πρωτόνιο και από ένα ηλεκτρόνιο, ενώ κατά την ένωση δύο διαφορετικών ατόμων του παράγεται ένα μόριο υδρογόνου με μοριακό τύπο:  $\text{H}_2$  (H – H). Το υδρογόνο μπορεί να συνδυαστεί χημικά με σχεδόν οποιοδήποτε άλλο χημικό στοιχείο και έτσι δίνει τις περισσότερες χημικές ενώσεις από οποιοδήποτε άλλο του περιοδικού πίνακα. Στις σημαντικότερες από τις ενώσεις του συγκαταλέγονται το νερό, οι ενώσεις του με τον άνθρακα (οργανικές ενώσεις) και οι διάφοροι φυσικοί υδρογονάνθρακες όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο.

### 4.1.2 Το υδρογόνο ως ενεργειακό καύσιμο

Το υδρογόνο χρησιμοποιείται σαν βιομηχανικό καύσιμο εδώ και αρκετές δεκαετίες. Τεράστιες ποσότητες υδρογόνου καταναλώνονται κάθε χρόνο παγκοσμίως γι' αυτόν τον σκοπό και μάλιστα με τάση που αυξάνει από χρονιά σε χρονιά (ενδεικτικά, το 2003 καταναλώθηκαν παγκοσμίως περίπου 41,09 εκατομμύρια τόνοι υδρογόνου, ενώ το 2004 η ποσότητα αυτή ανήλθε στα 50 εκατομμύρια τόνους). Από την άλλη μεριά, η χρήση του υδρογόνου σαν ενεργειακό καύσιμο είναι προς το παρόν περιορισμένη.

Από την συνολική ποσότητα του υδρογόνου που παράγεται κάθε χρονιά σε παγκόσμια κλίμακα, η βιομηχανία της αμμωνίας καταναλώνει περίπου το 50% αυτής, ενώ τα διυλιστήρια του πετρελαίου το 37%. Το υπόλοιπο 13%, καταναλώνεται σε διάφορους άλλους βιομηχανικούς τομείς, μεταξύ των οποίων το μεγαλύτερο ποσοστό σε κατανάλωση κατέχει η βιομηχανία των τροφίμων (π.χ. χρησιμοποίηση υδρογόνου για υδρογόνωση των ελαίων). Σήμερα, υπάρχουν αρκετές μέθοδοι με τις οποίες μπορεί να παραχθεί οικονομικά και σε μαζικές ποσότητες (εμπορικές μέθοδοι παραγωγής του υδρογόνου).

Οι κυριότερες από αυτές είναι οι εξής:

- η αναμόρφωση των υδρογονανθράκων με ατμό, μεταξύ αυτών κυρίως του φυσικού αερίου.
- η μερική οξειδωση (ή αεριοποίηση) των βαρέων υδρογονανθράκων ή του γαιάνθρακα.
- η ηλεκτρόλυση του νερού.

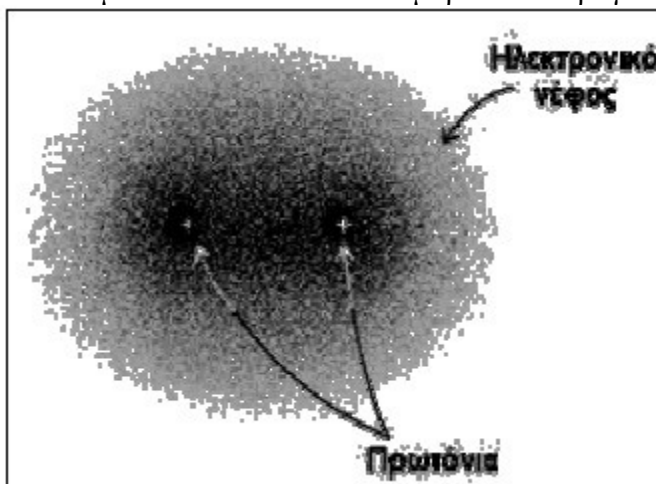
Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, οι κυριότερες διατάξεις με τις οποίες παράγεται ενέργεια από το υδρογόνο είναι οι κυψέλες καυσίμου. Το υδρογόνο όμως, μπορεί να παράγει ενέργεια και μέσω της καύσης του με τον ατμοσφαιρικό αέρα μέσα σε ΜΕΚ, όπως σε καταλυτικούς καυστήρες, σε λέβητες αερίου, σε αεροστρόβιλους και σε κινητήρες εσωτερικής καύσης. Η καύση του υδρογόνου με τον ατμοσφαιρικό αέρα παράγει σαν κύριο συστατικό το νερό, αλλά λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν κατά την διαδικασία αυτή, στη πράξη παράγονται επίσης και ορισμένες ποσότητες από οξείδια του αζώτου.

Το υδρογόνο που παράγεται μέσω της χρησιμοποίησης της τεχνολογίας των διαφόρων ΑΠΕ (ιδιαίτερα της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας) θεωρείται ως ιδανικό, γιατί προκαλεί πολύ λιγότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους παραγωγής του. Η μόνη έκλυση ρύπων που εμφανίζεται στην περίπτωση αυτή, προκύπτει κατά τις διαδικασίες κατασκευής, μεταφοράς και εγκατάστασης των διαφόρων ΑΠΕ που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του και δευτερευόντως κατά τη διαδικασία μεταφοράς του προς την κατανάλωση. Γενικά, το υδρογόνο σαν καύσιμο δεν συμβάλλει σχεδόν καθόλου στην επιβάρυνση του παγκόσμιου κλίματος και οι ρύποι που παράγονται κατά την ενεργειακή του εκμετάλλευση είναι μηδαμινοί σε σχέση με αυτούς που παράγονται κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων. Εικάζεται, ότι στις επόμενες δεκαετίες θα αρχίσει να καταλαμβάνει ολοένα και σημαντικότερο μερίδιο στην παγκόσμια ενεργειακή αγορά και ότι στο απώτερο μέλλον θα αντικαταστήσει ένα μεγάλο μέρος της υπάρχουσας υποδομής σε παραγωγή, διανομή και κατανάλωση ενέργειας που βασίζεται σήμερα κατά πλείστον στα ορυκτά καύσιμα. Βραχυπρόθεσμα, η ενεργειακή χρήση του υδρογόνου προβλέπεται ότι θα αυξηθεί στη βιομηχανία και στον οικιακό τομέα, προκειμένου να διευκολυνθεί εκεί η παραγωγή και η αποθήκευση της ενέργειας, ενώ στη συνέχεια οι εφαρμογές του προβλέπεται ότι θα επεκταθούν και στον τομέα των μεταφορών (αυτοκίνητα, λεωφορεία κ.τ.λ.). Η μετάβαση όμως, από το υπάρχον σύστημα παραγωγής και διανομής της ενέργειας που επί σειράς δεκαετιών βασίζεται κατά κύριο λόγο στα ορυκτά καύσιμα, σε ένα νέο το οποίο θα έχει σαν κύριο μέσο του το υδρογόνο, απαιτεί χρόνο και γενναία και δαπανηρά βήματα από κυβερνήσεις και παραγωγούς της ενέργειας σε όλη την υφήλιο.

### **4.1.3 Φυσικές ιδιότητες του υδρογόνου**

Όπως συμβαίνει με τα μόρια των περισσοτέρων αερίων, το μόριο του αερίου υδρογόνου είναι όπως έχουμε πει διατομικό. Υπό ίδιες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, το υδρογόνο σαν αέριο είναι πολύ ελαφρύτερο από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Για τον λόγο αυτό και σε συνδυασμό με την πολύ μικρή μάζα του μορίου του, το υδρογόνο διαφεύγει πολύ εύκολα από το βαρυτικό πεδίο της γης και έτσι βρίσκεται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα αυτής. Με εξαίρεση το αέριο He, το αέριο υδρογόνο έχει το χαμηλότερο σημείο βρασμού (20 βαθμοί Κ σε  $P = 1\text{atm}$ ) και το χαμηλότερο σημείο πήξεως (14 βαθμοί Κ στην ίδια  $P$ ) από όλα τα υπόλοιπα αέρια. Όταν η θερμοκρασία του αερίου υδρογόνου κατεβεί κάτω από τους 20,268 βαθμούς Κ σε Κ.Σ. πίεσης (δηλαδή σε  $P = 1\text{atm}$ ), αυτό αρχίζει να υγροποιείται, περνώντας σταδιακά από την αέρια στην υγρή του φάση. Η πρώτη ποσότητα υγρού υδρογόνου που παρασκευάστηκε ποτέ από τον άνθρωπο, οφείλεται στον Άγγλο χημικό Sir James Dewar, ο οποίος την παρήγαγε το 1898. Το υγρό υδρογόνο σε μικρές ποσότητες είναι άχρωμο, αλλά όταν μελετάται σε λεπτά δείγματα παίρνει ένα ανοιχτό μπλε. Με συνεχή μείωση της θερμοκρασίας του σε Κ.Σ. πίεσης ( $P = 1\text{atm}$ ), το υγρό υδρογόνο τελικά στερεοποιείται στους 14,025 βαθμούς Κ. Το στερεό υδρογόνο σαν υλικό, είναι κι αυτό άχρωμο όπως και το υγρό υδρογόνο.

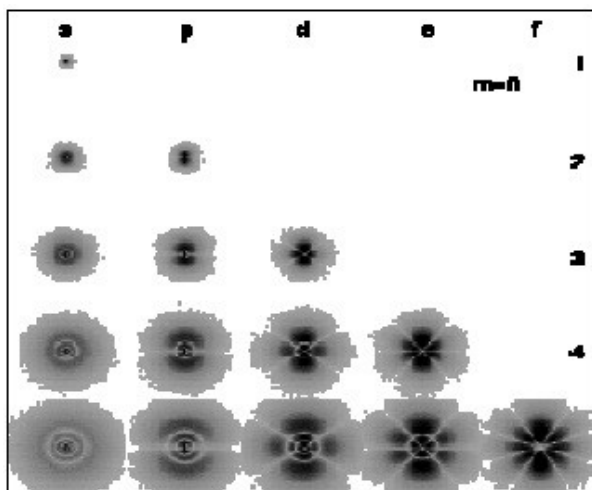
Κατά τη κβαντομηχανική προσέγγιση του μορίου του υδρογόνου (του  $^1\text{H}$  του), τα πρωτόνια των δύο ατόμων του, περιβάλλονται από ένα ηλεκτρονικό νέφος 2 ηλεκτρονίων. Η πυκνότητα πιθανότητας του ηλεκτρονικού αυτού νέφους είναι αυξημένη στον χώρο μεταξύ των πρωτονίων των ατόμων του, έτσι ώστε το κάθε ένα από τα άτομα του μορίου του να «θωρακίζεται» από το ομόσημο φορτίο του απέναντι ατόμου του. Η συγκεκριμένη κατάσταση των ατόμων του μορίου του υδρογόνου περιγράφεται ικανοποιητικά μέσω μιας άρτιας κυματοσυνάρτησης (δηλαδή μέσω μιας συμμετρική συνάρτησης), η αποδίδει την χωρική κατανομή των ηλεκτρονίων των ατόμων του μέσα στο μόριό του. Η συνολική όμως κατανομή των ηλεκτρονίων του μορίου του (δηλαδή το γινόμενο της χωρικής κατανομής τους και της κατανομής τους λόγω των σπιν τους), αναγκαστικά περιγράφεται από μία αντισυμμετρική κυματοσυνάρτηση κατανομής, σύμφωνα και με την αρχή του Pauli. Έτσι, η κυματοσυνάρτηση κατανομής η οποία περιγράφει την κατανομή των σπιν των ηλεκτρονίων μέσα στο μόριο του υδρογόνου, θα πρέπει αναγκαστικά κι αυτή να είναι αντισυμμετρική, δηλαδή τα σπιν των ηλεκτρονίων μέσα στο μόριο του υδρογόνου είναι μεταξύ τους αντιπαράλληλα. Στο παρακάτω σχήμα 4.1.1, φαίνεται η σχηματική αναπαράσταση του ηλεκτρονικού νέφους γύρω από το μόριο του υδρογόνου. Με έντονο χρώμα γκρι χρώμα απεικονίζεται η αυξημένη πυκνότητα του νέφους των ηλεκτρονίων στον χώρο μεταξύ των δύο ατόμων που αποτελούνε το μόριο του υδρογόνου:



**Σχήμα 4.1.1 :** Ηλεκτρονικό νέφος γύρω από το μόριο του υδρογόνου. Οι πιο σκούρες περιοχές της εικόνας παριστάνουν μεγαλύτερη ηλεκτρονική πιθανότητα.

Επίσης, στο παρακάτω σχήμα 4.1.2, παριστάνεται η πυκνότητα των ηλεκτρονίων του καθενός από τα άτομα του μορίου του υδρογόνου, σε συνάρτηση με την μεταβολή των τιμών του κύριου κβαντικού αριθμού  $n$  και του δευτερεύων κβαντικού αριθμού  $l$ . Ο μαγνητικός κβαντικός αριθμός  $m_l$  και ο κβαντικός αριθμός του spin  $m_s$  λαμβάνονται ίσοι με μηδέν:

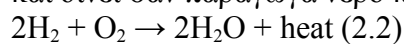




Σχήμα 4.1.2: Ηλεκτρονική πυκνότητα ατόμου υδρογόνου για διάφορες τιμές κβαντικών αριθμών  $n$  και  $l$  ( $m_l = m_s = 0$ ).

#### 4.1.4 Χημικές ιδιότητες του υδρογόνου

Το γεγονός ότι, όπως έχουμε αναφέρει παραπάνω, το υδρογόνο σε ελεύθερη αέρια κατάσταση δεν αντιδρά συνήθως με άλλα στοιχεία ή χημικές ενώσεις, οφείλεται κυρίως στην σταθερότητα του χημικού δεσμού μεταξύ των ατόμων των μορίων του, ο οποίος είναι τόσο σταθερός, ώστε να μην επιτρέπει στα μόρια αυτού να διασπαστούν και να αντιδράσουν σαν μεμονωμένα άτομα. Από την άλλη μεριά, όταν το μοριακό υδρογόνο θερμαίνεται πάνω από φλόγα, αντιδρά σε συνθήκες περιβάλλοντος βία με το οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα και δίνει σαν παράγωγα νερό και θερμότητα σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση:



Από την αντίδραση αυτή, η οποία προφανώς αποτελεί μία αντίδραση οξείδωσης του υδρογόνου με το ατμοσφαιρικό οξυγόνο, παράγεται, όπως είπαμε, ταυτόχρονα με το νερό και θερμότητα (εξώθερμη αντίδραση). Η θερμότητα αυτή ισούται περίπου με  $285.83\text{kJ} / \text{mol}$  παραγόμενου  $\text{H}_2\text{O}$ . Οι δεσμοί που σχηματίζουν τα άτομα μέσα στο μόριο του υδρογόνου είναι ομοιοπολικής φύσης και χαρακτηρίζονται, όπως είπαμε, από μεγάλη σταθερότητα. Το ίδιο, όσον αφορά την ομοιοπολική τους φύση, ισχύει και για τους δεσμούς που σχηματίζονται μεταξύ των ατόμων του υδρογόνου και μεταξύ των ατόμων άλλων στοιχείων μέσα στις διάφορες χημικές ενώσεις. Κάτι τέτοιο συμβαίνει για παράδειγμα μεταξύ των ατόμων του μορίου του  $\text{H}_2\text{O}$ , στο οποίο τα δύο άτομα  $\text{H}$  που περιέχει ενώνονται με το ένα και μοναδικό άτομο του  $\text{O}$  μέσω ομοιοπολικών δεσμών ( $\text{H}-\text{O}-\text{H}$ ). Κάτι τέτοιο παρατηρείται κατά κανόνα στην περίπτωση των ομοιοπολικών δεσμών που σχηματίζονται μεταξύ του υδρογόνου και διαφόρων άλλων ατόμων μέσα στα μόρια των οξέων. Έτσι, για παράδειγμα, στο μόριο του μεθανικού οξέως ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), το υδρογόνο σχηματίζει εξαιρετικά ασταθείς ομοιοπολικούς δεσμούς με τα άτομα του  $\text{C}$  και του  $\text{O}$ , με αποτέλεσμα όταν το μεθανικό οξύ διαλυθεί στο νερό, να διασπάται εύκολα σε αρνητικά και θετικά ιόντα ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$  και  $\text{H}^+$ ). Να αναφερθεί τέλος, ότι το υδρογόνο σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να σχηματίσει και δεσμούς ιοντικής φύσης με ορισμένα στοιχεία, κάτι που συμβαίνει για παράδειγμα κατά την αντίδρασή του με το χλώριο και τον σχηματισμό του  $\text{HCl}$ .

Μια τρίτη κατηγορία δεσμών που μπορεί να σχηματίσει το υδρογόνο με άτομα άλλων χημικών στοιχείων και η οποία συναντιέται μόνο σ' αυτό, είναι οι λεγόμενοι δεσμοί υδρογόνου (hydrogen bonds). Τα διάφορα άλλα χημικά στοιχεία με τα οποία το υδρογόνο μπορεί να σχηματίσει αυτούς τους δεσμούς υδρογόνου είναι τα:  $\text{O}$ ,  $\text{S}$ ,  $\text{N}$ ,  $\text{F}$  και  $\text{Cl}$ . Η ενέργεια του συγκεκριμένου δεσμού είναι σχετικά μικρή. >εσμοί υδρογόνου σχηματίζονται επίσης και μεταξύ των διαφορετικών μορίων των χημικών ενώσεων που περιέχουν στο μόριό τους το υδρογόνο και κάποιο από τα παραπάνω στοιχεία. Χαρακτηριστικότερο γι' αυτό

παράδειγμα, αποτελούν τα μόρια του H<sub>2</sub>O σε χαμηλές θερμοκρασίες, τα οποία υπό τις συνθήκες αυτές ενώνονται μεταξύ τους μέσω δεσμών υδρογόνου σε συμπλέγματα μορίων H<sub>2</sub>O. Ο δεσμός του υδρογόνου, σαν χημικός δεσμός, κατά το μεγαλύτερο του μέρος οφείλεται σε δυνάμεις Van Der Waals, ενώ κατά ένα μικρότερο ποσοστό έχουμε και συμμετοχή δυνάμεων καθαρά χημικού δεσμού.

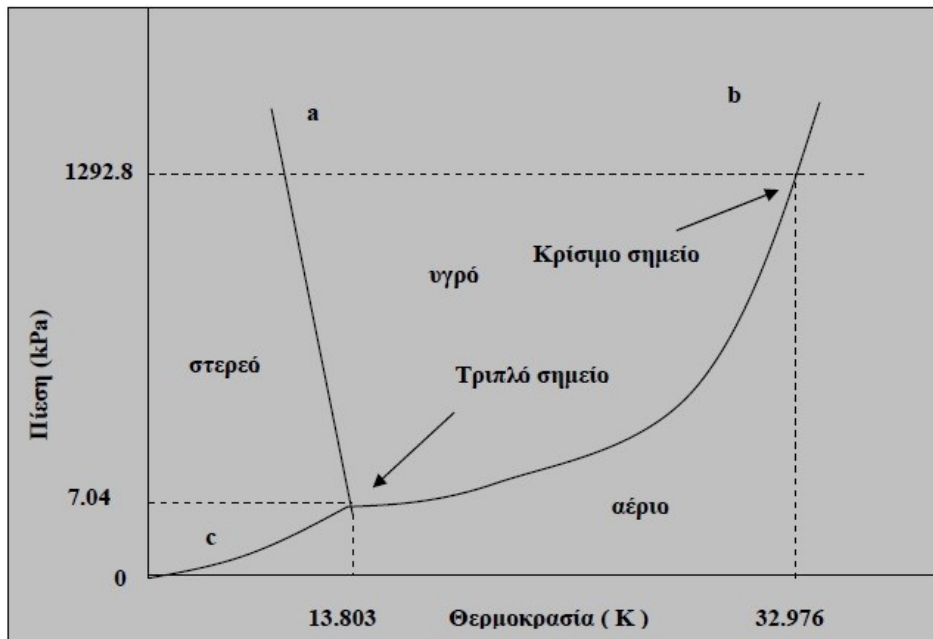
Να αναφερθεί τέλος, ότι στις χημικές ιδιότητες του υδρογόνου ανήκει και το γεγονός, ότι όταν αυτό βρεθεί κάτω το από πολύ μεγάλη πίεση ( $1,5 \cdot 10^6 \text{atm}$ ) και θερμοκρασία ( $3000^\circ\text{C} \div 5000^\circ\text{C}$ ), μπορεί να συμπεριφερθεί σαν μέταλλο, αντανακλώντας το φως και γινόμενος αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος.

#### **4.1.5 Θερμοφυσικές ιδιότητες του υδρογόνου**

Οι ιδιότητες της ύλης που συνδέονται με τη μετάδοση της θερμότητας, συνήθως χαρακτηρίζονται σαν θερμοφυσικές ιδιότητες. Αυτές διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: τις θερμοδυναμικές ιδιότητες και τις ιδιότητες μεταφοράς. Στην πρώτη κατηγορία συγκαταλέγονται ιδιότητες όπως η ειδική θερμοχωρητικότητα και η πυκνότητα, ενώ στη δεύτερη κατηγορία ιδιότητες όπως ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $k$ , που σχετίζεται άμεσα με την αγωγή θερμότητας και η κινηματική συνεκτικότητα  $\nu$  που σχετίζεται με τη συναγωγή της θερμότητας. Κάθε υλικό (απλό ή σύνθετο), χαρακτηρίζεται από διάφορες θερμοφυσικές φάσεις στο εσωτερικό της μάζας του. Γενικά, ως (θερμοφυσική) φάση, ορίζεται η ομογενής περιοχή της μάζας ενός υλικού, η οποία διαφέρει σε δομή ή σύσταση από κάποια άλλη γειτονική της περιοχή μέσα στη μάζα του. Σε κάθε σταθερό υλικό, κάτω από κατάλληλες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας και ανάλογα με τη μέθοδο που έχει ακολουθηθεί για την παρασκευή του, μπορούν να σχηματιστούν περισσότερες από μία ομογενείς περιοχές της μάζας του, δηλαδή περισσότερες από μία φάσεις του. Οι διαφορετικές αυτές φάσεις βρίσκονται πάντα σε ισορροπία μεταξύ τους, χωρίς να παρατηρούνται κάποιες αλλαγές στη σύστασή τους σε συνάρτηση με το χρόνο, δηλαδή αποτελούν καταστάσεις μακροσκοπικής σταθερότητας του υλικού. Η ισορροπία των διαφόρων θερμοφυσικών φάσεων στο εσωτερικό της μάζας ενός σταθερού υλικού περιγράφεται από τον νόμο του Gibbs, ο οποίος αποδίδεται μαθηματικά με την παρακάτω ισότητα:

$$F = C - P + 2 \quad (2.3)$$

Όπως προκύπτει από την παραπάνω ισότητα, οι βαθμοί ελευθερίας  $F$  ενός οποιουδήποτε διαλύματος που αποτελείται από ένα ή περισσότερα διαφορετικά υλικά σε ισορροπία διαφορετικών φάσεων μεταξύ τους, είναι συνάρτηση του αριθμού  $C$  των υλικών αυτών και του αριθμού των φάσεών τους  $P$  μέσα στο συγκεκριμένο διάλυμα. Αναφερόμενοι τώρα στο υδρογόνο μπορούμε να πούμε, ότι ανάλογα με τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας στις οποίες βρίσκεται, μπορεί να υπάρξει σε τρεις διαφορετικές φάσεις (υγρή, αέρια και στερεή). Οι φάσεις αυτές μπορούν να εμφανιστούν και ταυτόχρονα στη μάζα του σε θερμοδυναμική ισορροπία μεταξύ τους, ανάλογα πάλι με τις συνθήκες της πίεσης και της θερμοκρασίας. Στο παρακάτω σχήμα 4.1.3, απεικονίζεται προσεγγιστικά το διάγραμμα σχηματισμού των διαφόρων φάσεων που μπορούν να υπάρξουν σε θερμοδυναμική ισορροπία μεταξύ τους μέσα στη μάζα μιας ορισμένης ποσότητας υδρογόνου, όταν η πίεση και η θερμοκρασία αυτού μεταβάλλονται:



**Σχήμα 4.1.3: Διάγραμμα πίεσης, θερμοκρασίας και διαφορετικών θερμοφυσικών φάσεων σε ισορροπία για το υδρογόνο.**

Όπως παρατηρούμε από το παραπάνω διάγραμμα, τόσο η στερεά όσο και η υγρή και η αέρια φάση του υδρογόνου χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένες περιοχές πίεσης και θερμοκρασίας πάνω στο διάγραμμα. Οι τρεις αυτές φάσεις οριοθετούνται από τρεις αντίστοιχες καμπύλες (τις a, b και c στο σχήμα), οι οποίες παριστάνουν η καθεμία τους ισόογκη μεταβολή. Πάνω σε κάθε μία από αυτές τις καμπύλες, το υδρογόνο συνυπάρχει σαν <<διάλυμα>> δύο φάσεων του, οι οποίες χαρακτηρίζουν και τις περιοχές εκτός της εκάστοτε καμπύλης. Η συγκεκριμένη κατάσταση παραμένει αμετάβλητη σε όλο το μήκος κάθε καμπύλης. Στις περιοχές που βρίσκονται εκτός των τριών καμπυλών του παραπάνω διαγράμματος, το υδρογόνο χαρακτηρίζεται από μία και μοναδική φάση (μονοφασικές περιοχές του διαγράμματος) και μόνο σε ένα και μοναδικό σημείο του διαγράμματος, στο οποίο οι τρεις καμπύλες συναντιούνται μεταξύ τους, μπορεί να συνυπάρξει και με τις τρεις διαφορετικές του φάσεις. Οι τρεις διαφορετικές καμπύλες μεταβολής που οριοθετούν τις τρεις μονοφασικές περιοχές του υδρογόνου στο παραπάνω διάγραμμα έχουν την εξής ονομασία:

1. Καμπύλη a: Ονομάζεται καμπύλη τήξης και το υδρογόνο βρίσκεται πάνω σ' αυτή με την μορφή διφασικού διαλύματος στερεής και υγρής φάσης.
2. Καμπύλη b: Ονομάζεται καμπύλη εξάτμισης και το υδρογόνο βρίσκεται πάνω σ' αυτή με την μορφή διφασικού διαλύματος αέριας και υγρής φάσης.
3. Καμπύλη c: Ονομάζεται καμπύλη εξάχνωσης και το υδρογόνο βρίσκεται πάνω σ' αυτή με τη μορφή διφασικού διαλύματος στερεής και αέριας φάσης.

Στο ένα και μοναδικό σημείο στο οποίο οι παραπάνω καμπύλες συναντιούνται μεταξύ τους, το υδρογόνο, όπως είπαμε, υπάρχει σαν διάλυμα και των τριών του φάσεων, δηλαδή της αέριας της στερεής και της υγρής του φάσης. Το μοναδικό αυτό σημείο ονομάζεται και τριπλό σημείο και χαρακτηρίζεται από θερμοκρασία  $T = 13.803 \text{ K}$  και πίεση  $P = 7.04 \text{ kPa}$ , όπως απεικονίζεται και στο παραπάνω διάγραμμα. Στο τριπλό σημείο, οι τρεις διαφορετικές φάσεις του υδρογόνου βρίσκονται σε ισορροπία μεταξύ τους (οπότε στον νόμο του Gibbs θα έχουμε  $P=3$ ), ενώ το όλο διάλυμά τους αποτελείται προφανώς από μια και μοναδική συνιστώσα (από το μοναδικό δομικό συστατικό του, δηλαδή το υδρογόνο), άρα  $C=1$ . Επομένως από τον νόμο των φάσεων του Gibbs θα έχουμε ότι:  $F = C - P + 2 \Rightarrow F = 1 - 3 + 2 \Rightarrow F = 0$  (2.4)

Συμπεραίνουμε δηλαδή, ότι στο τριπλό σημείο, οι βαθμοί ελευθερίας του τριφασικού διαλύματος του υδρογόνου είναι ίσοι με 0. Επομένως στο σημείο αυτό, καμιά από τις μεταβλητές (πίεση ή θερμοκρασία) του τριφασικού του διαλύματος δεν μπορεί να μεταβληθεί ανεξάρτητα η μία από την άλλη, έτσι ώστε οι τρεις φάσεις του να συνεχίσουν να συνυπάρχουν σε ισορροπία μεταξύ τους. Αυτό σημαίνει, ότι στη μάζα μιας οποιασδήποτε ποσότητας υδρογόνου δεν μπορεί να υπάρξει κάποια θερμοδυναμική κατάσταση, πέραν του τριπλού σημείου, στην οποία το υδρογόνο να συνυπάρξει σαν διάλυμα και των τριών του θερμοφυσικών φάσεων.

Ένα άλλο σημαντικό σημείο που χαρακτηρίζει το διάγραμμα πίεσης, θερμοκρασίας και μεταβολής των φάσεων του υδρογόνου που απεικονίζεται στο παραπάνω σχήμα 4.1.3, είναι και το λεγόμενο κρίσιμο σημείο. Το κρίσιμο σημείο αντιπροσωπεύει για το υδρογόνο τη χαμηλότερη τιμή πίεσης και θερμοκρασίας στην οποία μπορούν να συνυπάρξουν σε ισορροπία μεταξύ τους δύο συγκεκριμένες φάσεις του: η υγρή του και η αέρια του φάση. Το συγκεκριμένο σημείο έχει σαν θερμοδυναμικές τιμές: Θερμοκρασία:  $T = 32.976 \text{ K}$  και Πίεση:  $P = 1292.8 \text{ kPa}$ .

Για υψηλότερες τιμές πίεσης και θερμοκρασίας από αυτές που επικρατούν στο κρίσιμο σημείο του υδρογόνου, η αλλαγή φάσης στο εσωτερικό της μάζας του δεν μπορεί να γίνει πλέον διακριτή, οπότε μιλάμε για την περιοχή του όπου αυτό υπάρχει σαν <<καθαρό ρευστό>> (υγρό ή αέριο, ανάλογα με τις τιμές της πίεσης και της θερμοκρασίας που επικρατούν στη μάζα του). Με το κρίσιμο σημείο ολοκληρώνεται η εξέταση του διαγράμματος πίεσης, θερμοκρασίας και μεταβολής των φάσεων του υδρογόνου. Στην συνέχεια θα ακολουθήσουν τέσσερις πίνακες με τα σημαντικότερα μεγέθη που χαρακτηρίζουν την θερμοφυσική συμπεριφορά του υδρογόνου, ξεκινώντας από τις τιμές τους για κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας (Κ.Σ.Π.Θ.:  $P = 101.325 \text{ kPa}$  ή  $14.7 \text{ psia}$  και  $T = 273.15 \text{ K}$  ή  $-160.426 \text{ }^\circ\text{F}$ ) και συνεχίζοντας ισόογκα, μειώνοντας διαδοχικά τις τιμές της πίεσης και της θερμοκρασίας, μέχρι το τριπλό σημείο του υδρογόνου, δηλαδή μέχρι το σημείο στο οποίο υφίσταται σαν τριφασικό διάλυμα (αέριο, υγρό και στερεό).

Στους παρακάτω πίνακες, οι μονάδες των μεγεθών είναι υπολογισμένες σε δύο συστήματα μέτρησης: στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (Systeme Internationale, S.I.) και στο Αγγλοσαξονικό Σύστημα Μονάδων. Τα στοιχεία των πινάκων προέρχονται από τους Κανονισμούς Ασφαλείας για το υδρογόνο και τα συστήματα του υδρογόνου που πιστοποιήθηκαν από τη NASA για το έτος 2005:

<b>ΚΑΝΟΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΙΕΣΗΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ</b> (Θερμοκρασία 273.15 K ή -160.426 °F και Πίεση 101.325 kPa ή 14.7 psia)		
<b>Ιδιότητες</b>	<b>Ευρωπαϊκές μονάδες μέτρησης</b>	<b>Αγγλοσαξονικές μονάδες μέτρησης</b>
Πυκνότητα αέριου H <sub>2</sub> , ρ σε Κ.Σ.Π.Θ.	83.764 g/m <sup>3</sup>	0.00523 lbm/ft <sup>3</sup>
Πυκνότητα αέρα σε Κ.Σ.Π.Θ. (προς σύγκριση)	1,198 g/m <sup>3</sup>	0.0749 lbm/ft <sup>3</sup>
Ειδική θερμότητα υπό σταθερή πίεση, C <sub>p</sub>	14.89 kJ/kg·K	3.559 Btu/lbm·°R
Συντελεστής ενεργότητας, γ = C <sub>p</sub> /C <sub>v</sub>	1.383	1.383
Ενθαλπία, H	4097.7 kJ/kg	1762.8 Btu/lbm
Εσωτερική ενέργεια, U	2888.0 kJ/kg	1242.5 Btu/lbm
Εντροπία, S	64.44 kJ/kg·K	15.40 Btu/lbm·°R
Ταχύτητα του ήχου, ω (αδιαβατικά)	1294 m/s	4246 ft/s
Ιξώδες, η	8.81 μPa·s	0.00881 centipoise
Θερμική αγωγιμότητα, k	19.14 mW/m·K	0.111 Btu/ft·h·°R
Βαθμός διαμοριακού δυναμικού, ε	1.00026	
Παράγοντας συμπίεσότητας, Z	1.0006	
Συντελεστής διάθλασης, IR	1.00012	

Πίνακα

## ς 4.1

<b>ΚΡΙΣΙΜΟ ΣΗΜΕΙΟ</b>		
<b>Ιδιότητες</b>	<b>Ευρωπαϊκές μονάδες μέτρησης</b>	<b>Αγγλοσαξονικές μονάδες μέτρησης</b>
Θερμοκρασία, T	32.976 K	-400.6 °F
Πίεση, P	1,292.8 kPa	187.5 psia
Πυκνότητα, ρ	31.43 kg/m <sup>3</sup>	1.96 lbm/ft <sup>3</sup>
Ειδική θερμότητα κορεσμού, C <sub>σ</sub>	Πολύ μεγάλη	
Ειδική θερμότητα υπό σταθερή πίεση, C <sub>p</sub>	Πολύ μεγάλη	
Συντελεστής ενεργότητας, γ = C <sub>p</sub> /C <sub>v</sub>	Μεγάλη	
Ενθαλπία, H	38.49 kJ/kg	16.56 Btu/lbm
Εσωτερική ενέργεια, U	2.83 kJ/kg	1.22 Btu/lbm
Εντροπία, S	17.6 kJ/kg·K	4.20 Btu/lbm·°R
Ταχύτητα του ήχου, ω (αδιαβατικά)	350 m/s	1148 ft/s
Ιξώδες, η	3.5 μPa·s	0.0035 centipoise
Θερμική αγωγιμότητα, k	Σχεδόν άπειρη	
Βαθμός διαμοριακού δυναμικού, ε	1.098	
Παράγοντας συμπίεσότητας, Z	0.3025	

Πίνακας 4.2

ΚΑΝΟΝΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ ΒΡΑΣΜΟΥ		
Ιδιότητες	Ευρωπαϊκές μονάδες μέτρησης	Αγγλοσαξονικές μονάδες μέτρησης
Κανονική θερμοκρασία βρασμού, T	20.268 K	-423.2 °F
Πίεση, P	101.3 kPa	14.696 psia
<b>Πυκνότητα, ρ</b>		
αέριος φάσης H <sub>2</sub>	1.338 kg/m <sup>3</sup>	0.0835 lbm/ft <sup>3</sup>
υγρής φάσης H <sub>2</sub>	70.78 kg/m <sup>3</sup>	4.42 lbm/ft <sup>3</sup>
Θερμότητα αεριοποίησης	445.6 kJ/kg	191.7 Btu/lbm
<b>Ειδική θερμότητα κορεσμού, C<sub>σ</sub></b>		
αέριος φάσης H <sub>2</sub>	-16.51 kJ/kg·K	-3.95 Btu/lbm·°R
υγρής φάσης H <sub>2</sub>	9.38 kJ/kg·K	2.24 Btu/lbm·°R
<b>Ειδική θερμότητα υπό σταθερή πίεση, C<sub>p</sub></b>		
αέριος φάσης H <sub>2</sub>	12.15 kJ/kg·K	2.904 Btu/lbm·°R
υγρής φάσης H <sub>2</sub>	9.688 kJ/kg·K	2.315 Btu/lbm·°R
<b>Συντελεστής ενεργότητας γ = C<sub>p</sub>/C<sub>v</sub></b>		
αέριος φάσης H <sub>2</sub>		1.869
υγρής φάσης H <sub>2</sub>		1.688
<b>Ενθαλπία, H</b>		
αέριος φάσης H <sub>2</sub>	189.3 kJ/kg	81.5 Btu/lbm
υγρής φάσης H <sub>2</sub>	-256.3 kJ/kg	-110.2 Btu/lbm
<b>Εσωτερική ενέργεια, U</b>		
αέριος φάσης H <sub>2</sub>	113.6 kJ/kg	48.87 Btu/lbm
υγρής φάσης H <sub>2</sub>	-257.7 kJ/kg	-110.9 Btu/lbm
<b>Εντροπία, S</b>		
αέριος φάσης H <sub>2</sub>	29.97 kJ/kg·K	7.162 Btu/lbm·°R
υγρής φάσης H <sub>2</sub>	7.976 kJ/kg·K	1.906 Btu/lbm·°R
<b>Ταχύτητα του ήχου, ω (αδιαβατικά)</b>		
αέριος φάσης H <sub>2</sub>	355 m/s	1165 ft/s
υγρής φάσης H <sub>2</sub>	1093 m/s	3586 ft/s
<b>Ιξώδες, η</b>		
αέριος φάσης H <sub>2</sub>	1.1 μPa·s	0.0011 centipoise
υγρής φάσης H <sub>2</sub>	13.2 μPa·s	0.0132 centipoise
<b>Θερμική αγωγιμότητα, k</b>		
αέριος φάσης H <sub>2</sub>	1.69 mW/m·K	0.00977 Btu/ft·h·°R
υγρής φάσης H <sub>2</sub>	9.9 mW/m·K	0.0572 Btu/ft·h·°R
<b>Βαθμός διαμοριακού δυναμικού, ε</b>		
αέριος φάσης H <sub>2</sub>		1.0040
υγρής φάσης H <sub>2</sub>		1.230
<b>Παράγοντας συμπίεστικότητας, Z</b>		
αέριος φάσης H <sub>2</sub>		0.9061
υγρής φάσης H <sub>2</sub>		0.01712
Συντελεστής διάθλασης, IR		1.110

Πίνακας 4.3

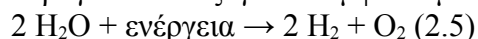
ΤΡΙΠΛΟ ΣΗΜΕΙΟ ΣΥΝΥΠΑΡΞΕΩΣ ΑΕΡΙΑΣ, ΥΓΡΗΣ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΗΣ ΦΑΣΗΣ		
Ιδιότητες	Ευρωπαϊκές μονάδες μέτρησης	Αγγλοσαξονικές μονάδες μέτρησης
Θερμοκρασία, T	13.803 K	-434.8 °F
Πίεση, P	7.04 kPa	1.02 psia
<b>Πυκνότητα, ρ</b>		
αέριος φάσης H <sub>2</sub>	0.1258 kg/m <sup>3</sup>	0.00784 lbm/ft <sup>3</sup>

υγρής φάσης H <sub>2</sub>	77.03 kg/m <sup>3</sup>	4.81 lbm/ft <sup>3</sup>
στερεής φάσης H <sub>2</sub>	86.50 kg/m <sup>3</sup>	5.40 lbm/ft <sup>3</sup>
Θερμότητα τήξης	58.29 kJ/kg	25.08 Btu/lbm
Θερμότητα αεριοποίησης	449.17 kJ/kg	193.2 Btu/lbm
Θερμότητα στερεοποίησης	507.39 kJ/kg	218.3 Btu/lbm
<b>Ειδική θερμότητα κορεσμού, C<sub>σ</sub></b>		
αέριος φάσης H <sub>2</sub>	-23.28 kJ/kg·K	-5.57 Btu/lbm·°R
υγρής φάσης H <sub>2</sub>	6.87 kJ/kg·K	1.64 Btu/lbm·°R
στερεής φάσης H <sub>2</sub>	2.84 kJ/kg·K	0.679 Btu/lbm·°R
<b>Ειδική θερμότητα υπό σταθερή πίεση, C<sub>p</sub></b>		
αέριος φάσης H <sub>2</sub>	10.52 kJ/kg·K	2.513 Btu/lbm·°R
υγρής φάσης H <sub>2</sub>	6.513 kJ/kg·K	1.557 Btu/lbm·°R
<b>Ενθαλπία, H</b>		
αέριος φάσης H <sub>2</sub>	140.3 kJ/kg	60.4 Btu/lbm
υγρής φάσης H <sub>2</sub>	-308.9 kJ/kg	-132.9 Btu/lbm
στερεής φάσης H <sub>2</sub>	-367.2 kJ/kg	-158.0 Btu/lbm
<b>Εσωτερική ενέργεια, U</b>		
αέριος φάσης H <sub>2</sub>	84.23 kJ/kg	36.24 Btu/lbm
υγρής φάσης H <sub>2</sub>	-309.0 kJ/kg	-132.9 Btu/lbm
στερεής φάσης H <sub>2</sub>	-367.3 kJ/kg	-158.0 Btu/lbm
<b>Εντροπία, S</b>		
αέριος φάσης H <sub>2</sub>	37.52 kJ/kg·K	8.967 Btu/lbm·°R
υγρής φάσης H <sub>2</sub>	20.16 kJ/kg·K	1.186 Btu/lbm·°R
στερεής φάσης H <sub>2</sub>	0.739 kJ/kg·K	0.177 Btu/lbm·°R
<b>Ταχύτητα του ήχου, ω (αδιαβατικά)</b>		
αέριος φάσης H <sub>2</sub>	305 m/s	1001 ft/s
υγρής φάσης H <sub>2</sub>	1273 m/s	4177 ft/s
<b>Ιξώδες, η</b>		
αέριος φάσης H <sub>2</sub>	0.74 μPa·s	0.00074 centipoise
υγρής φάσης H <sub>2</sub>	26.0 μPa·s	0.026 centipoise
<b>Θερμική αγωγιμότητα, k</b>		
αέριος φάσης H <sub>2</sub>	1.24 μW/m·K	0.00717 Btu/ft·h·°R
υγρής φάσης H <sub>2</sub>	7.3 μW/m·K	0.0422 Btu/ft·h·°R
στερεής φάσης H <sub>2</sub>	90 μW/m·K	0.52 Btu/ft·h·°R
<b>Βαθμός διαμοριακού δυναμικού, ε</b>		
αέριος φάσης H <sub>2</sub>	1.00038	
υγρής φάσης H <sub>2</sub>	1.252	
στερεής φάσης H <sub>2</sub>	1.286	
<b>Παράγοντας συμπιεστότητας, Z</b>		
αέριος φάσης H <sub>2</sub>	0.9850	
υγρής φάσης H <sub>2</sub>	0.001606	

Πίνακας 4.4

#### 4.1.6 Γενικές μέθοδοι παρασκευής του υδρογόνου και κυριότερες χρήσεις του σήμερα

Οι μέθοδοι με τις οποίες αυτό μπορεί να παρασκευαστεί είναι πολλές και οι περισσότερες από αυτές περιέχουν τη διαδικασία της υδρόλυσης στην εξέλιξή τους. Κατά τη συγκεκριμένη διαδικασία, το υδρογόνο παρασκευάζεται μέσω της διάσπασης των μορίων του νερού σε υδρογόνο και οξυγόνο σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση:

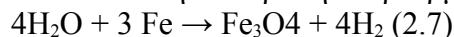


Μερικές από τις γνωστότερες διαδικασίες τεχνικές μεθόδους παρασκευής του υδρογόνου σήμερα, είναι και οι παρακάτω :

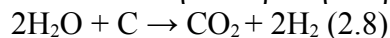
- Από το φυσικό αέριο ή το φωταέριο, με κλασματική διαπίδυση.
- Με την επίδραση του νερού «εν ψυχρώ» σε νάτριο:



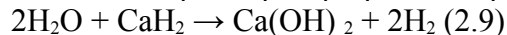
- Με την επίδραση υπέρθερμων υδρατμών σε διάλυρο σίδηρο:



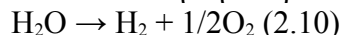
- Με την επίδραση υπέρθερμων υδρατμών σε διάλυρο άνθρακα:



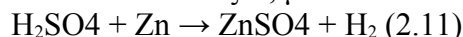
- Με την επίδραση νερού σε υδρίδιο του ασβεστίου:



- Με την ηλεκτρόλυση του νερού:



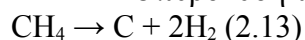
- Από τα οξέα, με αντικατάσταση του H από άτομα κάποιου μετάλλου:



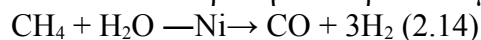
- Από τις βάσεις με την επίδραση άλλων επαμφοτεριζόντων στοιχείων:



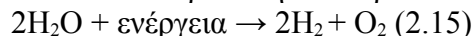
- Με πυρόλυση του μεθανίου:



- Με επίδραση του νερού στο μεθάνιο παρουσία νικελίου ως καταλύτη:



- Με υδρόλυση του νερού στους 5000°C:



Θα πρέπει να τονιστεί, ότι από τις παραπάνω μεθόδους παρασκευής του υδρογόνου, μόνο ορισμένες από αυτές μπορούν να χαρακτηριστούν σαν <<εμπορικά>> αξιοποιήσιμες μεθόδους παρασκευής του. Κι αυτό γιατί, όπως εξάλλου ισχύει και για τα περισσότερα υλικά, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί μια οποιαδήποτε μέθοδος παρασκευής στο εμπόριο, θα πρέπει αυτή να χαρακτηρίζεται από προσβάσιμες απαιτήσεις στις αναγκαίες ποσότητες του βασικού υλικού της, στο κόστος πραγματοποίησής της και στην απαιτούμενη ενέργεια που χρειάζεται για την εφαρμογής της. Για το λόγο αυτό, από τις παραπάνω μεθόδους παρασκευής του υδρογόνου, μόνο κάποιες από αυτές μπορούν να χαρακτηριστούν ως <<εμπορικά>> αξιοποιήσιμες και να χρησιμοποιηθούν μαζικά για την παραγωγή αυτού. Ενδεικτικά, οι διάφορες <<εμπορικές>> μέθοδοι παρασκευής του υδρογόνου, χωρίζονται σε 3 βασικές κατηγορίες: τις θερμοχημικές, τις ηλεκτρολυτικές και τις φωτολυτικές.

Στην συνέχεια θα αναφέρουμε κάποιες από τις σημαντικότερες χρήσεις του υδρογόνου στις μέρες μας :

- Το υδρογόνο χρησιμοποιείται σε μεγάλες ποσότητες από τη χημική βιομηχανία για την παρασκευή αμμωνίας, μεθανίου και μεθανόλης και σε μικρότερες για την παρασκευή των διαφόρων βενζινών και του μυρμηγκικού οξέως. Οι προηγούμενες ουσίες, χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για την παρασκευή διαφόρων άλλων παραγώγων ουσιών, όπως για παράδειγμα λιπασμάτων, εκρηκτικών, αντιψυκτικών κ.τ.λ..

- Το υδρογόνο χρησιμοποιείται ευρύτατα στην τεχνολογία των τροφίμων για την παρασκευή διαφόρων υδρογονανθράκων.

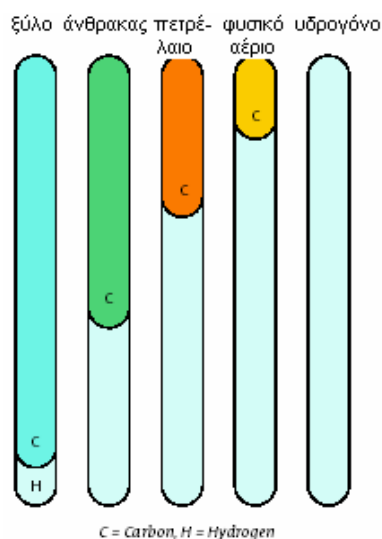
- Η επιστήμη της φυσικής αξιοποιεί το υδρογόνο για τη μελέτη των στοιχειωδών σωματιδίων.

- Με τη μορφή υγρού, το υδρογόνο εφαρμόζεται στη μελέτη της υπεραγωγιμότητας των υλικών.

#### **4.1.7 Το υδρογόνο ως ενεργειακό καύσιμο - Οικονομία του υδρογόνου**



Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, το υδρογόνο έχει μία σημαντική ιδιότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ωφέλιμο τρόπο: Μπορεί να αποτελέσει πρώτη ύλη, δηλαδή <<καύσιμο>>, για την παραγωγή ενέργειας. Όπως έχει αποδείξει η ιστορία, ο άνθρωπος κατά την διάρκεια της εξέλιξής του, έχει χρησιμοποιήσει διάφορες πηγές ενέργειας οι οποίες περιείχαν αφενός σαν βασικό συστατικό τους τον άνθρακα, αλλά αφετέρου σε ολόένα και μικρότερες περιεκτικότητες στο εσωτερικό τους. Από τον ξυλάνθρακα (ξύλο) για παράδειγμα που αποτέλεσε την κύρια πηγή ενέργειας της ανθρωπότητας στην Αρχαιότητα, στον γαιάνθρακα κατά την διάρκεια της Βιομηχανικής Επανάστασης και στο πετρέλαιο κατά την Σύγχρονη Εποχή, ο άνθρωπος χρησιμοποίησε τον άνθρακα σαν βασικό μέσο παραγωγής της αναγκαίας του ενέργειας, με τη μορφή των διαφόρων φυσικών πηγών του που του ήταν κάθε φορά περισσότερο εύκολα προσβάσιμες σ' αυτόν. Επιπλέον, η εξέλιξη και ανάπτυξη των τεχνολογικών του εφευρέσεων, τον οδήγησαν να αναζητεί συνεχώς νέες πηγές άνθρακα, οι οποίες, όπως είπαμε, περιείχαν όλο και λιγότερο αυτόν σαν βασικό συστατικό στη μάζα τους. Ποτέ όμως, οποιοδήποτε καύσιμο που χρησιμοποιήθηκε από τον άνθρωπο για την μαζική παραγωγή ενέργειας του δεν περιείχε στη μάζα του μηδενικές ποσότητες από άνθρακα και αυτό συνεχίζεται έως τις μέρες μας με τη μαζική χρησιμοποίηση των διαφόρων ορυκτών καυσίμων (π.χ. πετρέλαιο, φυσικό αέριο, γαιάνθρακας) από τον σύγχρονο πολιτισμό για την παραγωγή ενέργειας. Το υδρογόνο, απ' αυτή τη σκοπιά, αποτελεί πράγματι μια τομή για την ιστορική εξέλιξη της ενεργειακής παραγωγής από τον άνθρωπο, μιας και είναι ουσιαστικά το πρώτο καύσιμο που δεν βασίζεται καθόλου στον άνθρακα. Στο παρακάτω σχήμα, απεικονίζεται ποσοτικά η διαφορετική σύσταση σε περιεκτικότητα σε άνθρακα, των κυριότερων ορυκτών καυσίμων που έχουν χρησιμοποιηθεί ιστορικά από τα αρχαία χρόνια μέχρι σήμερα από τον άνθρωπο, καθώς επίσης και η διαφοροποίηση του υδρογόνου έναντι αυτών, σαν πιθανό μελλοντικό καύσιμο μαζικής παραγωγής ενέργειας:



**Σχήμα 4.1.4: Περιεκτικότητες καυσίμων σε άνθρακα και υδρογόνο.**

Εκτός από την μηδενική του περιεκτικότητα σε άνθρακα, ένα εξίσου σημαντικό χαρακτηριστικό που παρουσιάζει το υδρογόνο σαν καύσιμο, είναι ότι μπορεί να προσφέρει πολύ μεγαλύτερα ποσά ενέργειας από τα αντίστοιχα ποσά των διαφόρων ορυκτών καυσίμων, τα οποία είναι ικανά να τροφοδοτήσουν τις περισσότερες από τις καθημερινές ανάγκες του ανθρώπου, ξεκινώντας από την ηλεκτροδότηση των σπιτιών και των πόλεών του, την κίνηση των μεταφορικών του μέσων και την ικανοποίηση των μικρότερων καθημερινών του αναγκών (π.χ. οικιακές εργασίες, θέρμανση χώρων κ.τ.λ.).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα ηλεκτρομηχανολογικής / χημικής διάταξης παραγωγής ενέργειας από το υδρογόνο, αποτελούν οι λεγόμενες κυψέλες καυσίμου του (fuel cells), οι οποίες χρησιμοποιούν την αντίδραση σύντηξης του με το <<καθαρό>> οξυγόνο (ή με το οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα) και μέσω ηλεκτρόλυσης παράγουν ηλεκτρική ενέργεια ή θερμότητα.

Μια δεύτερη κατηγορία, θερμοχημικών κυρίως, διατάξεων παραγωγής ενέργειας από το υδρογόνο, αποτελούν οι μηχανές εσωτερικής καύσης αυτού (MEK υδρογόνου), οι οποίες, όσον αφορά την κατασκευή τους, δεν παρουσιάζουν κάποια ιδιαίτερη διαφοροποίηση από τις συμβατικές μηχανές εσωτερικής καύσης των ορυκτών καυσίμων. Όπως και στις κυψέλες καυσίμου, στις MEK υδρογόνου η πρωταρχική μορφή ενέργειας που παράγεται από αυτές είναι είτε ο ηλεκτρισμός είτε η θερμότητα, οι οποίες στη συνέχεια μετατρέπονται σε άλλες δευτερεύουσες μορφές ενέργειας ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη. Το υδρογόνο μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στις ενεργειακές ανάγκες της ανθρωπότητας στο μέλλον, μιας και οι δυνατότητες που υπάρχουν από αυτό για την μαζική παραγωγή ενέργειας είναι πολύ μεγάλες και μάλιστα μέσου ανανεώσιμου τρόπου.

Η χρήση του υδρογόνου σαν ενεργειακό μέσο μπορεί να συνδυαστεί με την εφαρμογή των περισσότερων από τις υπόλοιπες ΑΠΕ (π.χ. ηλιακή και αιολική ενέργεια, υδροηλεκτρισμός κ.λπ.), μέσω των οποίων μπορεί να εξασφαλιστεί η επαρκής ποσότητα παραγωγής του, η οποία επιτυγχάνεται κατά βάση μέσω της παραγωγής του από το νερό (ηλεκτρόλυση), του οποίου και αποτελεί βασικό συστατικό. Ο τρόπος αυτός παραγωγής του υδρογόνου παρουσιάζει ιδιαίτερα ευοίωνες προοπτικές για το μέλλον, μιας και ως γνωστόν, το νερό αποτελεί το πλουσιότερο στοιχείο του πλανήτη μας και υπάρχει άφθονο στα περισσότερα μέρη της γης (είτε σαν συστατικό των ποταμών και των λιμνών, είτε πολύ περισσότερο σαν συστατικό των ωκεανών). Προς το παρόν πάντως, η κύρια μέθοδος παραγωγής του υδρογόνου πραγματοποιείται μέσω της θερμοχημικής επεξεργασίας του φυσικού αερίου, μιας και αποτελεί τον οικονομικότερο τρόπο γι' αυτό.

Το υδρογόνο, εκτός από υλικό παραγωγής ενέργειας, αποτελεί και ιδανική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας (ΑΠΕ), μιας και η ένωσή του στη πράξη με το ατμοσφαιρικό οξυγόνο με σκοπό την παραγωγή ενέργειας, είτε μέσω της ηλεκτρόλυσης είτε μέσω της καύσης του, δημιουργεί ως κύρια υποπαράγωγα της το νερό και τη θερμότητα και δευτερευόντως ορισμένα άλλα αέρια (κυρίως οξείδια του αζώτου), τα οποία όμως βρίσκονται σε πολύ μικρές ποσότητες ώστε να μην επηρεάζουν σημαντικά το περιβάλλον τους. Έτσι το υδρογόνο, μπορεί στο μέλλον να αποτελέσει την κύρια εναλλακτική λύση για την μαζική παραγωγή ενέργειας έναντι των ορυκτών καυσίμων, μιας και αυτή βασίζεται σήμερα κυρίως στην χρησιμοποίηση αυτών (μέσω της καύσης τους). Η πιθανή όμως υιοθέτησή του υδρογόνου ως βασικού ενεργειακού μέσου στο μέλλον, προϋποθέτει και την ριζική μεταστροφή της παγκόσμιας ενεργειακής οικονομίας σε έναν καινούργιο και διαφορετικό τρόπο λειτουργίας της, ο οποίος θα βασίζεται κατά κύριο λόγο σ' αυτό και στις διάφορες τεχνολογίες του. Η νέα αυτή μορφή, χαρακτηρίζεται σήμερα από τους επιστήμονες που ασχολούνται με την τεχνολογία του σαν παγκόσμια <<Οικονομία του υδρογόνου>>. Μεταξύ των άλλων, οι διάφοροι σχεδιασμοί που γίνονται σήμερα όσον αφορά την πιθανή υιοθέτηση της <<Οικονομίας του υδρογόνου>> στο μέλλον, αφορούν τη μετατόπιση του παρόντος ενεργειακού ενδιαφέροντος της ανθρωπότητας από τα διάφορα δίκτυα μεταφοράς του ηλεκτρισμού και των ορυκτών καυσίμων της, στα καινούργια δίκτυα μαζικής μεταφοράς υδρογόνου είτε σε υγρή είτε σε αέρια μορφή, μέσα από μεγάλους αγωγούς ή μεταφερόμενο πάνω σε δεξαμενές πλοίων (που ήδη υπάρχει). Το μελλοντικό δίκτυο διανομής του υδρογόνου που προβλέπεται να εφαρμοστεί στο μέλλον, παρουσιάζει ορισμένα θετικά σημεία έναντι του παρόντος δικτύου διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται σήμερα (δευτερευόντως έναντι του δικτύου διανομής του πετρελαίου και του φυσικού αερίου), τα οποία μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

Η διανομή του υδρογόνου (σε αέρια κυρίως μορφή), θεωρείται πολύ πιο αποδοτική από την διανομή του ηλεκτρισμού μέσω μετασχηματιστών και καλωδίων, ενώ το αέριο υδρογόνο μπορεί επίσης να αποθηκευτεί πιο εύκολα και πιο αποδοτικά από την ηλεκτρική ενέργεια. Υπάρχουν πάντως και ορισμένα μειονεκτήματα, όσον αφορά τη διανομή του υδρογόνου σε αέρια ή υγρή κατάσταση, τα οποία αφορούν κυρίως την δυσκολία κατά την αποθήκευση και διανομή του σε κλειστούς χώρους, λόγω της δυνατότητάς του για εύκολη ανάφλεξη σ' αυτούς.

Ένα δεύτερο, μικρότερης σημασίας μειονέκτημα, αφορά το γεγονός, ότι το υδρογόνο σε συνήθεις συνθήκες περιβάλλοντος σαν αέριο είναι άχρωμο και άοσμο, με αποτέλεσμα να είναι εύκολη η διαφυγή του από τα δίκτυα μεταφοράς του προς το περιβάλλον, χωρίς αυτό να γίνει άμεσα αντιληπτό. Το συγκεκριμένο όμως μειονέκτημα μπορεί να λυθεί σχεδόν ουσιαστικά, χρησιμοποιώντας τον τεχνητό χρωματισμό του ή την προσδώση σ' αυτό τεχνητής οσμής, όπως εφαρμόζεται και κατά την διανομή του φυσικού αερίου. Θα πρέπει επίσης να τονίσουμε, ότι οι νέες τεχνικές μέθοδοι αποθήκευσης του υδρογόνου που έχουν αρχίσει να εξελίσσονται τα τελευταία χρόνια, κυρίως μέσω της αποθήκευσης του μέσα σε στερεά υλικά (π.χ. μεταλλικά υδρίδια και στερεές ενώσεις του με τον άνθρακα) έχουν επίσης αρχίσει να επιφέρουν πολλές λύσεις στο εξίσου σημαντικό, σε σχέση με την διανομή του, πρόβλημα της αποθήκευσής του, με αποτέλεσμα η νέα γενιά τεχνολογιών του στα επόμενα από τώρα χρόνια να μπορεί να βασίζεται σε ασφαλή και αποτελεσματική του αποθήκευση.

Ο σχεδιασμός της μελλοντικής <<οικονομίας του υδρογόνου>>, συνδυάζεται σήμερα κυρίως με την ιδέα της αποκεντρωμένης και τοπικής ενεργειακής μετατροπής του υδρογόνου (local hydrogen generation), η οποία μπορεί να ενταχθεί σε κάθε ενεργειακό σύστημα μιας οποιασδήποτε χώρας (ανεξάρτητα από την έκτασή της και τον πληθυσμό της). Κατά την ενεργειακή αυτή μετατροπή, η τοπικά παραγόμενη πλεονάζουσα ενέργεια υδρογόνου από διάφορες ΑΠΕ, π.χ. βιομάζα, Φ/Β κύτταρα, μικρούς υδροστρόβιλους, Α/Γ κ.ά. σε οικίες, αιολικά πάρκα, εγκαταστάσεις ΑΠΕ τοπικών αυτοδιοικήσεων κλπ, προβλέπεται ότι θα διοχετεύεται έναντι αμοιβής ή μέσω ανταλλαγής μέσα στο εθνικό δίκτυο της κάθε χώρας. Με τον τρόπο αυτό, θα αποφεύγονται οι διάφορες απώλειες ισχύος που υπάρχουν σήμερα στο εθνικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικού ρεύματος αυτών, που ως γνωστόν λειτουργεί κατά πλείστον με <<κεντροποιημένο>> τρόπο, δηλαδή μέσω παραγωγής και διανομής του ηλεκτρικού ρεύματος από μεγάλους ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς.

Σε αντίθεση δηλαδή με το <<κεντροποιημένο>> σύστημα παραγωγής και διανομής του ηλεκτρικού ρεύματος που ισχύει σήμερα, το μελλοντικό <<αποκεντρωμένο>> ενεργειακό σύστημα του υδρογόνου θα χαρακτηρίζεται σε μεγάλο ποσοστό από την ενσωματωμένη ενεργειακή μετατροπή αυτού (embedded hydrogen generation), δηλαδή την τοπικά ασκούμενη μετατροπή του υδρογόνου σε ενέργεια από τοπικούς σταθμούς παραγωγής του. Το <<αποκεντρωμένο>> αυτό σύστημα παραγωγής και διανομής του υδρογόνου, εκτός από την αποφυγή απωλειών σε εθνικό επίπεδο, παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι αποτελεί και ένα νέο <<καθαρό>> σύστημα παραγωγής ενέργειας, το οποίο αξιοποιεί και διάφορες άλλες μορφές ΑΠΕ εκτός από το υδρογόνο. Για να έχουμε μια εικόνα για τον τρόπο λειτουργίας του αποκεντρωμένου συστήματος διανομής του υδρογόνου, θα αναφέρουμε τα στάδια από τα οποία αυτό αποτελείται, ξεκινώντας από το στάδιο της παραγωγής του μέσω κυρίως διαφόρων ΑΠΕ, μέχρι το στάδιο της κατανάλωσης της ενέργειάς του από τον τελικό αποδέκτη του (τον άνθρωπο):

1. Το πρώτο στάδιο, περιλαμβάνει την παραγωγή του υδρογόνου, μέσω κατάλληλων τεχνικών, χρησιμοποιώντας γι' αυτό σαν πρώτες ύλες κυρίως το νερό (μέσω της ηλεκτρόλυσης ή της υδρόλυσής του) ή εναλλακτικά τα ορυκτά καύσιμα και εφαρμόζοντας τις διάφορες άλλες τεχνολογίες ΑΠΕ για την παραγωγή του (π.χ. ηλιακή ή αιολική ενέργεια).

2. Το δεύτερο στάδιο, περιλαμβάνει την αποθήκευση του παραχθέντος υδρογόνου του πρώτου σταδίου, με τη βοήθεια διαφόρων φυσικών ή χημικών διεργασιών αποθήκευσής του (π.χ. αποθήκευσή του σε στερεά υλικά).

3. Το τρίτο και τελευταίο στάδιο του <<αποκεντρωμένου>> συστήματος παραγωγής και διανομής του υδρογόνου, περιλαμβάνει την μετατροπή της εσωτερικής χημικής ενέργειας του υδρογόνου, αρχικά σε ηλεκτρισμό ή θερμότητα και στη συνέχεια σε οποιαδήποτε άλλη μορφή ενέργειας, στο σημείο όπου γίνεται η κατανάλωσή του. Οι ενεργειακές απαιτήσεις του μέλλοντος μπορούν πράγματι να καλυφθούν από την μαζική χρησιμοποίηση του υδρογόνου ως φορέα ενέργειας, μιας και το υδρογόνο, εκτός από την δυνατότητα που έχει να παράγει σχεδόν <<καθαρή>> ενέργεια στη πράξη, αποτελεί, όπως έχουμε αναφέρει και το πιο συμφέρον, από άποψη ενεργειακών δυνατοτήτων, καύσιμο σε σχέση με όλα τα ενεργειακά καύσιμα που χρησιμοποιούνται σήμερα. Το γεγονός αυτό απεικονίζεται έκδηλα στον παρακάτω πίνακα 4.1.5, στον οποίο γίνεται μια σύγκριση μεταξύ της παραγωγικής ικανότητας του υδρογόνου σε ενέργεια και της παραγωγικής ικανότητας των κυριότερων σημερινών ενεργειακών καυσίμων που χρησιμοποιούνται από τον άνθρωπο:

Καύσιμο	Υδρογόνο	Φυσικό αέριο	LPG (προπάνιο)	Πετρέλαιο (αργό)	Μεθανόλη	Βενζίνη	Μπαταρίες Μολύβδου
Ενεργειακή πυκνότητα ανά μονάδα βάρους (kwh/kg)*	<b>33.3</b>	13.9	12.9	12.1	5.6	12.7	0.03
Ενεργειακή πυκνότητα ανά μονάδα όγκου (kwh/lit)	0.53	2.6	7.5	10.8	4.4	8.7	0.09

**Σχήμα 4.1.5 :Συγκριτικά στοιχεία ενεργειακής πυκνότητας μεταξύ του υδρογόνου και των κυριότερων από τα σημερινά ενεργειακά καύσιμα.**

\*το βάρος κάθε καυσίμου αποτελεί το καθαρό βάρος αυτού, χωρίς τον συμψηφισμό κάποιου άλλου βάρους που προστίθεται στο συνολικό του βάρος (π.χ. βάρος εξοπλισμού για την αποθήκευσή του κ.τ.λ.).

Όπως παρατηρούμε από τον παραπάνω πίνακα, το υδρογόνο παρουσιάζει την μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα ανά μονάδα βάρους του (33.3 kwh/kg) σε σχέση με αυτή των υπολοίπων (ορυκτών ή μη) ενεργειακών καυσίμων που χρησιμοποιούνται σήμερα. Από την άλλη μεριά όμως, παρουσιάζει και την μικρότερη ενεργειακή πυκνότητα ανά μονάδα όγκου του (0.53 kwh/lit) σε σχέση με αυτά, γεγονός που οφείλεται στην εξαιρετικά μικρή του αέρια πυκνότητα υπό συνθήκες περιβάλλοντος. Αυτό, όπως θα δούμε και στη συνέχεια, αποτελεί σήμερα το κυριότερο εμπόδιο στην ανάπτυξη της τεχνολογίας του, κυρίως στον τομέα της ασφαλούς και αποτελεσματικής αποθήκευσής του. Όπως όμως έχουμε αναφέρει, τα τελευταία χρόνια γίνονται προσπάθειες να επιλυθεί και το πρόβλημα αυτό, μέσω κυρίως της ανάπτυξης των τεχνικών μεθόδων αποθήκευσής του σε διάφορα υλικά. Τα αποτελέσματα από αυτές τις προσπάθειες έχουν ήδη αρχίσει σιγά – σιγά να γίνονται ορατά. Ένας επιστημονικός τομέας του οποίου η εφαρμογή αποτελεί το βασικό κλειδί για την ανάπτυξη της τεχνολογίας του υδρογόνου, είναι η επιστήμη νανομέτρου (ή η νανοεπιστήμη). Αυτό, διότι πολλά υλικά προοριζόμενα για την αποθήκευσή του στη μάζα τους ή και για την κατασκευή βασικών μερών διατάξεων παραγωγής ενέργειάς του (π.χ. μεμβρανών και ηλεκτροδίων από κυψέλες καυσίμου του), βελτιώνουν ριζικά τις επιδόσεις τους, όταν αποκτήσουν νανοκρυσταλλική. Ο λόγος γι' αυτό είναι, ότι όταν τα συγκεκριμένα αυτά υλικά, όταν αντιδρούν στην διάσταση του nm, παρουσιάζουν κάποιες ξεχωριστές ιδιότητες που συντελούν σημαντικά στην απόσπαση ενέργειας από το υδρογόνο. Οι ξεχωριστές αυτές ιδιότητες, προέρχονται κυρίως από τις μεγάλες επιφάνειες που έχουν οι θεμελιώδη λίθοι τους (κόκκοι), όταν αυτοί βρίσκονται δομημένοι στη διάσταση του nm.

Εξετάζοντας, από την άλλη μεριά, τη χρησιμοποίηση του υδρογόνου σαν μαζικού φορέα ενέργειας σε μακροσκοπική κλίμακα, η μαζική του εφαρμογή, από ενεργειακή και περιβαλλοντική σκοπιά, προφανώς αποτελεί μια εξαιρετικά ελπιδοφόρα λύση για το μέλλον, όσον αφορά το ενεργειακό και περιβαλλοντικό πρόβλημα που σήμερα αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα. Γστόσο, δεν θα πρέπει να ξεχνάμε, ότι η τεχνολογία αξιοποίησης του υδρογόνου σαν ενεργειακό καύσιμο αποτελεί μια σχετικά καινούργια επιστήμη, η οποία μόλις τις τελευταίες δύο δεκαετίες έχει αρχίσει να κάνει τα πρώτα δυναμικά της βήματα. Επομένως, είναι φυσιολογικό να υπάρχουν ακόμα πολλοί τομείς στους οποίους αυτή θα πρέπει να εξελιχτεί περαιτέρω, πριν η μαζική της χρησιμοποίηση εφαρμοστεί και στην πράξη. Υπάρχουν δηλαδή ακόμη αρκετά τεχνολογικά ζητήματα τα οποία πρέπει πρώτα να ξεπεραστούν, πριν το υδρογόνο μπορέσει να αποτελέσει μια αξιόπιστη εναλλακτική λύση έναντι των διαφόρων ορυκτών καυσίμων που κατά πλείστον χρησιμοποιούνται σήμερα για τη μαζική παραγωγή ενέργειας.

Ένας σημαντικός τομέας στον οποίο η ενέργεια του υδρογόνου θα πρέπει να κάνει ακόμα αρκετά βήματα, είναι ο τομέας της μαζικής παραγωγής των διαφόρων ενεργειακών τεχνολογιών της σε οικονομική κλίμακα, η οποία προς το παρόν δεν έχει ακόμα επιτευχθεί. Υπάρχουν αρκετά αίτια που συντελούνε σ' αυτό, μεταξύ των οποίων προφανώς βρίσκεται και η κατασκευή μηχανών της οι οποίες θα αποτελούνται από φθηνά και προσβάσιμα υλικά. Η βασικότερη όμως αιτία που συντελεί στην καθυστέρηση της ανάπτυξής της, είναι η κατασκευή ενός μαζικού δικτύου διανομής της ενέργειάς του υδρογόνου, η οποία κατά κύριο λόγο οφείλεται στην υποσκέλιση αυτής από τη χρησιμοποίηση των ορυκτών καυσίμων σαν βασικά μέσα παραγωγής ενέργειας. Γστόσο, σε διάφορες χώρες ανά το κόσμο έχουν ήδη γίνει βήματα προς αυτή τη κατεύθυνση, κυρίως μέσω της χρησιμοποίησης του υδρογόνου σε διάφορα μεταφορικά μέσα:



Σχήμα 4.1.6: Αστικό επιβατικό λεωφορείο με κυψέλες καυσίμου υδρογόνου (τέθηκε για πρώτη φορά σε κυκλοφορία το 2006 στην πόλη του Αμβούργου στη Γερμανία).

#### **4.1.8 Πλεονεκτήματα του υδρογόνου έναντι των συμβατικών πηγών ενέργειας**

Στη συνέχεια θα αναφέρουμε συνοπτικά τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει το υδρογόνο σαν μέσο παραγωγής ενέργειας, έναντι των συμβατικών ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται σήμερα για το σκοπό αυτό:

- Σε σχέση με οποιοδήποτε συμβατικό καύσιμο, το υδρογόνο παρουσιάζει όπως έχουμε πει την μεγαλύτερη ικανότητα παραγωγής ενέργειας ανά μονάδα βάρους του, η οποία ισούται περίπου με 120.7 kJ/kg. Η ενέργεια αυτή, είναι τρεις φορές μεγαλύτερη περίπου από την ενέργεια 1 kg συμβατικής βενζίνης.
- Κατά την καύση του (ή κατά την ηλεκτρόλυσή του μέσα σε κυψέλες

καυσίμου), το υδρογόνο παράγει ελάχιστους ρύπους, οι οποίοι είναι πολύ λιγότεροι από αυτούς που παράγονται κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων. Όσο περισσότερο <<καθαρή>> είναι η ποσότητα του υδρογόνου που καίγεται με το οξυγόνο, τόσο λιγότεροι ρύποι εκλύονται κατά την καύση αυτή. Παρουσία <<καθαρού>> οξυγόνου, η καύση του <<καθαρού>> υδρογόνου παράγει μόνο νερό και θερμότητα, ενώ όταν το συμμετέχον οξυγόνο αντιδρά σαν <<ατμοσφαιρικό>> παράγονται και ορισμένα οξειδία του αζώτου (λόγω της παρουσίας του αζώτου στον ατμοσφαιρικό αέρα). Οι ποσότητες όμως αυτές είναι πολύ μικρές για να επηρεάσουν σημαντικά την ατμόσφαιρα της γης, ακόμα και για μαζικής κλίμακας κατανάλωση του υδρογόνου. Σχήμα 4.1.6: Αστικό επιβατικό λεωφορείο με κυψέλες καυσίμου υδρογόνου (τέθηκε για πρώτη φορά σε κυκλοφορία το 2006 στην πόλη του Αμβούργου στη Γερμανία).

- Όπως αναφέραμε πριν, η καύση (ή η ηλεκτρόλυση) του υδρογόνου με τον ατμοσφαιρικό αέρα παράγει σαν κύριο προϊόν της το νερό. Οι ποσότητες όμως αυτού, όπως και οι αντίστοιχες ποσότητες των οξειδίων του αζώτου, είναι πολύ μικρές, ακόμα και για μαζική κατανάλωση του υδρογόνου, ώστε να επηρεάσουν σημαντικά το γήινο περιβάλλον. Εξάλλου, η πλεονάζουσα ποσότητα του νερού που παράγεται κατά την ένωση του υδρογόνου με το οξυγόνο μέσα σε ενεργειακές διατάξεις, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για περαιτέρω σκοπούς (π.χ. άρδευση γης, υδροδότηση πόλεων από σταθερές διατάξεις παραγωγής ενέργειας υδρογόνου). Εκτός από αυτό, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, μια δυνατή μέθοδος παραγωγής του υδρογόνου είναι και η παραγωγή του μέσω της ηλεκτρόλυσης του νερού, οπότε οι παραπάνω ποσότητες νερού που παράγονται από τη χρήση του μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν για την εκ νέου παραγωγή του, βάζοντας έτσι το παραγόμενο από αυτό νερό σε έναν ημιανεώσιμο κύκλο ζωής. Η διαδικασία αυτή αναμένεται να εφαρμοστεί στη πράξη στα επόμενα χρόνια, με την αντίστοιχη ανάπτυξη των εναλλακτικών τεχνολογιών παραγωγής του μέσω ηλεκτρόλυσης (π.χ. χρήση ηλιακής ή αιολικής ενέργειας).

- Το υδρογόνο είναι το ίδιο ακίνδυνο, από πλευράς αυθόρμητης ανάφλεξης, σε σχέση με τα υπόλοιπα συμβατικά ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται σήμερα (π.χ. βενζίνη, πετρέλαιο, φυσικό αέριο κ.τ.λ.). Μάλιστα, κατά την απουσία ατμοσφαιρικού αέρα και υπό συνήθεις συνθήκες περιβάλλοντος ( $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  και  $P = 1 \text{ atm}$ ), το υδρογόνο είναι λιγότερο εύφλεκτο από αυτά τα καύσιμα, έχοντας για θερμοκρασία αυθόρμητης ανάφλεξης του τους  $585^\circ\text{C}$  (αντίστοιχη θερμοκρασία αυθόρμητης ανάφλεξης της βενζίνης, απουσία ατμοσφαιρικού αέρα:  $230 \text{ }^\circ\text{C} \div 480 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

- Μπορεί να συμβάλει σταδιακά στη μείωση του ρυθμού κατανάλωσης των ορυκτών καυσίμων, επιφέροντας έτσι σημαντικές ωφέλειες στον περιβαλλοντικό, ενεργειακό αλλά και οικονομικό τομέα, μέσω της δημιουργίας νέων θέσεων εργασίας για τον τελευταίο. Αν και σε πολλές περιπτώσεις τα διάφορα ορυκτά καύσιμα χρησιμοποιούνται και τα ίδια σαν πρώτες ύλες για την παρασκευή του υδρογόνου, το ενεργειακό και περιβαλλοντικό όφελος που προκύπτει από τη χρησιμοποίηση του υδρογόνου ως φορέα ενέργειας είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο των ορυκτών καυσίμων. Όπως έχουμε αναφέρει, η πιο αποδοτική και συμφέρουσα οικονομικά μέθοδος παρασκευής του υδρογόνου αυτή τη στιγμή, βασίζεται στην αναμόρφωση του φυσικού αερίου. Το φυσικό αέριο είναι ένα ορυκτό, το οποίο είναι αρκετά φθηνό, πολύ αποδοτικό και υπάρχει ακόμα σε μεγάλες διαθέσιμες ποσότητες στη φύση. Βεβαίως η χρησιμοποίησή του δεν σημαίνει ότι δεν θα πρέπει να γίνει αξιοποίηση των διαφόρων ΑΠΕ για την παραγωγή του υδρογόνου, οι οποίες μάλιστα μελλοντικά θα πρέπει και να το αντικαταστήσουν σ' αυτήν τη λειτουργία. Η χρησιμοποίησή του πάντως, αποτελεί ένα καλό προσωρινό μέτρο για την παραγωγή υδρογόνου με περιβαλλοντικά φιλικούς τρόπους, μέχρις ότου η μαζική χρησιμοποίηση των διαφόρων ΑΠΕ γι' αυτόν τον σκοπό γίνει πραγματικότητα.

- Τέλος, το υδρογόνο μπορεί να παρασκευαστεί με πολυάριθμες μεθόδους και σε οποιοδήποτε μέρος της γης και επομένως μπορεί να βοηθήσει πολλά κράτη που είναι «φτωχά» σε διαθέσιμα κοιτάσματα ορυκτών καυσίμων να αναπτύξουν τα δικά τους αυτόνομα και ολοκληρωμένα ενεργειακά συστήματα. Μέσου αυτού τα συγκεκριμένα κράτη, που ως γνωστόν είναι τα πολυπληθέστερα πάνω στον πλανήτη, θα μπορέσουν να αναπτύξουν τις δικές τους αυτόνομες ενεργειακές οικονομίες, ξεφεύγοντας από τον φαύλο κύκλο της ενεργειακής τους εξάρτησης από άλλα κράτη – προμηθευτές τους σε ορυκτά καύσιμα. Να αναφερθεί επίσης, ότι στα πλαίσια της ενεργειακής ανεξαρτησίας που προσφέρει το υδρογόνο ως καύσιμο ανήκει και η υψηλή αυτονομία και αυτοδιαχείριση που προσφέρει όταν καταναλώνεται στα πλαίσια ενός ενεργειακού συστήματος, η οποία συντελεί στο να προφυλάσσεται ικανοποιητικά το σύστημα αυτό όταν στο δίκτυό του συμβούν διάφορες καταστροφές λόγω δυσμενών γεγονότων (π.χ. πυρκαγιές, πλημμύρες, σεισμοί κ.τ.λ.), αφού η διακοπή της λειτουργίας μερικών τμημάτων του δεν έχει οπωσδήποτε σαν αποτέλεσμα την καθολική του κατάρρευση, μιας και τα διάφορα τμήματα που το αποτελούν είναι, λίγο ή περισσότερο ανεξάρτητα το ένα με το άλλο.

#### **4.1.9 Μειονεκτήματα του υδρογόνου έναντι των συμβατικών πηγών ενέργειας**

Όσον αφορά τώρα τα μειονεκτήματα του υδρογόνου έναντι των υπολοίπων συμβατικών πηγών ενέργειας, τα περισσότερα από αυτά έχουν να κάνουν με την σχετικά πρόσφατη στροφή της έρευνας προς την αξιοποίηση του υδρογόνου ως καύσιμο, με αποτέλεσμα να μην έχουν ακόμα εξελιχθεί οι κατάλληλες τεχνικές, ώστε να είναι ικανό να αξιοποιηθεί σε μαζική κλίμακα στη πράξη. Συνοπτικά, τα μειονεκτήματα αυτά έχουν ως εξής:

- Το μεγαλύτερο πρόβλημα που αντιμετωπίζει σήμερα το υδρογόνο σαν καύσιμο, αλλά και γενικότερα σαν βιομηχανικό προϊόν, είναι αυτό της αποτελεσματικής και ασφαλούς αποθήκευσής του. Δεδομένου ότι το υδρογόνο είναι ένα στοιχείο που σε αέρια κατάσταση είναι πολύ ελαφρύ, η συμπίεση μεγάλης ποσότητάς του σε πολύ μικρού μεγέθους δεξαμενές είναι ακόμα αρκετά δύσκολη, εξαιτίας των υψηλών πιέσεων που χρειάζονται γι' αυτό (ή αντίστοιχα εξαιτίας των πολύ χαμηλών θερμοκρασιών που χρειάζονται για την αποθήκευσή του σαν υγρό). Εκτός από αυτό, οι ακραίες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που απαιτούνται για την αέρια ή την υγρή του αποθήκευση, συνεπάγονται και την κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας για την επίτευξή τους, με αποτέλεσμα η αέρια ή η υγρή αποθήκευση του υδρογόνου να είναι αρκετά δαπανηρή σαν μέθοδος αποθήκευσής του. Για τον λόγο αυτό και η έρευνα που γίνεται σήμερα πάνω στην αποθήκευση του υδρογόνου έχει στραφεί προς νέες τεχνικές μεθόδους, οι οποίες αφενός έχουν σαν πεδίο αναφοράς τους την αποθήκευσή του σε νανοδομημένα υλικά (αύξηση της ποσότητας αποθήκευσής του) και στην δέσμευσή του από στερεά υλικά τα οποία το αποθηκεύουν στη μάζα τους με τη μορφή «στερεού» (προσροφημένο ή απορροφημένο μεταξύ των στερεών τους μορίων). Η «στερεή» αποθήκευση του υδρογόνου στα συγκεκριμένα υλικά, έχει σαν αποτέλεσμα να μειώνονται δραματικά οι ακραίες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που απαιτούνται κατά την αποθήκευσή του σαν υγρό ή σαν αέριο.

- Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει το υδρογόνο σαν καύσιμο παραγωγής ενέργειας είναι και το γεγονός, ότι το παγκόσμιο δίκτυο διανομής προς το παρόν δεν υφίσταται, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μαζική κλίμακα και από όλες τις χώρες του κόσμου. Επιπλέον, λόγω της ανυπαρξίας του δικτύου διανομής του, το κόστος ανεφοδιασμού του υδρογόνου σε παγκόσμια κλίμακα παραμένει

ακόμα υψηλό, μιας και οι διάφορες τεχνολογίες παραγωγής του μέσω ΑΠΕ δεν έχουν εξελιχθεί ακόμα σε ικανοποιητικό βαθμό. Το γεγονός όμως αυτό αναμένεται να αλλάξει στο μέλλον, όσο η κατανάλωσή του σαν καύσιμο θα αρχίσει να αυξάνεται και όσο η παραγωγή του από ΑΠΕ θα γίνεται όλο και περισσότερο φθηνότερη.

- Ένα τελευταίο πρόβλημα που αντιμετωπίζει σήμερα το υδρογόνο σαν καύσιμο μαζικής παραγωγής ενέργειας, είναι και το αυξημένο κόστος των διαφόρων ενεργειακών διατάξεων που χρησιμοποιούνται για την αξιοποίησή του σαν καύσιμο (των κυψελών καυσίμου και των ΜΕΚ υδρογόνου). Η τεχνολογία των διατάξεων αυτών, προς το παρόν, δε μπορεί ακόμα να θεωρηθεί ολοκληρωτικά αξιόπιστη, μιας και κατά την εφαρμογή τους παρουσιάζονται ορισμένα τεχνικά και οικονομικής φύσης προβλήματα που δεν καθιστούν ικανή τη μαζική χρησιμοποίησή τους. Για παράδειγμα, διάφορες κυψέλες καυσίμου υδρογόνου (π.χ. κυψέλες καυσίμου για οικιακή ή μεταφορική χρήση), εμφανίζουν ακόμα αρκετά προβλήματα μη ανοχής σε <μη καθαρά> υδρογονούχα καύσιμα, δηλαδή σε υδρογονούχα καύσιμα που δεν περιέχουν το υδρογόνο σε μεγάλες περιεκτικότητες (ως γνωστόν οι κυψέλες αυτές μπορούν να λειτουργήσουν και με <μη καθαρό> υδρογόνο π.χ. ανάγκης παραγωγής <καθαρού> υδρογόνου για μέγιστη αποδοτική λειτουργία τους, με αποτέλεσμα οι συγκεκριμένες κυψέλες καυσίμου να μην είναι ακόμα αρκετά ανταγωνιστικές σε σχέση με τις αντίστοιχες συμβατικές διατάξεις ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται σήμερα για την παραγωγή ενέργειας και να μην χρησιμοποιούνται ακόμα ευρέως. Επιπλέον, ένα ακόμα <αδύνατο> σημείο των κυψελών αυτών είναι, ότι τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή διαφόρων μηχανικών μερών είναι σχετικά ακριβά με αποτέλεσμα το κόστος χρήσης τους να αυξάνει ακόμα περισσότερο. Από την άλλη μεριά, τόσο στον τομέα της <καθαρότητας> των καυσίμων τους, όσο και στον τομέα των υλικών κατασκευής, οι ολοένα και περισσότερες ανακαλύψεις που γίνονται σήμερα από τους επιστήμονες που ασχολούνται με το συγκεκριμένο πεδίο δείχνουν, ότι στο μέλλον οι <<απόγονες>> ενεργειακές διατάξεις τους θα έχουν αντιμετωπίσει τα περισσότερα από τα προβλήματα αντιμετωπίζουν σήμερα.

## **4.2 ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ – ΤΡΟΠΟΙ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΤΟΥ**

### **4.2.1 Εισαγωγή**

Μέχρι τώρα κάναμε μία γενική αναφορά στις ιδιότητες και την οικονομία του υδρογόνου. Όπως είδαμε, η οικονομία του υδρογόνου αποτελείται συνοπτικά από τους εξής επί μέρους βασικούς τομείς: Την παραγωγή - διανομή, την αποθήκευση και τη χρήση του υδρογόνου. Στα παρακάτω δύο Κεφάλαια (3ο και 4ο), στηριζόμενοι σε αυτά που έχουμε αναφέρει μέχρι τώρα, θα εξετάσουμε συγκεκριμένα πια το θέμα της οικονομίας του υδρογόνου από την σκοπιά της διαδρομής που ακολουθεί αυτό από το στάδιο της παραγωγής του μέχρι το στάδιο της κατανάλωσής του. Στο παρόν κεφάλαιο, θα αναφερθούμε σε διάφορες εμπορικές μεθόδους παραγωγής του υδρογόνου, όπου θα γίνει πλήρης περιγραφή της κάθε μεθόδου ξεχωριστά και των πλεονεκτημάτων / μειονεκτημάτων που αυτή παρουσιάζει. Επίσης, στο ίδιο κεφάλαιο, θα γίνει περιγραφή του τρόπου με τον οποίο το υδρογόνο μπορεί να διανεμηθεί, μετά την φάση της παραγωγής του, στα διάφορα σημεία της ζήτησής του.

### **4.2.2 Παραγωγή του υδρογόνου**

#### **4.2.2.1 Βασικότερες κατηγορίες εμπορικών μεθόδων παραγωγής του υδρογόνου**

Οι εμπορικές μέθοδοι παραγωγής του υδρογόνου χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- τις θερμοχημικές



- τις ηλεκτρολυτικές και

- τις φωτολυτικές

Αναλυτικά, οι βασικές αυτές κατηγορίες των εμπορικών μεθόδων παραγωγής του υδρογόνου έχουν ως εξής:

#### **4.2.2.2 Θερμοχημικές μέθοδοι παραγωγής του υδρογόνου**

##### **4.2.2.2.1 Παραγωγή του υδρογόνου από τα ορυκτά καύσιμα**

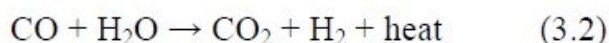
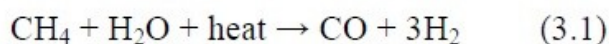
Γενικά, η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την παραγωγή του υδρογόνου σήμερα, αποτελεί η παραγωγή αυτού μέσω διαφόρων ορυκτών καυσίμων (ιδιαίτερα του φυσικού αερίου). Η συγκεκριμένη μεθοδολογία συνδυάζει την ωριμότητα της τεχνολογικής της εξέλιξης, μιας και αποτελεί την παλαιότερη εμπορική μέθοδο παραγωγής του υδρογόνου, αλλά και το συμφέρον που προκύπτει κατά τη χρήση της από την πλευρά της οικονομικής της εκμετάλλευσης. Αρκετά μεγάλες ποσότητες υδρογόνου παράγονται σήμερα ετησίως σε παγκόσμια κλίμακα, χρησιμοποιώντας σαν πρώτη ύλη τα ορυκτά καύσιμα. Το υδρογόνο που παράγεται μέσω αυτών, χρησιμοποιείται κυρίως στα διάφορα διυλιστήρια πετρελαίου για την παρασκευή βενζινών και στη χημική βιομηχανία για την παρασκευή χημικών και λιπασμάτων. Στον παρακάτω πίνακα του σχήματος 4.2.1, φαίνονται οι διάφορες ποσότητες του υδρογόνου που παράγονται σήμερα κατά μέσο όρο παγκοσμίως από τα διάφορα ορυκτά καύσιμα, καθώς και μέσω της ηλεκτρόλυσης του νερού (της δεύτερης σημαντικής εμπορικής μεθόδου παραγωγής του υδρογόνου) :

Μέσο	(Δισεκατομμύρια m <sup>3</sup> )/Έτος	Ποσοστό
Φυσικό αέριο	240	48%
Πετρέλαιο	150	30%
Κάρβουνο	90	18%
Νερό (ηλεκτρόλυση)	20	4%
Συνολική ποσότητα	500	100%

**Σχήμα 4.2.1: Παγκόσμια παραγωγή υδρογόνου ανά μέσο παραγωγής (έτος αναφοράς:2003).**

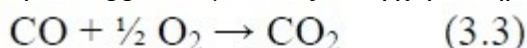
Οι διάφοροι τρόποι με τους οποίους το υδρογόνο μπορεί να παραχθεί από τα ορυκτά καύσιμα είναι οι εξής:

- Η αναμόρφωση του φυσικού αερίου ή των ελαφρών κλασμάτων του πετρελαίου, μέσω της επίδρασης των υδρατμών και σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ 850oC και 1000oC (απαιτείται επίσης η ταυτόχρονη παρουσία διαφόρων καταλυτών, όπως π.χ. Ni το οποίο βρίσκεται τυλιγμένο σε φορέα Al):



Από τα δύο παραπάνω ορυκτά καύσιμα (φυσικό αέριο και ελαφρά κλάσματα του πετρελαίου), η καταλυτική αναμόρφωση του πρώτου αποτελεί και την πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο παραγωγής του υδρογόνου σήμερα. Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε από τις παραπάνω αντιδράσεις (1) και (2), η παρασκευή υδρογόνου μέσω αυτών συνοδεύεται και από την ταυτόχρονη παραγωγή των αερίων CO και CO<sub>2</sub>. Από τα αέρια αυτά, το CO<sub>2</sub> αποτελεί, όπως γνωρίζουμε, αέριο του «φαινομένου του θερμοκηπίου και ως εκ τούτου είναι επιβλαβές για την ατμόσφαιρα, ενώ το CO εμποδίζει την ομαλή λειτουργία των κυψελών καυσίμου υδρογόνου, στην περίπτωση που διοχετευτεί σ' αυτές μαζί με το υδρογόνο που παράγεται από τις παραπάνω αντιδράσεις.

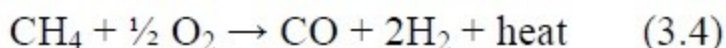
Για το πρώτο αέριο, δηλαδή για το CO<sub>2</sub>, δεν υπάρχει προς το παρόν κάποια αποτελεσματική μέθοδος δέσμευσής του μετά την παραγωγή του, έτσι ώστε να μην διοχετευτεί προς την ατμόσφαιρα. Παρολαυτά, οι ποσότητές του που παράγονται είναι αρκετά μικρές, ώστε να μην προκαλεί σημαντικές επιβαρύνσεις στην ατμοσφαιρική σύνθεση, τουλάχιστον όχι τόσες πολλές όσες προκαλούνται από τις ποσότητες του CO<sub>2</sub> που εκλύονται κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων. Από την άλλη μεριά, για το CO, υπάρχει μία μέθοδος δέσμευσής του πριν την διοχέτευσή του σε κυψέλες καυσίμου, η οποία ονομάζεται εκλεκτική οξειδωση και η οποία έχει τη δυνατότητα να μειώνει τις παραγόμενες ποσότητες του στο επίπεδο των μερικών ppm. Η μέθοδος αυτή χαρακτηρίζεται από την εξής αντίδραση :



Οι ποσότητες των μερικών ppm του CO που παραμένουν μετά την παραπάνω αντίδραση στο παραγόμενο, μέσω των δύο παραπάνω αντιδράσεων (1) και (2), H<sub>2</sub> καθιστούν αυτό ικανό να χρησιμοποιηθεί χωρίς πρόβλημα στις κυψέλες καυσίμου του και να μην επηρεάσει την ομαλή λειτουργία τους.

- Μία δεύτερη μέθοδος παραγωγής του υδρογόνου από τα ορυκτά καύσιμα, αποτελεί η λεγόμενη αεριοποίηση (ή απανθράκωση) του γαιάνθρακα (ή κάρβουνο). Η μέθοδος αυτή, αποτελεί την πρώτη μέθοδο που εφαρμόστηκε ποτέ στη πράξη για την μαζική παραγωγή του υδρογόνου. Κατά την αεριοποίηση του γαιάνθρακα, ποσότητες από αυτόν θερμαίνονται, παρουσία <καθαρού> οξυγόνου και υδρατμών, στους 900oC περίπου, οπότε πραγματοποιείται θερμική διάσπαση σε διάφορα αέρια, υγρά και στερεά προϊόντα. Μεταξύ των προϊόντων αυτών παράγεται και το αέριο υδρογόνο. Η αεριοποίηση (ή απανθράκωση) μπορεί να εφαρμοστεί αποτελεσματικά και σε άλλα υλικά που είναι πλούσια σε άνθρακα,, εκτός δηλαδή από τον ίδιο τον γαιάνθρακα, όπως για παράδειγμα στη βιομάζα και στα αστικά απόβλητα των πόλεων. Είναι σχετικά οικονομική σαν μέθοδος.

- Μία τρίτη μέθοδος παραγωγής του υδρογόνου από τα ορυκτά καύσιμα, αφορά ξανά, όπως και η καταλυτική αναμόρφωση, την παραγωγή του από το φυσικό αέριο, αλλά αυτή τη φορά μέσω της μερικής του οξειδωσης. Κατά την παραγωγή του υδρογόνου μέσω της μερικής οξειδωσης του φυσικού αερίου, το CH<sub>4</sub>, που ως γνωστόν αποτελεί βασικό συστατικό αυτού, υφίσταται μερική καύση με το οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα, από την οποία σαν κύριο προϊόν προκύπτει το H<sub>2</sub>, μαζί με ορισμένες ποσότητες από CO. Η συγκεκριμένη αντίδραση συνοδεύεται και από την έκλυση θερμότητας:

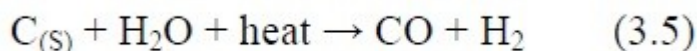


Και εδώ, προκειμένου το παραγόμενο υδρογόνο να μπορεί να διοχετευτεί χωρίς πρόβλημα σε κυψέλες καυσίμου του, θα πρέπει οι ποσότητες του CO που παράγονται από την παραπάνω αντίδραση να απομακρυνθούν μέσω της εκλεκτικής τους οξειδωσης (CO + 1/2O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub>, αντίδραση (3.3), καταλυτική αναμόρφωση).

- Μία τέταρτη μέθοδος παραγωγής του υδρογόνου από τα ορυκτά καύσιμα, αποτελεί η θερμική διάσπαση των διαφόρων υδρογονανθράκων που περιέχονται στα καύσιμα αυτά. Κατά τη θερμική διάσπαση των συγκεκριμένων υδρογονανθράκων, παράγονται σαν προϊόντα το υδρογόνο και ο <καθαρός> άνθρακα με τη μορφή λεπτής σκόνης. Τα ορυκτά καύσιμα που προσφέρονται περισσότερο για την παραγωγή του υδρογόνου μέσω της θερμικής διάσπασης των υδρογονανθράκων τους, είναι κατά κύριο λόγο το φυσικό αέριο και τα διάφορα ελαφρά κλάσματα του πετρελαίου. Η παραγωγή υδρογόνου μέσω της θερμικής διάσπασης των υδρογονανθράκων των ορυκτών καυσίμων, απαιτεί την κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας, τα οποία είναι αρκετά μεγαλύτερα από αυτά που απαιτούνται για την αντίστοιχη παραγωγή του υδρογόνου μέσω της καταλυτικής αναμόρφωσης του φυσικού αερίου ή των ελαφρών κλασμάτων του πετρελαίου. Για τον λόγο αυτό, η θερμική διάσπαση των ορυκτών καυσίμων (π.χ. φυσικού αερίου, ελαφρών

κλασμάτων του πετρελαίου κ.τ.λ.) δεν μπορεί να ανταγωνιστεί σε κόστος την καταλυτική τους αναμόρφωση και γι' αυτό δεν χρησιμοποιείται συχνά στη πράξη.

- Η πέμπτη και τελευταία μέθοδος παραγωγής του υδρογόνου από τα ορυκτά καύσιμα, είναι η παραγωγή του μέσω της διοχέτευσης υδρατμών και θερμικής ενέργειας πάνω από στρώμα στερεού άνθρακα, ο οποίος έχει τη μορφή πολύ λεπτής σκόνης. Η αντίδραση που συμβαίνει κατά τη διαδικασία αυτή έχει ως εξής:



Και η συγκεκριμένη μέθοδος δεν χρησιμοποιείται μαζικά για την παραγωγή του υδρογόνου, εξαιτίας του κόστους διάθεσης της βασικής πρώτης ύλης της (του  $C_{(s)}$ ).

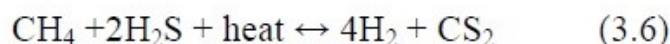
#### **4.2.2.2.2 Παραγωγή του υδρογόνου μέσω της αεριοποίησης ή της πυρόλυσης της βιομάζας**

Μία δεύτερη θερμοχημική μέθοδος παραγωγής του υδρογόνου είναι η θερμοχημική επεξεργασία της βιομάζας. Υπάρχουν δύο βασικές τεχνικές παραγωγής του υδρογόνου από βιομάζα: η πρώτη στηρίζεται στη θέρμανση αυτής απουσία οξυγόνου (πυρόλυση βιομάζας) και αποτελεί μια μη αντιστρεπτή χημική μεταβολή. Κατά την πυρόλυση της βιομάζας προκύπτουν, ανάλογα και με τις ακριβείς συνθήκες διεξαγωγής της (πίεση και θερμοκρασία), ένα πλήθος από προϊόντα αέριας, υγρής ή και στερεάς μορφής. Τα υγρής μορφής προϊόντα στην ουσία είναι ένα είδος λαδιού, το οποίο όπως και το πετρέλαιο, περιέχει ένα ευρύ φάσμα από συστατικά τα οποία, μέσω κατάλληλης επεξεργασίας τους, μπορούν να διαχωριστούν σε χρήσιμες χημικές ουσίες και καύσιμα συμπεριλαμβανομένου και του υδρογόνου. Η δεύτερη βασική τεχνική παραγωγής του υδρογόνου από βιομάζα στηρίζεται στη θέρμανση της βιομάζας παρουσία περιορισμένων ποσοτήτων οξυγόνου (αεριοποίηση βιομάζας), κατά την οποία προκύπτουν άμεσα CO και H<sub>2</sub> καθώς και κάποια άλλα αέρια προϊόντα. Το μίγμα, συνολικά, των αερίων που προκύπτει κατά την αεριοποίηση της βιομάζας αναφέρεται συνήθως ως αέριο συνθέσεως (synthesis gas).

#### **4.2.2.2.3 Παραγωγή του υδρογόνου από τα σουλφίδια του**

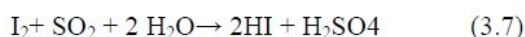
Με τον όρο σουλφίδια, γενικά, ονομάζουμε κάθε χημική ένωση η οποία σχηματίζεται κατά την αντίδραση ενός οποιουδήποτε μετάλλου με το στοιχείο S ή και με τα αρνητικά σύμπλοκα ιόντα του S με άλλα στοιχεία (π.χ. SO<sub>3</sub>). Γνωστόν το υδρογόνο, όταν βρίσκεται δεσμευμένο σε διάφορες ενώσεις του (μεταξύ αυτών και των ενώσεων του με το S), συμμετέχει συνήθως με τη μορφή των θετικών ιόντων του (H<sup>+</sup>). Έτσι, κατά την παρουσία του σ' αυτές, εμφανίζει αρκετές από τις ιδιότητες που χαρακτηρίζουν τα θετικά ιόντα των μετάλλων, όταν αυτά συμμετέχουν σε δικές τους ενώσεις με άλλα στοιχεία (και με το S). Για τον λόγο αυτό, στην περίπτωση των ενώσεων του υδρογόνου με το S ή με τα αρνητικά σύμπλοκα των ιόντα του με άλλα στοιχεία, κατά σύμβαση, αναφερόμαστε σ' αυτές με την ονοματολογία των σουλφιδίων, μιας και παρουσιάζουν παρόμοιες ιδιότητες με τα αντίστοιχα σουλφίδια των μετάλλων. Από τα διάφορα σουλφίδια του υδρογόνου που μπορούν να παρασκευαστούν σήμερα με τεχνικό τρόπο ή που υπάρχουν στη φύση σε ελεύθερη μορφή, το H<sub>2</sub>S παρουσιάζει την μεγαλύτερη δυνατότητα για μαζική παραγωγή του υδρογόνου μέσω της διαδικασίας θερμικής του διάσπασης. Αιτία για την δυνατότητα μαζική χρησιμοποίησης για την παραγωγή υδρογόνου αποτελεί κυρίως το γεγονός, ότι τα περισσότερα ορυκτά καύσιμα που υπάρχουν στο υπέδαφος της γης (π.χ. πετρέλαιο, φυσικό αέριο, κτλ.) περιέχουν σε αρκετά μεγάλες ποσότητες στη μάζα τους το H<sub>2</sub>S. Χρησιμοποιώντας τις ποσότητες του H<sub>2</sub>S που περιέχονται στα προαναφερθέντα ορυκτά καύσιμα, είναι δυνατόν να παράγουμε το υδρογόνο μέσω θερμικής διάσπασης με σχετικά οικονομικό τρόπο και σε αρκετά μεγάλες ποσότητες. Η πιο αποτελεσματική παραγωγή υδρογόνου μέσω θερμικής διάσπασης από τις ποσότητες του H<sub>2</sub>S που περιέχεται στα διάφορα ορυκτά καύσιμα πραγματοποιείται από το φυσικό αέριο, κατά την αντίδραση των μεγάλων ποσοτήτων CH<sub>4</sub> που περιέχει με τις

μικρότερες ποσότητες του σε H<sub>2</sub>S. Η αντίδραση αυτή πραγματοποιείται παρουσία θερμότητας και μπορεί να παράγει υδρογόνο με απόδοση που ανέρχεται στο 50% περίπου:

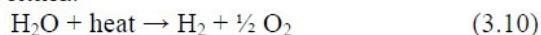


#### **4.2.2.2.4 Παραγωγή του υδρογόνου από την πυρηνική ενέργεια**

Μία τελευταία θερμοχημική μέθοδος για την παραγωγή του υδρογόνου, είναι αυτή με χρήση της πυρηνικής ενέργειας. Κατά τη μέθοδο αυτή, το υδρογόνο παράγεται σαν προϊόν διαφόρων θερμοχημικών κύκλων, κατά τους οποίους ποσότητες νερού μαζί με υψηλής θερμοκρασίας θερμική ενέργεια που προέρχεται από την διάσπαση κάποιου πυρηνικού καυσίμου (π.χ. του ουρανίου (U) ή του πλουτωνίου (Pu)), αποτελούν ροές εισαγωγής σε μια σειρά από πολύπλοκες θερμοχημικές αντιδράσεις οι οποίες έχουν σαν κύρια προϊόντα τους το υδρογόνο και το οξυγόνο. Στους συγκεκριμένους κύκλους συμμετέχουν και διάφορες άλλες βοηθητικές ουσίες, οι οποίες αφενός συντελούν στη μαζικότερη διάσπαση του νερού και αφετέρου στην παραγωγή μεγαλύτερων ποσοτήτων υδρογόνου. Οι ουσίες αυτές, δεν αφαιρούνται από το περιβάλλον αλλά ανακυκλώνονται πλήρως, σε αντίθεση με το νερό και το εκάστοτε πυρηνικό καύσιμο που χρησιμοποιείται. Ένας από τους πιο σημαντικούς θερμοχημικούς κύκλους με τους οποίους μπορεί να παραχθεί το υδρογόνο με τη βοήθεια της πυρηνικής ενέργειας είναι και ο κύκλος του θείου / ιωδίου. Οι αντιδράσεις που χαρακτηρίζουν τον κύκλο αυτό έχουν ως εξής :



Δηλαδή **συνολικά**:



Η απόδοση του θερμοχημικού αυτού κύκλου είναι αρκετά μεγάλη και μπορεί να υπερβεί το 50%. Πάντως, εκτός από τον συγκεκριμένο θερμοχημικό κύκλο, είναι γνωστοί σήμερα και άλλοι 100 τουλάχιστον παρόμοιοι θερμοχημικοί κύκλοι παραγωγής του υδρογόνου, οι οποίοι πραγματοποιούνται μέσω διαφορετικών αρχικών ουσιών εκτός του ιωδίου και του θείου. Παρά το ομολογουμένως μεγάλο εύρος δυνατοτήτων που παρουσιάζει, η πυρηνική ενέργεια όσον αφορά την παραγωγή του υδρογόνου, προς το παρόν τουλάχιστον, δεν εξετάζεται ακόμα σαν κύρια λύση γι' αυτό. Κι αυτό γιατί, τόσο από την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα, όσο και από την ευρύτερη κοινωνία υπάρχουν αρκετές και δικαιολογημένες ενστάσεις ως προς τη μαζική χρήση της πυρηνικής ενέργειας, εξαιτίας των γνωστών κινδύνων που ελλοχεύουν από αυτό (ενδεχόμενα πυρηνικά ατυχήματα, ασφαλής και μακροπρόθεσμη αποθήκευση των ραδιενεργών αποβλήτων της, χρησιμοποίησή αυτής για μη ειρηνικούς σκοπούς κ.τ.λ.). Ως εκ τούτου, θα ήταν δύσκολο να πει κανείς με βεβαιότητα αν αυτή θα εφαρμοστεί ποτέ στο μέλλον σε μαζική κλίμακα για την παραγωγή του υδρογόνου.

#### **4.2.2.3 Ηλεκτρολυτικές μέθοδοι παραγωγής του υδρογόνου**

##### **4.2.2.3.1 Παραγωγή του υδρογόνου μέσω της ηλεκτρόλυσης του νερού**

Υπάρχει μία και μοναδική μέθοδος παραγωγής του υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης και αυτή είναι από το νερό. γς γνωστόν, το νερό κατά τη διαδικασία της ηλεκτρόλυσης διασπάται στα

δύο στοιχεία που το αποτελούν, δηλαδή το υδρογόνο και το οξυγόνο. Η ηλεκτρόλυση του νερού, προς παραγωγή υδρογόνου, πραγματοποιείται μέσα σε ειδικές διατάξεις που ονομάζονται διατάξεις ηλεκτρόλυσης και απαιτεί την ταυτόχρονη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος. Το βασικό πλεονέκτημα που προκύπτει κατά την ηλεκτρόλυση του νερού προς παραγωγή υδρογόνου, είναι ότι το υδρογόνο που παράγεται χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα υψηλές τιμές <καθαρότητας> και επομένως δύναται να χρησιμοποιηθεί απευθείας σε κυψέλες καυσίμου υδρογόνου, χωρίς περαιτέρω επεξεργασία.

Η ηλεκτρόλυση του νερού, για την παραγωγή υδρογόνου, μέσω της χρησιμοποίησης του ηλεκτρικού ρεύματος που προέρχονταν από το κλασσικό δίκτυο ηλεκτρισμού, σαν μέθοδος, βρήκε ευρεία απήχηση από τις αρχές του 1900 μέχρι και τη δεκαετία του 1950 περίπου. Μετά τη δεκαετία του '50 όμως, λόγω των διαφόρων φθηνότερων μεθόδων που ανακαλύφθηκαν για την παραγωγή του υδρογόνου (κυρίως της καταλυτική αναμόρφωση φυσικού αερίου), η ηλεκτρόλυση του νερού εγκαταλείφθηκε στο μεγαλύτερο μέρος της, με αποτέλεσμα στις μέρες μας, μόνο ένα σχετικά μικρό ποσοστό της συνολικής ποσότητας του παραγόμενου υδρογόνου σε παγκόσμια κλίμακα να παράγεται πλέον με αυτόν τον τρόπο.

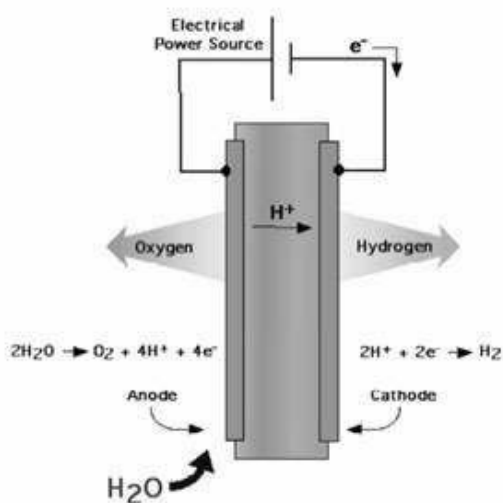
Η εφαρμογή της ηλεκτρόλυσης του νερού προς παραγωγή του υδρογόνου εφαρμόζεται σήμερα κυρίως όταν υπάρχουν αυξημένες απαιτήσεις σε <καθαρό> υδρογόνο και οι ποσότητες αυτού που απαιτούνται δεν είναι πολύ μεγάλες. Από την άλλη μεριά, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται σταδιακά μια σταδιακή αύξηση του παγκόσμιου ενδιαφέροντος για την παραγωγή του υδρογόνου μέσω της ηλεκτρόλυσης του νερού, κυρίως εξαιτίας της σύγχρονης δυνατότητας κατασκευής ολοκληρωμένων συστημάτων από ηλεκτρολυτικές διατάξεις νερού, οι οποίες λειτουργούν μέσω της παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος με τη βοήθεια διαφόρων ΑΠΕ (κυρίως της ηλιακής και αιολικής ενέργειας).

Τα ολοκληρωμένα αυτά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω διαφόρων ΑΠΕ παρουσιάζουν το σημαντικό πλεονέκτημα σε σχέση με τα παραδοσιακά ηλεκτρολυτικά συστήματα, ότι η ηλεκτρική ενέργεια που παράγουν παράγεται χωρίς κάποιο σημαντικό κόστος, μιας και βασίζεται όπως είπαμε στην παραγωγή της από διάφορες ΑΠΕ. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, η εφαρμογή τους για την μαζική παραγωγή του υδρογόνου να γίνεται πολύ φθηνότερα από την κλασσική μέθοδο παραγωγής του υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης (παραγωγή με χρησιμοποίηση της συμβατικής ηλεκτρικής ενέργειας του δικτύου) και να εφαρμόζεται σταδιακά όλο και περισσότερο.

Από την άλλη μεριά βέβαια, το κόστος κυρίως των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αυτών των ολοκληρωμένων ηλεκτρολυτικών συστημάτων παραγωγής υδρογόνου μέσω ΑΠΕ, είναι προς το παρόν ακόμα αρκετά υψηλό ώστε η παραγωγή αυτού μέσω των συγκεκριμένων διατάξεων να μπορεί να υποσκελίσει τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής του μέσω π.χ. των ορυκτών καυσίμων, με αποτέλεσμα η παραγωγή υδρογόνου μέσω ολοκληρωμένων ηλεκτρολυτικών διατάξεων να μην χρησιμοποιείται τόσο μαζικά όσο αυτές. Μία χαρακτηριστική ηλεκτρολυτική διάταξη παραγωγής υδρογόνου που χρησιμοποιείται σήμερα για την παραγωγή του σε εργαστηριακή κλίμακα, είναι αυτή που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 4.2.2. Στο διπλανό σχήμα 4.2.3, φαίνεται επίσης και η διαδικασία της εσωτερικής λειτουργίας, κατά την παραγωγή του υδρογόνου μέσω αυτής:

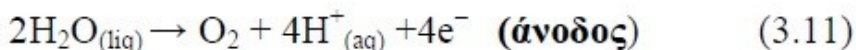


Σχήμα 4.2.2:Εργαστηριακή συσκευή ηλεκτρόλυσης .



Σχήμα 4.2.3: Αναπαράσταση εσωτερικής λειτουργίας συσκευής ηλεκτρόλυσης .

Κατά την ηλεκτρόλυσή του νερού, μέσα σε μία ηλεκτρολυτική διάταξη, προς παραγωγή υδρογόνου, αυτό οξειδώνεται αρχικά στην άνοδο της διάταξης σε μοριακό οξυγόνο και σε θετικά ιόντα υδρογόνου (ή πρωτόνια υδρογόνου,  $H^+$ ). Στη συνέχεια, τα πρωτόνια υδρογόνου που έχουν προκύψει, διέρχονται διαμέσου του νερού, που βρίσκεται μέσα στην ηλεκτρολυτική διάταξη, προς την κάθοδο αυτής και εκεί ανάγονται σε μοριακό υδρογόνο. Οι συγκεκριμένες διεργασίες παριστάνονται με αντιδράσεις ως εξής:



και



Οπότε η συνολική

αντίδραση ηλεκτρόλυσης του νερού έχει ως εξής:



Το οξυγόνο που παράγεται κατά τη διαδικασία ηλεκτρόλυσης του νερού από ηλεκτρολυτικές διατάξεις, μπορεί και αυτό, όπως και το υδρογόνο, να χρησιμοποιηθεί περαιτέρω σε διάφορες εφαρμογές, οι οποίες όμως είναι κυρίως βιομηχανικού τύπου.

Αποδεικνύεται θεωρητικά, ότι η παραγωγή του υδρογόνου μέσω της ηλεκτρόλυσης του νερού, απαιτεί ηλεκτρική τάση η οποία ισούται με 1,23 V [26]. Στην πράξη όμως, η ηλεκτρική τάση που συνήθως εφαρμόζεται γι' αυτόν το σκοπό είναι κατά τι μεγαλύτερη

(μεταξύ 1,55 V και 1,65V). Η αυξημένη αυτή τιμή της, οφείλεται κυρίως στις διάφορες απώλειες που υφίσταται το ηλεκτρικό ρεύμα (απώλειες θερμότητας και ηλεκτρομαγνητικού πεδίου) όταν διοχετεύεται μέσα στις ηλεκτρολυτικές διατάξεις. Η απόδοση παραγωγής υδρογόνου μέσω της ηλεκτρόλυσης του νερού, ορίζεται από τον λόγο της τάσης των 1,23 V η οποία απαιτείται θεωρητικά για την παραγωγή του, προς την ηλεκτρική τάση την οποία εφαρμόζουμε κάθε φορά στη πράξη γι' αυτό. Για παράδειγμα, με πρακτικά εφαρμοζόμενη ηλεκτρική τάση ίση με 1,60 V, θα έχουμε απόδοση παραγωγής υδρογόνου:

$$\frac{1,23}{1,60} = 0,77 = 77\% \quad (3.14)$$

Παρατηρούμε, ότι από ενεργειακής τουλάχιστον σκοπιάς, η παραγωγή του υδρογόνου μέσω της ηλεκτρόλυσης του νερού παρουσιάζει σημαντικό πλεονέκτημα έναντι της παραγωγής του από τα διάφορα ορυκτά καύσιμα (των οποίων η απόδοση παραγωγής δεν υπερβαίνει συνήθως το 60%).

#### **4.2.2.4 Φωτολυτικές μέθοδοι παραγωγής του υδρογόνου**

##### **4.2.2.4.1 Φωτοβιολογική μέθοδος παραγωγής του υδρογόνου**

Η τρίτη και τελευταία γενική κατηγορία μεθόδων παραγωγής του υδρογόνου, βασίζεται στην παραγωγή αυτού μέσω της διαδικασίας της φωτόλυσης. Ο ένας τρόπος για να το πετύχουμε αυτό, είναι να χρησιμοποιήσουμε την ιδιότητα που εμφανίζουν ορισμένοι μικροοργανισμοί (κυρίως άλγη και κυανοβακτήρια), να παράγουν αυτούσια υδρογόνο μέσω του φυσικού φωτοσυνθετικού τους κύκλου (που αποτελεί μέρος του αναερόβιου μηχανισμού παραγωγής της ενέργειάς τους). Η συγκεκριμένη μεθοδολογία ονομάζεται και φωτοβιολογική παραγωγή του υδρογόνου. Μέσω κατάλληλης εκμετάλλευσης της ποσότητας του υδρογόνου που παράγεται από τη (3.14) μεθοδολογία αυτή, μπορούμε να παράγουμε υδρογόνο με αποδοτικότητα παραγωγής που προσεγγίζει το 25%.

Η φωτοβιολογική μέθοδος παραγωγής του υδρογόνου παρουσιάζει ωστόσο και ένα σημαντικό μειονέκτημα το οποίο συνίσταται στο γεγονός, ότι παράλληλα με τουδρογόνο, οι μικροοργανισμοί που χρησιμοποιούνται κατά τη φωτοσύνθεσή τους παράγουν και ορισμένες ποσότητες από οξυγόνο, το οποίο σε μεγάλες ποσότητες, δρα καταστρεπτικά πάνω στους υπόλοιπους αναερόβιους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς που υπάρχουν πάνω στη Γη. Πάντως, για μικρής και μεσαίας κλίμακας παραγωγή του υδρογόνου, η φωτοβιολογική παραγωγή μπορεί να εφαρμοστεί χωρίς κανένα πρόβλημα.

##### **4.2.2.4.2 Φωτοηλεκτρόλυση**

Ο δεύτερος τρόπος παραγωγής υδρογόνου μέσω φωτόλυσης, επιτυγχάνεται μέσω της διαδικασίας της υδρόλυσης του νερού (ο όρος υδρόλυση χρησιμοποιείται για να περιγράψει την διαδικασία της ηλεκτρόλυσης του νερού από ολοκληρωμένα ηλιακά συστήματα). Η συγκεκριμένη διαδικασία ονομάζεται και φωτοηλεκτρόλυση του νερού.

Κατά τη διαδικασία αυτή, ολοκληρωμένα συστήματα πολυάριθμων ηλιακών συλλεκτών συνδεδεμένων σε σειρά, εκμεταλλεύονται τις ακτίνες του ηλίου και παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, την οποία στη συνέχεια χρησιμοποιούν για να υδρολύσουν το νερό και να παράγουν υδρογόνο. Τα ολοκληρωμένα συστήματα ηλιακών συλλεκτών που χρησιμοποιούνται γι' αυτό το σκοπό, παρουσιάζουν αρκετά ικανοποιητική απόδοση, η οποία θεωρητικά προσεγγίζει και το 40%. Στην πράξη όμως, η απόδοση αυτή δεν υπερβαίνει συνήθως το 20% με 25%.

Από οικονομικής πλευράς, τα υλικά που χρησιμοποιούνται στα διάφορα ολοκληρωμένα ηλιακά συστήματα παραγωγής υδρογόνου, είναι ακόμη σχετικά ακριβά. Πάντως τελευταία, έχουν ευοδωθεί κάποιες προσπάθειες να κατασκευαστούν νέα πιο οικονομικά υλικά, αλλά αυτά παρουσίασαν παράλληλα και αρκετά μειωμένες αποδόσεις σε παραγωγή υδρογόνου, οι

οποίες δεν υπερέβησαν το 5% με 10% περίπου. Η χρησιμοποίηση όμως των συγκεκριμένων υλικών σε ολοκληρωμένα ηλιακά συστήματα παραγωγής υδρογόνου τελικά συμφέρει ενεργειακά για μαζική παραγωγή του υδρογόνου, αν αναλογιστεί κανείς το γεγονός ότι η πηγή της ηλεκτρικής τους ενέργειας, δηλαδή ο ήλιος, είναι μια άφθονη και ανεξάντλητη πρωτογενής μορφή ενέργειας κατάλληλη προς συνεχή και αδιάκοπη χρήση.

Μια σημαντική κατηγορία ολοκληρωμένων ηλιακών συστημάτων που αναπτύχθηκε τα τελευταία σχετικά χρόνια και η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή υδρογόνου μέσω της υδρόλυσης του νερού, αποτελεί η κατηγορία των λεγομένων φωτοηλεκτροχημικών στοιχείων ή στοιχείων Gratzel (photoelectrochemical cells - PEC cells ή Gratzel cells). Τα φωτοηλεκτροχημικά στοιχεία αποτελούν ολοκληρωμένες ηλιακές διατάξεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που συγκροτούνται από πολυάριθμους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, οι οποίοι έχουν την ικανότητα να αξιοποιούν τις προσπίπτουσες πάνω στις επιφάνειές τους ηλιακές ακτίνες και να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια.

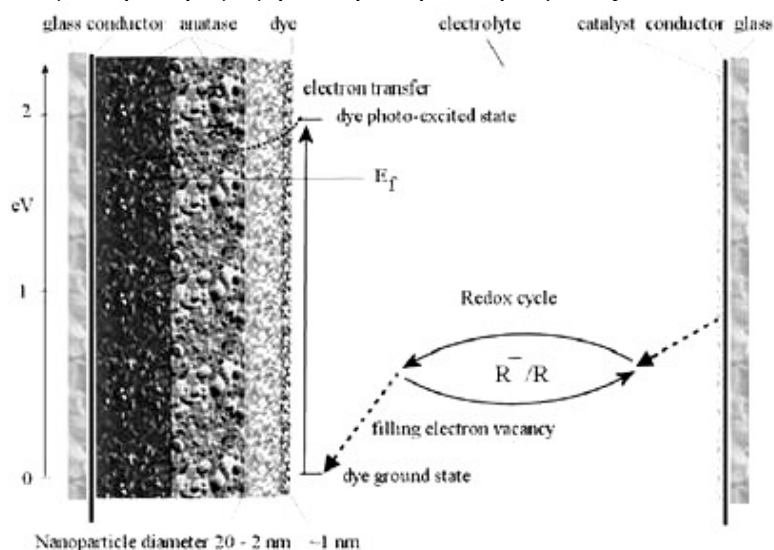
Οι επίπεδες επιφάνειες των ηλιακών τους συλλεκτών περιέχουν στο εσωτερικό τους ένα υψηλά πορώδες λεπτό υμένιο από  $\text{TiO}_2$  (συνήθως), το οποίο είναι νανοδομημένο με διαστάσεις κόκκων που δεν υπερβαίνουν τα  $2\div 20$  nm περίπου. Το πολύ πορώδες αυτό λεπτό υμένιο, βρίσκεται σε επαφή με την ποσότητα νερού μιας ηλεκτρολυτικής διάταξης, που επίσης περιέχεται στο εσωτερικό των φωτοηλεκτροχημικών στοιχείων και από το οποίο παράγεται το επιθυμητό υδρογόνο μέσω της υδρόλυσής του από την ηλιακή ενέργεια που έχει απορροφήσει το φωτοηλεκτροχημικό στοιχείο και η οποία έχει μετατραπεί πρώτα σε ηλεκτρική. Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του ηλιακού φωτός που προσπίπτει πάνω στις επίπεδες επιφάνειες των φωτοηλεκτροχημικών στοιχείων έχει ως εξής: Αρχικά, το ηλιακό φως προσπίπτει πάνω στην εξωτερική επιφάνεια του λεπτού υμενίου τους, όπου εκεί απορροφάται προς στο εσωτερικό αυτού με τη βοήθεια από μια ειδική σκούρα βαφή που βρίσκεται επικαλυμμένη στην εξωτερική του επιφάνεια και η οποία μεγιστοποιεί την απορρόφηση του προσπιπόμενου πάνω σ' αυτό ηλιακού φωτός. Αφού το ηλιακό φως διαπεράσει τη βαφή του λεπτού υμενίου και εισέλθει στο εσωτερικό αυτού, λόγω της ηλεκτρικής διέγερσης που προκαλεί εκεί στα ηλεκτρόνια του υλικού του λεπτού υμενίου ( $\text{TiO}_2$ ), δημιουργεί πολυάριθμα ζεύγη ηλεκτρονίων – οπών (δηλαδή ζεύγη που αποτελούνται από θετικά ιόντα και ελεύθερα ηλεκτρόνια).

Στη συνέχεια, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που σχηματίζονται στο εσωτερικό του λεπτού υμενίου, μεταπηδούν στη <<ζώνη>> αγωγιμότητας ενός λεπτού μεταλλικού στρώματος που βρίσκεται σε επαφή με την εσωτερική επιφάνεια του λεπτού υμενίου και από τη <<ζώνη>> αυτή μέσω ενός στρώματος ηλεκτρολύτη στην άνοδο της ηλεκτρολυτικής διάταξης που βρίσκεται στο εσωτερικό του όλου συστήματος του φωτοηλεκτροχημικού στοιχείου. Η άνοδος της ηλεκτρολυτικής διάταξης του συστήματος του φωτοηλεκτροχημικού στοιχείου βρίσκεται προφανώς συνδεδεμένη με την κάθοδό της, μέσω ενός εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος, οπότε τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, κινούμενα προς την κάθοδό της, δημιουργούν το επιθυμητό ηλεκτρικό ρεύμα. Η τάση του ηλεκτρικού αυτού ρεύματος που παράγεται, χρησιμοποιείται στη συνέχεια για την ηλεκτρόλυση της ποσότητας του νερού που βρίσκεται μέσα στην ηλεκτρολυτική διάταξη και έτσι παράγεται τελικά το υδρογόνο. Θα πρέπει να σημειωθεί, ότι το  $\text{TiO}_2$  από το οποίο κατασκευάζεται συνήθως το λεπτό υμένιο κάθε φωτοηλεκτροχημικού στοιχείου, σαν υλικό, έχει από μόνο του τη δυνατότητα να δημιουργήσει ελεύθερα ηλεκτρόνια στο εσωτερικό του, όταν στο εσωτερικό του εισέλθει ηλιακό φως.

Η ειδική όμως σκούρα βαφή με την οποία επικαλύπτεται συνήθως εξωτερικά, συντελεί στη μεγαλύτερη διέγερση του ηλιακού φάσματος που προσπίπτει σ' αυτό, με αποτέλεσμα να αυξάνεται αρκετά η απορρόφηση αυτού και να μεγιστοποιείται η παραγόμενη, από το φωτοηλεκτροχημικό του σύστημα, ηλεκτρική ενέργεια. Μία άλλη τεχνική που χρησιμοποιείται, εναλλακτικά έναντι της βαφής, για την μεγιστοποίηση της απορρόφησης



του ηλιακού φωτός στα λεπτά υμένα των φωτοηλεκτροχημικών στοιχείων, είναι η προσθήκη μικρών ποσοτήτων από άνθρακα στο υλικό κατασκευής τους (στο  $\text{TiO}_2$ ). Στο παρακάτω σχήμα 4.2.4, απεικονίζει η εσωτερική δομή ενός τυπικού φωτοηλεκτροχημικού στοιχείου, καθώς και οι βασικότερες διαδικασίες που συντελούνται εκεί για την παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος:



**Σχήμα 4.2.4: Αναπαράσταση λειτουργίας φωτοηλεκτροχημικού στοιχείου.**

Γενικά, ένα φωτοηλεκτροχημικό στοιχείο κατασκευάζεται από σχετικά φτηνά υλικά.

## 4.2.3 Διανομή του υδρογόνου

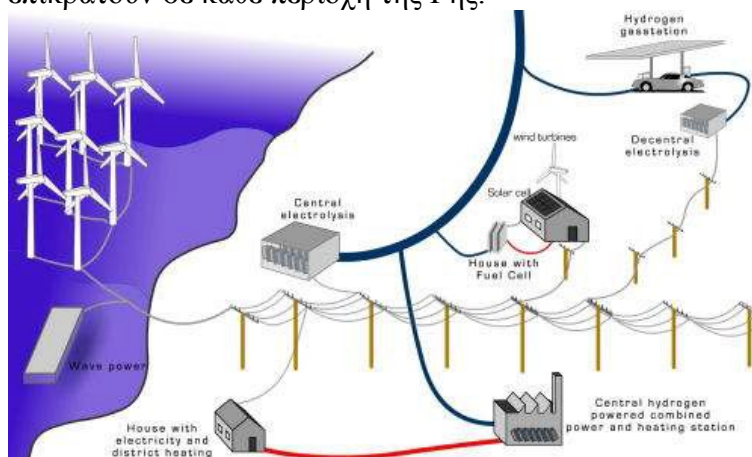
### 4.2.3.1 Τρόποι διανομής του υδρογόνου – πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα των συστημάτων διανομής του

Η διανομή του υδρογόνου παίζει ξεχωριστό ρόλο στην ανάπτυξη και εδραίωση της <οικονομίας του υδρογόνου>. Ο τρόπος συγκρότησης του δικτύου διανομής του υδρογόνου, τόσο σε τοπικό, όσο και σε ευρύτερο επίπεδο, διαφέρει σημαντικά από αυτόν που χρησιμοποιείται σήμερα, σε παγκόσμια κλίμακα, για τη διανομή των διαφόρων συμβατικών ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, φυσικό αέριο κ.τ.λ.). Γενικά, τα περισσότερα συμβατικά ορυκτά καύσιμα που καταναλώνονται στις μέρες μας από τον άνθρωπο (με εξαίρεση το φυσικό αέριο), μεταφέρονται αποκλειστικά σε υγρή ή στερεά μορφή. Το γεγονός αυτό καθιστά τις υπάρχουσες υποδομές μεταφοράς τους ακατάλληλες για την μεταφορά του υδρογόνου, το οποίο σε συνήθεις συνθήκες περιβάλλοντος είναι αέριο.

Ακόμα και αν το υδρογόνο μετατρέπονταν σε υγρό, μέσω συμπίεσης και μεταφέρονταν από το σημερινό υπάρχον σύστημα μαζικής διανομής των υγρών ορυκτών καυσίμων, η μεταφορά του αυτή θα σήμαινε αφενός την κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας για την μετατροπή του σε υγρό (με αποτέλεσμα το κόστος για τη μεταφορά του να γινότανε υπερβολικά μεγάλο) και αφετέρου θα παρουσίαζε αυξημένα προβλήματα ασφαλείας και αξιοπιστίας εξαιτίας των ιδιαίτερων συνθηκών που επικρατούν κατά τη μεταφορά του υδρογόνου σε υγρή μορφή (υψηλές πιέσεις).

Από την άλλη μεριά, η υποδομή του παγκόσμιου δικτύου διανομής που χρησιμοποιείται σήμερα για τη μεταφορά του φυσικού αερίου σαν αέριο, είναι εξίσου ανεπαρκής για τη μεταφορά του αερίου υδρογόνου, μιας και οι συνθήκες πιέσεων που απαιτούνται για τη μεταφορά του φυσικού αερίου σε συνήθεις θερμοκρασίες περιβάλλοντος είναι πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες της μεταφοράς του υδρογόνου. Έτσι, από τα παραπάνω μπορούμε να εξάγουμε το συμπέρασμα, ότι η μελλοντική διανομή του υδρογόνου με ασφαλή

και αποτελεσματικό τρόπο, μπορεί να γίνει μόνο μέσω ειδικού σχεδιασμού του μελλοντικού δικτύου μεταφοράς του, ο οποίος αναγκαστικά θα είναι μεγαλύτερων απαιτήσεων από αυτόν που εφαρμόζεται σήμερα για τη μεταφορά των συμβατικών υγρών ή αέριων ορυκτών καυσίμων. Σε θεωρητικό επίπεδο, υπάρχουν σήμερα ήδη αρκετοί σχεδιασμοί όσον αφορά τη μελλοντική δομή του δικτύου διανομής του υδρογόνου σε παγκόσμια κλίμακα. Οι σχεδιασμοί αυτοί, διαφοροποιούνται ανάλογα με την φιλοσοφία με την οποία προσεγγίζεται γενικότερα το ζήτημα της μελλοντικής συγκρότησης της Οικονομίας του υδρογόνου, λαμβάνοντας υπόψη και τις τοπικές γεωγραφικές και περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή της Γης.



**Σχήμα 4.2.5: «Κεντροποιημένη» διανομή του υδρογόνου.**

Από τους διάφορους αυτούς θεωρητικούς σχεδιασμούς, δύο είναι οι σημαντικότεροι, κυρίως επειδή δίνουν μια εύγλωττη εικόνα του ριζικά διαφορετικού τρόπου προσέγγισης της μελλοντικής συγκρότησης της Οικονομίας του υδρογόνου. Η πρώτη προσέγγιση συγκρότησης του μελλοντικού δικτύου διανομής του υδρογόνου, έχει αρκετά παρόμοια μορφή μ' αυτή που εφαρμόζεται σήμερα για τη μαζική διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας, τόσο σε τοπικό, όσο και σε ευρύτερο πλαίσιο. Σύμφωνα μ' αυτή μελλοντικά προβλέπεται, ότι πολλές μεγάλες μονάδες παραγωγής του υδρογόνου ικανές να παράγουν μεγάλες ποσότητες αυτού, θα βρίσκονται συνδεδεμένες μεταξύ τους μέσω κατάλληλων αγωγών μεταφοράς του, οι οποίοι θα το μεταφέρουν σε αέρια μορφή. Μέρος του δικτύου αυτού θα αποτελούν και τα διάφορα κέντρα ελέγχου διανομής του υδρογόνου, τα οποία θα αναλαμβάνουν να το τροφοδοτούν σε μικρότερους σταθμούς διανομής του (όπως για παράδειγμα σε πρατήρια ανεφοδιασμού οχημάτων του, ηλεκτρικά εργοστάσια κ.τ.λ.).

Επειδή η παραγωγή, κατά τη συγκεκριμένη προσέγγιση συγκρότησης του μελλοντικού δικτύου διανομής του υδρογόνου, λαμβάνει χώρα μακριά από τις τοπικές πηγές κατανάλωσής του, ο συγκεκριμένος τρόπος διανομής του χαρακτηρίζεται σαν <<κεντροποιημένος>>. Το όλο σκεπτικό της <<κεντροποιημένης>> μελλοντικής συγκρότησης του δικτύου διανομής του υδρογόνου, παριστάνεται σχηματικά παρακάτω: Η δεύτερη προσέγγιση της πιθανής μελλοντικής συγκρότησης του δικτύου διανομής του υδρογόνου, βρίσκεται στον αντίποδα της πρώτης και αναφέρεται σαν <<μη κεντροποιημένη>> διανομή του υδρογόνου. Σύμφωνα μ' αυτή, το υδρογόνο θα παράγεται μελλοντικά απευθείας στα διάφορα τοπικά σημεία της κατανάλωσής του, δηλαδή απευθείας στα διάφορα τοπικά κέντρα της ζήτησής του, μέσω της εκάστοτε μεθόδου παραγωγής του που θα είναι περισσότερο κατάλληλη γι' αυτό (ανάλογα με τις εκάστοτε γεωγραφικές, τεχνολογικές και κοινωνικές συνθήκες που θα επικρατούν στα σημεία αυτά).

Εκτός από αυτό, οι μελλοντικές ποσότητες του που θα παράγονται στα διάφορα τοπικά σημεία της ζήτησής του θα είναι τέτοιες, ώστε να μπορούν αφενός να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες του κάθε τοπικού πληθυσμού και αφετέρου να διοχετευτούν και στο ευρύτερο δίκτυο διανομής, είτε για εσωτερική κατανάλωση (για ένα κράτος) είτε για

εξαγωγή. Έτσι, η συγκεκριμένη διανομή του υδρογόνου προς τα διάφορα σημεία της κατανάλωσής του, θα ακολουθεί έναν, λίγο ή περισσότερο, τοπικό δρόμο μεταφοράς, ο οποίος δεν θα απέχει ιδιαίτερα από τα εκάστοτε κέντρα της παραγωγής του.

Ένα βήμα παραπέρα, αποτελεί επίσης η απευθείας παραγωγή του υδρογόνου στο κάθε σημείο της ζήτησής του, όπου αυτό προφανώς κρίνεται δυνατό, χωρίς την απαραίτητη μεσολάβηση οποιονδήποτε ενδιάμεσων σταθμών παραγωγής του. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε για παράδειγμα να συμβεί με την παραγωγή του υδρογόνου από τον ίδιο τον χρήστη του, δηλαδή της ενέργειάς του, π.χ. στο χώρο του σπιτιού μέσω της ηλεκτρόλυσης του νερού από οικιακά ηλιακά ή αιολικά ηλεκτροπαραγωγικά συστήματα με σκοπό την κάλυψη των διαφόρων οικιακών αναγκών ή στο χώρο της εργασίας για μικρές ή μεσαίες επιχειρήσεις.

Από την παραπάνω ανάλυση της πιθανούς συγκρότησης του μελλοντικού δικτύου διανομής του υδρογόνου μπορούμε να συμπεράνουμε, ότι το σημαντικό πλεονέκτημα που παρουσιάζει η <<μη κεντροποιημένη>> διανομή του είναι η σημαντική ενεργειακή ανεξαρτησία που αυτή προσφέρει σε σχέση με την <<κεντροποιημένη>> του διανομή. Αυτό γιατί, η δυσλειτουργία που ενδεχομένως θα μπορούσε αυτή να παρουσιάσει σε κάποιο σημείο του δικτύου της, δε θα είχε οπωσδήποτε σαν συνέπεια την παρεμπόδιση ή διακοπή της λειτουργίας και κάποιων άλλων σημείων του δικτύου της, μιας και, όπως αναφέραμε, τα διάφορα σημεία του ευρύτερου δικτύου της λειτουργούν σχεδόν ανεξάρτητα μεταξύ τους. Κάτι τέτοιο προφανώς δεν μπορεί να ισχύσει στην περίπτωση της <<κεντροποιημένης>> διανομής του υδρογόνου, αφού η ελαττωματική λειτουργία οποιουδήποτε τυχαίου σημείου του δικτύου της θα επηρεάσει πιθανότατα ένα ή περισσότερα γειτονικά του σημεία (όπως συμβαίνει σήμερα με την <κεντροποιημένη> διανομή που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας). Από το συγκεκριμένο γεγονός μπορούμε να συμπεράνουμε, ότι η <<μη κεντροποιημένη>> διανομή του υδρογόνου μπορεί να λειτουργήσει ομαλά και σε πιθανές περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης που καταστρέφουν ή θέτουν προσωρινά εκτός λειτουργίας κάποια σημεία του δικτύου της (όπως π.χ. συμβαίνει σε περιπτώσεις φυσικών καταστροφών, δηλαδή εκτεταμένων πυρκαγιών, σεισμών, χιονοπτώσεων κ.τ.λ.).

Αντίθετα, μια τέτοια προοπτική είναι σχεδόν αδύνατη για την <<κεντροποιημένη>> διανομή του υδρογόνου. Εκτός από την προστασία, λόγω ενεργειακής ανεξαρτησίας, απέναντι σε φυσικές καταστροφές και σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, το <<μη κεντροποιημένο>> σύστημα διανομής του υδρογόνου προσφέρει σημαντική διευκόλυνση και στην κάλυψη των ευρύτερων ενεργειακών αναγκών οποιουδήποτε κράτους, το οποίο συνεπάγεται γι' αυτό την οικονομική και ενεργειακή του ανεξαρτησία από άλλα κράτη. Αυτός είναι και ο λόγος που σε παγκόσμια κλίμακα σήμερα, αρκετά μικρά ή μεγαλύτερα κράτη επενδύουν αρκετά μεγάλα ποσά σε αναπτυξιακά προγράμματα που αφορούν την μελλοντική συγκρότηση της <Οικονομίας του υδρογόνου>, μιας και αυτή θα σημάνει την ανεξαρτητοποίηση από τον μικρό εκείνο αριθμό των σημερινών κρατών – παραγωγών που ελέγχουν την παραγωγή και διακίνηση των ορυκτών καυσίμων σε παγκόσμια κλίμακα. Όσων αφορά τώρα την ασφάλεια των μελλοντικών δικτύων διανομής του υδρογόνου και των κέντρων παραγωγής και διοχέτευσής του, υπάρχουν ακόμα αρκετά σημαντικά ζητήματα που πρέπει να επιλυθούν, πρώτου αυτά λειτουργήσουν πρακτικά με αξιόπιστο και ασφαλή τρόπο. Όπως και στην περίπτωση του φυσικού αερίου, οι αγωγοί μεταφοράς του (αερίου) υδρογόνου και οι διάφοροι σταθμοί ανεφοδιασμού του, θα πρέπει να εξοπλιστούν με κατάλληλες τεχνολογίες διαχείρισής του.

Οι τεχνολογίες αυτές θα πρέπει να είναι υψηλότερων απαιτήσεων από αυτές που χρησιμοποιούνται σήμερα για το φυσικό αέριο (εξαιτίας των αρκετά υψηλότερων πιέσεων που απαιτούνται για τη διανομή του υδρογόνου). Όλες επίσης οι τεχνικές προφυλάξεις ανίχνευσης πιθανούς διαρροής που εφαρμόζονται σήμερα κατά την διανομή του φυσικού αερίου (π.χ. ανιχνευτές διαρροής, βαλβίδες πιέσεων, βαλβίδες ασφαλείας κ.τ.λ.) θα πρέπει να εφαρμοστούν και στο μελλοντικό δίκτυο διανομής του υδρογόνου, καθώς η διαρροή του

υδρογόνου κατά τη διανομή του είναι το ίδιο επικίνδυνη με αυτή του φυσικού αερίου (υπάρχει κίνδυνος έκρηξης!). Επειδή η διανομή και ο ανεφοδιασμός του υδρογόνου γίνονται κάτω από πολύ υψηλές πιέσεις, τα υλικά με τα οποία θα κατασκευάζονται οι μελλοντικοί αγωγοί μεταφοράς του θα πρέπει να έχουν μεγαλύτερη αντοχή από τους αγωγούς που χρησιμοποιούνται σήμερα για τη μεταφορά του φυσικού αερίου.

Αυτή είναι και η σημαντικότερη διαφοροποίηση μεταξύ των δύο δικτύων διανομής αερίων (υδρογόνου και φυσικού αερίου), αφού οι τεχνολογίες των υλικών που απαιτούνται για το πρώτο διαφοροποιούνται αρκετά απ' αυτές του δευτέρου. Τέλος, να αναφέρουμε, ότι εκτός από τη χρησιμοποίηση εξελιγμένων υλικών για την κατασκευή των αγωγών διακίνησης του υδρογόνου, είναι αναγκαίο αυτοί να εφοδιαστούν και με κατάλληλες διατάξεις συμπίεστών του σε διάφορα σημεία τους, μιας και εκτός από υψηλές πιέσεις κατά τη μεταφορά του, το υδρογόνο σαν αέριο απαιτεί οι υψηλές αυτές πιέσεις να παραμένουν και συνεχώς σταθερές. Αυτό οφείλεται κυρίως στην μεγάλη πτώση πίεσης που παρατηρείται στο δίκτυο διανομής του όταν αυτό απάγεται απ' αυτό και χρησιμοποιείται για λόγους ανεφοδιασμού.

Παρά τις διάφορες τεχνικές δυσκολίες που υπάρχουν ακόμη για την ευρύτερη εφαρμογή της διανομής του υδρογόνου, αρκετά τεχνολογικά προηγμένα κράτη σήμερα (μεταξύ αυτών και αρκετά κράτη της Ε.Ε.), έχουν ήδη αρχίσει να αναπτύσσουν τις πρώτες, μικρής κλίμακας, υποδομές διανομής και ανεφοδιασμού του υδρογόνου, κυρίως δε για τον ανεφοδιασμό με υδρογόνο αστικών μεταφορικών οχημάτων του (λεωφορεία, Ι.Χ. κ.τ.λ.). Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί ο τοπικός σταθμός ανεφοδιασμού με υδρογόνο ο οποίος έχει κατασκευαστεί στη περιοχή Spandau του Βερολίνου της Γερμανίας, ο οποίος χρησιμοποιείται για τον ανεφοδιασμό των 14 αστικών επιβατικών λεωφορείων υδρογόνου που υπάρχουν στην πόλη του Βερολίνου:



Σχήμα 4.2.6: Σταθμός Ανεφοδιασμού υδρογόνου στο Spandau του Βερολίνου στη Γερμανία.



Σχήμα 4.2.7: Αστικά Επιβατικά λεωφορεία της εταιρίας MAN κινούμενα με MEK υδρογόνου, τα οποία κυκλοφόρησαν τον Ιούνιο του 2006 στο Βερολίνο της Γερμανίας, ως μέρος του ευρωπαϊκού προγράμματος

## **4.3 ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ**

### **4.3.1 Εισαγωγή στην αποθήκευση του υδρογόνου – Δυνατές μέθοδοι αποθήκευσης του υδρογόνου**

Όπως έχουμε αναφέρει, σε συνήθειες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας περιβάλλοντος (δηλαδή σε θερμοκρασία περιβάλλοντος ίση με 25°C (298.15 K) και πίεση ίση με 100 kPa (0.987atm)), το υδρογόνο σαν υλικό είναι αέριο. Σαν αέριο, το υδρογόνο χαρακτηρίζεται από πολύ μεγάλους όγκους για περιορισμένες ποσότητες μάζας του, γεγονός που οφείλεται στην πολύ χαμηλή του πυκνότητα. Για το λόγο αυτό, προκειμένου να αποθηκευτεί σε συνήθειες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας περιβάλλοντος, θα πρέπει να μειωθεί ο πολύ μεγάλος αέριος όγκος του, γεγονός που συνεπάγεται την ταυτόχρονη αύξηση της πίεσής του ή την ταυτόχρονη μείωση της θερμοκρασίας του (ή και τα δύο). Είναι γνωστό, ότι 1 kg αέριου υδρογόνου σε συνήθειες συνθήκες περιβάλλοντος, καταλαμβάνει όγκο ίσο με 11m<sup>3</sup> περίπου, δηλαδή πολύ μεγάλο για να αξιοποιηθεί πρακτικά από τον άνθρωπο. Για τον λόγο αυτό, προκειμένου να αξιοποιηθεί πρακτικά, θα πρέπει να μειωθεί ο πολύ μεγάλος του όγκος υπό τις συγκεκριμένες συνθήκες, δηλαδή να αυξηθεί η πολύ μικρή του πυκνότητα (είναι  $\rho = m / V$ ). Αυτό επιτυγχάνεται μέσω των διαφόρων τεχνικών αποθήκευσής του σε κατάλληλες διατάξεις ή σε διάφορα υλικά. Η αύξηση της πυκνότητας της αέριας μάζας του (ή αντίστοιχα η μείωση του αέριου όγκου του) που αυτό διαθέτει υπό συνήθειες συνθήκες περιβάλλοντος, επιτυγχάνεται με τρεις διαφορετικούς τρόπους: είτε μέσω της αύξησης της πίεσης του, είτε μέσω της μείωσης της θερμοκρασίας του, είτε, τέλος, μέσω της μείωσης της άπωσης που ασκείται μεταξύ των μορίων του, κατά τη διοχέτευσή του σε διάφορα στερεά υλικά (μεταλλικά υδρίδια, νανοσωλήνες κτλ). Όποια πάντως μέθοδος και να ακολουθηθεί, το σημαντικό ζητούμενο κατά την αύξηση της πυκνότητάς του αποτελεί το γεγονός, κατά πόσο η μέθοδος αποθήκευσής του που ακολουθήθηκε δύναται στη συνέχεια να αντιστραφεί, δηλαδή κατά πόσο το αποθηκευμένο υδρογόνο δύναται να ανακτηθεί στη συνέχεια, κατά την φάση της κατανάλωσής του. Οι κυριότερες μέθοδοι που έχουν ανακαλυφθεί μέχρι σήμερα για την αποτελεσματική αποθήκευση του υδρογόνου είναι οι εξής :

1. Σε φιάλες αερίου κάτω από υψηλές συνθήκες πίεσης.
2. Σαν υγρό σε κρυογονικές δεξαμενές.
3. Προσροφημένο σε διάφορα στερεά υλικά που χαρακτηρίζονται από μεγάλη ειδική επιφάνεια των δομικών τους λίθων.
4. Συγκρατούμενο πάνω σε ενδοπλεγματικές θέσεις μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα διαφόρων μετάλλων.
5. Εσμευμένο μέσω χημικών δεσμών ιοντικής ή ομοιοπολικής φύσης από διάφορες χημικές ενώσεις.

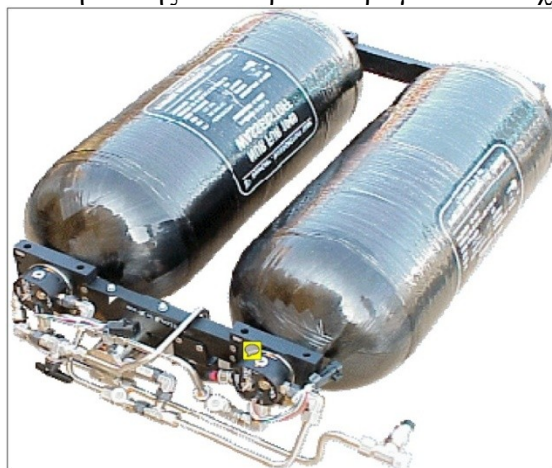
Στην συνέχεια θα εξετάσουμε λεπτομερώς τις παραπάνω αποτελεσματικές μεθόδους αποθήκευσης του υδρογόνου, αναφέροντας παράλληλα και τα θετικά και τα αρνητικά σημεία τους κατά την χρησιμοποίησή τους.

### **4.3.2 Αποθήκευση του υδρογόνου σαν αέριο**

Το πιο κοινό σύστημα που χρησιμοποιείται σήμερα για την αποθήκευση του υδρογόνου, είναι οι φιάλες αερίου οι οποίες το αποθηκεύουν σε αρκετά υψηλές πιέσεις. Οι πιέσεις στις οποίες το υδρογόνο αποθηκεύεται στις συγκεκριμένες φιάλες κυμαίνονται συνήθως στα 5000 psi περίπου (όπου 1 psi = 6,894 kPa = 0,0680 atm). Κάτω από αυτές τις πιέσεις, το αποθηκευμένο υδρογόνο αποκτά μια ογκομετρική πυκνότητα η οποία κυμαίνεται στα 36 kg/m<sup>3</sup> περίπου, δηλαδή σχεδόν μισή από αυτή που το χαρακτηρίζει όταν είναι υγρό και υπό θερμοκρασία κορεσμού (δηλαδή για T = 32,976 βαθμούς K ή -252,732 oC, P = 7,04 kPa ή 1,02 psi, με  $\rho = 31,43\text{kg/m}^3$ ) [12]. Οι μέγιστες πιέσεις που έχουν επιτευχθεί ποτέ κατά την

αποθήκευση του υδρογόνου σε αέρια φάση, κυμαίνονται στα 10000 psi περίπου (μέσα σε ειδικά ενισχυμένες φιάλες αερίου).

Οι συνηθισμένες φιάλες αερίου που χρησιμοποιούνται σήμερα στη βιομηχανία και στην τεχνολογία παραγωγής ενέργειας υδρογόνου για την αποθήκευση αυτού, κατασκευάζονται από πολλαπλά ομοκυλινδρικά μεταλλικά τοιχώματα, μιας και οι πιέσεις που επικρατούν στο εσωτερικό τους είναι πολύ υψηλές για να συγκρατηθούν από ένα και μοναδικό εξωτερικό μεταλλικό τοίχωμα (όπως συμβαίνει στις κοινές φιάλες αερίου πίεσεων που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση των λοιπών αερίων). Εκτός από αυτό, για την επιπλέον ενίσχυση της ανθεκτικότητάς τους έχουν χρησιμοποιηθεί και εξωτερικά τοιχώματα κατασκευασμένα από νανοσωλήνες άνθρακα με αρκετή επιτυχία (αύξηση των πιέσεων συμπίεσης στα 10000psi) . Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται μία τυπική διάταξη φιαλών αποθήκευσης του αερίου υδρογόνου που χρησιμοποιείται κυρίως στη βιομηχανία:



Σχήμα 4.3.1: Τυπική διάταξη αποθήκευσης του υδρογόνου που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία.

$$\Delta G = RT \ln \left( \frac{P}{P_0} \right)$$

(4.1)

Μπορούμε να υπολογίσουμε το θεωρητικό έργο συμπίεσης που απαιτείται για την αποθήκευση του αερίου υδρογόνου μέσα σε μία φιάλη υψηλών πιέσεων, υποθέτοντας ότι αυτό συμπιέζεται ισόθερμα κατά την αποθήκευσή του σ' αυτήν (ιδανική μεταβολή), αλλά και ότι κατά προσέγγιση αποτελεί ιδανικό αέριο. Έτσι, από τον τύπο του θεωρητικού έργου ογκομεταβολής κατά την ισόθερμη συμπίεση ή αποτόνωση ενός ιδανικού αερίου: μπορούμε να υπολογίσουμε το θεωρητικό έργο συμπίεσης που απαιτείται για την αποθήκευση του υδρογόνου μέσα στον χώρο μιας φιάλης του, θεωρώντας σαν δεδομένα την τελική πίεση  $p$  μετά την συμπίεσή αυτού μέσα στην φιάλη καθώς επίσης και την αρχική πίεση  $p_0$  πριν από την αποθήκευσή του σ' αυτήν. Το θεωρητικό έργο συμπίεσης που υπολογίζεται με αυτόν τον τρόπο συνοδεύεται από κάποιο σφάλμα μέτρησης σε σχέση με την τιμή που θα είχε υπό πραγματικές συνθήκες, το οποίο όμως δεν είναι μεγαλύτερο από 6% περίπου για περιοχές συμπίεσεων μεταξύ των 0,1 και 100 MPa και άρα είναι αρκετά αποδεκτό για πρόχειρους υπολογισμούς. Για παράδειγμα, για την ισόθερμη συμπίεση μιας ορισμένης ποσότητας υδρογόνου από 0,1 MPa σε 80 MPa, όπως αποδεικνύεται από τον παραπάνω τύπο, απαιτείται θεωρητικό έργο συμπίεσης το οποίο ισούται περίπου με 2,21 kWh / kg. Η πραγματική τιμή του έργου αυτού, όπως αποδεικνύεται μετά από πειραματικές μετρήσεις, κυμαίνεται στα 2,32 kWh / kg περίπου (σφάλμα μέτρησης περίπου ίσο με 5%). Το ότι το πραγματικό έργο συμπίεσης, κατά την αέρια αποθήκευση του υδρογόνου, είναι λίγο μεγαλύτερο από το

θεωρητικό έργο συμπίεσης αυτού, οφείλεται στην μη ισόθερμη πραγματική του συμπίεση κατά την αέρια αποθήκευση και στις μικρές απώλειες θερμότητας που παρουσιάζονται σ' αυτή. Ένα από τα κυριότερα μειονεκτήματα αποθήκευσης του υδρογόνου σε φιάλες αερίου υψηλών πιέσεων, είναι η σχετικά χαμηλή του πυκνότητα που εξακολουθεί να έχει μετά την αποθήκευσή του στο εσωτερικό της.

Ένα άλλο προφανές μειονέκτημα της αέριας αποθήκευσής του σε φιάλες υψηλών πιέσεων, αποτελούν οι ίδιες οι υψηλές πιέσεις που απαιτούνται για την αέρια αποθήκευσή του, οι οποίες ανεβάζουν το κόστος της αέριας αποθήκευσής του, εξαιτίας των ειδικών υλικών που απαιτούνται για την κατασκευή των φιαλών. Εκτός από αυτό, οι φιάλες αποθήκευσης του υδρογόνου κατά κανόνα κατασκευάζονται αναγκαστικά, για λόγους ανθεκτικότητας, από μεταλλικά κράματα που είναι ευαίσθητα στην ατμοσφαιρική οξείδωση (π.χ. κράματα χαλκού ή αλουμινίου), τα οποία κάτω από κατάλληλες συνθήκες μπορούν να διαβρωθούν από τον ατμοσφαιρικό αέρα και να απελευθερώσουν βίαια το αποθηκευμένο υδρογόνο προς την ατμόσφαιρα (κίνδυνος έκρηξης). Φιάλες κατασκευασμένες από λιγότερο οξειδωτικά μεταλλικά υλικά (όπως π.χ. φιάλες κατασκευασμένες από τιτάνιο), δεν είναι αρκετά ανθεκτικές στις υψηλές πιέσεις που απαιτούνται για την αποθήκευση του αερίου υδρογόνου και γι' αυτό συνήθως δεν χρησιμοποιούνται.

Η καταστροφή των φιαλών αποθήκευσης υδρογόνου σαν αέριο, εξαιτίας της οξείδωσης των συνήθων μεταλλικών υλικών από τα οποία κατασκευάζονται (κράματα χαλκού ή αλουμινίου) εξηγείται ως εξής: Καθώς το υδρογόνο αποθηκεύεται στο εσωτερικό τους και ενόσω αυτό βρίσκεται ακόμα υπό χαμηλές πιέσεις, διαχέεται διαμέσου των πολύ μικρών πόρων που εμφανίζει πάντα το υλικό κατασκευής τους στην εσωτερική τους επιφάνεια και συγκεντρώνεται στα σημεία εκείνα των τοιχωμάτων τους όπου το υλικό κατασκευής παρουσιάζει κάποιες ατέλειες στη κρυσταλλική του δομή. Τότε, αναφερόμενοι σε υλικά κατασκευής που οξειδώνονται εύκολα με τον ατμοσφαιρικό αέρα (π.χ. χαλκός και αλουμίνιο), το υδρογόνο αντιδρά με τα οξείδια που έχουν σχηματίσει τα εν λόγω υλικά με αυτόν.

Από την αντίδρασή του μ' αυτά, το υδρογόνο παράγει μεταλλικά υδρίδια τα οποία, αφού παραχθούν, παραμένουν στο χώρο που έχουν σχηματιστεί και αυξανόμενα συνεχώς σε συγκέντρωση, ασκούν ολοένα και μεγαλύτερες πιέσεις στην συνολική μάζα του μεταλλικού υλικού κατασκευής, αναγκάζοντας έτσι αυτό να διογκώνεται (διόγκωση φιάλης). Οι ολοένα και αυξανόμενες πιέσεις μέσα στην μεταλλική επιφάνεια των φιαλών αποθήκευσης του υδρογόνου, από ένα όριο και πάνω και ανάλογα και με το υλικό της κατασκευής τους, προκαλούν τελικά την ολική θραύση τους μέσω έκρηξης. Μέχρι το σημείο της θραύσης, το φαινόμενο της διόγκωσής τους μπορεί να γίνει αντιστρεπτό, απομακρύνοντας το υδρογόνο που έχει αποθηκευτεί στο εσωτερικό της. Επειδή όμως η ανίχνευση μεγάλων ποσοτήτων από μεταλλικά υδρίδια στο εσωτερικό των μεταλλικών επιφανειών γίνεται μόνο μέσω εξωτερικής οπτικής παρατήρησης (έλεγχος διόγκωσης)· συχνά είναι δυνατό η ανίχνευση αυτή να μην γίνει σωστά και να εξαχθούν εσφαλμένα συμπεράσματα. Καταλαβαίνουμε δηλαδή, ότι η αποθήκευση του υδρογόνου μέσα σε φιάλες υψηλών πιέσεων θα πρέπει πάντα να ακολουθείται από αυστηρούς κανόνες ελέγχου και συντήρησης (π.χ. επικάλυψη εξωτερικών τοιχωμάτων φιάλης με αντιοξειδωτική μπογιά), προκειμένου να μπορεί να εφαρμοστεί χωρίς κίνδυνο και με αποτελεσματικότητα. Να αναφέρουμε επίσης, ότι το φαινόμενο της ευθραυστότητας των φιαλών αποθήκευσης του υδρογόνου υπό υψηλές πιέσεις, εξαιτίας της παρουσίας των μεταλλικών υδριδίων στο εσωτερικό τους, είναι γνωστό και ως hydrogen induced phenomenon of embrittlement.

### **4.3.3 Αποθήκευση του υδρογόνου σαν υγρό**

Το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί σαν υγρό μέσα σε ειδικές διατάξεις που ονομάζονται κρυογονικές δεξαμενές. Γενικά, οι κρυογονικές δεξαμενές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση και άλλων υγρών υλικών, που κανονικά σε συνθήκες συνθήκες

περιβάλλοντος είναι αέρια, αποθηκεύοντάς τα σαν υγρά κάτω από πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και πολύ υψηλές πιέσεις. Οι εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες που επικρατούν στο εσωτερικό των κρυογονικών δεξαμενών, επιτυγχάνονται με τη βοήθεια διαφόρων αερίων (π.χ. υγρό οξυγόνο, αργό, άζωτο, αιθυλένιο κ.τ.λ.), τα οποία, λόγω του πολύ χαμηλού σημείου της υγροποίησής τους, έχουν την δυνατότητα να αφαιρούν θερμότητα από άλλα υλικά με υψηλότερο σημείο υγροποίησης. Από την άλλη μεριά, οι εξαιρετικά υψηλές και σταθερές πιέσεις που επικρατούν στο εσωτερικό των κρυογονικών δεξαμενών, επιτυγχάνονται με τη βοήθεια διαφόρων διατάξεων απαγωγής κενού, καθώς επίσης και μέσω της σωστής στεγανοποίησης των κρυογονικών δεξαμενών. Κατά την αποθήκευση του υδρογόνου σαν αέριο μέσα σε μία κρυογονική δεξαμενή, η πυκνότητα που αυτό αποκτά σαν υγρό ανέρχεται συνήθως στα 70,8 kgm<sup>-3</sup> περίπου (η αποθήκευσή του μέσα στη κρυογονική δεξαμενή γίνεται κοντά στο σημείο της υγροποίησής του). Η πυκνότητά του αυτή παραμένει σχεδόν σταθερή καθ' όλη την περιοχή των πιέσεων και των θερμοκρασιών που χαρακτηρίζουν την υγρή του κατάσταση μέσα στην κρυογονική δεξαμενή (το υγρό υδρογόνο όπως και όλα τα άλλα υγρά είναι κατά προσέγγιση μη εκτατό). Η πυκνότητα που αποκτά το υγρό υδρογόνο κατά την αποθήκευσή του μέσα σε μία κρυογονική δεξαμενή, είναι λίγο μεγαλύτερη από αυτή που χαρακτηρίζει τη στερεή του κατάσταση στο σημείο της τήξης του (δηλαδή 70,6 kgm<sup>-3</sup>). Η αποθήκευση του υδρογόνου μέσω υγροποίησης σε κρυογονικές δεξαμενές, αποτελεί μια εξώθερμη διαδικασία και η θερμότητα που εκλύεται κατά την αποθήκευσή του σ' αυτές εκλύεται με συνεχή τρόπο.

Η ποσότητα της θερμότητας που εκλύεται κατά την αποθήκευση του υδρογόνου μέσα σε κρυογονικές δεξαμενές, εξαρτάται από το τελικό σημείο στο οποίο σταματάει η υγροποίηση του αέριου υδρογόνου και ο ρυθμός της έκλυσής της από το εκάστοτε σημείο της υγροποίησης στο οποίο βρίσκεται το υδρογόνο. Συγκεκριμένα, μέχρι τους 77 βαθμούς K, ο ρυθμός αυτός αυξάνεται με σταθερό και σχεδόν εκθετικό ρυθμό, ενώ μετά τους 77K και μέχρι το τελικό σημείο βρασμού του υδρογόνου (20,268 βαθμοί K), ο ρυθμός έκλυσης θερμότητας από τη μάζα του γίνεται σταθερός.

Συνέπεια της εξώθερμης φύσης της υγρής αποθήκευσης του υδρογόνου σε κρυογονικές δεξαμενές είναι, ότι αν θελήσουμε να αποθηκεύσουμε μια ορισμένη αέρια ποσότητα αυτού, θα πρέπει να καταναλώσουμε κάποιο ποσό ενέργειας το οποίο είναι σχετικά μεγάλο. Για να μειώσουμε το μεγάλο αυτό ποσό της ενέργειας, στις κρυογονικές δεξαμενές που χρησιμοποιούμε για την αποθήκευση του αέριου υδρογόνου, τις εφοδιάζουμε με πολλαπλές καταλυτικές επιφάνειες στο εσωτερικό τους, οι οποίες είναι κατασκευασμένες από κατάλληλα υλικά που επιταχύνουν την υγρή αποθήκευση του υδρογόνου (π.χ. βολφράμιο, νικέλιο, οξείδιο του χρωμίου κ.τ.λ.). Εκτός από αυτό, οι κρυογονικές δεξαμενές αποθήκευσης υδρογόνου εφοδιάζονται και από αλληπάλληλα εξωτερικά στρώματα από θερμική μόνωση, τα οποία τις βοηθάνε να εμποδίζουν την απαγωγή της θερμότητας από το αποθηκευμένο πλέον σ' αυτές υγρό υδρογόνο.

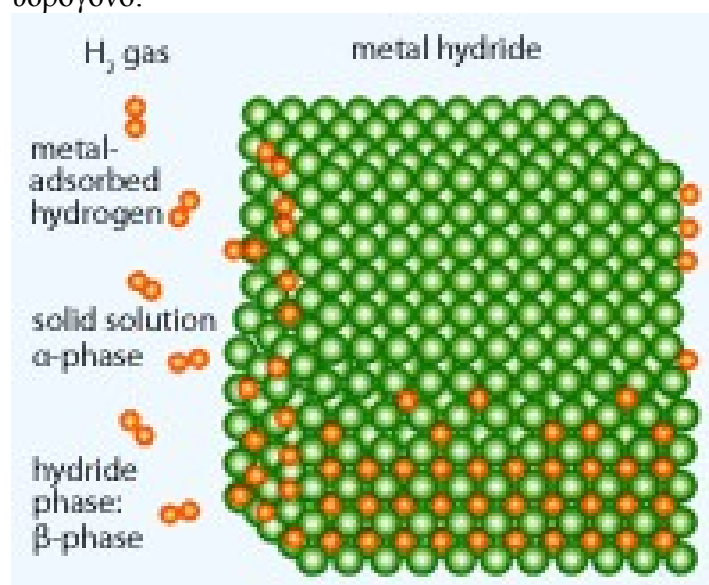
Ένα από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα που εμφανίζει η υγρή αποθήκευση του υδρογόνου μέσα σε κρυογονικές δεξαμενές είναι, ότι τα ποσά της ενέργειας που απαιτούνται για την αποθήκευσή του σ' αυτές είναι αρκετά υψηλά, παρά τις παραπάνω προφυλάξεις που αναφέραμε. Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι τα ποσά της θερμότητας που πρέπει να αφαιρεθούν από το αέριο υδρογόνο, προκειμένου αυτό να μετατραπεί σε υγρό, είναι πολύ μεγάλα. Το ποσά αυτά απάγονται από τη μάζα του προφανώς μέσω της ταυτόχρονης κατανάλωσης ενέργειας από εμάς. Για τον λόγο αυτό, η υγρή αποθήκευσή του υδρογόνου σε κρυογονικές δεξαμενές χρησιμοποιείται σήμερα κυρίως σε εφαρμογές όπου το κόστος αποθήκευσής του δεν αποτελεί την πρώτη προτεραιότητα, ενώ οι ανάγκες που υπάρχουν σ' αυτό είναι μεγάλες και απαιτούν γρήγορο ρυθμό κατανάλωσής του (π.χ. κατά την χρησιμοποίηση του υγρού υδρογόνου σαν προωθητικό αέριο σε διαστημικούς πυραύλους).



#### 4.3.4 Αποθήκευση του υδρογόνου σε μέταλλα και σε κράματα μετάλλων

Μία σημαντική μέθοδος αποθήκευσης του υδρογόνου, η οποία έχει ανακαλυφτεί σχετικά πρόσφατα, αποτελεί η αποθήκευσή του στη μάζα διαφόρων <καθαρών> μετάλλων ή διαφόρων μεταλλικών κραμάτων. Τα σύνθετα μεταλλικά σώματα που σχηματίζονται από αυτά, περιγράφονται με τον όρο των μεταλλικών υδριδίων (ή των υδριδίων των μετάλλων).

Η ιδιότητα του υδρογόνου να αποθηκεύεται (ή αλλιώς να απορροφάται, μιας και δεν λαμβάνει χώρα η διενέργεια κάποιας χημικής αντίδρασης) στα παραπάνω υλικά, παρουσιάζει σήμερα ιδιαίτερο ενδιαφέρον, μιας και τα συγκεκριμένα υλικά παρουσιάζουν αρκετά μεγάλες δυνατότητες σε αποθήκευσή του. Για να έχει όμως η δυνατότητα αυτή και πρακτική αξία, θα πρέπει η αποθήκευση του υδρογόνου να μπορεί να γίνεται και κατά τρόπο αντιστρεπτό μέσα στη μάζα τους και μάλιστα όσο το δυνατό πιο αντιστρεπτό. Στο παρακάτω σχήμα 4.3.2 παραθέτουμε την εικόνα που παρουσιάζει η μάζα ενός <καθαρού> (ή απλού) μεταλλικού υδριδίου στην επιφάνειά της, όταν σ' αυτό αποθηκεύονται ποσότητες από αέριο υδρογόνο:



Σχήμα 4.3.2: Κατανομή ατόμων υδρογόνου μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα ενός υδριδίου, κατά την απορρόφησή τους από αυτό.

## Αναφορές

J. Rifkin, “Η οικονομία του Υδρογόνου (Η Δημιουργία του Παγκόσμιου Ενεργειακού Ιστού και η Ανακατανομή της Εξουσίας στη Γη, Η επόμενη Μεγάλη Οικονομική Επανάσταση)”, Αθήνα 2003, Εκδόσεις Λιβάνη..

Alibrando, M., H.S. Hahm and E.E. Wolf, 1997, “Partial oxidation of methane to syngas on a Rh/TiO<sub>2</sub> catalyst in a fast flow porous membrane reactor:”, J.C. Baltzer., Science Publishers.

Andreas Zuttel, "Hydrogen Storage Methods and Materials", University of Fribourg April 2004.

<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B9%CE%BF%CE%BA%CE%B1%CF%8D%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B1>

<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B9%CE%BF%CE%BC%CE%AC%CE%B6%CE%B1>

<http://www.greekmoney.gr/index.php?news=4867>

<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B9%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%AF%CE%B6%CE%B5%CE%BB>

<http://users.sch.gr/kefkleidou/FINANCIAL/fin001.htm>

[http://bioenergynews.blogspot.com/2008/04/blog-post\\_03.html](http://bioenergynews.blogspot.com/2008/04/blog-post_03.html)

[http://www.biofuels.gr/biodiesel\\_4.html](http://www.biofuels.gr/biodiesel_4.html)

<http://www.buildings.gr/greek/aiforos/exikonomisi/methylesteres.htm>

[http://www.ecocrete.gr/index.php?option=com\\_content&task=view&id=4447&Itemid=0](http://www.ecocrete.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=4447&Itemid=0)

<http://irealty.gr/glossari/bio-methanoli/>

<http://www.ypeka.gr/>

<http://www.pemptousia.gr/>

<http://www.lpgas.gr/el/blog/54-mythos-i-afksisi-tou-ygraeriu-kinesis>

<http://www.athensvoice.gr/the-paper/article/394/%CF%80%CE%B1%CF%84%CE%AC%CE%B5%CE%B9%E2%80%A6-%CE%B3%CE%BA%CE%AC%CE%B6%CE%B9-%CF%84%CE%BF-%CF%86%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CF%8C-%CE%B1%CE%AD%CF%81%CE%B9%CE%BF>

[http://ilinet.blogspot.gr/2010/11/blog-post\\_9587.html](http://ilinet.blogspot.gr/2010/11/blog-post_9587.html)

[http://www.peristerinews.gr/sub/periballon/h\\_kinisi\\_ton\\_oximatou\\_me\\_fusiko\\_aerio\\_kerdize\\_i\\_opadous.html](http://www.peristerinews.gr/sub/periballon/h_kinisi_ton_oximatou_me_fusiko_aerio_kerdize_i_opadous.html)

<http://www.sime-ygraeriokinisi.gr/metatropes.html>

<http://www.ergonomiki.com/katastima/index.php?/%CE%A0%CE%A1%CE%A9%CE%A4%CE%9F%CE%A3%CE%95%CE%9B%CE%99%CE%94%CE%9F/stabilation.html#LINK1>

[http://www.volvoc303.co.uk/lpg\\_conversion.htm](http://www.volvoc303.co.uk/lpg_conversion.htm)

[http://www.nomosphysis.org.gr/articles.php?artid=353&lang=1&catid=1#\\_ftnref4](http://www.nomosphysis.org.gr/articles.php?artid=353&lang=1&catid=1#_ftnref4).

<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A5%CE%B4%CF%81%CE%BF%CE%B3%CF%8C%CE%BD%CE%BF>

[http://www.dis.anl.gov/ceesa/programs/hydrogen\\_markets.html](http://www.dis.anl.gov/ceesa/programs/hydrogen_markets.html)

[www.envirohelp.net/greece/processes/documents/Energy\\_Environment.pdf](http://www.envirohelp.net/greece/processes/documents/Energy_Environment.pdf)

<http://www.hy2.gr/reference.php?item=6>

<http://www.chemguide.co.uk/physical/phaseeqia/phasediags.html>

[www.hq.nasa.gov/office/codeq/doctree/canceled/871916.pdf](http://www.hq.nasa.gov/office/codeq/doctree/canceled/871916.pdf)

[http://library.tee.gr/digital/m2102/m2102\\_romanos.pdf](http://library.tee.gr/digital/m2102/m2102_romanos.pdf)

[http://www.uni-saarland.de/fak8/wwm/research/phd\\_barnoush/hydrogen.pdf](http://www.uni-saarland.de/fak8/wwm/research/phd_barnoush/hydrogen.pdf)

<http://www.sciencenews.gr/>