

# Κεφάλαιο 4. Εναλλακτικά Καύσιμα

## 4.1. Εισαγωγή

Η δημιουργία ενός βιώσιμου συστήματος μεταφορών απαιτεί τον περιορισμό της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας και την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης στα Συστήματα Μεταφορών. Η στρατηγική της Ε.Ε. για την επίτευξη των παραπάνω στόχων γίνεται με την μορφή πολιτικών, σύμφωνα με την πάγια διαδικασία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, προτείνεται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, πολλές φορές μέσω των Πράσινων και Λευκών Βίβλων, και κατόπιν μέσω κανονισμών και οδηγιών υιοθετείται και αποτελεί εθνικό δίκαιο για τα Κράτη-Μέλη. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, τίθενται δεσμευτικοί ή μη δεσμευτικοί στόχοι με διαφορετικούς χρονικούς ορίζοντες για τα κράτη μέλη και ορίζονται πολιτικές και διαδικασίες.

Η παραγωγή βιοκαυσίμων αντιπροσωπεύει μια μεγάλη ευκαιρία για την ευρωπαϊκή, αλλά και την εθνική οικονομία. Η ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών μπορεί να δημιουργήσει νέες θέσεις εργασίας σε αγροτικές περιοχές, αλλά και σε βιομηχανίες. Επιπλέον, νέες ευκαιρίες εργασίας μπορεί να προκύψουν από την ανάπτυξη της τεχνολογίας. Καινοτόμες τεχνολογίες θα χρειαστούν για την παραγωγή βιοκαυσίμων με ενεργειακά αποδοτικό τρόπο από ένα εκτεταμένο εύρος πηγών βιομάζας, με εν γένει μειωμένο κόστος παραγωγής. Ο άξονας της ευρωπαϊκής στρατηγικής για τα εναλλακτικά καύσιμα βασίζεται στις παρακάτω οδηγίες:

- **Οδηγία 2009/28/ΕΚ** : θέτει νομικά δεσμευτικό ευρωπαϊκό στόχο 20% για συμμετοχή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στην τελική κατανάλωση ενέργειας μέχρι το 2020. Παράλληλα τίθεται νομικά δεσμευτικός ευρωπαϊκός στόχος 10% για συμμετοχή των Α.Π.Ε. στον τομέα των μεταφορών.

- **Οδηγία 2009/28/ΕΚ** : θέτει ειδικού εθνικούς στόχους για συμμετοχή των Α.Π.Ε. (ΑΠΕ) στην τελική κατανάλωση ενέργειας μέχρι το 2020, στηρίζεται στο ΑΕΠ του κάθε κράτους, με σημείο εκκίνησης το ποσοστό συμμετοχής των Α.Π.Ε. σε κάθε κράτος-μέλος κατά το έτος 2005. Με την εξειδίκευση αυτή το συγκεκριμένο ποσοστό για την Ελλάδα προσδιορίζεται στο 18%.

- **Οδηγία 2003/30/ΕΚ:** θέτει ενδεικτικό στόχο μέχρι το 2010, το 5,75% των καυσίμων μεταφορών να αποτελείται από βιοκαύσιμα με την ενδεχόμενη προοπτική να αυξηθεί η αναλογία αυτή σε 8% μέχρι το 2015. Υπό συζήτηση είναι ο δεσμευτικός στόχος για 10% των καυσίμων μεταφορών να αποτελείται από βιοκαύσιμα το 2020.

- **Οδηγία 2009/30/ΕΚ:** θέτει νομικά δεσμευτικός στόχο 6% μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη χρήση καυσίμων μέχρι το 2020, με επιπλέον συνολική μείωση 4% (από ηλεκτρικά αυτοκίνητα (2%) και εμπορία δικαιωμάτων εκπομπών (2%)).

- **Οδηγία 2009/30/ΕΚ :** θέτει όριο 130 g/120 g CO<sub>2</sub>/km για νέα οχήματα το 2012 και τα 95 g CO<sub>2</sub>/km το 2020.

Ειδικότερα για τις οδικές μεταφορές, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει εντοπίσει τρεις βασικές δυνητικές εναλλακτικές κατηγορίες καυσίμων που θα μπορούσαν να αναπτυχθούν η καθεμία έως το επίπεδο του 5% και άνω επί της συνολικής αγοράς καυσίμων για αυτοκίνητα έως το 2020 [EE, 2001]: τα βιοκαύσιμα, το φυσικό αέριο, το υδρογόνο. Σε αυτές προστίθεται η περίπτωση των ηλεκτρικών / υβριδικών αυτοκινήτων, που συνδυάζουν κίνηση με καύση και ηλεκτρισμό, προσφέροντας έναν βαθμό εξοικονόμησης καυσίμων ανάλογο με εκείνο που μπορούν προσφέρουν τα εναλλακτικά καύσιμα.

Η στρατηγική της Ε.Ε για τα βιοκαύσιμα στοχεύει στη περαιτέρω προαγωγή των βιοκαυσίμων στην ΕΕ και σε αναπτυσσόμενες χώρες στη διασφάλιση των στόχων της στρατηγικής της Λισσαβόνας, στη προετοιμασία για την ευρείας κλίμακας χρήση βιοκαυσίμων με βελτίωση της ανταγωνιστικότητάς τους από άποψη κόστους μέσω της βελτιστοποιημένης καλλιέργειας αποκλειστικών πρώτων υλών, έρευνας στον τομέα των βιοκαυσίμων «δεύτερης γενεάς» και στήριξης για διείσδυση στην αγορά με κλιμακούμενα έργα επίδειξης και άρση των όχι τεχνικού χαρακτήρα εμποδίων όπως και στην εξερεύνηση των ευκαιριών για αναπτυσσόμενες χώρες για την παραγωγή πρώτων υλών βιοκαυσίμων και περιγραφή του ρόλου που θα μπορούσε να παίξει η ΕΕ στη στήριξη της ανάπτυξης αειφόρου παραγωγής βιοκαυσίμων [EEA, 2008]. Σε παγκόσμιο επίπεδο το συνολικό δυναμικό βιομάζας ισοδυναμεί με το 200πλάσιο της ενέργειας που χρησιμοποιείται για παραγωγή τροφής, χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις σχετικά με το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Γίνεται αντιληπτό πως η Ευρώπη έχει ήδη θέσει φιλόδοξους στόχους για την ανάπτυξη του τομέα των βιοκαυσίμων, θεσμοθετώντας έως το 2030 να αντικατασταθεί το 25% των καυσίμων που χρησιμοποιούνται στις οδικές μεταφορές με βιοκαύσιμα, που θα προέρχονται από μία ανταγωνιστική ευρωπαϊκή βιομηχανία. Παράλληλα, η χρήση των βιοκαυσίμων θα περιορίσει σημαντικά την εξάρτηση της ΕΕ από τις εισαγωγές ορυκτών καυσίμων

διασφαλίζοντας το εγχώριο ενεργειακό ισοζύγιο, ενώ θα συμβάλλει στην ανάπτυξη της αγροτικής οικονομίας, μέσω νέων ευκαιριών Έρευνας και Ανάπτυξης.

## 4.2. Βιοκαύσιμα

Σύμφωνα με την οδηγία **2003/30/ΕΚ** της Ευρωπαϊκής Επιτροπής ως «βιοκαύσιμα» ορίζονται τα υγρά ή τα αέρια καύσιμα που χρησιμοποιούνται στις μεταφορές και τα οποία παράγονται από βιομάζα [[ypeka.gr](http://ypeka.gr)]. Ένας ακριβέστερος ορισμός που δίνεται για τα βιοκαύσιμα είναι ότι είναι εκείνα τα καύσιμα που περιέχουν τουλάχιστον κατά 80% κ/ο υλικά που προήλθαν από φυτικούς ή ζωικούς οργανισμούς και η συγκομιδή τους έγινε το πολύ 10 χρόνια πριν από την επεξεργασία τους. Σημαντικό ρόλο στην παραγωγή τους παίζουν σήμερα οι ενεργειακές καλλιέργειες που δημιουργούν νέα δεδομένα στην αγροτική οικονομία των περιφερειών. Η δημιουργία μιας ευρωπαϊκής αγοράς για τα βιοκαύσιμα θα προσφέρει σημαντικές ευκαιρίες στις νέες χώρες μέλη, που έχουν περισσότερη κατά κεφαλή γεωργική γη, και θα διευκολύνει την εναρμόνιση του αγροτικού τομέα με την Κοινή Αγροτική Πολιτική (ΚΑΠ) της ΕΕ. Αυτή η προοπτική προϋποθέτει αφενός τη βελτιστοποίηση των καλλιεργειών ώστε να περιοριστεί η δεσμευμένη επιφάνεια και αφετέρου την αντιμετώπιση πιθανών εμπλοκών με το κύκλωμα παραγωγής τροφίμων.

Τα τελευταία χρόνια, υπάρχει έντονο ερευνητικό και επιχειρηματικό ενδιαφέρον γύρω από τις καλλιέργειες που αποσκοπούν στην παραγωγή ενέργειας συμπεριλαμβανομένου ποικιλίες βέλτιστης απόδοσης και προσαρμοστικότητας σε συγκεκριμένες εδαφοκλιματικές συνθήκες, τεχνολογίες συγκομιδής βιομάζας κτλ. Παράλληλα, οι διεργασίες μεταποίησης των ποικίλων τύπων βιομάζας για την παραγωγή βιοκαυσίμων αποτελούν τη βάση για την οικονομική βιωσιμότητα του νέου αυτού τύπου ενέργειας μεταφορών. Σε ότι αφορά την Ελλάδα, η συνολική καλλιεργήσιμη έκταση είναι 35,8 εκατομμύρια στρέμματα, που αντιστοιχούν σε περισσότερο από 29% της έκτασης της χώρας [[ΚΑΠΕ, 2006](#)].

Αναλυτικότερα με τον όρο «**ενεργειακές καλλιέργειες**» εννοούνται τα καλλιεργούμενα ή αυτοφυή είδη, τα οποία παράγουν βιομάζα ως κύριο προϊόν, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορους ενεργειακούς σκοπούς, όπως η παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας, η παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων κ.ά. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν το σιτάρι, το κριθάρι, ο αραβόσιτος, τα ζαχαρότευτλα, η ελαιοκράμβη, η αγριαγκινάρα και ο ηλιάνθος (παραγωγή βιοαιθανόλης και βιοντίζελ). Ανάλογα με τις ουσίες που περιέχονται σε ελαιούχες (ηλιάνθος, ελαιοκράμβη, σόγια, βαμβάκι κτλ.), αμυλούχες (καλαμπόκι, σιτηρά, πατάτα κτλ.) καθώς και ζαχαρούχες (γλυκό σόργο, ζαχαρότευτλο, ζαχαροκάλαμο κτλ.). Οι ελαιούχες καλλιέργειες προορίζονται για την παραγωγή βιοντίζελ, ενώ οι αμυλούχες και οι

ζαχαρούχες καλλιέργειες για την παραγωγή βιοαιθανόλης. Στις υπολειμματικές μορφές βιομάζας συγκαταλέγονται τα αγροτικά και δασικά απόβλητα, τα βιομηχανικά και τα δημοτικά απόβλητα [Βάμβουκα, 2009]. Οι ενεργειακές καλλιέργειες στην Ελλάδα καλύπτουν λιγότερο από το 1% της συνολικής καλλιεργήσιμης έκτασης, οι περισσότερες εκ των οποίων βρίσκονται σε πειραματικές εκτάσεις. Η καλλιέργεια τους στοχεύει στην εξεύρεση των πιο κατάλληλων καλλιεργειών και ποικιλιών τους, βάσει μελετών γύρω από την προσαρμοστικότητά τους στις τοπικές εδαφοκλιματικές συνθήκες. Ως αποτέλεσμα, η παραγωγή βιοντίζελ στη χώρα μας μέχρι και το 2007 στηρίχθηκε σε εισαγόμενες πρώτες ύλες. Για το λόγο αυτό είναι σημαντικό να διερευνηθεί η ελληνική γεωργία ως προς τις ενεργειακές καλλιέργειες και να αξιοποιηθεί το δυναμικό της.

Υπάρχουν διάφορες σύγχρονες και αρκετά δοκιμασμένες τεχνολογίες παραγωγής βιομάζας και βιοκαυσίμων πρώτης γενιάς, καθώς και νέες πρωτοποριακές τεχνολογίες για την παραγωγή βιοκαυσίμων δεύτερης και τρίτης γενιάς. Η παραγωγή βιοκαυσίμων στηρίζεται στη βιομάζα, που αποτελεί την πρώτη ύλη παραγωγής τους. Βιολογικές ύλες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμο για τις οδικές μεταφορές είναι:

- **Φυτικά έλαια** (κράμβη, σπόροι σόγιας, ηλιάνθος κλπ) μπορούν να μετατραπούν σε υποκατάστατο ντίζελ.
- **Ζαχαρότευτλα**, δημητριακά και άλλες καλλιέργειες μπορούν μέσω ζύμωσης να παράγουν αλκοόλη (βιοαιθανόλη).
- Τα **βιολογικά απόβλητα** είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμο αυτοκινήτων (χρησιμοποιημένο λάδι (μαγειρικό λάδι) σε ντίζελ βιολογικής προέλευσης, ζωικά λιπάσματα και βιολογικά οικιακά απορρίμματα σε βιοαέριο, φυτικά απόβλητα σε βιοαιθανόλη).

Η μέγιστη υποκατάσταση καυσίμου για τις οδικές μεταφορές με βιομάζα συνήθως υπολογίζεται γύρω στο 8% της σημερινής κατανάλωσης βενζίνης και ντίζελ (diesel). Παρότι τα βιοκαύσιμα δεν μπορούν να θεωρηθούν μακροπρόθεσμα υψηλού όγκου υποκατάστατα των καυσίμων κίνησης εξαιτίας του περιορισμού της διαθέσιμης γης, η εκμετάλλευσή τους είναι σχετικά απλή διότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα υπάρχοντα οχήματα και συστήματα διανομής, και επομένως δεν απαιτούν δαπανηρές επενδύσεις σε υποδομές [Δαβόρας, 2009]. Σημειώνεται πως η παραγωγή συνθετικών καυσίμων από βιομάζα απαιτεί την καλλιέργεια, συγκομιδή και μεταφορά στον τελικό καταναλωτή ή στη μονάδα επεξεργασίας, ικανοποιητικών ποσοτήτων της επιλεγμένης βιομάζας. Η βιομάζα, η οποία επιλέγεται για ενεργειακές εφαρμογές, στην ιδανική περίπτωση, θα πρέπει να είναι είδος μικρής αξίας, με μεγάλη απόδοση παραγωγής, μικρό κύκλο ανάπτυξης με ελάχιστες ανάγκες λίπανσης και άρδευσης.

Σε ότι αφορά τη δυνατότητα ενσωμάτωσης βιοκαυσίμων στο ενεργειακό ισοζύγιο των λοιπών (εκτός των οδικών) μεταφορών, πρέπει καταρχήν να σημειωθεί ότι η υποκατάσταση των αεροπορικών καυσίμων με μίγματα που να περιέχουν και βιοκαύσιμα είναι προς το παρόν μια πολύπλοκη διαδικασία που μόλις τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να εφαρμόζεται πειραματικά από κατασκευαστές αεροσκαφών, όπως η Airbus και η Boeing. Μάλιστα, στις παραπάνω περιπτώσεις τα ανανεώσιμα καύσιμα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν βιοκαύσιμα 2ης γενιάς, καθώς οι προδιαγραφές για τις κηροζίνες είναι τέτοιες που δεν είναι δυνατόν τα διαδεδομένα βιοκαύσιμα 1ης γενιάς να υποκαταστήσουν με ασφάλεια τα ορυκτά καύσιμα.

Η παραγωγή βιοκαυσίμων αντιπροσωπεύει μια μεγάλη ευκαιρία για την ευρωπαϊκή, αλλά και την εθνική οικονομία. Η ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών μπορεί να δημιουργήσει νέες θέσεις εργασίας σε αγροτικές περιοχές, αλλά και σε βιομηχανίες. Επιπλέον, νέες ευκαιρίες εργασίας μπορεί να προκύψουν από την ανάπτυξη της τεχνολογίας. Καινοτόμες τεχνολογίες θα χρειαστούν για την παραγωγή βιοκαυσίμων με ενεργειακά αποδοτικό τρόπο από ένα εκτεταμένο εύρος πηγών βιομάζας, με εν γένει μειωμένο κόστος παραγωγής.

#### 4.2.1. Βιοντίζελ

Το πιο γνωστό βιοκαύσιμο, είναι το βιοντίζελ. Προέρχεται από βιομάζα (φυτικά έλαια και ζωικά λίπη) και χρησιμοποιείται εκτεταμένα σε όλη την Ευρώπη και σε άλλες χώρες του κόσμου, τόσο αυτούσιο όσο και σε διάφορες αναλογίες σε μίγματα με το συμβατικό ντίζελ (diesel). Πρώτος ο Rudolf Diesel χρησιμοποίησε φυσικέλαιο ως καύσιμο για την μηχανή του στις 10 Αυγούστου 1893 [Shay, 1993]. Στην δεκαετία του 1930 και 1940 φυτικά έλαια χρησιμοποιούνταν ως καύσιμο ντίζελ σε περιπτώσεις ανάγκης. Το πρώτο διεθνές συνέδριο σχετικά με την υιοθέτηση καυσίμων από φυτικά έλαια πραγματοποιήθηκε στην Βόρεια Ντακότα τον Αύγουστο του 1982. Πρωταρχικό ζήτημα αποτέλεσε το κόστος του καυσίμου, η επίδραση του στην απόδοση και την αντοχή του κινητήρα, καθώς και η παραγωγή του ελαίου και οι απαιτούμενες διεργασίες. Ωστόσο, το υψηλό ιξώδες των φυτικών ελαίων, η χαμηλή πτητικότητα και η δυσχερής ροή σε χαμηλές θερμοκρασίες, οδήγησαν στην έρευνα των παραγώγων τους. Οι μεθυλικοί εστέρες λιπαρών οξέων, γνωστοί ως βιοντίζελ, έλαβαν την μεγαλύτερη προσοχή [Perkins, 1991]. Το 1990 η Γαλλία προώθησε την τοπική παραγωγή του βιοντίζελ προερχόμενο από την μετεστεροποίηση του κραμβέλαιου.

Το βιοντίζελ μπορεί να αναμιχθεί με το πετρέλαιο diesel σε όλες τις αναλογίες. Συχνά τα μίγματα με το πετρέλαιο diesel προσδιορίζονται με το ακρωνύμιο B20, το οποίο υποδεικνύει ένα μίγμα 20% βιοντίζελ με πετρέλαιο diesel. Το βιοντίζελ διανέμεται ακολουθώντας τις σημερινές προδιαγραφές και η χρήση του και η παραγωγή του αυξάνεται ραγδαία (ειδικότερα στην Ευρώπη,

στις Ηνωμένες Πολιτείες και στην Ασία). Οι σταθμοί καυσίμων έχουν ξεκινήσει να διαθέτουν το βιοντίζελ και ένας αυξανόμενος αριθμός οχημάτων το χρησιμοποιεί σαν πρόσθετο στα καύσιμα του.

Το βιοντίζελ είναι βιοαποικοδομήσιμο και μη τοξικό και έχει σημαντικά λιγότερες εκπομπές από ότι το πετρέλαιο όταν καίγεται. Η περιεκτικότητα του σε θείο είναι πάρα πολύ μικρή, σχεδόν μηδενική επίσης 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 (diesel). Το κραμβέλαιο περιέχει χαμηλά ποσά θείου, αλλά σε ποικιλίες όπως η κανόλα, το περιεχόμενό του είναι αρκετά μειωμένο. Επιπλέον, η καύση του δεν αυξάνει το επίπεδο του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα αφού η ποσότητα του CO<sub>2</sub> που απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της καύσης του έχει ήδη απορροφηθεί από το φυτό κατά τη φωτοσύνθεση. Το βιοντίζελ μπορεί να βοηθήσει στην καλύτερη λειτουργία του κινητήρα καθώς λιπαίνει καλύτερα την αντλία καυσίμου και καίγεται καλύτερα μέσα στον κινητήρα. Έχει «απορρυπαντικές» ιδιότητες καθώς μειώνει τα κατάλοιπα της καύσης, τις επικαθίσεις δηλαδή στον κινητήρα.

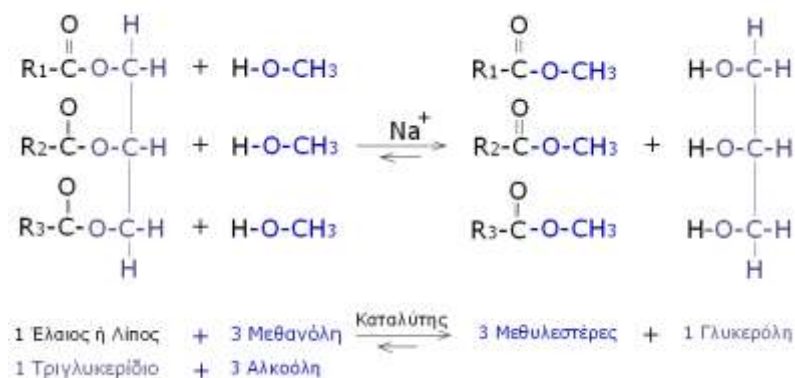
#### 4.2.1.1. Παραγωγή βιοντίζελ

Η πιο διαδεδομένη μέθοδος παραγωγής βιοντίζελ είναι η μετεστεροποίηση των τριγλυκεριδίων με κάποια αλκοόλη μικρού μοριακού βάρους. Τα τριγλυκερίδια αποτελούν συστατικά των ελαιούχων φυτών και των ζωικών λιπών και είναι εστέρες λιπαρών οξέων με γλυκερόλη (γλυκερίνη). Τα τριγλυκερίδια των ελαιούχων φυτών και των ζωικών λιπών περιέχουν πολλά διαφορετικά είδη λιπαρών οξέων, με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγάλη ποικιλία λιπαρών οξέων τα οποία συνδέονται στην βάση της γλυκερόλης.

Η παραγωγή του βιοντίζελ επιτυγχάνεται με την μετεστεροποίηση των ελαιούχων φυτών ή των ζωικών λιπών. Σε αυτήν την αντίδραση το ελαιούχο φυτό ή το ζωικό λίπος αντιδρά παρουσία καταλύτη, συνήθως βάση, με μία αλκοόλη, συνήθως μεθανόλη έτσι, ώστε να δώσει τους αντίστοιχους αλκυλεστέρες του μίγματος λιπαρών οξέων που υπάρχει στο παρών ελαιούχο φυτό ή το ζωικό λίπος [Knothe et al, 2005].

Το βιοντίζελ μπορεί να παραχθεί από μία μεγάλη ποικιλία αποθεμάτων τροφών, τα οποία περιλαμβάνουν συνήθως σπορέλαια (π.χ. ηλιέλαιο, κραμβέλαιο, βαμβακέλαιο) και ζωικά λίπη. Η μεθανόλη χρησιμοποιείται σαν αλκοόλη για την παραγωγή του βιοντίζελ, αν και άλλες αλκοόλες όπως η αιθανόλη ή ισοπροπανόλη μπορούν να αποδώσουν βιοντίζελ με καλύτερες ιδιότητες. Συχνά τα προϊόντα της αντίδρασης αποκαλούνται λιπαρά οξέα μεθυλεστέρων (FAME) αντί για βιοντίζελ. Κατά την αντίδραση της μετεστεροποίησης (Διάγραμμα 4.2.1.1) τα λιπαρά τμήματα

του τριγλυκεριδίου αντικαθίστανται από το υδροξύλιο της αλκοόλης οπότε παράγονται αλκυλεστέρες λιπαρών οξέων. Κατά την διάρκεια της αντίδρασης παράγονται ενδιάμεσα διγλυκερίδια και μονογλυκερίδια τα οποία με την σειρά τους δίνουν νέους αλκυλεστέρες.



**Διάγραμμα 4.2.1.1. Αντίδραση μετεστεροποίησης. Το R είναι ένα μίγμα αλυσίδων ποικίλων λιπαρών οξέων.**

Η μετεστεροποίηση γίνεται με καταλύτη που μπορεί να είναι οξύ ή βάση. Στην ομογενή κατάλυση, η κατάλυση με βάση (υδροξείδιο του νατρίου ή του καλίου) γίνεται γρηγορότερα συγκριτικά με την κατάλυση με οξύ. Εκτός από τον τύπο του καταλύτη άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την κατάλυση με βάση είναι η μοριακή αναλογία της αλκοόλης και των σπορελαίων, η θερμοκρασία, ο χρόνος αντίδρασης, ο βαθμός διύλισης του σπορέλαιου και η επίδραση της παρουσίας υγρασίας και των ελεύθερων λιπαρών οξέων. Για να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση της μετεστεροποίησης δεν πρέπει να υπάρχει υγρασία στην αλκοόλη και το ποσοστό των ελεύθερων λιπαρών οξέων στο σπορέλαιο να είναι μικρότερο από 5%. Η απουσία της υγρασίας στην αντίδραση της μετεστεροποίησης είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς (για τους μεθυλεστέρες) μπορεί να δημιουργηθεί υδρόλυση των σχηματιζόμενων αλκυλεστέρων (εξ. 4.2.1.1).



Όμοια επειδή τα τριγλυκερίδια είναι και αυτά εστέρες η αντίδραση τους με το νερό μπορεί να σχηματίσει ελεύθερα λιπαρά οξέα. Στους 32<sup>0</sup>C, η αντίδραση της μετεστεροποίησης ολοκληρώνεται σε τέσσερις ώρες χρησιμοποιώντας βασικό καταλύτη (NaOH ή NaOMe). Σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από τους 60<sup>0</sup>C χρησιμοποιώντας αναλογία αλκοόλης και σπορελαίου 6:1 και πλήρως διυλισμένα λάδια, η αντίδραση ολοκληρώνεται σε μία ώρα αποδίδοντας μεθυλεστέρες ή βουτυλεστέρες. Μολονότι τα ακατέργαστα λάδια θα μπορούσαν να μετεστεροποιηθούν, οι αποδόσεις των εστέρων



είναι μειωμένες εξαιτίας των ξένων υλικών που περιέχονται στα ακατέργαστα λάδια. Αυτοί οι παράμετροι (αντίδραση στους 60 °C και 6:1 αναλογία αλκοόλης και σπορελαίου) αποτελούν το πρότυπο για την πραγματοποίηση της μετεστεροποίησης χρησιμοποιώντας μεθανόλη ως αλκοόλη και βασικό καταλύτη. Άλλες αλκοόλες (αιθανόλη ή βουτανόλη) απαιτούν υψηλότερες θερμοκρασίες (57 °C και 114 °C) για άριστη μετατροπή [Knothe et al, 2005].

#### 4.2.1.2. Προεπεξεργασία κατάλυσης με οξέα

Στη περίπτωση που τα σπορέλαια ή τα ζωικά λίπη περιέχουν μεγάλες ποσότητες ελεύθερων λιπαρών οξέων (FFA) απαιτούνται ειδικές διεργασίες. Όταν ένας καταλύτης βάση προστίθεται σε αυτά, τα ελεύθερα λιπαρά οξέα αντιδρούν με τον καταλύτη και σχηματίζουν σαπούνι και νερό, όπως φαίνεται στην εξίσωση παρακάτω:



λιπαρό οξύ      υδροξείδιο του καλίου      σαπούνι      νερό

Σε ποσοστό μέχρι 5% ελεύθερων λιπαρών οξέων η κατάλυση μπορεί ακόμη να γίνει με βάση αλλά επιπλέον καταλύτης πρέπει να προστεθεί για να αντισταθμίσει την ποσότητα που χάθηκε με τον σχηματισμό του σαπουνιού. Το δημιουργούμενο σαπούνι κατά την διάρκεια της αντίδρασης είτε αφαιρείται με την γλυκερόλη ή ξεπλένεται στην μονάδα έκπλυσης. Όταν το ποσοστό των ελεύθερων λιπαρών οξέων είναι μεγαλύτερο από 5%, το δημιουργούμενο σαπούνι εμποδίζει τον διαχωρισμό της γλυκερόλης από τους μεθυλεστέρες και συνεισφέρει στην δημιουργία γαλακτώματος κατά την διάρκεια της έκπλυσης. Σε αυτές τις περιπτώσεις ένας καταλύτης που είναι οξύ, όπως το θειικό οξύ, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εστεροποιήσει τα ελεύθερα λιπαρά οξέα σε μεθυλεστέρες, όπως φαίνεται στην αντίδραση 4.2.1.2.β:

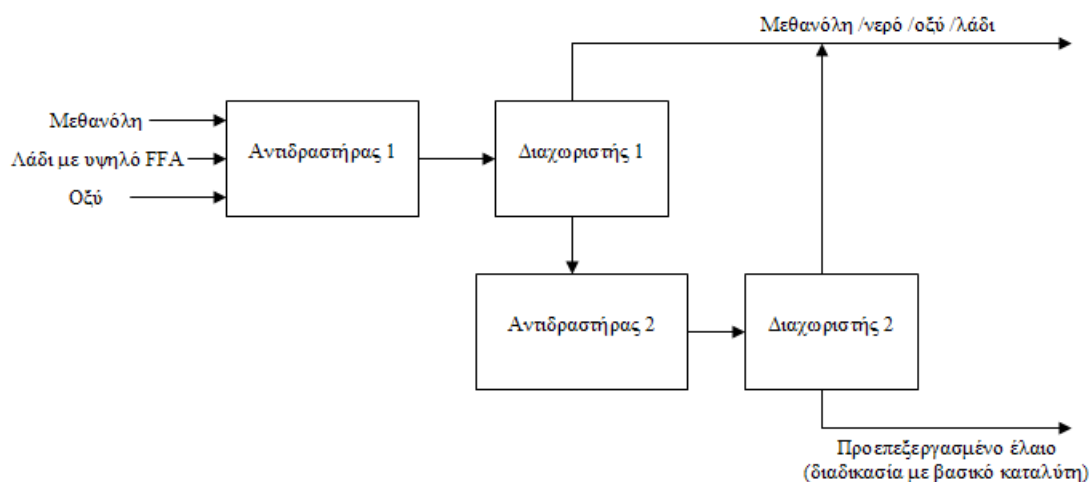


λιπαρό οξύ      μεθανόλη      μεθυλεστέρας      νερό

Η διαδικασία, η οποία παρουσιάζεται στο **Διάγραμμα 4.2.1.2**, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν προθεραπεία για την μετατροπή των ελεύθερων λιπαρών οξέων σε μεθυλεστέρες μειώνοντας έτσι το επίπεδο τους σε ελεύθερα λιπαρά οξέα. Έπειτα, το χαμηλό σε ελεύθερα λιπαρά οξέα λάδι μπορεί να μετεστεροποιηθεί με έναν βασικό καταλύτη για να μετατρέψει τα τριγλυκερίδια σε μεθυλεστέρες. Όπως φαίνεται και στην αντίδραση σχηματίζεται νερό, η συσσώρευση του οποίου



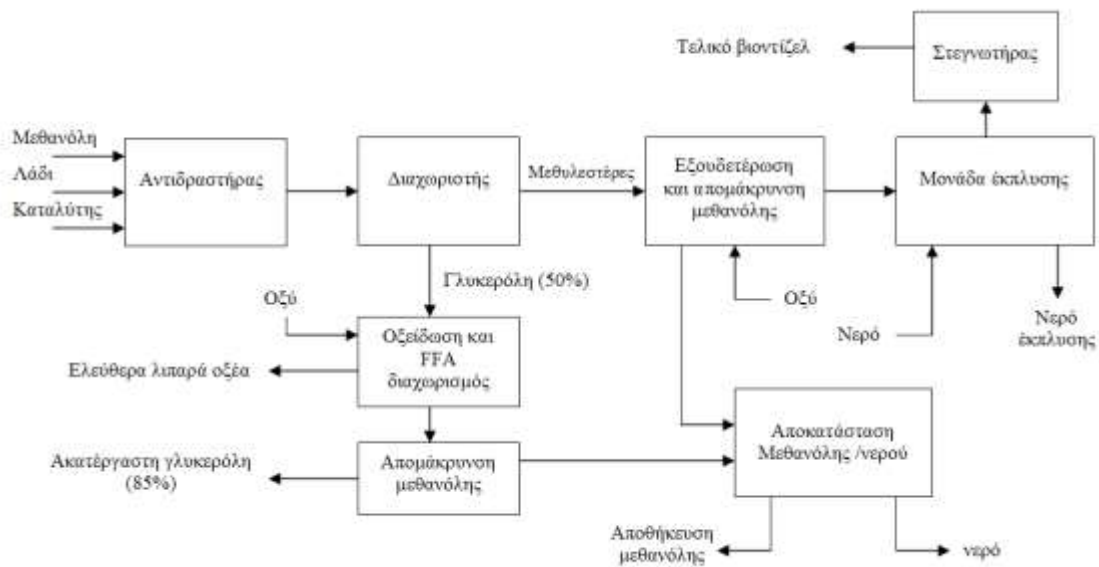
μπορεί να σταματήσει την ολοκλήρωση της αντίδρασης. Έχει προταθεί η απομάκρυνση της αλκοόλης μετά την ολοκλήρωσή της. Η απομάκρυνση της αλκοόλης απομακρύνει επίσης το νερό που σχηματίστηκε από την αντίδραση της εστεροποίησης και οδηγούμαστε στο δεύτερο βήμα της εστεροποίησης. Σημειώνεται ότι το μίγμα μεθανόλης νερού περιέχει επίσης διαλυμένο λάδι και ελεύθερα λιπαρά οξέα.



**Διάγραμμα 4.2.1.2. Προεπεξεργασία ελαίων με υψηλό ποσοστό σε ελεύθερα λιπαρά οξέα**

### 4.2.1.3. Βιομηχανική Παραγωγή Βιοντίζελ

Το **Διάγραμμα 4.2.1.3** απεικονίζει την παραγωγή βιοντίζελ από προϊόντα με χαμηλό ποσοστό ελεύθερων λιπαρών οξέων όπως το σογιέλαιο και το κραιμβέλαιο. Η αλκοόλη, ο καταλύτης και το έλαιο εισέρχονται σε έναν αντιδραστήρα και αναδεύονται για μία ώρα στους 60 °C. Η αντίδραση μερικές φορές γίνεται σε δύο βήματα κατά τα οποία 80% της αλκοόλης και του καταλύτη προστίθενται στο έλαιο στον πρώτο αντιδραστήρα. Το προϊόν που παράγεται περνάει από μία διαδικασία αφαίρεσης γλυκερόλης και εισέρχεται στον δεύτερο αντιδραστήρα. Το υπόλοιπο 20% της αλκοόλης και του καταλύτη προστίθεται στον δεύτερο αντιδραστήρα.



**Διάγραμμα 4.2.1.3. Σχηματικό διάγραμμα παραγωγής βιοντίζελ**

Μετά την αντίδραση, η γλυκερόλη αφαιρείται από τους μεθυλεστέρες. Εξαιτίας της χαμηλής διαλυτότητας της γλυκερόλης στους εστέρες, ο διαχωρισμός γενικά επιτυγχάνεται γρήγορα και μπορεί να ολοκληρωθεί με έναν φυγοκεντροτή. Η περίσσεια της μεθανόλης δρα σαν διαλύτης και καθυστερεί τον διαχωρισμό. Παρόλα αυτά η μεθανόλη δεν αφαιρείται μέχρι να ολοκληρωθεί ο διαχωρισμός της γλυκερόλης από τους μεθυλεστέρες για την αποφυγή του φαινομένου της αντιστροφής της αντίδρασης της μετεστεροποίησης. Νερό μπορεί να προστεθεί στο μίγμα μετά την αντίδραση της μετεστεροποίησης για να ενισχύσει τον διαχωρισμό της γλυκερόλης. Μετά τον διαχωρισμό από την γλυκερόλη, οι μεθυλεστέρες εισέρχονται στο βήμα της ουδετεροποίησης και της αφαίρεσης της μεθανόλης πριν εισέλθουν στην μονάδα έκπλυσης. Οξέα προστίθενται στο προϊόν για να εξουδετερώσουν τον καταλύτη που απέμεινε και για να διασπάσουν το σαπούνι που μπορεί να σχηματίστηκε κατά την διάρκεια της αντίδρασης. Το σαπούνι θα αντιδράσει με τα οξέα και θα σχηματίσει υδατοδιαλυτά άλατα και ελεύθερα λιπαρά οξέα όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση:



Τα άλατα θα αφαιρεθούν στην μονάδα έκπλυσης ενώ τα ελεύθερα λιπαρά οξέα θα παραμείνουν στο βιοντίζελ. Η μονάδα έκπλυσης αφαιρεί τα υπολείμματα του καταλύτη, του σαπουνιού, των αλάτων, της μεθανόλης και της ελεύθερης γλυκερόλης από το βιοντίζελ. Η ουδετεροποίηση πριν από την έκπλυση μειώνει την ποσότητα του νερού που απαιτείται καθώς και την δυνατότητα σχηματισμού γαλακτώματος όταν προστίθεται νερό στο βιοντίζελ. Μετά την διαδικασία της έκπλυσης γίνεται αφαίρεση του νερού .

Το ρεύμα της γλυκερόλης που απομακρύνεται από τον διαχωριστή είναι περίπου 50% γλυκερίνη. Περιέχει μικρή ποσότητα μεθανόλης και περισσότερο καταλύτη και σαπούνη. Σε αυτήν την μορφή η γλυκερόλη έχει μικρή αξία και η διάθεση της είναι αρκετά δύσκολη. Το πρώτο βήμα στον καθαρισμό της γλυκερόλης είναι να προστεθούν οξέα έτσι ώστε να επιτευχθεί η διάσπαση των σαπουνιών σε ελεύθερα λιπαρά οξέα και σε άλατα. Τα ελεύθερα λιπαρά οξέα δεν είναι διαλυτά στην γλυκερόλη και θα ανέβουν στην κορυφή από όπου μπορούν να αφαιρεθούν. Τα άλατα παραμένουν με την γλυκερόλη. Μετά την αφαίρεση των ελεύθερων λιπαρών οξέων αφαιρείται και η μεθανόλη. Σε αυτό το σημείο η γλυκερόλη είναι κατά 85% καθαρή και μπορεί να γίνει η διάθεση της στην αγορά. Η μεθανόλη που αφαιρείται από τους μεθυλεστέρες και από την γλυκερόλη τείνει να συγκεντρώσει οποιαδήποτε ποσότητα νερού η οποία έχει εισέλθει στην διαδικασία. Αυτή η ποσότητα του νερού πρέπει να αφαιρεθεί πριν η μεθανόλη επιστρέψει στην διαδικασία. Αυτό το βήμα είναι πιο δύσκολο όταν σαν αλκοόλη χρησιμοποιηθούν η αιθανόλη ή ισοπροπανόλη.

#### 4.2.1.4. Ποιότητα παραγόμενου καυσίμου

Βασικό κριτήριο για την ποιότητα του παραγόμενου βιοντίζελ αποτελεί η ταυτοποίηση του με το κατάλληλο πρότυπο, **ΕΛΟΤ EN 14214:2003**, όπως παρουσιάζεται στον **Πίνακα 4.2.1.4**. Η ποιότητα του βιοντίζελ επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, περιλαμβάνοντας την ποιότητα των ουσιών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του, την σύνθεση των ελεύθερων λιπαρών οξέων του σπορελαίου ή του ζωικού λίπους, την παραγωγική διαδικασία και τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην διαδικασία. Το πιο σημαντικό κατά την διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας είναι η ολοκλήρωση της αντίδρασης της μετεστεροποίησης. Ακόμα και μετά από μία ολοκληρωμένη αντίδραση μικρές ποσότητες μονογλυκεριδίων, διγλυκεριδίων και τριγλυκεριδίων παραμένουν στο παραγόμενο βιοντίζελ. Το ποσοστό της αλκοόλης που περιέχουν αθροιστικά ονομάζεται οριακή γλυκερόλη. Το άθροισμα της με την ελεύθερη γλυκερόλη που υπάρχει στο προϊόν ονομάζεται συνολική γλυκερόλη. Όρια για την ποσότητα της οριακής και της συνολικής γλυκερόλης περιλαμβάνονται στα πρότυπα του βιοντίζελ. Η μέτρηση της γλυκερόλης μπορεί να γίνει με αέρια χρωματογραφία.

| ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ FAME |   |                    |                              |         |                                  |
|--|---|--------------------|------------------------------|---------|----------------------------------|
| ΕΛΟΤ EN 14214:2003                               |   |                    |                              |         |                                  |
| A/A  | ΑΝΑΛΥΣΗ                                       | ΜΟΝΑΔΕΣ            | ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΜΕΓΙΣΤΟ |         | ΜΕΘΟΔΟΣ                          |
| 1  | Πυκνότητα (15 °C)                             | kg/m <sup>3</sup>  | 860                          | 900     | EN ISO 3675<br>EN ISO 12185      |
| 2  | Ιξώδες (40 °C)                                | mm <sup>2</sup> /s | 3,50                         | 5,00    | EN ISO 3104                      |
| 3  | Σημείο ανάφλεξης                              | °C                 | 120                          | -       | prEN ISO 3679                    |
| 4  | Ολικό θείο                                    | mg/kg              | -                            | 10,0    | prEN ISO 20846<br>prEN ISO 20884 |
| 5  | Ανθρακούχο υπόλειμμα                          | % m/m              | -                            | 0,30    | EN ISO 10370                     |
| 6  | Αριθμός κετανίου                              |                    | 51,0                         |         | EN ISO 5165                      |
| 7  | Θετική τέφρα                                  | % m/m              | -                            | 0,02    | ISO 3987                         |
| 8  | Νερό  | mg/kg              | -                            | 500     | EN ISO 12937                     |
| 9  | Στερεά  | mg/kg              | -                            | 24      | EN 12662                         |
| 10   | Διάβρωση ελάσματος χαλκού                     | Rating             |                              | class 1 | EN ISO 2160                      |
| 11   | CFPP  | °C                 |                              | +5 / -5 | EN 116                           |
| 12   | Μεθυλεστέρες (FAME)                           | % m/m              | 96,5                         |         | EN 14103                         |
|  | Μεθυλεστ. του λινολενικού οξέος               |                    |                              | 12,0    |                                  |
|  | Πολυακόρεστοι μεθυλεστέρες (>4 διπλοί δεσμοί) |                    |                              | 1       |                                  |
| 13   | Σταθερότητα στην οξείδωση (100 °C)            | hours              | 6                            |         | EN 14112                         |
| 14   | Οξύτητα                                       | mg KOH/g           |                              | 0,50    | EN 14104                         |
| 15   | Αριθμός ιωδίου                                | g iodine/100g      |                              | 120     | EN 14111                         |
| 16   | Μονογλυκερίδια                                | % m/m              |                              | 0,80    | EN 14105                         |
|  | Διγλυκερίδια                                  |                    |                              | 0,20    |                                  |
|  | Τριγλυκερίδια                                 |                    |                              | 0,20    |                                  |
| 17   | Ελεύθερη γλυκερόλη                            | % m/m              |                              | 0,02    | EN 14106                         |
|  | Συνολική γλυκερόλη                            |                    |                              | 0,25    | EN 14105                         |
| 18   | Φώσφορος                                      | mg/kg              |                              | 10,0    | EN 14107                         |
| 19   | Na + K  | mg/kg              |                              | 5,0     | EN 14108<br>EN 14109             |
| 20   | Ca + Mg                                       | mg/kg              |                              | 5,0     | prEN 14538                       |
| 21   | Μεθανόλη                                      | % m/m              |                              | 0,20    | EN 14110                         |

**Πίνακας 4.2.1.4. Προδιαγραφές και μέθοδοι ανάλυσης βιοντίζελ. ΕΛΟΤ EN 14214:2003**

Η γλυκερόλη είναι αδιάλυτη στο βιοντίζελ γι' αυτό και σχεδόν όλη αφαιρείται με φυγοκέντριση. Η απομείνουσα γλυκερόλη μπορεί να παραμείνει είτε σαν αιωρούμενα σωματίδια είτε σαν μία μικρή ποσότητα η οποία μένει διαλυμένη στο βιοντίζελ. Οι αλκοόλες μπορούν να δράσουν σαν συνδιαλύτες και να αυξήσουν την διαλυτότητα της γλυκερόλης στο βιοντίζελ. Η περισσότερη γλυκερόλη πρέπει να αφαιρείται από το βιοντίζελ κατά την διάρκεια της έκπλυσης. Το καύσιμο μετά την έκπλυση είναι χαμηλό σε ελεύθερη γλυκερόλη, ειδικά αν χρησιμοποιείται ζεστό νερό. Το καύσιμο με περίσσεια γλυκερόλης μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στις δεξαμενές αποθήκευσης επειδή δημιουργεί ένα πολύ παχύρρευστο μίγμα το οποίο μπορεί να βουλώσει τα φίλτρα καυσίμου και να δημιουργήσει προβλήματα ανάφλεξης στην μηχανή.

Οι αλκοόλες, όπως η μεθανόλη και η αιθανόλη, όπως επίσης και οι καταλύτες είναι περισσότερο διαλυτές στην φάση της αντιστροφής της γλυκερόλης γι' αυτό και θα πρέπει να αφαιρούνται όταν γίνεται ο διαχωρισμός της γλυκερόλης από το βιοντίζελ. Παρόλα αυτά το βιοντίζελ τυπικά περιέχει 2-4% μεθανόλη μετά τον διαχωρισμό το οποίο αποτελεί το 40% της περίσσειας αιθανόλης από την αντίδραση. Τις περισσότερες φορές η μεθανόλη αφαιρείται. Η απομείνουσα αλκοόλη στο βιοντίζελ θα πρέπει να είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Μία τυπική αξία

για το ποσό της μεθανόλης που μπορεί να περιέχεται στο βιοντίζελ είναι σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα 0,2%. Πειράματα έχουν δείξει ότι μικρό ποσοστό μεθανόλης (1%) στο βιοντίζελ μπορεί να χαμηλώσει το σημείο ανάφλεξης από τους 170<sup>0</sup>C στους 40<sup>0</sup>C. Ένα μεγάλο ποσοστό του καταλύτη απομακρύνεται με την γλυκερόλη στην έκπλυση. Το ευρωπαϊκό πρότυπο θέτει όρια για το ασβέστιο και το μαγνήσιο όπως επίσης και για τα αλκαλικά μέταλλα του νατρίου και του καλίου.

Το νερό μπορεί να παρουσιαστεί στο βιοντίζελ σε δύο μορφές είτε ως διαλυμένο είτε σαν αιωρούμενα σωματίδια. Το βιοντίζελ περιέχει μέχρι 1500 ppm διαλυμένου νερού ενώ το diesel μέχρι 50 ppm. Το πρότυπο για το βιοντίζελ ανέρχεται σε 500 ppm νερού. Όμως το βιοντίζελ πρέπει να διατηρείται στεγνό. Πολλές αποθηκευτικές δεξαμενές περιέχουν νερό στο βάθος εξαιτίας της συμπύκνωσης. Το νερό αποτελεί πρόβλημα στον εξοπλισμό έγχυσης καυσίμου διότι συμβάλλει στην διάβρωση των στενών βοηθητικών μερών της μηχανής.

#### 4.2.1.5. Κόστος παραγωγής βιοντίζελ

Ο Πίνακας 4.2.1.5 συνοψίζει το κόστος παραγωγής βιοντίζελ από ελαιοκράμβη και από ηλιάνθο (0,739€/lt και 0,737€/lt αντίστοιχα). Το κόστος εξαρτάται από την τιμή της βιομάζας που χρησιμοποιείται αλλά και από το μέγεθος και τον τύπο της μονάδας παραγωγής. Μία βραχυπρόθεσμη επένδυση μίας μονάδας 400 MW<sub>th</sub> αντιστοιχεί σε 150 €/kW<sub>th</sub>. Μακροπρόθεσμα αυτά τα κόστη μπορεί να μειωθούν περίπου 30% για μία μονάδα μεγαλύτερου μεγέθους 1000 MW<sub>th</sub>. Άλλοι σημαντικοί παράγοντες που συμπεριλαμβάνονται στα κόστη παραγωγής είναι η απόδοση και η αξία των παραπροϊόντων της διαδικασίας παραγωγής βιοντίζελ, όπως η πίτα και η γλυκερίνη.

|                           | Κραμβέλαιο   |             |            | Ηλιέλαιο     |             |            |
|---------------------------|--------------|-------------|------------|--------------|-------------|------------|
|                           | €/L          | €/GJ        | €/toe      | €/L          | €/GJ        | €/toe      |
| Καθαρό κόστος πρώτων υλών |              |             |            |              |             |            |
| - σπορέλαια               | 0.570        | 16.8        | 698        | 0.568        | 16.7        | 696        |
| - πίστωση παραπροϊόντων   | 0.011        | 0.3         | 13         | 0.011        | 0.3         | 13         |
| <b>Συνολικό κόστος</b>    | <b>0.559</b> | <b>16.4</b> | <b>685</b> | <b>0.557</b> | <b>16.4</b> | <b>683</b> |
| Κόστος μετατροπής         | 0.070        | 2.1         | 86         | 0.070        | 2.1         | 86         |
| Κόστος ανάμιξης           | 0.010        | 0.3         | 12         | 0.010        | 0.3         | 12         |
| Κόστος διανομής           | 0.100        | 2.9         | 123        | 0.100        | 2.9         | 123        |
| <b>Συνολικό κόστος</b>    | <b>0.739</b> | <b>21.7</b> | <b>906</b> | <b>0.737</b> | <b>21.7</b> | <b>903</b> |

Πίνακας 4.2.1.5. Κόστος παραγωγής βιοντίζελ [[www.eubia.org](http://www.eubia.org)].

Το συνολικό κόστος παραγωγής βιοντίζελ από φυτικά έλαια περιλαμβάνει το κόστος πρώτων υλών (80%) για την παραγωγή των σπορελαίων, το κόστος αγοράς της μεθανόλης (4%), το κόστος εξόδων λειτουργίας (7%) για την μετατροπή των

σπορελαίων σε βιοντίζελ, το κόστος χημικών (3%) για την ολοκλήρωση της παραγωγής του βιοντίζελ καθώς και το κόστος απόσβεσης (6%) για την σταδιακή αντικατάσταση των πάγιων στοιχείων των μηχανικών μέσων παραγωγής είτε λόγω φυσικής φθοράς αυτών είτε λόγω τεχνικής καταλληλότητας αυτών [Ραφαηλίδης, 2005].

#### 4.2.1.6. Νομοθετικό πλαίσιο για το βιοντίζελ στην Ελλάδα

Η Οδηγία της Ε.Ε. **2003/30/ΕΚ** [ΕΕ, 2003] για την προώθηση της χρήσης βιοκαυσίμων και άλλων εναλλακτικών καυσίμων στον τομέα των μεταφορών ώθησε τα Κράτη Μέλη να διασφαλίσουν ότι 5,75% επί του συνόλου των καυσίμων κίνησης θα είναι βιοκαύσιμα έως το 2010, με ενδιάμεσο ενδεικτικό στόχο 2% έως το 2005. Η εναρμόνιση της εθνικής Νομοθεσίας προς τη παραπάνω Οδηγία και η εισαγωγή των βιοκαυσίμων (κυρίως του βιοντίζελ) στην ελληνική αγορά έγινε με τροποποίηση και συμπλήρωση του ισχύοντος θεσμικού πλαισίου για τα πετρελαιοειδή, δηλαδή του **Ν. 3054/2002 «Οργάνωση της αγοράς πετρελαιοειδών και άλλες διατάξεις»** (ΦΕΚ 230/Α/02.10.2002), με το **Ν. 3423/2005 «Εισαγωγή στην Ελληνική Αγορά των βιοκαυσίμων και άλλων ανανεώσιμων καυσίμων»** (ΦΕΚ 304/Α/13.12.2005). Μεταξύ των βιοκαυσίμων που απαριθμούνται στην **Οδηγία 2003/30**, τα προσφορότερα για την Ελλάδα είναι το βιοντίζελ και η βιοαιθανόλη, ενώ έχει εκδηλωθεί ενδιαφέρον και για τα καθαρά φυτικά έλαια. Λόγω έλλειψης ενεργειακών καλλιεργειών σε εθνικό επίπεδο, χρησιμοποιούνται κυρίως εισαγόμενα φυτικά έλαια (κραμβέλαιο, σογιέλαιο κτλ.) για την παραγωγή βιοντίζελ. Ωστόσο, προβλέπεται η ανάπτυξη καλλιεργειών ηλίανθου και ελαιοκράμβης, για την κάλυψη των εθνικών αναγκών [6<sup>η</sup> Έκθεση ΥΠΕΚΑ, 2010].

Με τον **Νόμο 3423/2005** θεσπίζεται η Άδεια Διάθεσης Βιοκαυσίμων για τις επιχειρήσεις που επιθυμούν να δραστηριοποιηθούν στην παραγωγή και την εμπορία βιοκαυσίμων (βιοντίζελ) στην Ελλάδα. Ο κάτοχος της σχετικής άδειας έχει το δικαίωμα παραγωγής ή εισαγωγής αυτούσιων βιοκαυσίμων και άλλων ανανεώσιμων καυσίμων και της διάθεσής τους εντός της Ελληνικής Επικράτειας. Επίσης, καθίσταται υποχρεωτική η παραλαβή από τα διυλιστήρια των ποσοτήτων αυτούσιων βιοκαυσίμων που προορίζονται για ανάμιξη με προϊόντα διύλισης αργού πετρελαίου, καθώς και η διάθεσή τους από α) κατόχους Άδειας Διύλισης, β) κατόχους Άδειας Εμπορίας κατηγορίας Α', εφόσον αυτοί πραγματοποιούν εισαγωγές έτοιμων προϊόντων διύλισης αργού πετρελαίου. Το 2009 ψηφίσθηκε ο **Ν. 3769** (ΦΕΚ 105/Α/07.2009). Τέλος το 2012 ψηφίσθηκε ο **Ν. 4062** (ΦΕΚ 70/Α/30.3.2012), με τον οποίο γίνεται η ενσωμάτωση της οδηγίας 2009/28 της ΕΕ στην ελληνική νομοθεσία και η

κατάργηση της οδηγίας 2003/30. Ο Νόμος **3653/2008** (άρθρο 56) προβλέπει τη διάθεση βιοαιθανόλης στην ελληνική αγορά τη χρονική περίοδο 2010-2016. Ωστόσο, η βιοαιθανόλη παρουσιάζει τεχνικές δυσχέρειες για το ελλαδικό κλίμα, όταν αναμιγνύεται με βενζίνη. Για το λόγο αυτό προκρίνεται η μετατροπή της σε **ETBE** (Αιθυλο-τριτοταγής-βουτυλαιθέρας) και χρήση του τελευταίου ως συστατικό ανάμιξης στις βενζίνες. Το ποσοστό ανάμιξης του ETBE μπορεί να ανέλθει μέχρι 15% κατ' όγκο, ενώ για τη βιοαιθανόλη το ποσοστό αυτό ανέρχεται μόνο μέχρι 5%. Ως πρώτες ύλες για την παραγωγή βιοαιθανόλης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ζαχαρότευτλα, καλαμπόκι ή σιτηρά, ενώ πολλά υποσχόμενος είναι και ο γλυκός σόργος.

Σύμφωνα με το παραπάνω Θεσμικό πλαίσιο καταρτίζεται το «Πρόγραμμα Κατανομής Ποσοτήτων Βιοκαυσίμων» για τη ρύθμιση των διαδικασιών και της μεθοδολογίας κατανομής των ποσοτήτων αυτούσιων βιοκαυσίμων (βιοντίζελ) σε ετήσια βάση. Όπως προβλέπεται από το νόμο, μετά από πρόσκληση, μέσω ΚΥΑ των Υπουργείων Ανάπτυξης και Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, των ενδιαφερομένων παραγωγών ή εμπόρων - εισαγωγών, εγκρίνεται η κατανομή των ποσοτήτων αυτούσιου βιοντίζελ, μέσω ΚΥΑ των Υπουργείων Οικονομικών, Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων και Ανάπτυξης. Σημειώνεται πως μετά τη λήξη του προγράμματος αποφορολόγησης του αυτούσιου βιοντίζελ στις 31.12.2007, το βιοντίζελ φορολογείται πλέον με τον ίδιο ΕΦΚ που έχει και το συμβατικό ντίζελ. Όμως, η τιμή πώλησης του βιοντίζελ στα διυλιστήρια αποφασίζεται από τα αρμόδια Υπουργεία να είναι ιδιαίτερα υψηλή, οπότε και με την προσθήκη του ΕΦΚ στην τιμή του εξασφαλίζεται μεγάλη κερδοφορία στις ελληνικές εταιρείες παραγωγής του και τους εισαγωγείς σε βάρος του Έλληνα καταναλωτή.

## I. Στοιχεία παραγωγής και κατανάλωσης

**Το αυτούσιο βιοντίζελ αναμιγνύεται με το ντίζελ κίνησης**, σύμφωνα με το πρότυπο EN 590 του 2004, το οποίο ήταν σε ισχύ έως τον Ιανουάριο 2010, ενώ διατίθεται από το υπάρχον δίκτυο διανομής πετρελαίου κίνησης σε όλη τη εγχώρια αγορά. Ο Εθνικός Στόχος Βιοκαυσίμων, σύμφωνα με την Οδηγία 2003/30/EK, υπολογίζεται βάσει του ενεργειακού περιεχομένου επί του συνόλου της βενζίνης και του πετρελαίου κίνησης που διατίθενται την ίδια περίοδο προς χρήση στις μεταφορές [**6η Εθνική Έκθεση, 2010**].

Το 2005 διακινήθηκαν μόνο 420 ΜΤ αυτούσιου βιοντίζελ. Για το έτος 2006 ο εθνικός στόχος ήταν οι 80.000 ΜΤ αυτούσιου βιοντίζελ (ή 91.000 m<sup>3</sup>), το οποίο αποτελούσε το 1,1% του Εθνικού Ενδεικτικού Στόχου Βιοκαυσίμων. Τελικά, όμως, διατέθηκαν μόνο 53.600 ΜΤ. Το έτος 2007 ο εθνικός στόχος ήταν οι 100.000 ΜΤ αυτούσιου βιοντίζελ (ή 114.000 m<sup>3</sup>), το



οποίο αποτελούσε το 1,4% του Εθνικού Ενδεικτικού Στόχου Βιοκαυσίμων. Τελικά, διατέθηκαν 94.470 ΜΤ αυτούσιου βιοντίζελ. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μία εταιρεία δεν διέθεσε καθόλου ποσότητα από τους 3.520 ΜΤ (4.000 Μ<sup>3</sup>) που είχε πάρει από το Πρόγραμμα Κατανομής και οι λοιπές ποσότητες από τεχνικά - πρακτικά κωλύματα που προέκυψαν κατά τη διάρκεια του έτους. Για το έτος 2008 ο εθνικός στόχος ήταν οι 108.240 ΜΤ αυτούσιου βιοντίζελ (ή 123.000 m<sup>3</sup>), το οποίο αποτελούσε το 1,47% του Εθνικού Ενδεικτικού Στόχου Βιοκαυσίμων. Τελικά, διατέθηκαν 76.255 ΜΤ αυτούσιου βιοντίζελ. Αυτό οφείλεται στη μη τήρηση της υποχρέωσης από ορισμένες εταιρείες καθώς και σε τεχνικά - πρακτικά κωλύματα που προέκυψαν κατά τη διάρκεια του έτους. Για το έτος 2009 ο εθνικός στόχος ήταν οι 120.000 ΜΤ αυτούσιου βιοντίζελ (ή 136.000 m<sup>3</sup>), το οποίο αποτελούσε το 1,59% του Εθνικού Ενδεικτικού Στόχου Βιοκαυσίμων. Για το έτος 2010 ο εθνικός στόχος ήταν οι 158.000 ΜΤ αυτούσιου βιοντίζελ (ή 180.000 m<sup>3</sup>), το οποίο αποτελούσε το 2,02% του Εθνικού Ενδεικτικού Στόχου Βιοκαυσίμων.

Ο Πίνακας 4.2.1.6. παρουσιάζει τις εταιρείες παραγωγής και εισαγωγής βιοντίζελ στην Ελλάδα, καθώς και οι ποσότητες βιοντίζελ που κατανεμήθηκαν κατά τη διάρκεια της περιόδου 2007 - 2010. Για την εγχώρια παραγωγή βιοντίζελ, τα ελαιούχα φυτά που παίζουν σημαντικό ρόλο είναι ο ηλίανθος, το βαμβάκι, η ελαιοκράμβη και η σόγια. Το βαμβάκι καλλιεργείται συστηματικά σε πολλές περιοχές της χώρας, ενώ ο ηλίανθος και η ελαιοκράμβη άρχισαν να καλλιεργούνται συστηματικά σε αρκετές περιοχές της χώρας το 2007, κυρίως στη Θράκη και τη Μακεδονία. Η σόγια ακόμα εισάγεται. Επίσης, τα χρησιμοποιημένα έλαια, τα τηγανέλαια, αλλά και τα ζωικά λίπη μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά ως πρώτες ύλες για την παραγωγή βιοντίζελ, σε κάποιο ποσοστό, βοηθώντας παράλληλα και στη μείωση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος από τα εν λόγω απόβλητα.

| α/α | ΕΤΑΙΡΕΙΑ                                     | ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΒΙΟΝΤΙΖΕΛ                                  | 2007-08 | 2008-09        | 2009-10        |
|-----|--|--|---------|----------------|----------------|
| 1   | ΕΚΚΟΚΚΙΣΤΗΡΙΑ ΚΛΩΣΤΗΡΙΑ ΒΟΡΕΙΟΥ ΕΛΛΑΔΟΣ Α.Ε. | Μονάδα παραγωγής στο Δ.Δ. Βιστωνίδας Ξάνθης          | 3.000   | 3.250          | 5.892          |
| 2   | ΠΑΥΛΟΣ Ν. ΠΕΤΤΑΣ Α.Β.Ε.Ε.                    | Μονάδα παραγωγής στη ΒΙ.ΠΕ Αχαΐας                    | 31.000  | 33.525         | 38.513         |
| 3   | ΒΙΟΝΤΗΖΕΛ Ε.Π.Ε.                             | Μονάδα παραγωγής στο Δ.Δ. Δρυμού Ν. Θεσσαλονίκης     | 3.500   | 4.026          | 6.835          |
| 4   | BIODIESEL A.E                                | Εισαγωγή από Ιταλία                                  | 2.000   | 5.699          | 7.270          |
| 5   | VERT OIL A.E.                                | Μονάδα παραγωγής στον Αγ. Αθανάσιο Θεσσαλονίκης      | 9.000   | 5.259          | 2.230          |
| 6   | AGROINVEST A.E.B.E.                          | Μονάδα παραγωγής στο Αχλάδι Ν. Φθιώτιδας             | 11.500  | 25.467         | 26.165         |
| 7   | STAFF COLOUR – ENERGY A.B.E.E.               | Μονάδα παραγωγής στη ΒΙ.ΠΕ Λάρισας                   | 5.000   | 4.752          | 5.284          |
| 8   | ΕΛ.ΒΙ. ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΒΙΟΠΕΤΡΕΛΑΙΑ Α.Β.Ε.Ε.        | Μονάδα παραγωγής στο Σταυροχώρι Ν. Κιλκίς            | 34.000  | 17.191         | 19.744         |
| 9   | ΕΛΙΝ ΒΙΟΚΑΥΣΙΜΑ Α.Ε.                         | Μονάδα παραγωγής στη Β' ΒΙ.ΠΕ Μαγνησίας              | 8.000   | 10.740         | 14.095         |
| 10  | MIL OIL HELLAS A.E.                          | Μονάδα παραγωγής στη ΒΙ.ΠΕ. Λευκώνα Ν. Σερρών        | 800     | 406            | 2.655          |
| 11  | DP LUBRIFICANTI SRL                          | Εισαγωγή από Ιταλία                                  | 1.000   | 2.682          | 3.789          |
| 12  | ΒΙΟΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΑΠΑΝΤΩΝΙΟΥ Α.Ε.                 | Μονάδα παραγωγής στη ΒΙ.ΠΑ Λάκκωμα Χαλκιδικής        | 1.200   | 2.395          | 3.801          |
| 13  | GF ENERGY A.B.E.E.                           | Μονάδα παραγωγής στους Αγ. Θεοδώρους Ν. Κορινθίας    | -       | 2.251          | 20.269         |
| 14  | ΜΟΤΟΡ ΟΙΛ (ΕΛΛΑΣ)<br>ΔΙΥΛΙΣΤΗΡΙΑ ΚΟΡΙΝΘΟΥ ΑΕ | Εισαγωγή από Ιταλία, Πορτογαλία, Ρουμανία, Βουλγαρία | -       | 2.320          | 5.874          |
| 15  | ΦΥΤΟΕΝΕΡΓΕΙΑ Α.Ε.                            | Μονάδα παραγωγής στο Παραλίμνιο Ν. Σερρών            | -       | 2.272          | 11.706         |
| 16  | CAFFARO CHIMICA SRL                          | Εισαγωγή από Ιταλία                                  | -       | 582            | -              |
| 17  | ΜΑΝΟΣ Α.Ε.                                   | Μονάδα παραγωγής στη Β' ΒΙ.ΠΕ Μαγνησίας              | -       | 183            | 4.465          |
| 18  | BIODIESEL VIENNA GmbH                        | Εισαγωγή από Αυστρία                                 | -       | -              | 1.075          |
| 19  | OIL.B S.R.L.                                 | Εισαγωγή από Ιταλία                                  | -       | -              | 2.117          |
|     | <b>ΣΥΝΟΛΟ</b>                                |  |         | <b>123.000</b> | <b>182.000</b> |

Πίνακας 4.2.1.6. Εταιρείες παραγωγής και εισαγωγής βιοντίζελ στην Ελλάδα

## 4.2.2. Βιοαιθανόλη

Ο Antoine Lavoisier περιέγραψε την αιθανόλη σαν μία ένωση από άνθρακα, υδρογόνο και οξυγόνο, το 1808 ο Nicolas- Theodore de Saussure προσδιόρισε την χημική φόρμουλα της αιθανόλης. Πενήντα χρόνια μετά ο Archibald Scott Couper δημοσίευσε την δομή της αιθανόλης, θέτοντας την ως την πρώτη χημική ένωση με προσδιορισμένη χημική δομή. Η αιθανόλη αρχικά παρασκευάστηκε συνθετικά το 1826 από τον H. Hennel στην Μεγάλη Βρετανία και τον S.G. Serullas στην Γαλλία. Ο M. Faraday παρασκεύασε την αιθανόλη με προσθήκη ύδατος στο αιθυλένιο και χρησιμοποιώντας όξινη κατάλυση το 1828, με μία διαδικασία παρόμοια με αυτή που χρησιμοποιείται σήμερα για βιομηχανική παραγωγή της αιθανόλης

[<http://en.wikipedia.org/wiki/Bioethanol#Bioalcohols>]. Το 1925 ο Henry Ford επικαλέσθηκε την αιθυλική αλκοόλη, αιθανόλη, ως «το καύσιμο του μέλλοντος». Επιπλέον ανέφερε «το καύσιμο του μέλλοντος θα προέρχεται από μήλα, καπνό και πριονίδια. Υπάρχει καύσιμο σε κάθε κομμάτι φυτικής ύλης η οποία μπορεί να ζυμωθεί». Σήμερα η σημασία του οράματος του Henry Ford μπορεί εύκολα να κατανοηθεί.

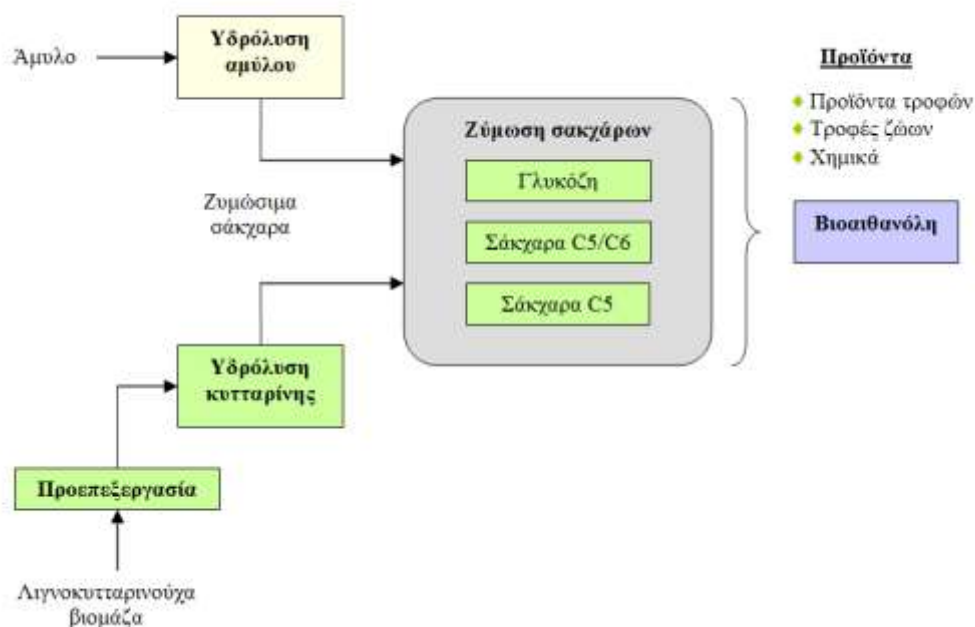
Ως **βιοαιθανόλη** ορίζεται η αιθανόλη που προέρχεται αποκλειστικά από τη ζύμωση βιομάζας. Η πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαιθανόλης μπορεί να είναι συνηθισμένα προϊόντα από αγροτικές καλλιέργειες που αναπτύσσονται με συμβατικές τεχνικές καλλιέργειας. Η βιοαιθανόλη παρασκευάζεται με τη ζύμωση των σακχάρων, του αμύλου ή της κυτταρίνης χρησιμοποιώντας ζυμομύκητες. **Ζύμωση** (fermentation) είναι μια σειρά από χημικές αντιδράσεις μέσω των οποίων τα απλά σάκχαρα μετατρέπονται σε αιθανόλη και διοξείδιο του άνθρακα. Κυτταρινούχα ή λιγνοκυτταρινούχα υλικά όπως αγροτικά και δασικά υπολείμματα, καθώς και οικιακά απορρίμματα που έχουν υποστεί διαλογή, θεωρούνται πηγές πρώτης ύλης. Τα υλικά χρειάζεται να υδρολυθούν πριν ζυμωθούν. [Δρίτσας, 2008].

Η βιοαιθανόλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο στις μεταφορές λόγω της αποθηκευμένης στο μόριο της ενέργειας, από μόνη της ή σε μίγματα με βενζίνη. Η καύση της σε κινητήρα εσωτερικής καύσης γίνεται ομαλά και μάλιστα βελτιώνει σημαντικά και την καύση της βενζίνης. Η ένυδρη αιθανόλη (95 τοις εκατό κατά όγκο) περιέχει νερό και χρησιμοποιείται απευθείας ως υποκατάστατο βενζίνης σε τροποποιημένες μηχανές. Η άνυδρη αιθανόλη δεν περιέχει νερό και είναι κατά 99 τοις εκατό καθαρή. Αυτό το είδος της αιθανόλης μπορεί να αναμιχθεί με το συμβατικό καύσιμο σε αναλογίες που κυμαίνονται από 5% (E5: 5% αιθανόλη και το υπόλοιπο 95% βενζίνη σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό πρότυπο ποιότητας EN 228) μέχρι και 85% (E85: 85% αιθανόλη και το υπόλοιπο 15% βενζίνη). Ως πρόσθετο κατά 5% μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις μοντέρνες μηχανές χωρίς τροποποίηση. Μίγματα με υψηλότερες αναλογίες απαιτούν κατάλληλη τροποποίηση των μηχανών.

Τα **ευέλικτα οχήματα (Flexible Fuel Vehicles)** μπορούν να κινηθούν με καύσιμο μίγμα 85% αιθανόλης και 15% βενζίνης (E85). Αυτό γιατί η αιθανόλη σε τόσο υψηλή αναλογία προκαλεί φθορά σε πλαστικά ή ελαστικά μέρη του κινητήρα. Στα ευέλικτα οχήματα η συμπίεση του κινητήρα απαιτεί ρύθμιση, προκειμένου να εξασφαλιστεί η ίδια απόδοση χρησιμοποιείται είτε βενζίνη είτε αιθανόλη ή μίγμα τους. Οι μεγαλύτεροι παραγωγοί βιοαιθανόλης είναι η Βραζιλία και οι ΗΠΑ, χρησιμοποιώντας το ζαχαροκάλαμο και το καλαμπόκι σαν πρώτη ύλη αντίστοιχα. Μίγματα καυσίμου αιθανόλης με βενζίνη πωλούνται ευρύτατα στις Ηνωμένες Πολιτείες. Το πιο συνηθισμένο μίγμα είναι αυτό που αποτελείται από 10% αιθανόλη και 90% βενζίνη (E10). Στην Ευρώπη, η βιοαιθανόλη κυρίως παράγεται από ζαχαρότευτλα και σιτάρι.

#### 4.2.2.1. Παραγωγή βιοαιθανόλης

Η βιοαιθανόλη παράγεται από ακατέργαστα υλικά τα οποία περιέχουν ζυμώσιμα σάκχαρα όπως τα ζαχαρότευτλα και τα ζαχαροκάλαμα. Επίσης, η βιοαιθανόλη μπορεί να παραχθεί από μερικούς πολυσακχαρίτες οι οποίοι μπορούν να υδρολυθούν σε σάκχαρα, τα οποία στην συνέχεια μετατρέπονται σε αιθυλική αλκοόλη. Το άμυλο το οποίο περιέχεται στα σιτηρά είναι το βασικό πολυμερές το οποίο χρησιμοποιείται για την παραγωγή της αιθανόλης. Το **Διάγραμμα 4.2.2.1** παρουσιάζει τη βασική διαδικασία παραγωγής της βιοαιθανόλης από τα τρία είδη της βιομάζας [Cardona and Sanchez, 2007].

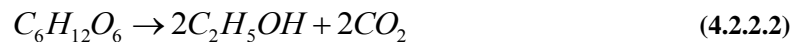


Διάγραμμα 4.2.2.1. Παραγωγή βιομάζας από σακχαρούχες, αμυλούχες και λιγνοκυτταρινούχες ουσίες [Gray et al,2006].

#### 4.2.2.2. Παραγωγή βιοαιθανόλης από σακχαρούχες ουσίες

Τα σάκχαρα αποτελούν ένα σύνολο κρυσταλλικών ουσιών, τα οποία περιλαμβάνουν την λακτόζη, τη σακχαρόζη και την φρουκτόζη και προέρχονται κυρίως από το ζαχαροκάλαμο, τα ζαχαρότευτλα, το γλυκό σόργο και από άλλες πηγές [<http://en.wikipedia.org/wiki/Sugar>]. Το ζαχαροκάλαμο είτε στην μορφή χυμού είτε στην μορφή μελάσας, αποτελεί την πιο διαδεδομένη ουσία στις υποτροπικές και στις τροπικές χώρες για την παραγωγή της βιοαιθανόλης, ενώ στις ευρωπαϊκές χώρες χρησιμοποιείται η μελάσα από ζαχαρότευτλα.

Επίσης από το βλαστό του γλυκού σόργου μπορεί να εξαχθεί χυμός με μεγάλη περιεκτικότητα σε σακχαρόζη. Οι σπόροι του περιέχουν ένα υψηλό ποσοστό αμύλου και τα υπολείμματα εκχύλισης σακχάρου αποτελούν σημαντική πηγή λιγνοκυτταρινούχας βιομάζας. Η μετατροπή της σακχαρόζης σε αιθανόλη είναι ευκολότερη σε σύγκριση με τις αμυλούχες τροφές και την λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα επειδή δεν απαιτείται υδρόλυση των σακχάρων από την στιγμή που τα δισακχαρίδια μπορούν να διασπαστούν από ζυμώσιμα κύτταρα. Η κύρια διεργασία που απαιτείται για την παραγωγή της βιοαιθανόλης από σάκχαρα είναι η διεργασία της ζύμωσης, η οποία περιγράφεται από την **εξίσωση 4.2.2.2** σύμφωνα με την οποία ένα μόριο εξόζης μετατρέπεται σε δύο μόρια αιθανόλης και ένα μόριο διοξειδίου του άνθρακα [Cardona and Sanchez, 2006].



#### 4.2.2.3. Παραγωγή βιοαιθανόλης από αμυλούχες ουσίες

Το άμυλο  $(C_6H_{10}O_5)_n$  είναι ένα μίγμα αμυλόζης και αμυλοπηκτίνης, συνήθως σε αναλογίες 20:80 ή 30:70. Είναι και τα δύο σύνθετα πολυμερή υδρογονανθράκων της γλυκόζης  $(C_6H_{12}O_6)$ . Έτσι το άμυλο αποτελεί ένα πολυμερές της γλυκόζης, όπως παρατηρείται από τον χημικό τύπο του αμύλου, παραβλέποντας την αναλογία αμυλόζης: αμυλοπηκτίνης [<http://en.wikipedia.org/wiki/Starch>]. Η παραγωγή της βιοαιθανόλης από άμυλο απαιτεί την διάσπαση των αλυσίδων των υδατανθράκων έτσι, ώστε να προκύψει σιρόπι γλυκόζης, το οποίο μπορεί να μετατραπεί σε βιοαιθανόλη με ζύμωση. Η διεργασία δηλαδή της παραγωγής της βιοαιθανόλης από άμυλο απαιτεί ενζυματική υδρόλυση η οποία παράγει μία καθαρή ροή γλυκόζης η οποία στην συνέχεια ζυμώνεται με σακχαρομύκητες για παραγωγή βιοαιθανόλης. Αυτός ο τύπος ουσιών χρησιμοποιείται περισσότερο για την παραγωγή βιοαιθανόλης στην νότια Αμερική και στην Ευρώπη. Το καλαμπόκι και το σιτάρι είναι τα κύρια φυτά που χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτό [Cardona and Sanchez, 2007].

#### 4.2.2.4. Παραγωγή βιοαιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχες ουσίες

Η λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα αποτελείται από κυτταρίνη, ημικυτταρίνη και από λιγνίνη. Η κυτταρίνη είναι ένα γραμμικό ομοπολυμερές κρυσταλλίνης με μία επαναλαμβανόμενη μονάδα γλυκόζης ενωμένες με β-γλυκοζιτικούς συνδέσμους. Η δομή της είναι αρκετά σταθερή και απαιτείται ειδική μεταχείριση για την διάσπασή της. Η ημικυτταρίνη αποτελείται από σύντομες, γραμμικές και ποικίλες διακλαδώσεις σακχάρων. Σε αντίθεση με την κυτταρίνη η οποία είναι ένα πολυμερές της γλυκόζης, η ημικυτταρίνη είναι ένα ετεροπολυμερές που αποτελείται από δ-ξυλόζη, δ-γαλακτόζη, δ-γλυκόζη, δ-μανόζη, και λ-αραμπινόζη. Η σύνθεση της ολοκυτταρίνης ποικίλλει ανάλογα με την πηγή της λιγνοκυτταρινούχας βιομάζας όπως παρουσιάζεται και στον **Πίνακα 4.2.2.4**. Η εκτίμηση της παραγωγής της εξαρτάται από την αναλογία της εξοζάνης και της πεντοζάνης.

| Ακατέργαστα υλικά               | Κυτταρίνη<br>/Εξοζάνη (H) | Ημικυτταρίνη/<br>Πεντοζάνη(P) | Λιγνίνη | Απόδοση αιθανόλης /<br>kg ξηρής μάζας |
|---------------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------|---------------------------------------|
| υπόλειμμα εκχύλισης<br>σακχάρου | 33(H)                     | 30(P)                         | 29      | 0,279                                 |
| άχυρο σιταριού                  | 30(H)                     | 24(P)                         | 18      | 0,239                                 |
| άχυρο σόργου                    | 33(H)                     | 18(P)                         | 15      | 0,24                                  |
| άχυρο ρυζιού                    | 32(H)                     | 24(P)                         | 13      | 0,248                                 |
| άχυρο βρώμης                    | 41(H)                     | 16(P)                         | 11      | 0,252                                 |

**Πίνακας 4.2.2.4. Χημική σύνθεση ακατέργαστων υλικών και αντίστοιχη παραγωγή βιοαιθανόλης**

Η παραγωγή της βιοαιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα ακολουθεί τα παρακάτω βήματα: προεπεξεργασία, υδρόλυση, ζύμωση και διαχωρισμός προϊόντος / απόσταξη [[biomassenergy.gr](http://biomassenergy.gr)].

##### 4.2.2.4.α. Προεπεξεργασία

Η προεπεξεργασία απαιτείται κυρίως για τον υποβιβασμό της λιγνοκυτταρινούχας βιομάζας, για την απομάκρυνση της λιγνίνης, για την μερική ή ολική υδρόλυση της ημικυτταρίνης και για την μείωση του κλάσματος της κρυσταλλικής κυτταρίνης προς την άμορφη κυτταρίνη, η οποία αποτελεί την πιο κατάλληλη μορφή για το επόμενο βήμα, το βήμα της υδρόλυσης.

Η ακατέργαστη και η χωρίς επεξεργασία βιομάζα είναι εξαιρετικά δύστροπη ως προς την ενζυμική χώνευση. Αυτός είναι και ο λόγος που ένας μεγάλος αριθμός μεθόδων θερμοχημικής επεξεργασίας έχει αναπτυχθεί έτσι, ώστε να αυξηθεί η ευπεψία των ενζύμων. Η προεπεξεργασία

καταστρέφει τα τοιχώματα των φυτικών κυττάρων και αυξάνει την πρόσβαση των ενζύμων στους πολυσακχαρίτες. Μελέτες έχουν αποδείξει μία άμεση συσχέτιση ανάμεσα στην απομάκρυνση της λιγνίνης και της ημικυτταρίνης και στην χώνευση της κυτταρίνης. Οι χημικές προεπεξεργασίες ποικίλουν από πολύ όξινες μέχρι και πολύ αλκαλικές επιδρώντας διαφορετικά στα βασικά συστατικά της βιομάζας. Για παράδειγμα, οι όξινες επεξεργασίες θα υδρολύσουν το κλάσμα της ημικυτταρίνης ενώ θα αφήσουν άθικτη τη λιγνίνη και την κυτταρίνη. Οι πιο συνηθισμένες τεχνικές χρησιμοποιούν θειικό οξύ, αν και άλλα δυνατά οξέα έχουν επίσης δοκιμαστεί. Οι αλκαλικές επεξεργασίες επιδρούν στο συστατικό της λιγνίνης και αφήνουν την ημικυτταρίνη και την κυτταρίνη άθικτη. Αυτές οι μέθοδοι απαιτούν ένζυμα για να αποσυνθέσουν την ημικυτταρίνη και την κυτταρίνη, αυξάνοντας έτσι την χρήση των ενζύμων στην διαδικασία. Η χημική επεξεργασία επηρεάζει επίσης και την μη σακχαρούχα σύνθεση του υδρολύματος. Για παράδειγμα οι όξινες επεξεργασίες μπορεί να αποφέρουν υψηλές συγκεντρώσεις φουρφουράλης στην υγρή φάση ενώ οι αλκαλικές επεξεργασίες μπορεί να αποφέρουν υψηλές συγκεντρώσεις οξικού άλατος στο υδρόλυμα. Αυτές οι ενώσεις θα εμφανιστούν στη ροή των σακχάρων και μπορεί να έχουν βλαβερές συνέπειες σε αυτόν τον μικροοργανισμό ζύμωσης [Gray, 2006].

#### 4.2.2.4.β. Υδρόλυση

Διακρίνονται δύο τύποι διαδικασιών για την υδρόλυση των ουσιών: η όξινη (αραιωμένη και συμπυκνωμένη) και η ενζυμική. Για την αύξηση της αποτελεσματικότητας της ενζυμικής υδρόλυσης, η περιεκτικότητα της λιγνίνης και της ημικυτταρίνης πρέπει να είναι μικρή έτσι ώστε να επιτευχθεί αύξηση της επίδρασης της κυτταρινάσης στο κλάσμα των υδρογονανθράκων για ανάκτηση σακχάρων. Η αραιωμένη όξινη υδρόλυση χρησιμοποιείται κυρίως για τον υποβιβασμό της ημικυτταρίνης αφήνοντας την λιγνίνη και την κυτταρίνη στο υπόστρωμα. Άλλοι τύποι υδρόλυσης είναι η μικροβιακή ή η αλκαλική υδρόλυση, οι οποίες επιδρούν κυρίως στην λιγνίνη. Με συνδυασμό των δύο μεθόδων ένα σημαντικό ποσό υδρογονανθράκων υποβιβάζεται.

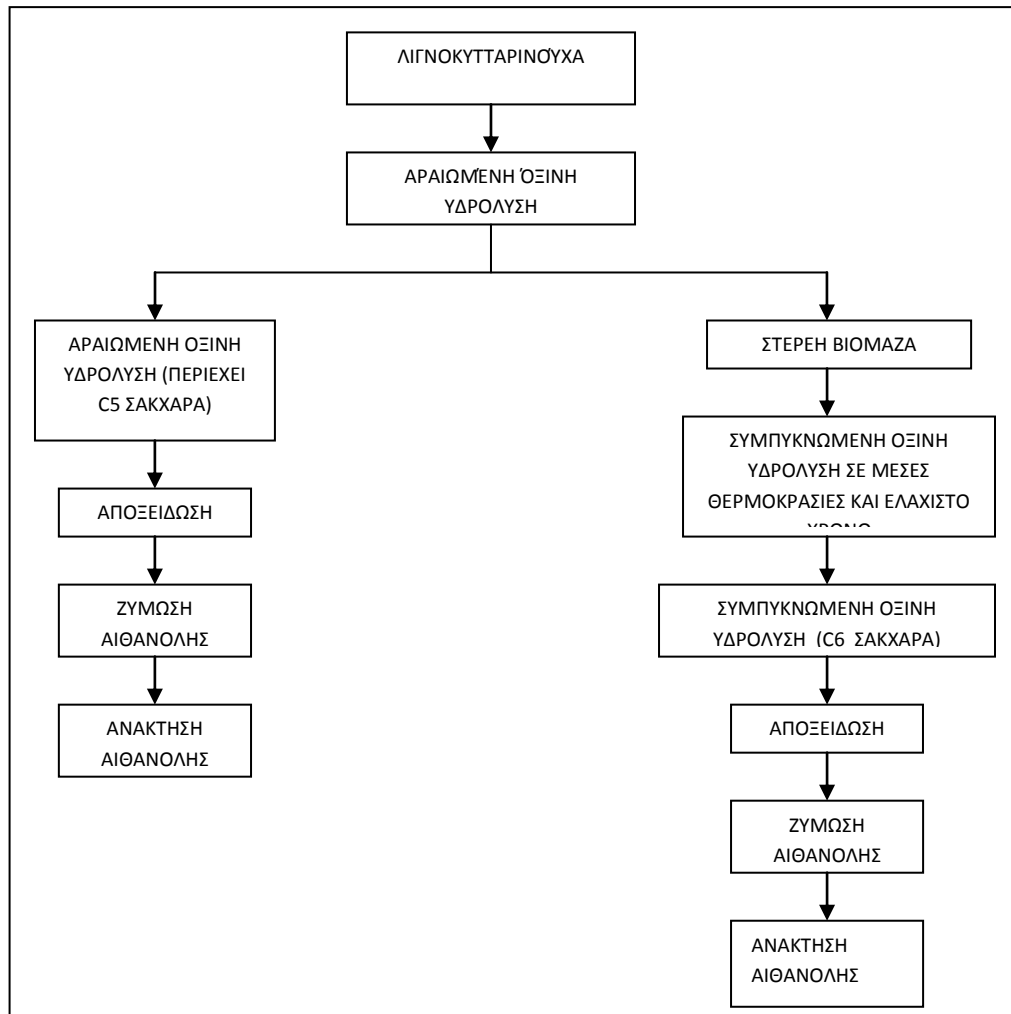
Οι πιο συχνοί τύποι **όξινης υδρόλυσης** είναι η **συμπυκνωμένη** και η **αραιωμένη όξινη**. Η αραιωμένη όξινη υδρόλυση επιτυγχάνεται σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση και ο χρόνος αντίδρασης είναι της τάξης μερικών δευτερολέπτων ή λεπτών. Η συμπυκνωμένη όξινη υδρόλυση απαιτεί σχετικά μέσες θερμοκρασίες και ελάχιστη πίεση. Οι χρόνοι αντίδρασης είναι τυπικά πολύ μεγαλύτεροι από αυτούς που απαιτούνται για την συμπυκνωμένη υδρόλυση.

Στην **αραιωμένη όξινη υδρόλυση**, το κλάσμα της ημικυτταρίνης αποπολυμερίζεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία από το κλάσμα της κυτταρίνης. Αραιωμένο θειικό οξύ αναμιγνύεται με την βιομάζα για να υδρολύσει την ημικυτταρίνη σε ξυλόζη και σε άλλα σάκχαρα. Το αραιωμένο



οξύ αλληλεπιδρά με την βιομάζα σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 120-220<sup>0</sup>C για σύντομο χρονικό διάστημα. Έτσι το κλάσμα της ημικυτταρίνης του τοιχώματος του φυτικού κυττάρου αποπολυμερίζεται και θα οδηγήσει στην αύξηση της ευπεινίας της κυτταρίνης στα εναπομένοντα στερεά. Η αραιωμένη όξινη υδρόλυση παρουσιάζει κάποιους περιορισμούς. Εάν εφαρμοστούν υψηλότερες θερμοκρασίες τα παραγόμενα μονοσακχαρίδια θα αποικοδομηθούν και θα οδηγήσουν σε αύξηση των εμποδιστών ζύμωσης όπως είναι οι ενώσεις φουρανίων, τα καρβοξυλικά οξέα και οι φαινολικές ενώσεις. Αυτοί οι εμποδιστές ζύμωσης επηρεάζουν τους μικροοργανισμούς ζύμωσης. Με σκοπό την απομάκρυνση των εμποδιστών και την αύξηση της ικανότητας ζύμωσης του υδρολύματος χρησιμοποιούνται πολλές χημικές και βιολογικές μέθοδοι. Η αραιωμένη όξινη υδρόλυση γίνεται σε δύο στάδια .

Στην **συμπυκνωμένη όξινη υδρόλυση (Διάγραμμα 4.2.2.4.β)** γίνεται χρήση συμπυκνωμένου θειικού οξέος και στην συνέχεια αραιώση με νερό για να διαλύσει και να υδrolύσει το υπόστρωμα σε συστατικά σακχάρων. Η παραπάνω μέθοδος προσφέρει γρήγορη και ολοκληρωμένη μετατροπή της κυτταρίνης σε γλυκόζη και της ημικυτταρίνης σε ξυλόζη. Η συμπυκνωμένη όξινη υδρόλυση χρησιμοποιεί 70% θειικό οξύ στους 40-50 <sup>0</sup>C για δύο έως τέσσερις ώρες σε έναν αντιδραστήρα. Οι χαμηλές θερμοκρασίες οδηγούν στην μείωση του υποβιβασμού των σακχάρων. Το υδrolυμένο υλικό στην συνέχεια διαβρέχεται για την ανάκτηση των σακχάρων. Στο επόμενο βήμα, το κλάσμα της κυτταρίνης πρέπει να αποπολυμεριστεί. Το στερεό υπόλειμμα από το πρώτο στάδιο διαβρέχεται με 30-40% θειικό οξύ για πενήντα λεπτά στους 100 <sup>0</sup>C για περαιτέρω υδρόλυση της κυτταρίνης. Το μίγμα που προκύπτει συμπιέζεται για να αποκτηθεί μία δεύτερη ροή οξέων σακχάρων (περίπου 18% σάκχαρα και 80% οξύ). Και οι δύο ροές σακχάρων από τα δύο βήματα υδρόλυσης συνδυάζονται και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή της αιθανόλης. Το βασικό πλεονέκτημα της όξινης συμπυκνωμένης υδρόλυσης είναι ο μεγάλος βαθμός ανάκτησης σακχάρων. Περίπου το 90% του κλάσματος της ημικυτταρίνης και τη κυτταρίνης αποπολυμερίζονται στα μονομερή τους κλάσματα. Το οξύ και το σιρόπι σακχάρων διαχωρίζονται μέσω ανταλλαγής ιόντων.



Διάγραμμα 4.2.2.4.β. Συμπυκνωμένη όξινη υδρόλυση και χωριστή ζύμωση πεντόζης και εξόζης

Στην διεργασία της **ενζυμικής υδρόλυσης** η όξινη, αλκαλική ή μυκητοειδής προεπεξεργασμένη λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα υδρολύεται, προκειμένου να αποκτηθούν ζυμώσιμα σάκχαρα. Τα ένζυμα είναι μίγματα πολλών υδρολυτικών ενζύμων αποτελούμενα από κυτταρινάση, ξυλανάση, ημικυτταρινάση και μαννάση. Την τελευταία δεκαετία έχουν απομονωθεί νέες μορφές κυτταρινάσης και ημικυτταρινάσης από βακτήρια και μύκητες. Η κυτταρινάση όμως παράγεται σε μικρή συγκέντρωση για να είναι χρήσιμη, για αυτόν τον λόγο υπάρχει και μία ομάδα μικροοργανισμών η οποία μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και για την ζύμωση των μονοσακχαριδίων. Η γενετική μηχανική χρησιμοποιείται για να παράγει ειδικά στελέχη τα οποία μπορούν να υδρολύσουν την κυτταρίνη και το ξυλάνιο ταυτόχρονα με την ζύμωση της ξυλόζης και της γλυκόζης σε βιοαιθανόλη.

#### 4.2.2.4.γ. Ζύμωση

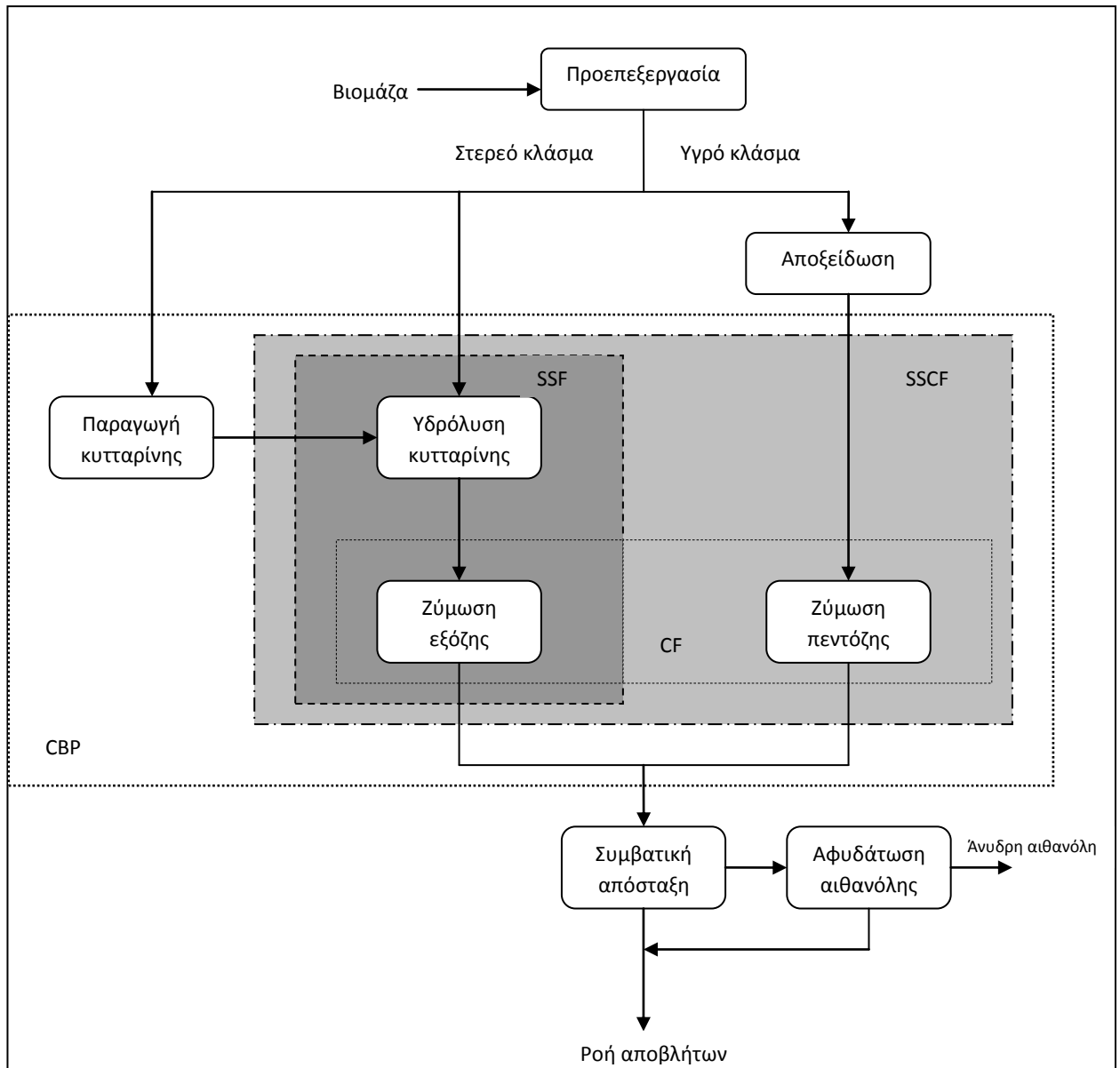
Το σιρόπι σακχάρων που προκύπτει από την υδρόλυση χρησιμοποιείται για την ζύμωση της αιθανόλης. Η δυνατότητα της ζύμωσης της πεντόζης ταυτόχρονα με την εξόζη δεν είναι αρκετά εύκολο να επιτευχθεί από τους μικροοργανισμούς. Η παραγωγή βιοαιθανόλης από σάκχαρα που προέρχονται από άμυλο και από σακχαρόζη κυριαρχείται εμπορικά από τον ζυμομύκητα *S.cerevisiae*. Όμως τα σάκχαρα τα οποία προέρχονται από βιομάζα είναι ένα μίγμα εξόζης (γλυκόζης) και πεντόζης (κυρίως ξυλόζης) και οι περισσότερες ποικιλίες του ζυμομύκητα *S.cerevisiae* δεν μεταβολίζουν την ξυλόζη. Έχουν ανακαλυφθεί δύο τεχνικές για την αύξηση της απόδοσης της ζύμωσης της αιθανόλης από σάκχαρα βιομάζας. Η πρώτη τεχνική αναφέρεται στην γενετική τροποποίηση των ζυμομύκητων και άλλων φυσικών αιθαλογενών με ταυτόχρονη μεταβολική πορεία της πεντόζης. Η δεύτερη τεχνική αναφέρεται στην αύξηση της απόδοσης της αιθανόλης, μέσω της γενετικής μηχανικής, με μικροοργανισμούς που έχουν την ικανότητα να ζυμώνουν και την εξόζη και την πεντόζη. Σε αντίθεση με τις καθαρές ροές σακχάρων που προέρχονται από το άμυλο και από την σακχαρόζη, τα υδρολύματα που προέρχονται από την βιομάζα τείνουν να έχουν εμποδιστές ζύμωσης, οι οποίοι είτε πρέπει να απομακρυνθούν όταν είναι σε υψηλές συγκεντρώσεις είτε απαιτούν την ανάπτυξη στελεχών οι οποίοι είναι ανθεκτικοί στους εμποδιστές ζύμωσης.

#### 4.2.2.4.δ. Διαχωρισμός προϊόντος / απόσταξη

Η αιθανόλη η οποία παράγεται από την διαδικασία της ζύμωσης περιέχει σημαντική ποσότητα νερού, το οποίο χρειάζεται να απομακρυνθεί. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της απόσταξης. Κατά την διαδικασία της απόσταξης γίνεται βρασμός του μίγματος νερού και αιθανόλης. Από την στιγμή που η αιθανόλη έχει χαμηλότερη θερμοκρασία βρασμού (78,3 °C) από αυτή του νερού (100 °C), μετατρέπεται σε ατμό πριν από το νερό και με αυτόν τον τρόπο μπορεί να συμπυκνωθεί και να διαχωριστεί από το νερό.

#### 4.2.2.5. Παραγωγικές διαδικασίες βιοαιθανόλης

Το **Διάγραμμα 4.2.2.5** παρουσιάζει τις παραγωγικές διαδικασίες για την παραγωγή της βιοαιθανόλης, οι οποίες περιλαμβάνουν τη χωριστή υδρόλυση και ζύμωση (SHF), τη συνζύμωση (CF), την ταυτόχρονη σακχάρωση και ζύμωση (SSF), την ταυτόχρονη σακχάρωση και συνζύμωση (SSCF) και τη σταθερή βιοεπεξεργασία (CBP) [Cardona and Sanchez, 2007].



**Διάγραμμα 4.2.2.5. Παραγωγικές διαδικασίες βιοαιθανόλης**

Ο διαχωρισμός της υδρόλυσης από την ζύμωση παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα καθώς καθιστά ικανά τα ένζυμα να λειτουργούν σε υψηλότερες θερμοκρασίες και τους οργανισμούς ζύμωσης σε μέτριες θερμοκρασίες κάνοντας άριστη την χρήση των σακχάρων. Η ταυτόχρονη σακχάρωση και ζύμωση (ταυτόχρονη ζύμωση πολλοπλών σακχάρων) αποτελεί μια σημαντική τεχνική καθώς συνδυάζει τα ένζυμα κυτταρινάσης και τα μικρόβια ζύμωσης σε ένα δοχείο με αποτέλεσμα η παραγωγή των σακχάρων και η μετατροπή τους σε αιθανόλη να γίνεται σε ένα βήμα. Η SSF προσφέρει υψηλότερη απόδοση αιθανόλης ενώ απαιτεί μικρότερες ποσότητες ενζύμων. Παρόλα αυτά η συγκεκριμένη τεχνική δεν μπορεί να αντιμετωπίσει όλες τις προκλήσεις

που εμφανίζονται στο βιομηχανικό επίπεδο εξαιτίας του χαμηλού ρυθμού υδρόλυσης της κυτταρίνης και καθώς επίσης στο ότι οι περισσότεροι μικροοργανισμοί που χρησιμοποιούνται για την ζύμωση της αιθανόλης δεν μπορούν να επεξεργαστούν όλα τα σάκχαρα που προέρχονται από την υδρόλυση. Η SSF διαδικασία έχει εξελιχθεί και περιλαμβάνει και την ταυτόχρονη ζύμωση. Αυτή η νέα τεχνική ονομάζεται SSCF. Η περισσότερο διαδεδομένη διαδικασία για την παραγωγή αιθανόλης από βιομάζα είναι αυτή της σταθερής βιοεπεξεργασίας (CBP). Σύμφωνα με την διαδικασία αυτή, η παραγωγή της κυτταρινάσης, η υδρόλυση της κυτταρίνης και η ζύμωση γίνονται σε ένα βήμα. Έχει το πλεονέκτημα του χαμηλού κόστους και της υψηλής απόδοσης της αιθανόλης.

Στην προσπάθεια βελτίωσης της παραγωγικής διαδικασίας, προτάθηκε η επανακυκλοφορία ορισμένων ρευμάτων της διαδικασίας, έτσι ώστε να επιτευχθεί πιο ολοκληρωμένη χρήση των σακχάρων που σχηματίζονται, ή η επαναχρησιμοποίηση ορισμένων βιοπαραγόντων όπως τα ένζυμα. Για παράδειγμα, η επανακυκλοφορία της πεντόζης που σχηματίζεται κατά την υδρόλυση της ημικυτταρίνης οδηγεί στην αύξηση της απόδοσης της αιθανόλης και στην μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης. Το μειονέκτημα αυτής της επανακυκλοφορίας είναι η αύξηση των εμποδιστών ζύμωσης. Επίσης, η χρήση καθαρού νερού και το ποσό του ακάθαρτου νερού κατά την διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας πρέπει να είναι ελάχιστα. Αυτό επιτυγχάνεται με ανακυκλοφορία του νερού που απαιτείται στο βήμα της υδρόλυσης. Επίσης, η επανακυκλοφορία της κυτταρινάσης είναι ένας σημαντικός παράγοντας εξοικονόμησης των ενζύμων που χρησιμοποιούνται.

#### **4.2.2.6. Η βιοαιθανόλη ως καύσιμο μεταφοράς ή πρόσθετο καυσίμου**

Η βιοαιθανόλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σαν καύσιμο μεταφοράς όσο και σαν πρόσθετο καυσίμου. Η βιοαιθανόλη αναμιγνύεται τυπικά με την βενζίνη σε αναλογία 10% με σκοπό την παράταση της προμήθειας της βενζίνης στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, ενώ στην Βραζιλία χρησιμοποιείται σε αναλογία 22% σε ανάμιξη με την βενζίνη [Wyman, 1996]. Η βιοαιθανόλη παρουσιάζει έναν αριθμό χαρακτηριστικών τα οποία είναι επιθυμητά για την χρήση της ως καθαρό καύσιμο. Η υψηλή θερμότητα εξάτμισης, η χαμηλή θερμοκρασία φλόγας, η μεγαλύτερη εναλλαγή όγκου αερίου, ο υψηλός αριθμός οκτανίου είναι μερικά από τα χαρακτηριστικά που επιτρέπουν στην βιοαιθανόλη να αποκτήσει κατά 15% μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης από αυτόν της βενζίνης στις μηχανές ανάφλεξης με

σπινθήρα. Αυτό όμως το πλεονέκτημα μπορεί να αντισταθμιστεί από το ότι η βιοαιθανόλη έχει περίπου τα δύο τρίτα του ενεργειακού περιεχομένου της βενζίνης. Δηλαδή για δεδομένο όγκο καυσίμου το όχημα που θα κινηθεί με βιοαιθανόλη θα καλύψει τα δύο τρίτα της απόστασης σε σχέση με την απόσταση που θα καλύψει το όχημα που θα κινηθεί με βενζίνη. Από οικονομικής άποψης αυτό υποδηλώνει ότι η βιοαιθανόλη είναι κατά 75%-80% πιο ακριβή από την βενζίνη.

| Ιδιότητες καυσίμων   | Βενζίνη | Βιοαιθανόλη | ETBE |
|--|---------|-------------|------|
| Μοριακό βάρος (kg/kmol)                                      | 111     | 46          | 102  |
| Πυκνότητα (kg/l) στους 15 °C                                 | 0,75    | 0,8-0,82    | 0,7  |
| Περιεκτικότητα σε οξυγόνο (wt-%)                             | -       | 34,8        | -    |
| Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (MJ/kg) στους 15 °C               | 41,3    | 26,4        | 36   |
| Κατώτερη θερμογόνος δύναμη (MJ/l) στους 15 °C                | 31      | 21,2        | 27   |
| Αριθμός οκτανίου (RON)                                       | 97      | 109         | 118  |
| Αριθμός οκτανίου (MON)                                       | 86      | 92          | 105  |
| Αριθμός κετανίου   | 8       | 11          | -    |
| Στοιχειομετρική αναλογία αέρα/καυσίμου (kg αέρα/kg καυσίμου) | 14,7    | 9           | -    |
| Θερμοκρασία βρασμού (°C)                                     | 30-190  | 78          | 72   |
| Τάση ατμών στους 15 °C                                       | 75      | 16,5        | 28   |

**Πίνακας 4.2.2.6 : Σύγκριση ιδιοτήτων βενζίνης, βιοαιθανόλης, ETBE [[www.eubia.org](http://www.eubia.org)].**

Επιπλέον η βιοαιθανόλη προμηθεύει το καύσιμο με οξυγόνο το οποίο βοηθάει στην μείωση των εκπομπών του μονοξειδίου του άνθρακα και των άκαυστων υδρογονανθράκων, τα οποία μολύνουν τον ατμοσφαιρικό αέρα. Όμως, ακόμα και αν η βιοαιθανόλη έχει αρκετά χαμηλότερη τάση ατμών από την βενζίνη, η τάση ατμών των μιγμάτων αυξάνει σε σύγκριση με την βενζίνη στην οποία προστίθεται η βιοαιθανόλη, δημιουργώντας ανησυχίες σχετικά με την αύξηση των εκπομπών εξάτμισης που ευνοούν τον σχηματισμό ομίχλης. Επιπλέον, η βιοαιθανόλη μπορεί να αντιδράσει με το ισοβουτυλένιο και να σχηματίσει αιθυλοτριτογενή βουτυλαιθέρα (ETBE), ο οποίος παρέχει όλες τις επιθυμητές ιδιότητες και χαμηλώνει την τάση ατμών του μίγματος. Ένα

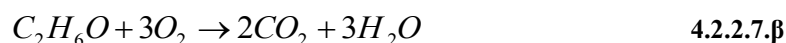
ακόμη πλεονέκτημα του ETBE είναι ότι εντάσσεται πιο εύκολα στο σύστημα έγχυσης βενζίνης επειδή παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με αυτήν. Επιπλέον δεν υφίσταται σε περιορισμούς όπως η τάση που έχει η βιοαιθανόλη να βρίσκεται σε διαφορετική φάση με το νερό. Ο Πίνακας 4.2.2.6 συνοψίζει μερικές από τις ιδιότητες της βενζίνης, της βιοαιθανόλης και του ETBE.

#### 4.2.2.7. Καύση και εκπομπές ρύπων

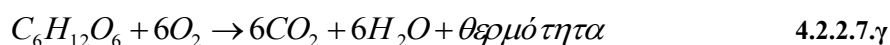
Κατά την διάρκεια της ζύμωσης η γλυκόζη αποσυντίθεται σε βιοαιθανόλη και σε διοξείδιο του άνθρακα σύμφωνα με την χημική εξίσωση:



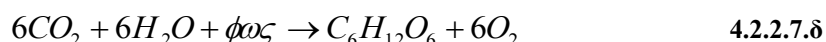
Κατά την διάρκεια της καύσης η βιοαιθανόλη αντιδρά με το οξυγόνο και παράγει διοξείδιο του άνθρακα, νερό και θερμότητα σύμφωνα με την χημική εξίσωση.



Με πρόσθεση των δύο αυτών εξισώσεων καταλήγουμε στην παρακάτω χημική εξίσωση



Αυτή η αντίδραση αποτελεί την αντίστροφη αντίδραση της φωτοσύνθεσης και αποδεικνύει ότι οι τρεις αντιδράσεις ακυρώνουν η μία την άλλη, μετατρέποντας μόνο το φως σε θερμότητα χωρίς να παράγεται άλλο προϊόν. Η αντίδραση της φωτοσύνθεσης είναι:



Άμεσο συμπέρασμα είναι ότι η βιοαιθανόλη παρουσιάζει ένα κλειστό κύκλο άνθρακα, δηλαδή το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται κατά την καύση επιστρέφει πίσω στα φυτά, διότι τα φυτά το χρησιμοποιούν για να συνθέσουν την κυτταρίνη κατά την διάρκεια της φωτοσύνθεσης [<http://en.wikipedia.org/wiki/Bioethanol>]. Όμως η βιοαιθανόλη χρησιμοποιείται κυρίως σε ανάμιξη με την βενζίνη (E10, E85) με αποτέλεσμα να υπάρχουν εκπομπές.

Ο Πίνακας 4.2.2.7 συγκρίνει τις παραγόμενες εκπομπές μισμάτων βιοαιθανόλης – βενζίνης και καθαρής βενζίνης. Τα μίγματα της αιθανόλης για τα οποία γίνεται η σύγκριση είναι το E10, δηλαδή 10% βιοαιθανόλη και 90% βενζίνη, και το E85, δηλαδή 85% βιοαιθανόλη και 15% βενζίνη.

Αναλυτικότερα για τις μηχανές ανάφλεξης, αναλύσεις που αφορούν τις εκπομπές εξάτμισης [Wyman,1996] δείχνουν πως οι εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα (CO) παρουσιάζουν μία σχετική μείωση της τάξης του 20% σε οχήματα που χρησιμοποιούν σαν



καύσιμο E10 σε σχέση με αυτά που χρησιμοποιούν συμβατική βενζίνη. Τα υψηλότερα μίγματα αιθανόλης δεν επιφέρουν επιπλέον μείωση στις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα. Οι εκπομπές **οξειδίων του αζώτου (NOx)** αυξάνονται κατά 3% με χρήση E10 σε σχέση με την συμβατική βενζίνη. Σε περίπτωση χρήσης καυσίμων με υψηλότερα ποσοστά αιθανόλης, όπως E85 ή E95, παρατηρείται μείωση των εκπομπών των οξειδίων του αζώτου που μπορεί να φτάσει και το 20%. Οι εκπομπές **πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC)** μειώνονται κατά 7% με χρήση αιθανόλης E10 σε σχέση με την συμβατική βενζίνη. Οι **εκπομπές εξάτμισης** είναι υψηλότερες εξαιτίας της υψηλότερης τάσης ατμών της βιοαιθανόλης E10 σε σχέση με την βενζίνη. Οι εκπομπές μιγμάτων με υψηλότερα ποσοστά βιοαιθανόλης είναι χαμηλότερες εξαιτίας της χαμηλότερης τάσης ατμών.

| Εκπομπές                                 | E10   | E85                     |
|--|---|-------------------------|
| Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)              | 25-30% μείωση   | 40% μείωση              |
| Διοξείδιο του άνθρακα (CO <sub>2</sub> ) | 10% μείωση  | 14% -102% μείωση        |
| Οξείδια του αζώτου                       | 5% μείωση   | 10% μείωση              |
| Πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs)        | 7% μείωση   | 30% ή μεγαλύτερη μείωση |
| Διοξείδιο του θείου (SO <sub>2</sub> )   | Μικρή μείωση  | Πάνω από 80% μείωση     |
| Σωματίδια                                | Μικρή μείωση  | 20% μείωση              |
| Αλδεΐδες                                 | 30-50% αύξηση αλλά αμελητέα λόγω του καταλυτικού μετατροπέα | Ανεπαρκή δεδομένα       |
| Αρωματικές ενώσεις                       | Μικρή μείωση  | > 50% μείωση            |

**Πίνακας 4.2.2.7. Εκπομπές βιοαιθανόλης σε σχέση με την βενζίνη**

Βασικό μειονέκτημα της χρήσης των μιγμάτων της βιοαιθανόλης αποτελεί η αυξημένη παραγωγή των **αλδεύδων**. Η ακεταλδεύδη και η φορμαλδεύδη βρίσκονται σε υψηλά επίπεδα στην περίπτωση της χρήσης βιοαιθανόλης. Σε περίπτωση χρήσης αιθανόλης E10 η παραγόμενη ακεταλδεύδη είναι περίπου διπλάσια σε σχέση με αυτήν που παράγεται από την βενζίνη ενώ η παραγόμενη φορμαλδεύδη είναι κατά 30% υψηλότερη. Σε περίπτωση χρήσης μιγμάτων με υψηλότερα ποσοστά αιθανόλης οι παραγόμενες ακεταλδεύδες θα είναι αρκετά ψηλότερες. Τέλος οι συγκεντρώσεις αρωματικών ενώσεων όπως το βενζόλιο και το βουταδιένιο και άλλων υδρογονανθράκων είναι μικρότερες στην περίπτωση χρήσης

της βιοαιθανόλης. Ιδιαίτερα με χρήση βιοαιθανόλης E85 οι εκπομπές μειώνονται περισσότερο από 50%.

#### 4.2.2.8. Κόστος παραγωγής βιοαιθανόλης

Το κόστος παραγωγής βιοαιθανόλης εξαρτάται από το σχετικό κόστος της πρώτης ύλης για την παραγωγή βιοαιθανόλης και την τιμή του αργού πετρελαίου. Το κόστος παραγωγής επηρεάζεται επίσης από το υψηλό κόστος κεφαλαίου για τον παραγωγικό εξοπλισμό για τις διεργασίες υδρόλυσης της και της ζύμωσης. Γίνεται αντιληπτό πως για να είναι ανταγωνιστική η παραγωγή της βιοαιθανόλης το κόστος παραγωγής της χρειάζεται να είναι μικρότερο από αυτό της βενζίνης.

Στην περίπτωση σχεδιασμού της παραγωγής της βιοαιθανόλης από σακχαρούχες ουσίες, η διαθεσιμότητα και το κόστος μεταφοράς των πρώτων υλών παίζουν σημαντικό ρόλο. Για παράδειγμα στη παραγωγή αιθανόλης από μελάσα το κόστος των πρώτων υλών αποτελεί το 70% του κόστους του τελικού προϊόντος [Maiorella, 1984]. Τα κόστη μεταφοράς ανά μονάδα παραγόμενου καυσίμου αποτελούν το 0,4-0,6% κόστους παραγωγής της βιοαιθανόλης για βέλτιστο μέγεθος εγκατάστασης. Το κόστος παραγωγής βιοαιθανόλης από αμυλούχες ουσίες είναι άμεσα συνδεδεμένο με το κόστος των πρώτων υλών. Για παράδειγμα στην Αγγλία, αν η τιμή ανά τόνο σιταριού είναι £115, το καθαρό κόστος της παραγόμενης βιοαιθανόλης είναι £0,38/lt, αλλά όταν το σιτάρι καλλιεργείται δίπλα στην εγκατάσταση παραγωγής της βιοαιθανόλης και αποκτάται στην τιμή των £45 ανά τόνο, το κόστος παραγωγής της βιοαιθανόλης μειώνεται στα £0.21/ lt [Cardona and Sanchez, 2007].

Η αξιολόγηση του κόστους της βιομάζας παίζει σημαντικό ρόλο καθώς σχετίζεται άμεσα με την διαθεσιμότητα της στις γειτονικές περιοχές των εγκαταστάσεων παραγωγής της βιοαιθανόλης. Το κόστος της βιομάζας εξαρτάται από την θέση της εγκατάστασης παραγωγής της βιοαιθανόλης, από το μέγεθος της και από την διαδικασία απόκτησης της. Το κόστος των ενζύμων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή της αιθανόλης από βιομάζα είναι αρκετά σημαντικό. Το κόστος παραγωγής της βιοαιθανόλης μπορεί να μειωθεί με κατάλληλο συνδυασμό των παραγωγικών διαδικασιών που ακολουθούνται για την παραγωγή βιοαιθανόλης από λιγνοκυτταρινούχα βιομάζα. Η SSF διαδικασία είναι προτιμότερη από SHF από οικονομικής άποψης

|                                   | Σιτάρι      |             |             | Ζαχαρότευτλα |             |             |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
|                                   | €/L         | €/GJ        | €/toe       | €/L          | €/GJ        | €/toe       |
| Καθαρό κόστος γεωργικών προϊόντων |             |             |             |              |             |             |
| - γεωργικά προϊόντα               | 0.40        | 18.9        | 790         | 0.26         | 12.3        | 513         |
| - πίστωση παραπροϊόντων           | 0.15        | 7.1         | 296         | 0.03         | 1.4         | 59          |
| <i>Συνολικό κόστος προϊόντων</i>  | 0.25        | 11.8        | 493         | 0.23         | 10.9        | 454         |
| Κόστος μετατροπής                 | 0.28        | 13.3        | 553         | 0.22         | 10.4        | 434         |
| Κόστος ανάμιξης                   | 0.05        | 2.4         | 99          | 0.05         | 2.4         | 99          |
| Κόστος διανομής                   | 0.01        | 0.5         | 20          | 0.1          | 4.7         | 197         |
| <b>Συνολικό κόστος</b>            | <b>0.59</b> | <b>27,9</b> | <b>1165</b> | <b>0.6</b>   | <b>28.4</b> | <b>1184</b> |

**Πίνακας 4.2.2.8. Κόστος παραγωγής βιοαιθανόλης [www.eubia.org].**

Όπως παρουσιάζεται στον **Πίνακα 4.2.2.8** το κόστος παραγωγής εξαρτάται κυρίως από το κόστος των πρώτων υλών το οποίο αντιπροσωπεύει τον 55-80% του κόστους του τελικού προϊόντος. Το κόστος παραγωγής της βιοαιθανόλης περιλαμβάνει το **κόστος παραγωγής** των πρώτων υλών, το οποίο περιλαμβάνει όλα τα κόστη που απαιτούνται για την καλλιέργεια και την απόκτηση των πρώτων υλών, το **κόστος μετατροπής**, το οποίο περιλαμβάνει όλα τα κόστη που απαιτούνται για την μετατροπή της βιομάζας σε βιοαιθανόλη, το **κόστος ανάμιξης**, το οποίο περιλαμβάνει το κόστος που απαιτείται για την ανάμιξη της βιοαιθανόλης με την βενζίνη καθώς και το **κόστος διανομής** το οποίο περιλαμβάνει όλα τα κόστη που απαιτούνται για την διανομή της βιοαιθανόλης.

### 4.2.3. Τεχνολογίες παραγωγής βιοκαυσίμων δεύτερης γενιάς

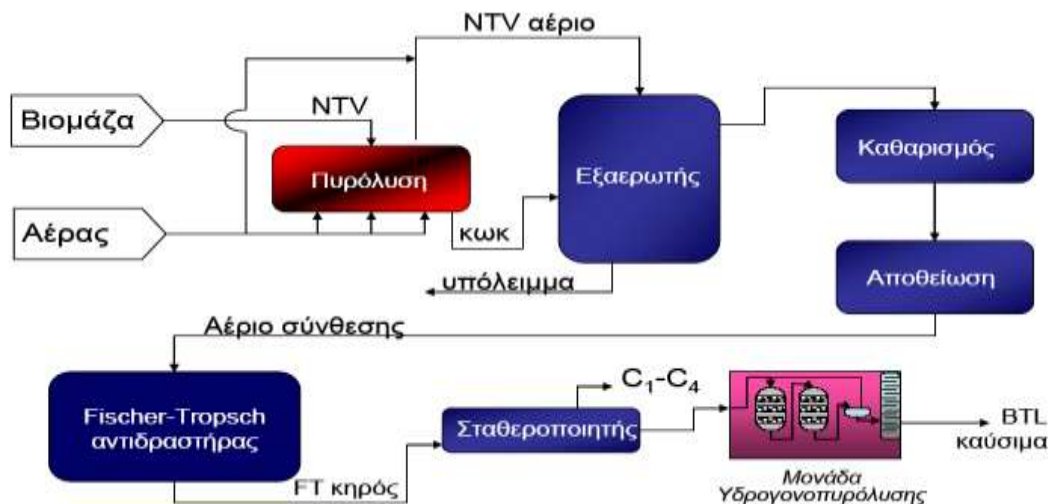
Τα βιοκαύσιμα 2<sup>ης</sup> γενιάς θεωρούνται ως μια πολλά υποσχόμενη απάντηση που αναμένεται να αλλάξει το ενεργειακό και κατ' επέκταση το οικονομικο-πολιτικό τοπίο της Ευρώπης αλλά και ολόκληρου του πλανήτη. Ως βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς χαρακτηρίζονται τα βιοκαύσιμα που παράγονται με πρωτοποριακές διεργασίες και από περισσότερους τύπους βιομάζας από ότι τα βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς. Στα βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς ανήκουν τα συνθετικά βιοκαύσιμα που παράγονται από θερμοχημικές και καταλυτικές διεργασίες όπως πυρόλυση, αεριοποίηση και Fischer-Tropsch, όπως παρουσιάζεται στον **Πίνακα 4.2.3**. Επίσης, στην κατηγορία αυτή ανήκει και η βιοαιθανόλη που παράγεται από λιγνοκυτταρικό υλικό, το οποίο δεν αξιοποιείται σήμερα. Το υδρογόνο από αέριο σύνθεσης (syngas), καθώς και το βιοαέριο αποτελούν τα κύρια αέρια βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς.

| Τύπος βιοκαυσίμου       | Ονομασία                  | Διεργασία   |
|-------------------------|---------------------------|---|
| Συνθετικά<br>Βιοκαύσιμα | Fischer-Tropsch Βιοντίζελ | Εξαέρωση, wgs, σύνθεση, HDC   |
|                         | Αλκοόλη από syngas        | Εξαέρωση, σύνθεση   |
|                         | HTU ντίζελ                | HTU, HDO, διύλιση   |
| Βιομεθανόλη             | Ντίζελ πυρόλυσης          | Πυρόλυση, HDO, διύλιση  |
|                         | Μεθανόλη                  | Εξαέρωση, wgs, σύνθεση  |
| Βιοαιθανόλη             | Αιθανόλη από κυτταρίνη    | Υδρόλυση, ζύμωση, απόσταξη  |
| Βιο-MTBE                | MTBE                      | Σύνθεση   |
| Βιοδιμεθυλαιθέρας       | DME                       | Εξαέρωση, wgs, σύνθεση  |
| Βιο-υδρογόνο            | Υδρογόνο από syngas       | Εξαέρωση, wgs, απομάκρυνση CO <sub>2</sub>                            |
| Βιοαέριο                | Φυσικό αέριο από syngas   | Εξαέρωση, wgs, σύνθεση, απομάκρυνση CO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O |
|                         | Συνθετικό φυσικό αέριο    | Εξαέρωση  |

Πίνακας 4.2.3. Βιοκαύσιμα δεύτερης γενιάς [Αρίτσας, 2008]

### I. Συνθετικά βιοκαύσιμα

Στην κατηγορία των συνθετικών καυσίμων ανήκει το βιοντίζελ που παράγεται μέσω της διεργασίας Fischer-Tropsch. Πρόκειται για μία διεργασία μετατροπής βιομάζας σε υγρά καύσιμα ή BTL (Biomass-To-Liquids) η οποία συνδυάζει τόσο την εξαέρωση της βιομάζας όσο και την καταλυτική μετατροπή του παραγόμενου αερίου (CO+H<sub>2</sub>) σε βιοκαύσιμα και κυρίως βιοντίζελ (Διάγραμμα 4.2.3). Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω της δυνατότητας επεξεργασίας υπολειμμάτων ως πρώτη ύλη αλλά και εξαιτίας του υψηλού βαθμού μετατροπής σε υγρό καύσιμο άριστων προδιαγραφών. Η διεργασία BTL οδηγεί και στην παραγωγή ελαφρύτερων υδρογνανθράκων, όπως η βιομεθανόλη και η βιοαιθανόλη.



Διάγραμμα 4.2.3. Διεργασία παραγωγής συνθετικών βιοκαυσίμων (Biomass-To-Liquids – BTL) [Βουλουβούτης κ.α, 2008]

Στην κατηγορία των συνθετικών βιοκαυσίμων ανήκουν και τα προϊόντα υδρογονοεπεξεργασίας προϊόντων πυρόλυσης βιομάζας, όπως το HTU ντίζελ και το ντίζελ πυρόλυσης. Οι δύο αυτές τεχνικές υπόσχονται πολλά, αφού μπορούν να εκμεταλλευτούν

πολύ περισσότερους τύπους βιομάζας συμπεριλαμβανομένων και των αγροτικών και βιομηχανικών αποβλήτων, ενώ παράλληλα προσφέρουν περισσότερα του ενός είδους προϊόντα (βιοαέριο, βιοντίζελ, βιοέλαιο κτλ).

## II. Βιοαιθανόλη και βιοαιθέρες

Τη βιοαιθανόλη συναγωνίζονται τα βιοκαύσιμα βιο-MTBE (methyl tert-butyl ether) και βιοδιμεθυλαιθέρας ή βιο-DME (dimethyl ether). Το βιο-MTBE παράγεται από βιομεθανόλη και χρησιμοποιείται ως πρόσθετο βενζίνης για αύξηση του αριθμού οκτανίου, αλλά η χρήση του έχει αρχίσει να περιορίζεται λόγω προβλημάτων μόλυνσης του νερού που έχουν αναφερθεί από διαρροές βενζίνης. Το DME ωστόσο συνεχίζει να παρουσιάζει ενδιαφέρον ως καύσιμο. Παράγεται είτε από φυσικό αέριο είτε αέριο σύνθεσης από την εξάερωση της βιομάζας. Η διάδοσή του είναι ωστόσο ακόμη περιορισμένη λόγω προβλημάτων μεταφοράς και ασφάλειας τη χρήσης του. Το MTBE χρησιμοποιείται κατά βάση για την αύξηση του αριθμού οκτανίων της βενζίνης, ιδιαίτερα μετά την απομάκρυνση των μολυβδούχων προσθέτων. Σε αντικατάσταση του MTBE, του οποίου η παραγωγική διαδικασία περιλαμβάνει τη σύνθεση ισοβουτενίου και μεθανόλης και είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρα, προτείνεται η παραγωγή ETBE. Για την παραγωγή του ETBE χρησιμοποιείται αιθανόλη που μπορεί να προέλθει από καλλιέργειες. Πλεονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι το ETBE μπορεί να προστεθεί σε μεγαλύτερες ποσότητες στη βενζίνη χωρίς να δημιουργούνται προβλήματα από την υπερβολική αύξηση της τάσης ατμών του καυσίμου. Αυτό το διαφοροποιεί από τη βιοαιθανόλη που μπορεί να προστεθεί σε περιορισμένο ποσοστό στη βενζίνη χωρίς να απαιτούνται τροποποιήσεις στη λειτουργία και ρύθμιση του κινητήρα. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η τροποποίηση μιας μονάδας παραγωγής MTBE ώστε να παράγει ETBE απαιτεί ελάχιστες αλλαγές. Σημειώνεται εδώ ότι στο διυλιστήριο Ασπροπύργου λειτουργεί μονάδα παραγωγής MTBE [Βουλουβούτης κ.α, 2008].

## III. Βιοαέριο και βιουδρογόνο

Καύσιμο αέριο, καθώς και καθαρό μίγμα αέριων συστατικών CO και H<sub>2</sub>, είναι δυνατόν να παραχθούν από τη βιομάζα μέσω της αεριοποίησης. Η αεριοποίηση αποτελεί μια θερμοχημική διεργασία μετατροπής στερεών, υγρών και αέριων καυσίμων σε μίγμα αερίου το οποίο αποτελείται κυρίως από CO, H<sub>2</sub> και CO<sub>2</sub>. Καύσιμα συστατικά και επιθυμητά προϊόντα είναι τα CO, H<sub>2</sub>, ενώ το CO<sub>2</sub> αποτελεί ανεπιθύμητο παράγωγο, το οποίο απομακρύνεται.

Στην περίπτωση χρήσης  $\text{CH}_4$ , η σύσταση του τελικού προϊόντος είναι υψηλή σε  $\text{CO}$  και  $\text{H}_2$ , ενώ στην περίπτωση χρήσης στερεών και υγρών καυσίμων η καθαρότητα είναι μειωμένη λόγω της ύπαρξης και άλλων χημικών ενώσεων (ενώσεις αζώτου και θείου, βαρείς και ελαφρείς υδρογονάνθρακες). Η ποιότητα του τελικού προϊόντος ρυθμίζεται ελέγχοντας τις συνθήκες της διεργασίας και κάνοντας χρήση κατάλληλων καταλυτών.

Οι δυνατότητες χρήσης των προϊόντων της αεριοποίησης είναι πολλές και διαχωρίζονται σε εφαρμογές παραγωγής ενέργειας και σε εφαρμογές παραγωγής προϊόντων προστιθέμενης αξίας. Στην πρώτη περίπτωση, το αέριο μπορεί να αξιοποιηθεί ως καύσιμη ύλη για συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού σε ατμολέβητες, μηχανές εσωτερικής καύσης, αεριοστρόβιλους και κελιά καυσίμου. Όσον αφορά την παραγωγή προϊόντων προστιθέμενης αξίας, το αέριο όντας φορέας  $\text{CO}$  και  $\text{H}_2$  μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή συνθετικών καυσίμων μέσω της διεργασίας Fischer-Tropsch.

Τέλος, το βιο-υδρογόνο ή υδρογόνο που παράγεται από την αεριοποίηση της βιομάζας αποτελεί το μέλλον των βιοκαυσίμων 2<sup>ης</sup> γενιάς, αφού θα συμπληρώσει την παραγωγή / χρήση του υδρογόνου που θεωρείται το καύσιμο που θα κυριαρχήσει μετά το 2030. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση σπιτιών ή κτιρίων αλλά ακόμα και για κίνηση σε ειδικά τροποποιημένες μηχανές.

#### IV. Βιοδιυλιστήριο

Ως βιοδιυλιστήριο ορίζεται μια εγκατάσταση διεργασιών μετατροπής βιομάζας σε ένα φάσμα (σύνολο) εμπορεύσιμων προϊόντων. Η έννοια του βιοδιυλιστηρίου δίνει έμφαση στην εφαρμογή των τεχνολογιών και αφορά στην ολοκληρωμένη σύνθεση και βελτιστοποίηση ενός συνόλου τεχνολογιών, εντός δικτύου πολλαπλής τροφοδοσίας, πολλαπλών διεργασιών και προϊόντων. Τα βιοδιυλιστήρια εξειδικεύονται ανάλογα με το τύπο βιομάζας (διυλιστήρια πετρελαίου, ενεργειακών φυτών, δασικά κλπ) και αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη λύση για την αποδοτικότερη παραγωγή βιοκαυσίμων και άλλων προϊόντων, τη μείωση του κόστους κεφαλαίου και συνολικού κόστους του τελικού προϊόντος. Η σύζευξη νέων βιοδιυλιστηρίων με τις υπάρχουσες βιομηχανικές εγκαταστάσεις φαίνεται να είναι ένας τρόπος, ώστε να επιτευχθούν άμεσα οι παραπάνω στόχοι [[Τεχνολογική Πλατφόρμα Θεσσαλίας, 2008](#)].

Η αρχή του σχεδιασμού τους βασίζεται στην εκμετάλλευση των διαφορετικών ιδιοτήτων των συστατικών της βιομάζας και των ενδιάμεσων προϊόντων. Τα βιοδιυλιστήρια, πέρα των βιοκαυσίμων και των χημικών, παράγουν επίσης ενέργεια, είτε για αυτονομία της διεργασίας είτε προς εμπορική εκμετάλλευση. Τα τυπικά βιοδιυλιστήρια αποτελούνται από δύο παράλληλες διεργασίες μετατροπής βιομάζας, μία θερμοχημική και μία βιοχημική. Κατά τη θερμοχημική διεργασία η βιομάζα εξαερώνεται και το παραγόμενο αέριο σύνθεσης

μετατρέπεται σε καύσιμα και χημικά, ενώ ένα μέρος του χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας. Κατά τη βιοχημική διεργασία τα συστατικά κυτταρίνης και ημικυτταρίνης της βιομάζας μετατρέπονται σε σάκχαρα με κατάλληλα ένζυμα και στη συνέχεια με ζύμωση λαμβάνεται βιοαιθανόλη που χρησιμοποιείται ως καύσιμο ή ως αλκοόλη. Το υπόλειμμα της βιοχημικής διεργασίας καίγεται για την παραγωγή θερμότητας ή και ενέργειας.

Τα βιοδιυλιστήρια μπορούν να ενσωματωθούν τόσο με συμβατικά διυλιστήρια αργού πετρελαίου όσο και με μονάδες παραγωγής χάρτου, ζαχάρεως ή ελαίων. Στην περίπτωση ενσωμάτωσης με συμβατικά διυλιστήρια στόχος είναι η βέλτιστη ομαδοποίηση των τμημάτων που κατεργάζονται αργό πετρέλαιο με τα τμήματα που επεξεργάζονται βιομάζα, ώστε να είναι δυνατή η βέλτιστη χρήση ενέργειας, όπως την χαμηλής στάθμης θερμότητα που προέρχεται από τον τομέα διύλισης καθώς και των βοηθητικών ρευμάτων, όπως το υδρογόνο. Η αεριοποίηση του υγρού υπολείμματος βιομηχανιών χαρτοπολτού με επακόλουθη σύνθεση χημικών / καυσίμων είναι μία υποσχόμενη δυνατότητα της ενσωμάτωσης του βιοδιυλιστηρίου με μονάδες χαρτοβιομηχανίας. Τέλος, η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να αποτελεί τη βάση της ενσωμάτωσης ενός βιοδιυλιστηρίου με μονάδες παραγωγής ζάχαρης .

### 4.3. LPG

Το υγραέριο (Liquified Petroleum Gas ή LPG) αποτελεί μία γενική ονομασία, η οποία αναφέρεται σε υγροποιημένα αέρια καύσιμα αποτελούμενα κυρίως από κορεσμένους υδρογονάνθρακες ( $C_nH_{2n+2}$ ) με τρία ή τέσσερα άτομα άνθρακα ( $n=3$  και  $n=4$ ). Το LPG εξάγεται είτε απευθείας από κοιτάσματα αργού πετρελαίου και φυσικού αερίου, είτε παράγεται στα διυλιστήρια μέσω χημικών διεργασιών, όπως η καταλυτική πυρόλυση και η αναμόρφωση [[www.petrogaz.gr](http://www.petrogaz.gr)]. Οι πιο γνωστοί τύποι υγραερίου στην αγορά είναι το **βουτάνιο** ( $C_4H_{10}$ ) που χαρακτηρίζεται από χαμηλότερη πίεση λειτουργίας και το **προπάνιο** ( $C_3H_8$ ) που χρησιμοποιείται ευρύτερα σε εγκαταστάσεις με μικρές δεξαμενές.

Οι υδρογονάνθρακες του LPG σε συνήθεις θερμοκρασίες και πιέσεις περιβάλλοντος βρίσκονται σε αέρια φάση. Με μικρή όμως αύξηση της πίεσης ή και ελαφρά ψύξη υγροποιούνται και καταλαμβάνουν πολύ μικρότερο όγκο (μόλις το 1/250 του όγκου της αέριας φάσης). Για το λόγο αυτό το υγραέριο, στις διάφορες μορφές του, αποθηκεύεται και διακινείται κατά κύριο λόγο σε υγρή και όχι σε αέρια φάση. Τα χαρακτηριστικά του υγραερίου στην αέρια φάση μοιάζουν με αυτά του φυσικού αερίου, ενώ στην υγρή φάση μοιάζει με τη βενζίνη (τρόπος μεταφοράς, αποθήκευση και μέτρηση). Σημειώνεται πως για

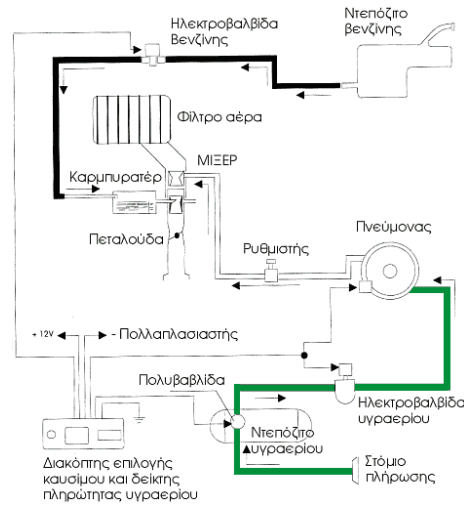


να διατηρηθεί το υγραέριο σε υγρή κατάσταση πρέπει να βρίσκεται υπό πίεση. Το ειδικό βάρος του υγρού υγραερίου είναι περίπου το μισό από αυτό του νερού, ενώ οι ατμοί (αέρια φάση) του υγραερίου είναι βαρύτεροι από τον αέρα και γι' αυτό, σε ελεύθερη κατάσταση, 'ρέουν' στο έδαφος και στις αποχετεύσεις, συσσωρευμένοι στα χαμηλότερα σημεία.

Το υγραέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για την κίνηση οιοδήποτε τύπου οχήματος έχοντας μεγαλύτερο ενεργειακό βαθμό απόδοσης (μεγαλύτερος αριθμός οκτανίων σε σχέση με τη βενζίνη) και υψηλή θερμογόνο δύναμη, κατά 50% μεγαλύτερη αυτής του πετρελαίου. Παράλληλα, η έλλειψη θείου από το υγραέριο και συνεπώς η μη ύπαρξη οξειδίων του θείου στα καυσαέρια επιτρέπει τη χρήση συστημάτων ανάκτησης θερμότητας χωρίς τον κίνδυνο διαβρώσεων. Από την δεκαετία του 1930 που χρησιμοποιήθηκε αρχικά στη Μεγάλη Βρετανία δεν έχει καταγραφεί μέχρι σήμερα κάποιο ατύχημα περιβαλλοντικής ρύπανσης. Επιπλέον παράγει 15% λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα και 20% λιγότερο άλλα επιβλαβή αέρια όταν καίγεται. Εξατμίζεται γρήγορα, οπότε σε περίπτωση διαρροής εξατμίζεται και δεν υπάρχει κίνδυνος μόλυνσης γης ή υδάτων.

Στην Ελλάδα από τις 22-12-1999 με τον Νόμο 2773 Άρθρο 45 επιτρέπεται η υγραεριοκίνηση όλων των οχημάτων, ανεξαρτήτως χρήσης (Ι.Χ., Δ.Χ., ΤΑΞΙ κλπ.). Για να είναι νόμιμη όμως η εγκατάσταση υγραερίου στο αυτοκίνητο θα πρέπει, η συσκευή και όλα τα εξαρτήματα που θα χρησιμοποιηθούν να έχουν έγκριση τύπου από το Υπουργείο Μεταφορών και Επικοινωνιών και ο τεχνικός που θα τα τοποθετήσει να έχει πτυχίο τοποθετήσεως συσκευών για το υγραέριο. Ο αριθμός των μεικτών πρατηρίων, που λειτουργούν στην Ελλάδα, δηλαδή πρατήρια, τα οποία προμηθεύουν τον καταναλωτή και με υγραέριο και υγρά καύσιμα, είναι ιδιαίτερα μικρός. Σε αυτό συμβάλλει το γεγονός ότι η ελληνική νομοθεσία καθιστά απαγορευτική την εγκατάσταση πρατηρίων υγραερίου κίνησης και λειτουργία τους κυρίως στα μεγάλα αστικά κέντρα. Το υγραέριο ως καύσιμο κίνησης είναι πολύ διαδεδομένο στην Ιταλία, Βουλγαρία, Ολλανδία, Μεγάλη Βρετανία, Ρωσία, Ουκρανία και Ινδία.

Τα καταλυτικά οχήματα μετατρέπονται άμεσα σε υγραεριοκίνητα ενώ όσα κινούνται με super βενζίνη απαιτείται η μετατροπή τους κατ' αρχήν σε καταλυτικά και στη συνέχεια σε υγραεριοκίνητα. Το σημαντικότερο στοιχείο στο σύστημα μετατροπής είναι ο αναγωγέας, γνωστός και σαν πνεύμονας (**Διάγραμμα 4.3**) ο οποίος μετατρέπει το καύσιμο από αέρια σε υγρή μορφή. Από εκεί το υγραέριο διοχετεύεται στο καρμπυρατέρ του κινητήρα, αφού περάσει από την ηλεκτροβαλβίδα εναλλαγής του κυκλώματος βενζίνης υγραερίου. Με αυτή την βαλβίδα αλλά και τον ειδικό διακόπτη που εγκαθίσταται στην καμπίνα των επιβατών, ο οδηγός μπορεί να επιλέξει ποιο από τα δύο καύσιμα επιθυμεί να χρησιμοποιήσει για την κίνηση του οχήματός του.



**Διάγραμμα 4.3. Σύστημα μετατροπής καταλυτικού οχήματος σε υγραεριοκίνητο**

Σε ότι αφορά την ασφάλεια, σημειώνεται πως 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. Η εγκατάσταση δεν επικοινωνεί με το εσωτερικό του οχήματος. Οι δεξαμενές και οι συσκευές που τοποθετούνται στα αυτοκίνητα δοκιμάζονται σε υψηλές πιέσεις, είναι πιστοποιημένες και σύμφωνες με τα αυστηρότερες προδιαγραφές. Το σύστημα καύσης προστατεύεται από κατάλληλες βαλβίδες (αντεπιστροφής, υπερβολικής ροής, μεγίστης στάθμης, ασφαλείας).

#### 4.4. Φυσικό Αέριο (CNG, LNG)

Το Φυσικό Αέριο είναι μίγμα υδρογονανθράκων σε αέρια κατάσταση, αποτελούμενο κατά 98% από μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) και το υπόλοιπο από βαρύτερα κλάσματα. Εξάγεται από φυσικές κοιλάτες, υπόγειες ή υποθαλάσσιες και μετά από πρωτογενή επεξεργασία, μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις μέχρι τις περιοχές κατανάλωσής του, μέσω ειδικών αγωγών, μεγάλης διαμέτρου, σε υψηλή πίεση. Υπάρχει επίσης δυνατότητα θαλάσσιας μεταφοράς του σε μορφή Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (ΥΦΑ/LNG), με ειδικά δεξαμενόπλοια σε ατμοσφαιρική πίεση και θερμοκρασία μείον 162 βαθμούς  $^{\circ}\text{C}$ . Δεν περιέχει μονοξείδιο του άνθρακα και δεν είναι τοξικό. Τέλος είναι άχρουν και άοσμο: η χαρακτηριστική οσμή του προσδίδεται στο στάδιο της διανομής, προκειμένου να γίνεται αντιληπτή η παρουσία του και είναι ελαφρύτερο από τον αέρα ( $d_{\text{σχ}}=0,59$ ). Η κατώτερη θερμογόνο δύναμη του ανέρχεται στα 8560 kcal/Nm<sup>3</sup>, όπου Nm<sup>3</sup> είναι το κυβικό μέτρο σε κανονικές συνθήκες (πίεση 1 bar και θερμοκρασία 0  $^{\circ}\text{C}$ ).

Για να χρησιμοποιηθεί το φυσικό αέριο σε ένα όχημα, χρειάζεται να μεταφερθεί στον σταθμό ανεφοδιασμού και να συμπιεστεί για να μπει στη δεξαμενή του οχήματος. Η σύσταση του μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την πηγή από την οποία προέρχεται. Έτσι, μπορεί να περιέχει ορισμένες ανεπιθύμητες ουσίες, όπως ελαφρείς υδρογονάνθρακες και κάποια αδρανή. Στην περίπτωση του LNG, οι βαρύτεροι υδρογονάνθρακες έχουν απομακρυνθεί κατά τη διαδικασία της υγροποίησης, οπότε το αέριο αποτελείται σχεδόν εξολοκλήρου από μεθάνιο. Παρόλες τις διαφορές, το ευρωπαϊκό αέριο που κυκλοφορεί στα δίκτυα έχει ελάχιστο αριθμό οκτανίου 115, που επαρκεί για να δουλέψουν οι κινητήρες με μεγάλη σχέση συμπίεσης. Οι ακριβείς ιδιότητες του αερίου παρουσιάζονται στον **Πίνακα 4.4**.

| Προέλευση                           | Ρωσία      | Ολλανδία   | Αγγλία     | Νορβηγία   | Αλγερία    | «Ευρωπαϊκό μίγμα» |
|-------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------------|
| Συμμετοχή στο «ευρωπαϊκό μίγμα» (%) | 21,4       | 22,0       | 30,4       | 11,8       | 14,1       | 100               |
| <b>Σύσταση (%v/v)</b>               |            |            |            |            |            |                   |
| Μεθάνιο                             | 98,4       | 81,5       | 86,0       | 86,0       | 92,1       | 88,5              |
| Αιθάνιο                             | 0,4        | 2,8        | 8,8        | 8,8        | 1,0        | 4,6               |
| Προπάνιο                            | 0,2        | 0,4        | 2,3        | 2,3        | 0,0        | 1,1               |
| Βουτάνιο κ.ά.                       | 0,1        | 0,1        | 0,1        | 0,1        | 0,0        | 0,1               |
| CO <sub>2</sub>                     | 0,1        | 1,0        | 1,5        | 1,5        | 0,0        | 0,9               |
| Άζωτο                               | 0,8        | 14,2       | 0,8        | 0,8        | 6,1        | 4,5               |
| LHV (GJ/Nm <sup>3</sup> )           | 37,5       | 31,4       | 38,6       | 38,6       | 33,7       | 35,7              |
| (GJ/t)                              | 49,2       | 38,0       | 47,1       | 47,1       | 44,9       | 45,1              |
| <b>Αριθμός οκτανίου</b>             | <b>138</b> | <b>133</b> | <b>122</b> | <b>122</b> | <b>138</b> | <b>129</b>        |

Πίνακας 4.4. Ιδιότητες Φυσικού Αερίου

Η χρήση Φ.Α. στα οχήματα παρουσιάζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα [Wang, 1999]:

- Σχεδόν μηδενική περιεκτικότητα σε θείο και συνεπώς μηδενικές εκπομπές ενώσεων του θείου.
- Πολύ χαμηλές εκπομπές σωματιδίων εξαιτίας την μικρής αναλογίας άνθρακα προς υδρογόνο.
- Πολύ χαμηλό δυναμικό δημιουργίας φωτοχημικού νέφους.
- Ασήμαντες απώλειες λόγω εξάτμισης.
- Εξαιτίας της μικρής αναλογίας άνθρακα προς υδρογόνο παράγει λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα ανά μονάδα ενέργειας καυσίμου σε σχέση με την βενζίνη.
- Χαμηλές εκπομπές στις «ψυχρές» εκκινήσεις του κινητήρα λόγω της αέριας μορφής του.
- Καλύτερη αντικροτική ικανότητα (ή πιο απλά λιγότερα «χτυπήματα» του κινητήρα) σε σχέση με άλλα καύσιμα λόγω υψηλότερου αριθμού οκτανίου που επιτρέπει υψηλότερες

σχέσεις συμπίεσης στον κινητήρα και λειτουργία υπό συνθήκες υπερπλήρωσης (turbo-charge) του κινητήρα.

- Αυξάνει τον χρόνο ζωής των λιπαντικών και των σπινθηριστών (μπουζί) του κινητήρα.

- Μεγάλο εύρος ορίων αναφλεξιμότητας που επιτρέπει την ομαλή καύση του με «φτωχότερα» ( $\lambda > 1$ ) μίγματα καυσίμου.

- Χαμηλότερη αδιαβατική θερμοκρασία καύσης στον κινητήρα και συνεπώς μικρότερες εκπομπές NOx.

- Υψηλότερη θερμογόνο δύναμη σε κατά βάρος περιεκτικότητα σε σχέση με την βενζίνη.

- Υψηλότερη θερμοκρασία ανάφλεξης σε σχέση με την βενζίνη και το πετρέλαιο δηλαδή το φυσικό αέριο αυτοαναφλέγεται δυσκολότερα γεγονός που το καθιστά ασφαλέστερο σε υψηλές θερμοκρασίες.

- Δεν περιέχει τοξικά συστατικά.

- Είναι πολύ ελαφρύτερο του αέρα και συνεπώς ασφαλέστερο σε περίπτωση διαρροής καθώς διαφεύγει γρήγορα προς ανώτερα στρώματα του ατμοσφαιρικού αέρα.

- Το μεθάνιο ως κύριο συστατικό του φυσικού αερίου δεν αποτελεί οργανική πτητική ένωση (VOC).

- Οι κινητήρες βαρέων οχημάτων που λειτουργούν με φυσικό αέριο παρουσιάζουν μικρότερη στάθμη θορύβου λειτουργίας σε σχέση με τους πετρελαιοκινητήρες και επομένως είναι φιλικότεροι προς το περιβάλλον, ιδιαίτερα σε αστικές περιοχές

Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα από τη χρήσης Φ.Α.

- Η αποθήκευση του φυσικού αερίου στο όχημα παρουσιάζει δυσκολίες. Στις περισσότερες περιπτώσεις αποθηκεύεται ως συμπιεσμένο φυσικό αέριο (CNG) σε πίεση 200 bar ενώ η δεξαμενή καυσίμου στην περίπτωση αυτή είναι 3 έως 4,5 φορές μεγαλύτερη από ένα ντεπόζιτο βενζίνης.

- Απαιτεί ειδικούς καταλυτικούς μετατροπείς με μεγάλη περιεκτικότητα ενεργών καταλυτικών στοιχείων έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η οξείδωση του μεθανίου. Η χημική σύσταση του φυσικού αερίου διαφοροποιείται σημαντικά, ανάλογα με την χώρα ή πόλη ή ανάλογα από την χώρα προέλευσης του, γεγονός που επηρεάζει την στοιχειομετρική αναλογία του μίγματος αέρα- καυσίμου.

- Η αυτονομία καυσίμου ενός οχήματος φυσικού αερίου είναι μικρότερη από αυτή των συμβατικών βενζινοκίνητων και πετρελαιοκίνητων οχημάτων, εξαιτίας του χαμηλότερου ενεργειακού περιεχόμενου του φυσικού αερίου ανά μονάδα όγκου. Προς το παρόν η αυτονομία των περισσότερων οχημάτων διπλού καυσίμου (φυσικού αερίου-βενζίνης)

ανέρχεται σε περίπου 400 km, ενώ των οχημάτων αποκλειστικής χρήσης CNG κυμαίνεται από 400 έως 600 km.

- Απαιτείται η ύπαρξη ειδικών σταθμών ανεφοδιασμού και επιπρόσθετα η ενέργεια που απαιτείται για την συμπίεση του φυσικού αερίου (0,2 kWh/m<sup>3</sup>) αντιστοιχεί σε 4% επιπλέον παραγωγή CO<sub>2</sub> από την χρήση του αυτοκινήτου.

- Ο χρόνος ανεφοδιασμού είναι μεγαλύτερος από τα υγρά καύσιμα, ενώ ο ανεφοδιασμός πρέπει να γίνεται με συγκεκριμένες προδιαγραφές ασφάλειας.

- Το επιπλέον βάρος της δεξαμενής φυσικού αερίου αυξάνει την κατανάλωση καυσίμου.

- Ο ψεκασμός του φυσικού αερίου σε χαμηλές πιέσεις στην εισαγωγή του κινητήρα ή σε υψηλή πίεση απευθείας στον θάλαμο καύσης των κυλίνδρων απαιτεί αντιστοίχως τροποποιημένους ή ειδικούς εγχυτήρες (μπεκ) ψεκασμού του καυσίμου.

- Οι εκπομπές μεθανίου, το οποίο αποτελεί ένα από τα αέρια που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, είναι συχνά σχετικά υψηλές στα καυσαέρια των οχημάτων αυτών και ειδικά στα οχήματα που προέρχονται από μετατροπή.

- Στο φυσικό αέριο απορροφούνται υδρατμοί οι οποίοι κάτω από ορισμένες συνθήκες μπορούν να παγώσουν και για το λόγο αυτό απαιτείται περιορισμός της περιεκτικότητας νερού στο φυσικό αέριο.

- Περιορίζει κατά 10% περίπου την ισχύ του οχήματος σε σχέση με ένα ισοδύναμο βενζινοκίνητο όχημα.

Οι περισσότερες αυτοκινητοβιομηχανίες (Opel, Volvo, Fiat, Mercedes, Honda, Renault, κλπ.) κατασκευάζουν σύγχρονα, ασφαλή και περιβαλλοντικά φιλικά αυτοκίνητα Φ.Α. είτε πρόκειται για αυτοκίνητα αποκλειστικής χρήσης φυσικού αερίου (CNG) είτε για αυτοκίνητα διπλού καυσίμου (dual-fuel ή bi-fuel), τα οποία εξασφαλίζουν την μεγαλύτερη αυτονομία του οχήματος όταν δεν υπάρχει σταθμός ανεφοδιασμού φυσικού αερίου. Η κατασκευαστική εμπειρία και η τεχνογνωσία των αυτοκινητοβιομηχανιών εξασφαλίζει σε μεγάλο βαθμό την βέλτιστη εισαγωγή της αεριοκίνησης στην τεχνολογία οχημάτων και την προσαρμογή των ιδιαίτερων φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών του Φ.Α. ως καύσιμο οχημάτων. Οι μέχρι τώρα προσπάθειες των αυτοκινητοβιομηχανιών έχουν αποδείξει ότι η στρατηγική τους επικεντρώθηκε στην αντιμετώπιση των κυριότερων επιμέρους προβλημάτων λειτουργίας και ασφάλειας από την χρήση του φυσικού αερίου. Μέχρι σήμερα, το μεγαλύτερο εμπόδιο βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας και της αυτονομίας των αυτοκινήτων φυσικού αερίου, αποτελούσε το επιπλέον βάρος των ειδικών δεξαμενών καυσίμου στο όχημα, η οποία επίσης συνήθως μείωνε και τον χώρο αποσκευών ενός αυτοκινήτου. Όμως με βάση τις σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις που ήδη εφαρμόζονται και είναι οικονομικά προσιτές, η

χρήση σύνθετων υλικών μειώνει σημαντικά το βάρος και όγκο της δεξαμενής φυσικού αερίου με την χρήση λεπτότερων τοιχωμάτων στις δεξαμενές καθώς και με την υψηλότερη πίεση αποθήκευσης του φυσικού αερίου.

Η εμπορική χρήση Οχημάτων Φυσικού Αερίου (ΟΦΑ) ,διεθνώς γνωστά ως NGVs, σε διαφορετικές χώρες αναπτύχθηκε με διαφορετικό ρυθμό από τότε που έγινε η πρώτη χρήση του φυσικού αερίου σαν καύσιμο οχημάτων στη Ιταλία, στα μέσα της δεκαετίας του 1930. Αυτό συμβαίνει γιατί κάθε χώρα έχει διαφορετικά διαμορφωμένη αγορά, άλλες οικονομικές συνθήκες, άλλη τροφοδοσία ΦΑ, πολιτικές συνθήκες, όπως επίσης και διαφορετικό στάδιο τεχνολογικής ανάπτυξης. Τα ΟΦΑ μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων με ένα κόστος ανά τόνο συγκρίσιμο ή και μικρότερο από άλλα καύσιμα ή στρατηγικές μείωσης ρύπων [Concalves et al, 2009].

#### 4.4.1. Υγροποιημένο Φυσικό Αέριο (LNG)

Το υγροποιημένο φυσικό αέριο παρέχει έναν εναλλακτικό τρόπο μεταφοράς σε σχέση με τους αγωγούς μεταφοράς, όταν αυτοί δεν είναι πρακτικοί ή όταν οι αποστάσεις είναι τεράστιες. Η υγροποίηση του αερίου και η μεταφορά του με πλοία είναι ένας καθιερωμένος τρόπος που χρησιμοποιείται ευρέως σε όλο τον κόσμο.

Το αέριο εξορύσσεται και καθαρίζεται πριν υγροποιηθεί σε μια κρυογονική μονάδα. Για την εξόρυξη και προ-επεξεργασία έχει ληφθεί η ίδια τιμή, όπως και για άλλες πηγές αερίου. Η υγροποίηση γίνεται με κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία παράγεται από το ίδιο το φυσικό αέριο σε παρακείμενη εγκατάσταση. Υπάρχουν μικρές απώλειες μεθανίου (0.17%), ενώ ένα μέρος του αερίου καίγεται συμβάλλοντας, έτσι, στις εκπομπές CO<sub>2</sub>. Η μεταφορά γίνεται με ειδικά διαμορφωμένα πλοία. Η ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον αντισταθμίζεται από την εξάτμιση ενός μέρους του αερίου, το οποίο, συνήθως, χρησιμοποιείται ως καύσιμο από το πλοίο.

Για να παραμείνει το ΥΦΑ σε υγρή κατάσταση στα οχήματα πρέπει να αποθηκευτεί και να μεταφερθεί σε χαμηλή θερμοκρασία σε δοχεία κενού με διπλά τοιχώματα. Σε όλα τα δοχεία μεταφοράς, θερμότητα από το περιβάλλον εισρέει στο εσωτερικό του δοχείου και ατμοποιεί μέρος του υγροποιημένου αερίου, ενώ παράλληλα ανεβάζει και την πίεση στο δοχείο. Αν μέρος του αερίου δεν αποβάλλεται με ρυθμό που να εξισορροπείται η εξάτμισή του, λόγω του παραπάνω φαινομένου, τότε η πίεση στο δοχείο θα αυξάνεται μέχρι να τεθεί σε λειτουργία η βαλβίδα ανακούφισης (ή αντεπιστροφής). Η διαδικασία αυτή θα συνεχιστεί

μέχρι να αδειάσει όλο το περιεχόμενο του δοχείου. Εν αντιθέσει, το ΠΦΑ μπορεί να αποθηκευτεί χωρίς καθόλου απώλειες. Αυτή η διάκριση κάνει το ΥΦΑ να μην είναι το πλέον κατάλληλο για χρήση του σε οχήματα που διανύουν λίγα χιλιόμετρα, όπως για παράδειγμα τα ΙΧ. Οι κατασκευαστές δεξαμενών αποθήκευσης ΥΦΑ ισχυρίζονται ότι το ΥΦΑ μπορεί να αποθηκευτεί για δύο βδομάδες τουλάχιστον, χωρίς να εξαερωθεί, γεγονός που κάνει το ΥΦΑ κατάλληλο για χρήση σε οχήματα που χρησιμοποιούνται τουλάχιστον μια φορά την εβδομάδα.

Δυστυχώς, η υγροποίηση δεν είναι μια απλή διαδικασία. Οι πραγματικοί στροβιλοσυμπιεστές έχουν πρόβλημα στο να χειριστούν υγρές φάσεις, οπότε είναι αναγκαίο να αποφεύγεται η διαφασική περιοχή. Οι πραγματικοί κύκλοι υγροποίησης έχουν μικρή απόδοση και αυτό οφείλεται, πρωτίστως, στην αδυναμία κατασκευής δεξαμενών που θα λειτουργούν σε χαμηλή θερμοκρασία και σε συνεχές θερμοκρασιακό εύρος. Το πραγματικό απαιτούμενο έργο υγροποίησης είναι σχεδόν τετραπλάσιο του θεωρητικού. Αν ληφθούν υπόψη όλες οι πραγματικές διεργασίες που υφίσταται το φυσικό αέριο για να υγροποιηθεί, τότε το έργο αυτό μπορεί να διπλασιαστεί (δηλαδή, συνολικά να γίνει οχταπλάσιο του θεωρητικού).

Για ένα όχημα, ένας μικρού μεγέθους υγροποιητής φυσικού αερίου χρησιμοποιεί 4 φορές περισσότερη ενέργεια απ' ό τι ένας μεγάλου μεγέθους και 10 φορές περισσότερη απ' ό τι θεωρητικά απαιτούμενη. Αντίθετα, στην περίπτωση του ΠΦΑ, ένας μικρού μεγέθους συμπιεστής φυσικού αερίου χρησιμοποιεί 2 φορές περισσότερη ενέργεια απ' ό τι ένας μεγάλου μεγέθους. Σ' αυτό το σημείο το ΠΦΑ, σαφώς, πλεονεκτεί έναντι του ΥΦΑ. Ακόμη και αν δεν μπορεί να διατηρηθεί σε υγρή κατάσταση κατά τη διαδικασία της έγχυσης στον κινητήρα, υπάρχουν πολλοί τρόποι με τους οποίους μπορεί η κρυογονική θερμοκρασία του υγροποιημένου φυσικού αερίου να γίνει χρήσιμη. Για παράδειγμα:

- Σε έναν ενδιάμεσο εναλλάκτη θερμότητας
- Για ψύξη φορτίου
- Για κλιματισμό της καμπίνας των επιβατών
- Για βοηθητική ισχύ

Στην περίπτωση χρήσης ενδιάμεσου εναλλάκτη θερμότητας, εάν το υγροποιημένο φυσικό αέριο αναμειχθεί άμεσα με το ρεύμα της εισαγωγής αέρα στο σημείο ακριβώς πριν από τις βαλβίδες, η θερμότητα εξάτμισης του υγρού συνδυαζόμενη με την πολύ χαμηλή θερμοκρασία (-162 °C), θα προκαλέσει σημαντική ψύξη του ρεύματος αέρα. Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα για τον ενδιάμεσο εναλλάκτη θερμότητας. Πρώτον, λόγω της μεγαλύτερης



πυκνότητας του, ο ψυχρός αέρας θα έχει μεγαλύτερη μάζα για τον ίδιο όγκο, οπότε θα μπορεί να κάψει μεγαλύτερη ποσότητα καυσίμου, αυξάνοντας την ισχύ του κινητήρα. Δεύτερον, η χαμηλή θερμοκρασία του εναλλάκτη μειώνει το θερμικό φορτίο του κινητήρα κρατώντας τον μακριά από την ανώτατη θερμοκρασία λειτουργίας του και μειώνει την μέγιστη θερμοκρασία στον κύλινδρο, μειώνοντας, παράλληλα, και τις εκπομπές NOx. Αν και η αύξηση της σχέσης συμπίεσης αυξάνει την απόδοση του κινητήρα, αυξάνει και την ανώτατη θερμοκρασία καύσης, αυξάνει και τις εκπομπές NOx, οπότε μπαίνει όριο στην αύξηση αυτή. Η λειτουργία του κινητήρα με φτωχό μείγμα αυξάνει, επίσης, την θερμική απόδοσή του, καθιστά όμως άχρηστο τον καταλύτη για την μείωση των εκπομπών NOx. Η χρήση ΥΦΑ για ενδιάμεση ψύξη θα μειώσει τη θερμοκρασία του εναλλάκτη κατά 45°K και της ανώτατης θερμοκρασίας του κυλίνδρου κατά 35°K. Έτσι μειώνονται οι εκπομπές NOx κατά 18%. Αυτό, βέβαια, θα μπορούσε να είναι ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα, αλλά μόνο του δε θα μπορούσε να ικανοποιήσει τα πρότυπα εκπομπών. Οι δοκιμές που έγιναν για να εξαχθεί το παραπάνω αποτέλεσμα αφορούν την μόνιμη κατάσταση λειτουργίας του κινητήρα και θα είναι διαφορετικές για την μεταβατική κατάσταση λειτουργίας του. Επίσης, αφορούν καύση με στοιχειομετρικό μείγμα. Για λειτουργία με φτωχό μείγμα η ανώτατη θερμοκρασία θα ήταν μικρότερη, όπως και οι εκπομπές NOx [NREL, 1991].

#### 4.5. Μεθανόλη, αιθανόλη, αλκοόλες

Η **μεθανόλη** όπως και η αιθανόλη αποτελεί ένα εναλλακτικό καύσιμο, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μηχανές εσωτερικής καύσεως είτε σε συνδυασμό με τη βενζίνη είτε ως αυτούσιο καύσιμο. Η μεθανόλη προέρχεται είτε από ορυκτές είτε από ανανεώσιμες πηγές, ιδίως φυσικό αέριο και βιομάζα, αντίστοιχα..

Η χρήση μεθανόλης ως καύσιμο μειώνει τις εκπομπές καυσαερίων ορισμένων υδρογονανθράκων που σχετίζονται με τις τοξίνες, όπως το βενζόλιο και το βουταδιένιο και μειώνει δραματικά την μακροπρόθεσμη ρύπανση των υπογείων υδάτων που προκαλείται από τη διαρροή καυσίμων. Η μεθανόλη είναι πολύ πιο δύσκολο να αναφλεγεί από τη βενζίνη και καίγεται περίπου 60% πιο αργά. Ως καύσιμο οχημάτων η μεθανόλη έχει μεγάλα πλεονεκτήματα ασφάλειας έναντι της βενζίνης κάτι που ισχύει και για την αιθανόλη. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση η τροποποιημένη οδηγία για την ποιότητα των καυσίμων που εγκρίθηκε το 2009, επιτρέπει έως 3% κ/ο σε μείγμα-μεθανόλης σε βενζίνη. [<http://en.wikipedia.org/wiki/Methanol>].

## 4.6. Υδρογόνο

Το υδρογόνο είναι ένα φιλικό προς το περιβάλλον καύσιμο, το οποίο χρησιμοποιεί ηλεκτροχημικές κυψέλες, ή συμπίεση σε κινητήρες εσωτερικής, για τα κινήσει οχήματα και ηλεκτρικές συσκευές. Χρησιμοποιείται επίσης για την πρόωση των διαστημοπλοίων και μπορεί δυνητικά να παράγεται μαζικά και να διατίθεται στο εμπόριο για τα επιβατικά οχήματα και αεροσκάφη.

Το υδρογόνο είναι το πρώτο στοιχείο στον Περιοδικό Πίνακα, και είναι το ελαφρύτερο στοιχείο στη γη. Είναι επίσης το πιο άφθονο στοιχείο στον πλανήτη, αν και δεν βρίσκεται συνήθως στην καθαρή μορφή του. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι είναι τόσο ελαφρύ ώστε ανεβαίνει στην ατμόσφαιρα. Σε μια φλόγα καθαρού αερίου υδρογόνου που καίγεται στον αέρα το υδρογόνο ( $H_2$ ) αντιδρά με το οξυγόνο ( $O_2$ ) για να σχηματίσουν νερό ( $H_2O$ ) και να απελευθερωθεί θερμότητα. Αυτή η θερμότητα είναι ουσιαστικά το καύσιμο. Ως εκ τούτου το υδρογόνο είναι ένας φορέας ενέργειας, δεν αποτελεί πηγή ενέργειας. Αυτή η αντίδραση δεν παράγει άλλα χημικά υποπροϊόντα, εκτός από ένα μικρό ποσό από οξείδια του αζώτου. Οπότε ένα βασικό χαρακτηριστικό του υδρογόνου ως καυσίμου είναι ότι είναι σχετικά μη-ρυπογόνο (δεδομένου ότι το νερό δεν είναι ένας ρύπος). Καθαρό υδρογόνο δεν συναντάται στην φύση, παράγεται είτε από κάποιο φορέα υδρογόνου (αμμωνία, φυσικό αέριο, διάφορα παράγωγα του πετρελαίου, προπάνιο και βιοκαύσιμα) μετά από κατάλληλη επεξεργασία (αναμόρφωση), είτε από ηλεκτρόλυση νερού.

Στην ηλεκτρόλυση, ηλεκτρικό ρεύμα διατρέχει το νερό για να διαχωρισθούν το υδρογόνο από το οξυγόνο. Η ηλεκτρόλυση είναι μια αρκετά ενεργοβόρα διεργασία, η οποία όμως μπορεί να γίνει περιβαλλοντικά φιλική αν η απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια προέλθει από ΑΠΕ (αιολική, ηλιακή, γεωθερμική, υδροηλεκτρική ενέργεια, ή ενέργεια από ορυκτά καύσιμα, βιομάζα, και άλλους πόρους).

Το υδρογόνο ως καύσιμο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πλοία, αυτοκίνητα, αεροπλάνα. Φορητές ή σταθερές διατάξεις κυψελών υδρογόνου μπορούν να τροφοδοτήσουν έναν ηλεκτρικό κινητήρα [Khaligh, 2010]. Παρά την αφθονία του υδρογόνου στη φύση και τη δυνατότητα παραγωγής του με ηλεκτρόλυση ή με διαχωρισμό από υδρογονάνθρακες, δεν μπορεί να αποτελέσει άμεση λύση για την κίνηση των αυτοκινήτων. Οι αδυναμίες εντοπίζονται στα εξής:

- Για την παραγωγή του με ηλεκτρόλυση απαιτούνται σημαντικά ποσά ενέργειας. Έτσι πρέπει να λυθεί το πρόβλημα εξεύρεσης της ενέργειας αυτής με χαμηλό κόστος και χωρίς η διάθεσή της να αναστέλλει τα περιβαλλοντικά οφέλη που θα προκύπτουν από τη χρήση του υδρογόνου ως καυσίμου.

- Ο διαχωρισμός του υδρογόνου από υδρογονάνθρακες, δημιουργεί ποσότητες ρυπαντών και αέρια του θερμοκηπίου.

- Υπάρχουν σημαντικά προβλήματα ασφάλειας, όσον αφορά στην αποθήκευση, μεταφορά, διανομή και ευρεία χρήση του υδρογόνου, καθώς είναι εύφλεκτο αέριο.

- Τέλος, δεν πρέπει να παραβλέπεται η οικονομική διάσταση της άμεσης αντικατάστασης όλων των γραμμών παραγωγής των κινητήρων των σημερινών αυτοκινήτων, του κυκλώματος εξόρυξης, μεταφοράς και επεξεργασίας, καθώς και των δικτύων διανομής και πώλησης των υγρών καυσίμων και τέλος των δικτύων συντήρησης και επισκευής κινητήρων.

Η είσοδος του υδρογόνου στην αγορά για να είναι επιτυχής χρειάζεται να γίνει με έναν τρόπο ομαλό, δηλαδή με χαμηλό σχετικά κόστος και με μεσοπρόθεσμη εξοικείωση των οδηγών και επιβατών. Η χρήση του υδρογόνου ως καυσίμου στους συμβατικούς κινητήρες εσωτερικής καύσης, με μικρές μόνο μετατροπές έχει θετικά αποτελέσματα. Στην περίπτωση ενός τέτοιου κινητήρα τα υποπροϊόντα της καύσης στους θαλάμους καύσης, δηλαδή τα καυσαέρια, θεωρητικά δεν είναι παρά υδρατμοί και σταγόνες νερού. Θα πρέπει, ωστόσο να αναφερθεί ότι λόγω των υψηλών θερμοκρασιών καύσης, παράγονται και οξειδία του αζώτου. Σήμερα εξετάζεται η περίπτωση κατά τη μεταβατική περίοδο κατά την οποία οι σταθμοί ανεφοδιασμού με υδρογόνο θα είναι περιορισμένοι σε αριθμό, να υπάρχει η δυνατότητα χρήσης στον ίδιο κινητήρα (μετά από κατάλληλες μετατροπές) είτε υδρογόνου, είτε βενζίνης, αφού τα αυτοκίνητα μπορούν να είναι εφοδιασμένα με δύο συστήματα δεξαμενών καυσίμου.

Σημειώνεται πως να χρησιμοποιηθεί σε ευρεία κλίμακα το υδρογόνο ως καύσιμο στα αυτοκίνητα, χρειάζεται να επιλυθούν θέματα που αφορούν την ασφάλεια στη μεταφορά και διανομής. Οι τεχνικές λύσεις που προτείνονται είναι οι ακόλουθες:

- Ο εφοδιασμός του αυτοκινήτου με κάποιο καύσιμο, όπως μεθανόλη, και με τη βοήθεια μιας ενσωματωμένης συσκευής διαχωρισμού θα απελευθερώνεται εν κινήσει όσο υδρογόνο απαιτείται.

- Συμπύεση του υδρογόνου και εφοδιασμός των αυτοκινήτων με κατάλληλες δεξαμενές υψηλής πίεσης, περίπου 700 bar. Μειονέκτημα της λύσης αυτής είναι ότι με τη συμπύεση αυξάνεται ο κίνδυνος ανάφλεξης του υδρογόνου με εκρηκτικό τρόπο.

- Αποθήκευση του υδρογόνου σε στερεά μορφή, αντιδρώντας με διάφορα μέταλλα για το σχηματισμό υδριδίων, τα οποία αποσυντίθενται είτε με νερό είτε με θέρμανση, παρέχοντας το υδρογόνο. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να αποθηκευθούν μεγάλες ποσότητες αερίου σε μικρό όγκο, να μην υπάρχει κίνδυνος διαρροής ή ανάφλεξης και το υδρογόνο να είναι διαθέσιμο όποτε και σε όση ποσότητα χρειάζεται.

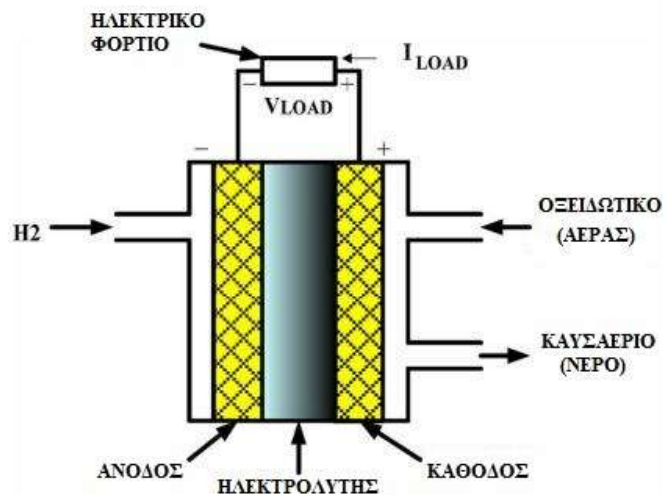
- Αποθήκευση υγρού υδρογόνου σε κρυογονικές δεξαμενές, αφού όμως επιλυθούν τα προβλήματα που σχετίζονται ή/και δημιουργούνται με τις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες των δεξαμενών.

#### 4.6.1. Τεχνολογίες κυψελών καυσίμου

Οι **κυψέλες καυσίμου** (ή στοιχεία καυσίμου ή κυψελίδες καυσίμου ή ενεργειακές κυψέλες – fuel cells) είναι η τεχνολογία που επιτρέπει, μέσω ηλεκτροχημικής αντίδρασης, την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, με μόνο υποπροϊόν το νερό, χωρίς τα ρυπογόνα οξείδια του αζώτου που παράγονται στους κινητήρες εσωτερικής καύσης που καίνε ως καύσιμο το υδρογόνο. Η πρώτη κυψέλη καυσίμου φτιάχτηκε το 1839 από τον Sir William Grove, έναν Ουαλλέζο δικαστή και πειραματικό επιστήμονα. Όμως σοβαρό ενδιαφέρον για τη κυψέλη καυσίμων ως πρακτική γεννήτρια δεν άρχισε παρά μόνο τη δεκαετία του '60, όταν επέλεξε το διαστημικό πρόγραμμα των ΗΠΑ τα κυψέλες καυσίμων κι όχι την επικίνδυνη πυρηνική ενέργεια και την ακριβότερη ηλιακή ενέργεια. Τα κυψέλες καυσίμων εφοδίασαν ενέργεια το διαστημικό σκάφος Gemini και Apollo, και παρέχουν ακόμα ηλεκτρική ενέργεια και νερό για το Διαστημικό Λεωφορείο.

Η λειτουργία των κυψελών καυσίμου είναι αντίστροφη από αυτή μιας ηλεκτρολυτικής μονάδας και προσομοιάζει τη λειτουργία μιας μπαταρίας, με τη διαφορά ότι δεν έχει τον περιορισμό της εξάντλησης του καυσίμου. Στις κυψέλες καυσίμου το καύσιμο (υδρογόνο) και το οξειδωτικό μέσο (αέρας ή οξυγόνο) είναι αποθηκευμένα εξωτερικά και εισάγονται συνεχώς στην άνοδο και την κάθοδο, αντίστοιχα. Τα προϊόντα (ηλεκτρική ενέργεια, θερμότητα και νερό) απομακρύνονται ως υποπροϊόντα της λειτουργίας. Η κυψέλη καυσίμων λειτουργεί παρόμοια με μια μπαταρία. Έχει δύο ηλεκτρόδια, μια άνοδο και μια κάθοδο, που χωρίζονται από μια μεμβράνη. Το οξυγόνο περνά πάνω από το ένα ηλεκτρόδιο και το υδρογόνου από το άλλο. Το υδρογόνο αντιδρά με έναν καταλύτη στην άνοδο (+) που μετατρέπει το αέριο υδρογόνου σε αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια ( $e^-$ ) και θετικά φορτισμένα ιόντα ( $H^+$ ). Τα ηλεκτρόνια ρέοντας από την κυψέλη αποτελούν ένα ρεύμα που χρησιμοποιείται ως ηλεκτρική ενέργεια. Τα ιόντα του υδρογόνου κινούνται μέσω της ηλεκτρολυτικής μεμβράνης προς την κάθοδο (-) όπου ενώνονται με το οξυγόνο και τα ηλεκτρόνια για να παραγάγουν το νερό. Αντίθετα από τις μπαταρίες, οι κυψέλες καυσίμων ποτέ δεν φορτίζονται απ' έξω. Μία κυψέλη καυσίμου παράγει περίπου 0.6 Volt και πολλές μαζί συνδυάζονται για να δώσουν την ηλεκτρική ισχύ που χρειάζεται.

Οι κυψέλες του τύπου **φωσφορικού οξέως (PAFC)**, είναι από τις πιο προηγμένες τεχνολογικά και εμπορικά καθώς λειτουργούν σε υψηλή θερμοκρασία. Το φωσφορικό οξύ είναι σε υψηλή συγκέντρωση και ενώνεται με ένα ζελ που παίζει το ρόλο του καταλύτη. Το PAFC χρειάζεται ατμοσφαιρικό οξυγόνο και υδρογόνο σαν αέρια αναγωγής. Υπάρχει όμως ένα μειονέκτημα. Το φωσφορικό οξύ χαλάει όταν η θερμοκρασία βρίσκεται κάτω από τους 42°. Τότε δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ενεργειακή κυψέλη. Η ενεργειακή κυψέλη αποτελείται από δύο ξεχωριστά τμήματα (τους δύο καταλύτες) ανάμεσά στα οποία υπάρχει ένας ηλεκτρολύτης (διάλυμα υδροξειδίου του καλίου). Το τμήμα που εισάγεται το υδρογόνο αποτελεί την άνοδο και το τμήμα που εισάγεται το οξυγόνο θα αποτελεί την κάθοδο. Στους δύο πόλους συνδέεται η συσκευή που πρόκειται να λειτουργήσει.

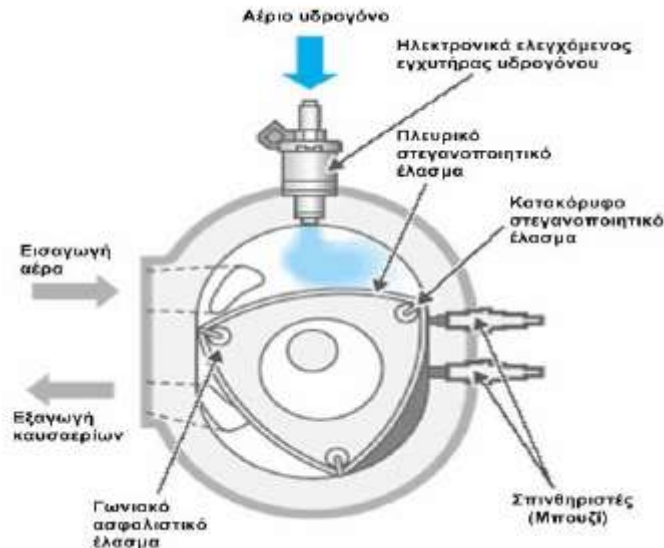


Διάγραμμα 4.6.1. Λειτουργία κυψέλης υδρογόνου [Khaligh, 2010].

Ο **καταλύτης** αναλαμβάνει την επιτάχυνση της δημιουργίας του νερού από τα συστατικά του. Στο σχηματισμό του νερού συμμετέχουν εκτός των μορίων του οξυγόνου και των ιόντων του υδρογόνου, τα ηλεκτρόνια τα οποία διοχετεύτηκαν μέσω του εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος στην κάθοδο, στην αρχή της διαδικασίας. Τα δύο στρώματα (στηριζόμενου) καταλύτη χρησιμεύουν στην αύξηση της ταχύτητας των αντιδράσεων διάσπασης του μορίου του υδρογόνου και της ένωσης υδρογόνου οξυγόνου για τη δημιουργία νερού, στην άνοδο και στην κάθοδο αντίστοιχα. Συνήθως αποτελείται από ένα πολύ λεπτό στρώμα λευκόχρυσου (Pt) πάνω σε επιφάνεια άνθρακα. Το στρώμα αυτό είναι και το μέρος του καταλύτη το οποίο βρίσκεται σε επαφή με τη μεμβράνη. Ο καταλύτης είναι τραχύς και πορώδης ώστε να μεγιστοποιεί η εκτεθειμένη επιφάνεια του.

Εκτιμάται ότι, σε στάδιο μαζικής παραγωγής οχημάτων με κυψέλες καυσίμου, το κόστος των κυψελών καυσίμου θα ανέρχεται σε 100 ευρώ/kW, το κόστος μιας δεξαμενής υδρογόνου

των 350 bar σε 1000 ευρώ, το κόστος ενός αναμορφωτή μεθανίου σε 600 ευρώ, ενώ για αναμορφωτή βενζίνης σε 1200 ευρώ ανά όχημα.



**Διάγραμμα 4.6.1. Mazda RENESIS, δύο εγχυτήρες υδρογόνου ανά ρότορα**

Σήμερα το “Mazda RX-8 Hydrogen RE” με περιστροφικό κινητήρα (WANKEL) χρησιμοποιεί υδρογόνο με απευθείας έγχυση αυτού στο θάλαμο κάθε ρότορα. Τα πλεονεκτήματα των κινητήρων με ρότορα είναι ότι προσφέρουν διαφορετικούς θαλάμους για την εισαγωγή και την καύση του μίγματος και συνεπώς δεν μπορούν να παρουσιάσουν προβλήματα backfire (ανάφλεξη του υδρογόνου κατά την έγχυση του στην πολλαπλή εισαγωγής λόγω κάποιων θερμών σημείων που μπορεί να υπάρχουν) σαν αυτά που εμφανίζονται σε εμβολοφόρους κινητήρες. Επίσης, η αυτοκινητοβιομηχανία της BMW έχει εξελίξει εδώ και χρόνια έναν 12κύλινδρο κινητήρα σχήματος “V” για τη σειρά 7, ο οποίος τροφοδοτείται και με υδρογόνο και με βενζίνη (dual fuel). Η εταιρεία πρόκειται να κατασκευάσει 100 τέτοια οχήματα, τα οποία θα δοθούν προς ενοικίαση για κάποια χρονική περίοδο, σε επιλεγμένα άτομα, τα οποία ζουν σε μέρη όπου υπάρχει η δυνατότητα ανεφοδιασμού με υδρογόνο. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, θα κυκλοφορούν τα 50 από τα συνολικά 100 οχήματα αυτού του τύπου. [[www.bmw.com](http://www.bmw.com)]

Τέλος, ένα άλλο πρωτότυπο όχημα που χρησιμοποιεί το υδρογόνο ως καύσιμο σε MEK, είναι το Ford P2000 Hydrogen ICE. Το συγκεκριμένο μοντέλο φέρει έναν δίλιτρο κινητήρα Duratec, ειδικά τροποποιημένο για την καύση συμπιεσμένου αερίου υδρογόνου. Επίσης, ο κινητήρας αυτός είναι 16βάλβιδος με δύο εκκεντροφόρους επικεφαλής (DOHC) και ο βαθμός συμπίεσης είναι 14.5:1. Η απόδοση του συγκεκριμένου κινητήρα είναι κατά 25 – 30% μεγαλύτερη απ’ την απόδοση ενός συμβατικού βενζινοκινητήρα. [[www.autointel.com](http://www.autointel.com)].

## 4.7. Ηλεκτρισμός

Η ηλεκτροκίνηση των αυτοκινήτων δεν αποτελεί νέα εφαρμογή αφού από τις αρχές του προηγούμενου αιώνα υπήρχαν ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα. Το 1900 στην Αμερική κυκλοφορούσαν 8000 αυτοκίνητα εκ των οποίων τα 3000 ήταν ηλεκτροκίνητα [Christian, 2007]. Εντούτοις, ορισμένοι περιορισμοί στην χρήση και δυσκολίες στην παραγωγή τους, σε συνδυασμό με τη ραγδαία τεχνολογική εξέλιξη των κινητήρων εσωτερικής καύσης οδήγησαν στην εξαφάνισή τους από το προσκήνιο στις αρχές του 20ου αιώνα. Το ενδιαφέρον για το ηλεκτρικό αυτοκίνητο επανεμφανίσθηκε στη δεκαετία του '60, όταν διαπιστώθηκαν οι συνέπειες της ευρείας διάδοσης των αυτοκινήτων εσωτερικής καύσης. Αν και η ηλεκτρική κίνηση έχει χρησιμοποιηθεί έκτοτε εκτενώς στα μέσα μαζικής μεταφοράς, η εξέλιξη δεν ήταν η ίδια για τα οχήματα ιδιωτικής χρήσης.

Ως βασικός τεχνολογικός παράγοντας που αποτελεί διαχρονικά τροχοπέδη στην διάδοση του ηλεκτρικού αυτοκινήτου είναι η μικρή εμβέλεια κίνησης, και η δυσκολία αποθήκευσης αρκετής ενέργειας σε συσσωρευτές αποδεκτού κόστους. Οι εξελίξεις των τελευταίων ετών στην τεχνολογία των συσσωρευτών είναι σημαντικές και η έρευνα συνεχίζεται ώστε να αυξηθεί η χωρητικότητα των μέσων αποθήκευσης ενέργειας, με ταυτόχρονη μείωση του βάρους και του κόστους τους.

**Ηλεκτροκίνητο όχημα (Electric Vehicle)** είναι εκείνο που χρησιμοποιεί για την κίνησή του ένα τουλάχιστον ηλεκτροκινητήρα. Τα ηλεκτρικά οχήματα, διαθέτουν μόνο ηλεκτρικό κινητήρα, ο οποίος τροφοδοτείται κατάλληλα από το μετατροπέα ισχύος ο οποίος μετατρέπει την ηλεκτρική ισχύ συνεχούς ρεύματος που του παρέχουν οι συσσωρευτές ή η κυψέλη υδρογόνου, σε κατάλληλες κυματομορφές τάσης και ρεύματος ώστε να οδηγηθεί επιθυμητά ο ηλεκτρικός κινητήρας. Ανάλογα από την πηγή ηλεκτρικής ισχύος του οχήματος διακρίνονται :

- Ηλεκτρικά οχήματα με συσσωρευτές (Battery Electric Vehicles –BEV's).
- Ηλεκτρικά οχήματα με κυψέλη καυσίμου (Fuel Cell Electric Vehicles – FCEVs).

Εκτός από τα αμιγώς ηλεκτρικά οχήματα που διατίθενται σήμερα στην αγορά, υπάρχουν και τα υβριδικά, τα οποία διαιρούνται στις παρακάτω κατηγορίες [Chan, 1993; Omonowo, 2009; Αντωνακόπουλος, 2010, Chau,2002] :

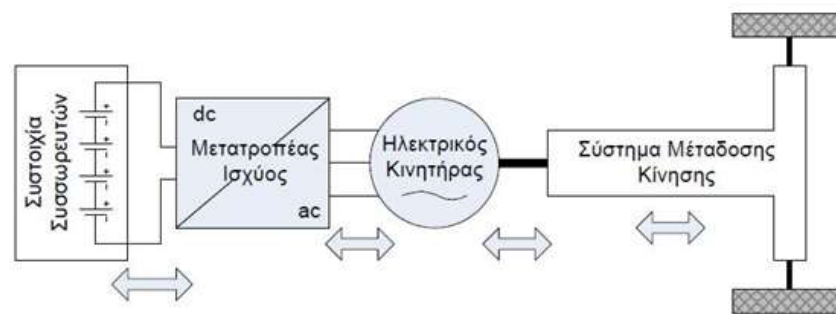
- Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα ( Hybrid Electric Vehicles – HEV)
- Επαναφορτιζόμενα Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα (Plug-in Hybrid Electric Vehicles – PHEV)
- Ηλεκτρικά οχήματα με μονάδα επέκτασης της αυτονομίας τους (Battery Electric Vehicles with Range Extender)



Τα Η/Ο οχήματα παρουσιάζουν εξαιρετικά πλεονεκτήματα ωστόσο πέρα από τους περιορισμούς της σημερινής τεχνολογίας και τις αβεβαιότητες της τεχνολογίας του μέλλοντος προκύπτουν σημαντικά ζητήματα που θα κρίνουν την έκταση της διείσδυσης τους, όπως τα κίνητρα που θα υπάρξουν για την αγορά και χρήση τους, οι απαιτούμενες υποδομές καθώς και η συμπεριφορά του ηλεκτρικού δικτύου στις απαιτήσεις που θα θέτει η ύπαρξη πολλών τέτοιων αυτοκινήτων [Ρωμανός, 2006].

#### 4.7.1. Ηλεκτροκίνητα Οχήματα με Συσσωρευτές (Battery Electric Vehicles - BEV)

Είναι τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα που κινούνται αποκλειστικά με την ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται σε συσσωρευτές εγκατεστημένους εντός του οχήματος, και η οποία μπορεί να προσληφθεί από το δίκτυο, ή από κάποια εξωτερική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής. Εφαρμόζονται επίσης και τεχνικές φόρτισης των συσσωρευτών με το λεγόμενο «αναπαραγωγικό φρενάρισμα», που αξιοποιεί την θερμότητα που παράγεται κατά το φρενάρισμα του οχήματος. Τα **BEV** αποτελούν τον τελικό στόχο της ηλεκτροκίνησης που επιτυγχάνει μετακινήσεις με τοπικά μηδενικές εκπομπές αερίων ρύπων CO<sub>2</sub> διότι η κίνησή τους παρέχεται αποκλειστικά από ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται στους συσσωρευτές τους.



Διάγραμμα 4.7.1. Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας ηλεκτρικού οχήματος με συσσωρευτές.

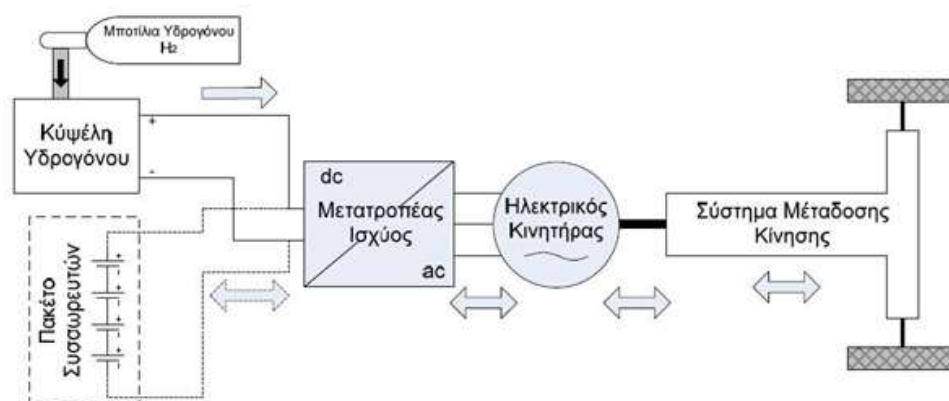
Ιστορικά, αυτά τα οχήματα προϋπήρξαν των συμβατικών οχημάτων αλλά δεν μπόρεσαν να επικρατήσουν λόγω των γνωστών μειονεκτημάτων της τεχνολογίας αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Τα μειονεκτήματα αυτά έχουν τώρα σε μεγάλο βαθμό αρθεί αλλά δεν έχουν ακόμα πλήρως εκλείψει. Οι συσσωρευτές είναι ακριβοί, έχουν σημαντικό βάρος και όγκο ενώ χρειάζονται μεγάλο χρόνο επαναφόρτισης. Επί του παρόντος, οι μπαταρίες μολύβδου - οξέος (lead-acid) αποτελούν την οικονομικότερη επιλογή, όμως τεχνολογίες όπως οι υδριδίου μετάλλων νικελίου (NiMH), ιόντων λιθίου (Li-Ion), και πολυμερών ιόντων λιθίου κερδίζουν συνεχώς έδαφος λόγω της μεγαλύτερης διάρκειας ζωής, του μικρότερου μεγέθους

και βάρους. Συγκρινόμενοι με τη δεξαμενή καυσίμου των συμβατικών οχημάτων αντιστοιχούν σε ένα μικρό μέρος της ενεργειακής χωρητικότητάς της.

Σήμερα, ορισμένοι τύποι ηλεκτρικών οχημάτων που χρησιμοποιούνται ευρέως είναι τα χαμηλής ταχύτητας, τα ηλεκτρικά οχήματα γειτονιάς (NEV's), τα οχήματα που αποτελούν τον εξοπλισμό εδάφους των αεροδρομίων, καθώς και οχήματα βιομηχανικού εξοπλισμού, όπως για παράδειγμα περνοφόροι ανυψωτές κ.ά. Επιπρόσθετα, τα BEV σε μοντέλα μικρού οχήματος πόλης έχουν τεράστια πλεονεκτήματα διότι είναι οικονομικά, αθόρυβα, δεν ρυπαίνουν τοπικά, είναι απλά στην κατασκευή τους, δεν απαιτούν συντήρηση και προσφέρουν ανεξάρτηση από τα εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα στις μεταφορές. Οι σημερινές τεχνολογικές εξελίξεις επιτρέπουν την κατασκευή και διάθεση στην αγορά σύγχρονων BEV με απόσταση αυτονομίας 120 έως 200 km. Οι ανάγκες της καθημερινής μετακίνησης καλύπτονται πλήρως με εξαίρεση μόνο των ταξιδιών μεγάλης απόστασης.

#### 4.7.2. Ηλεκτροκίνητα Οχήματα με Ενεργειακά Στοιχεία (Fuel Cells Electric Vehicles - FCEV)

Στα FCEV η αντίστροφη δράση της ηλεκτρόλυσης παράγει ηλεκτρική ενέργεια από την ηλεκτροχημική σύνθεση υδρογόνου και οξυγόνου με ταυτόχρονη παραγωγή καθαρού νερού. Τα υπάρχοντα ενεργειακά στοιχεία των κυψελών καυσίμου (fuel cells) παράγουν ηλεκτρική ενέργεια για την τροφοδότηση του ηλεκτροκινητήρα και τη φόρτιση του συσσωρευτή εξισορρόπησής τους. Το χρησιμοποιούμενο καύσιμο είναι καθαρό υδρογόνο ή υδρογονάνθρακες (όπως μεθανόλη, φυσικό αέριο, κλπ.) τα οποία αποθηκεύονται σε ειδική δεξαμενή ή ακόμα μπορεί να παράγονται επί των οχημάτων ενώ το απαραίτητο οξυγόνο απορροφάται από την ατμόσφαιρα. Τα FCEV εκπέμπουν στο περιβάλλον μόνο υδρατμούς.



Διάγραμμα 4.7.2. Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας ηλεκτρικού οχήματος με κυψέλη υδρογόνου.

Η τεχνολογία των οχημάτων αυτών έχει εφαρμοστεί μόνο πιλοτικά, ενώ στην παρούσα δεκαετία δεν προβλέπονται ευρύτερες εφαρμογές της για λόγους που σχετίζονται με το κόστος της, την ασύμφορη ενεργειακή παραγωγή υδρογόνου και τις δυσχέρειες μεταφοράς και διανομής του. Στα ηλεκτρικά οχήματα με κυψέλη υδρογόνου μπορεί να συνυπάρχει και συστοιχία συσσωρευτών [Chau, 2007] όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 4.7.2**.

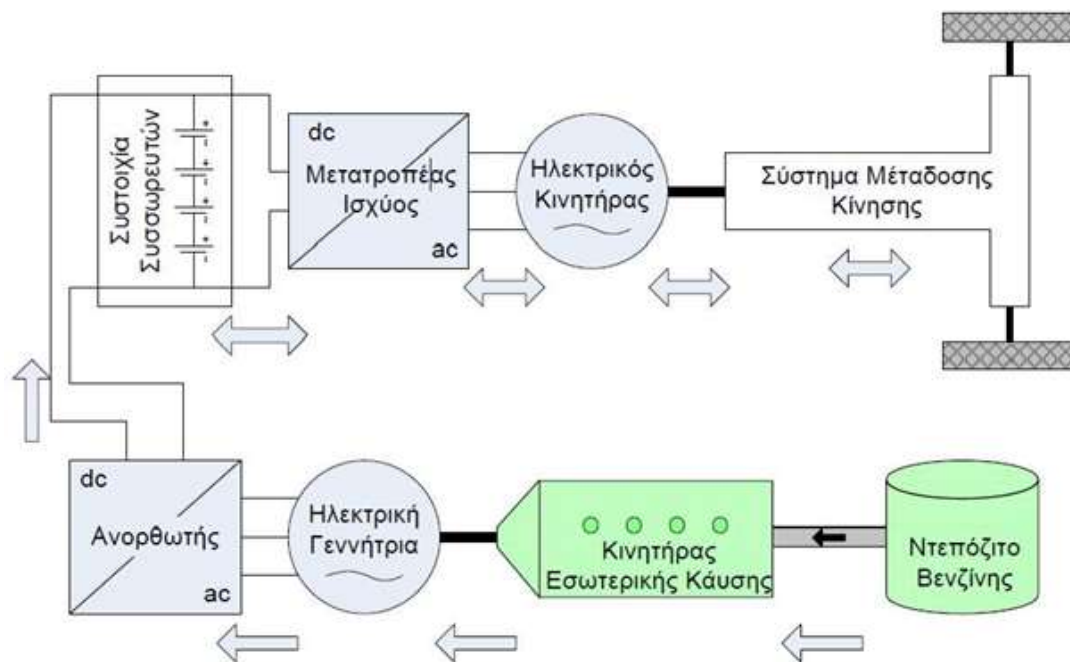
### 4.7.3. Υβριδικά Ηλεκτρικά Οχήματα (Hybrid Electric Vehicles - HEV)

Ένα όχημα αναφέρεται ως «υβριδικό» όταν η ενέργεια πρόωσης προσφέρεται από δύο ή και περισσότερα είδη πηγών, αποθήκευσης ενέργειας ή μετατροπείς, εκ των οποίων τουλάχιστο ένα θα πρέπει να προσφέρει ηλεκτρική ενέργεια. Το ένα κινητήριο σύστημα είναι μία Μ.Ε.Κ. η οποία λειτουργεί καταναλώνοντας κάποιο καύσιμο και το άλλο είναι ένας ηλεκτροκινητήρας, ο οποίος τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια. Το αποτέλεσμα είναι ότι από τη συνεργασία των δύο αυτών κινητήριων συστημάτων επιτυγχάνεται η πρόωση του οχήματος [Chau and Wong, 2002]. Τα υβριδικά οχήματα κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον τρόπο ζεύξης του ηλεκτρικού συστήματος και του συστήματος με τον κινητήρα εσωτερικής καύσης στις παρακάτω κατηγορίες [Emadi et al, 2005] :

- Σειριακό υβριδικό όχημα (Series Hybrid Electric Vehicle - SHEV)
- Παράλληλο υβριδικό όχημα (Parallel Hybrid Electric Vehicle - PHEV).
- Σειριακό/παράλληλο υβριδικό όχημα (Series/Parallel Hybrid Electric Vehicle - S/PHEV).

Στο **σειριακό υβριδικό όχημα (SHEV)** το σύστημα με τον κινητήρα εσωτερικής καύσης ενώνεται σε σειρά με το ηλεκτρικό σύστημα. Στο SHEV η κίνηση στους τροχούς μεταδίδεται μόνο από τον ηλεκτροκινητήρα. Στην ουσία το SHEV λειτουργεί όπως ένα αποκλειστικά ηλεκτρικό όχημα, στο οποίο όμως η συστοιχία συσσωρευτών φορτίζεται μέσω ενός ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους το οποίο περιστρέφεται από ένα κινητήρα εσωτερικής καύσης, ενώ η παραγόμενη εναλλασσόμενη ηλεκτρική ισχύς ανορθώνεται από ένα ανορθωτή και περνά στον μετατροπέα ισχύος. Γενικά η μηχανή εσωτερικής καύσης λειτουργεί σε σημείο βέλτιστης απόδοσης οδηγώντας την γεννήτρια και φορτίζοντας τις μπαταρίες [Emadi, 2000, Wouk, 1995]. Όταν το επίπεδο φόρτισης (State Of Charge – SOC) των μπαταριών πέσει κάτω από μια προαποφασισμένη ελάχιστη τιμή, ο θερμικός κινητήρας τίθεται σε λειτουργία για να φορτίσει τις μπαταρίες. Η μηχανή εσωτερικής καύσης παύει να λειτουργεί όταν τα επίπεδα φόρτισης φτάσουν ένα επιθυμητό μέγιστο. Το ζεύγος μηχανή εσωτερικής καύσης/γεννήτρια συνήθως ρυθμίζεται ώστε να διατηρεί το επίπεδο φόρτισης των συσσωρευτών γύρω στο 65-

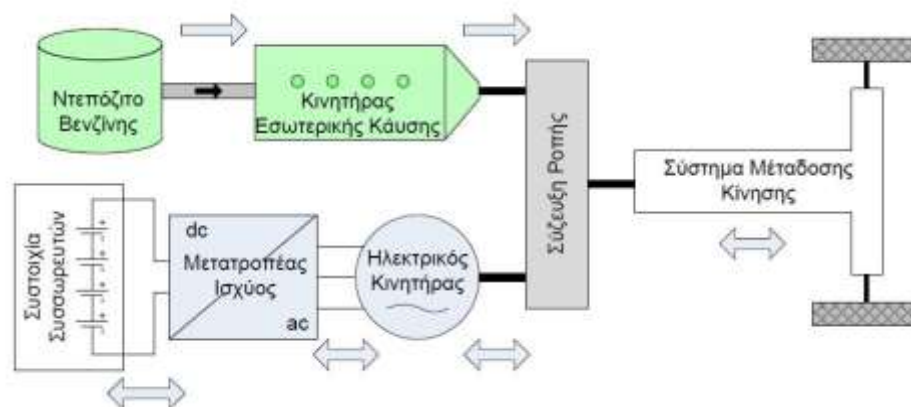
75% [Wouk 1995]. Σημειώνεται πως δεν υπάρχει μηχανική σύνδεση μεταξύ της μηχανής εσωτερικής καύσης και των τροχών. Πλεονέκτημα της εν σειρά διαμόρφωσης αποτελεί το γεγονός ότι στο θερμικό κινητήρα δύναται να επιτευχθεί βέλτιστος συνδυασμός ροπής και ταχύτητας πετυχαίνοντας χαμηλή κατανάλωση καυσίμου. Ωστόσο υπάρχουν δύο στάδια μετατροπής της ενέργειας ανάμεσα στους τροχούς και το θερμικό κινητήρα – από την ΜΕΚ στην γεννήτρια και από την γεννήτρια στον ηλεκτροκινητήρα – και κατά συνέπεια ένα κομμάτι της ενέργειας μετατρέπεται σε απώλειες. Η χρήση των σειριακών υβριδικών οχημάτων κρίνεται πιο κατάλληλο για οδήγηση στην πόλη. Το σχηματικό διάγραμμα του SHEV παρουσιάζεται στο **Διάγραμμα 4.7.3.α**.



**Διάγραμμα 4.7.3.α. Διάγραμμα λειτουργίας Σειριακού Υβριδικού Ηλεκτρικού Οχήματος (SHEV).**

Στο **παράλληλο υβριδικό ηλεκτρικό όχημα (PHEV)** το σύστημα με τον κινητήρα εσωτερικής καύσης ενώνεται παράλληλα με το ηλεκτρικό σύστημα (**Διάγραμμα 4.7.1.β**). Η κίνηση στους τροχούς μεταδίδεται και από τους δύο κινητήρες. Στο PHEV απαιτείται να γίνει σύζευξη της ροπής του ηλεκτροκινητήρα με την ροπή του κινητήρα εσωτερικής καύσης ούτως ώστε στο σύστημα μετάδοσης κίνηση να μεταφέρεται ροπή και από τις δύο μηχανές όπως φαίνεται στο κάτωθι σχήμα. Υπάρχουν πολλοί τρόποι ώστε να ρυθμιστεί η χρήση του βενζινοκινητήρα και του ηλεκτροκινητήρα. Η πιο συνηθισμένη στρατηγική είναι η αποκλειστική χρήση του ηλεκτρικού κινητήρα στις χαμηλές ταχύτητες, καθώς είναι πιο αποδοτικός από το θερμικό κινητήρα, και στις μεγαλύτερες ταχύτητες η αποκλειστική χρήση της μηχανής εσωτερικής καύσης [Emadi et al, 2009]. Όταν λειτουργεί μόνο η μηχανή

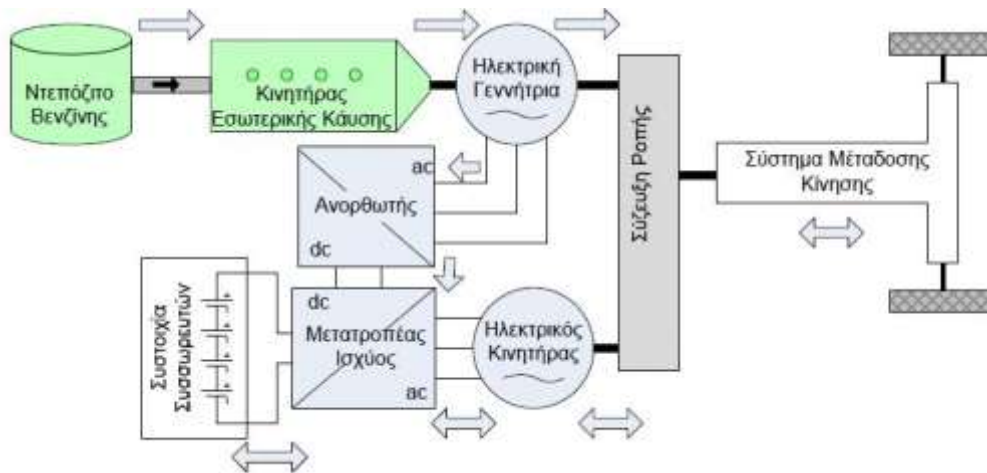
εσωτερικής καύσης, ο ηλεκτρικό κινητήρας μπορεί να λειτουργήσει ως γεννήτρια για να φορτίσει τις μπαταρίες του οχήματος. Τα παράλληλα υβριδικά οχήματα μπορούν επίσης να ενσωματώνουν κιβώτιο ταχυτήτων συνεχώς μεταβαλλόμενων σχέσεων (**Continuously Variable Transmission - CVT**), αντί του κλασσικό κιβώτιο ταχυτήτων ορισμένου βήματος. Με αυτή την τεχνική γίνεται επιλογή των πλέον αποδοτικών σημείων λειτουργίας για δεδομένη ροπή του θερμικού κινητήρα συνεχώς και με πλήρη ελευθερία [Wyczałek, 2000; Sciarretta 2004]. Η χρήση κιβωτίου τύπου CVT πετυχαίνει κατά αυτόν τον τρόπο χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου λόγω της εγγενώς αποδοτικότερης λειτουργίας. Ενέργεια μπορεί επίσης να ανακτηθεί μέσω της **αναγεννητικής πέδησης (regenerative braking)**. Το πλεονέκτημα της παράλληλης διαμόρφωσης συγκριτικά με την εν σειρά είναι ότι αποτελείται από λιγότερα στάδια μετατροπής της ενέργειας και έτσι χάνεται μικρότερο ποσοστό ενέργειας κατά την ανάκτησης της μέσω της πέδησης.



Διάγραμμα 4.7.3.β. Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας Παράλληλου Υβριδικού Ηλεκτρικού Οχήματος (PHEV).

Στο **σειριακό/παράλληλο υβριδικό ηλεκτρικό όχημα (S/PHEV)** το σύστημα με τον κινητήρα εσωτερικής καύσης ενώνεται τόσο σειριακά όσο και παράλληλα με το ηλεκτρικό σύστημα. Υπάρχει μια επιπλέον μηχανική σύνδεση μεταξύ της γεννήτριας και του ηλεκτροκινητήρα σε σχέση με την σειριακή διαμόρφωση και μια επιπλέον γεννήτρια σε σχέση με το παράλληλο υβριδικό όχημα. Με αυτή την εσωτερική δομή είναι δυνατό να συνδυαστούν τα πλεονεκτήματα τόσο του σειριακού όσο και του παράλληλου υβριδικού οχήματος. Σημειώνεται ωστόσο, ότι το σειριακό/παράλληλο υβριδικό όχημα είναι πιο περίπλοκο και πιο ακριβό σε σχέση με το παράλληλο και το σειριακό. Υπάρχουν πολλοί πιθανοί συνδυασμοί του θερμικού κινητήρα και του ηλεκτροκινητήρα. Οι κυριότεροι είναι δύο, εκ των οποίων ο ένας έχει κυρίως ηλεκτρικό χαρακτήρα (electric-intensive) ενώ ο δεύτερος κάνει πιο εκτεταμένη χρήση της ΜΕΚ (engine intensive). Ένα κοινό

χαρακτηριστικό λειτουργίας και για τους δύο προαναφερθέντες συνδυασμούς, είναι ότι κατά την εκκίνηση του οχήματος χρησιμοποιείται μόνο ο ηλεκτροκινητήρας με την ΜΕΚ να παραμένει ανενεργή [Emadi et al,2003; Lin, 2003].



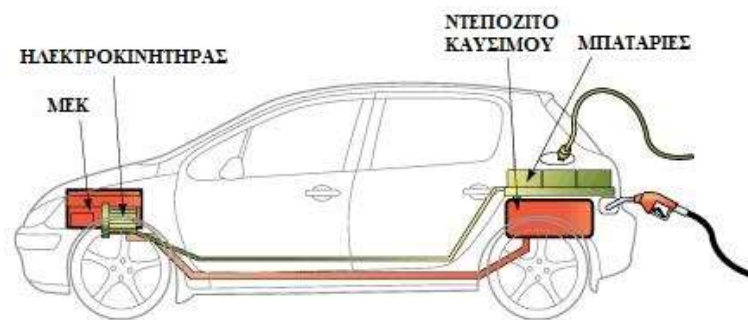
**Διάγραμμα 4.7.3.γ. Σχηματικό Διάγραμμα λειτουργίας Παράλληλου Υβριδικού Ηλεκτρικού Οχήματος (PHEV).**

Τα υβριδικά οχήματα δεν έχουν τη δυνατότητα φόρτισης των συσσωρευτών τους από εξωτερική πηγή, διότι η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από τα ίδια τα οχήματα. Για αυτό το λόγο, η διείσδυσή τους στην αγορά αποδείχτηκε σχετικά εύκολη διότι χρησιμοποιούν τις ίδιες υποδομές προμήθειας ενέργειας (υγρών καυσίμων) που χρησιμοποιούνται από τα συμβατικά οχήματα και, επομένως, δεν απαιτούν επενδύσεις σε νέες υποδομές υποστήριξης. Επίσης, προσφέρουν στο χρήστη σημαντική οικονομία καυσίμου, την ίδια ή και μεγαλύτερη αυτονομία σε σύγκριση με τα συμβατικά οχήματα και πολύ πλούσιο εξοπλισμό συνδυασμένο με αυτόματη λειτουργία και πολύ άνετη οδήγηση. Το σχετικά υψηλό κόστος κτήσης τους εξισορροπείται κατά ένα μέρος από τα σχετικά φορολογικά κίνητρα που εφαρμόζονται. Τα υβριδικά αυτοκίνητα έχουν πλέον αποκτήσει ένα μικρό μερίδιο στην αγορά το οποίο αυξάνεται συνεχώς ενώ περισσότερα εργοστάσια κατασκευής διαθέτουν ένα αυξανόμενο αριθμό μοντέλων που προσφέρουν διάφορες μορφές και τεχνολογικές λύσεις.



#### 4.7.4. Επαναφορτιζόμενα Υβριδικά Οχήματα με Ηλεκτρική Ενέργεια από Εξωτερική Πηγή (Plug-in Hybrid Electric Vehicles - PHEV)

Τα PHEV (Διάγραμμα 4.7.2.) αποτελούν εξέλιξη της υβριδικής τεχνολογίας στα οποία ένα μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται για την κίνησή τους παρέχεται από το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας για τη φόρτιση των συσσωρευτών τους. Με τη χρήση αυτών των οχημάτων δημιουργείται ένα πολύ σημαντικό βήμα προς την κατεύθυνση της ηλεκτροκίνησης και επιτυγχάνεται η διεύρυνση του φάσματος των ενεργειακών πηγών που χρησιμοποιούνται για τις οδικές μεταφορές.



Διάγραμμα 4.7.2. Εσωτερική δομή υβριδικού οχήματος τύπου Plug-in [[www.onto.gov.on.ca](http://www.onto.gov.on.ca)]

Αυτού του τύπου τα οχήματα, συνδυάζουν χαρακτηριστικά των κλασικών υβριδικών οχημάτων – όπως το γεγονός ότι διαθέτουν μηχανή εσωτερικής καύσης και ηλεκτρικό κινητήρα – με χαρακτηριστικά των αμιγώς ηλεκτρικών οχημάτων (**Electric Vehicles – EVs**), καθώς διαθέτουν και πρίζα για την σύνδεσή τους με το τοπικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Τα υβριδικά οχήματα τύπου plug-in λόγω της προαναφερθείσας δομής τους, καλύπτουν μεγαλύτερες αποστάσεις με την χρήση μόνο του ηλεκτροκινητήρα τους σε σχέση με τα απλά υβριδικά οχήματα, δηλαδή έχουν μεγαλύτερη αυτονομία ηλεκτροκίνησης (All Electric Range – AER). Πρόσθετα πλεονεκτήματα είναι η άνεση της κατ'οίκον φόρτισης και η χαμηλότερη συχνότητα προμήθειας καυσίμων από τα πρατήρια. Επιπλέον μπορούν να αποτελέσουν ενεργειακή εφεδρεία σε περίπτωση ανάγκης για την τροφοδότηση οικιακών φορτίων και να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες εφαρμογές τύπου οχήματος-ηλεκτρικού δικτύου (Vehicle-to-Grid ή V2G) [Simpson, 2006 ; Eberle, 2010]. Ένα ακόμη πλεονέκτημα είναι οι μηδενικές



εκπομπές ρύπων CO<sub>2</sub> διότι μπορούν να κινούνται σε σημαντικές αποστάσεις (από 20 έως 60 km) ως αμιγώς Η/Ο με συσσωρευτές.

#### **4.7.5. Ηλεκτροκίνητα Οχήματα με Συσσωρευτές και Ηλεκτροπαραγωγική Μονάδα (Extended Range Electric Vehicles – E-REV)**

Τα **E-REV** αποτελούν μία περαιτέρω εξέλιξη της τεχνολογίας και αντιπροσωπεύουν ουσιαστικά τη μετάβαση από τις υβριδικές λύσεις στην πλήρη ηλεκτροκίνηση ακόμα και για μεγάλα οχήματα τα οποία μπορούν να καλύψουν όλες τις ανάγκες για μετακινήσεις σε μεγάλες αποστάσεις. Τα **E-REV** έχουν συσσωρευτές όπως ακριβώς και τα προαναφερθέντα, και επιπλέον διαθέτουν μια μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (γεννήτρια) επί του οχήματος. Η γεννήτρια αυτή χρησιμοποιείται κατά περίπτωση είτε για να φορτιστούν οι συσσωρευτές του οχήματος όταν αυτοί εκφορτιστούν, είτε για την απευθείας τροφοδότηση των ηλεκτροκινητήρων όταν αυτό απαιτείται. Τα οχήματα ανεφοδιάζονται με ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο όπως ακριβώς και τα BEV's, αλλά παράλληλα χρειάζεται να ανεφοδιάζονται και με το είδος καυσίμου με το οποίο λειτουργεί η μονάδα επέκτασης της αυτονομίας τους (είτε αυτό είναι βενζίνη, πετρέλαιο ή φυσικό αέριο).

Η διαφορά τους από τα επαναφορτιζόμενα υβριδικά οχήματα έγκειται στο ότι η μονάδα του θερμικού κινητήρα που διαθέτουν δεν συνδέεται με τους κινητήριους τροχούς του οχήματος και, επομένως, δεν σχετίζεται καθόλου με την πρόωσή του. Το όχημα κινείται αποκλειστικά από τον ηλεκτροκινητήρα (ή τους ηλεκτροκινητήρες) που σημαίνει ότι η κίνησή του είναι πάντοτε ηλεκτρική όπως ακριβώς συμβαίνει και με τα ηλεκτρικά οχήματα. Η θερμική μονάδα αξιοποιείται αποκλειστικά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την κίνηση μίας συνεζευγμένης ηλεκτρικής γεννήτριας. Σημειώνεται ότι η απόσταση αυτονομίας αυτών των οχημάτων είναι τουλάχιστον ίση με αυτή των συμβατικών οχημάτων.

## 4.8. Βιβλιογραφία Κεφαλαίου 4

1. Alireza Khaligh, Zhihao Li (2010). “Battery, Ultracapacitor, Fuel Cell, and Hybrid Energy Storage Systems for Electric, Hybrid Electric, Fuel Cell, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles: State of the Art”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 59, NO. 6.
2. C. C. Lin, H. Peng, J. W. Grizzle, and J. M. Kang (2003). “Power management strategy for a parallel hybrid electric truck,” IEEE Trans. Contr. Syst. Technol., vol. 11, no. 6, pp. 839–849.
3. Cardona, C.A., and Sanchez, O.J. (2007) «Fuel ethanol: Process design trends and integration opportunities», Bioresource Technology, 98(12), p.2415-2457.
4. Chan CC. «An Overview of Electric Vehicle Technology». (1993).Proc of IEEE, 81(9)1202-13.
5. Chau K.T. and Y. S. Wong. (2002). “Overview of power management in hybrid electric vehicles”. Energy Conversion and Management, Volume 43, Issue 15, Pages 1953-1968
6. Chau K.T., Y. S. Wong. (2002). «Overview of power management in hybrid electric vehicles». Energy Conversion and Management, Volume 43, Issue 15, October 2002, Pages 1953-1968
7. Eberle, Ulrich von Helmholt, Rittmar (2010). "Sustainable transportation based on electric vehicle concepts: a brief overview". Royal Society of Chemistry.
8. Emadi A., M. Ehsani, and J. M. Miller, Vehicular Electric Power Systems: Land, Sea, Air, and Space Vehicles (2003). New York: Marcel Dekker.
9. Emadi, Kauskik Rajashekara, Sheldon Williamson and Srdjan Lukic, (2005).“Topological Overview of Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicular Power System Architectures and Configurations” IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 54, No. 3, May 2005
10. Emadi, Yimin Gao, Mehrdad Ehsani ‘ ‘ Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design, Second Edition, 2009, CRC Press
11. Emadi, A., B. Fahimi, M. Ehsani, and J. M. Miller, “On the suitability of low-voltage (42 V) electrical power systems for traction applications in parallel hybrid electric vehicles,” in Soc. Automotive Eng. (SAE) J., Apr.2000. Paper 2000–01-1558.
12. European Biomass Industry Association. (2012) : <http://www.eubia.org>
13. European Environment Agency –EEA. (2008). «Energy and Environmental Report 2008».
14. GONÇALVES, M.; JIMÉNEZ-GUERRERO, P.; BALDASANO, J. M.(2009) Emissions variation in urban areas resulting from the introduction of natural gas vehicles: Application to Barcelona and Madrid Greater Areas (Spain). Science of the Total Environment.
15. Gray, K.A., Zhao, L., and Emptage, M. (2006). «Bioethanol», Current Opinion in Chemical Biology, 10 (2), p.141-146.
16. <http://en.wikipedia.org/wiki/Methanol>
17. <http://en.wikipedia.org/wiki/Starch>
18. <http://en.wikipedia.org/wiki/Sugar>
19. <http://www.autointell.com/News-2001/August-2001/August-2001-4/August-22-01-p8.htm>
20. [http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/cleanenergy/phase\\_2/cleanenergy.html](http://www.bmw.com/com/en/insights/technology/cleanenergy/phase_2/cleanenergy.html)
21. Jeffrey M. Christian, □ World Guide to Battery-Powered Road Transportation □, Newsletter Publishing Center, McGraw-Hill Publications Company, 1221 Avenue of the Americas, New York, N.Y. 10020, ISBN 07-606628-2
22. K. T. Chau and C.C. Chan (2007). “Emerging Energy-Efficient Technologies for Hybrid Electric Vehicles” Proceedings of the IEEE.

23. Knothe, Gerhard., Van Gerpen, Jon Harlan., Krahl, Jurgen, (2005) «The Biodiesel handbook», AOCS Press.
24. Maiorella, B. L., Blanch, H. W. and Wilke, C. R. (1984), Economic evaluation of alternative ethanol fermentation processes. *Biotechnol. Bioeng.*, 26: 1003–1025. doi: 10.1002/bit.260260902.
25. National Renewable Energy Laboratory -NREL. (1991) «Comparison of CNG and LNG technologies for Transportation Applications».
26. Official Journal of the European Union. (2003). «DIRECTIVE 2003/30/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 8 May 2003 on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport».
27. Omonowo D. Momoh, Michael O. Omoigui. (2009). «An overview of Hybrid Electric Vehicle technology». *Vehicle Power and Propulsion Conference. VPPC '09. IEEE 1286 – 1292.*
28. Ontario Ministry of Transportation, Electric Vehicles – A plan for a greener Ontario. [mto.gov.on.ca](http://mto.gov.on.ca)
29. Perkins L., Peterson C. (1991), « Durability testing of transesterification winter rape oil (Brassica napus L.) as fuel in small bore, multi-cylinder, DI, CI engines.» *SAE Paper 911,764.*
30. Sciarretta A., M. Back, and L. Guzzella, “Optimal control of parallel hybrid electric vehicles,” *IEEE Trans. Contr. Syst. Technol.*, vol. 12, no.3, pp. 352–363, May 2004
31. Shay E. (1993), «Diesel fuel from vegetable oils: status and opportunities. » *Biomass Bioenergy*, 4:227–42.
32. Simpson. (2006). «A Cost-Benefit Analysis of Plug-in Hybrid Electric Vehicle». *Technology National Renewable Energy Laboratory conference report CP-540-40485*
33. Wang, S. Huang. (1999). «A Full Fuel-Cycle Analysis of Energy and Emissions Impacts of Transportation Fuels Produced from Natural Gas», *Center for Transportation Research, Argonne National Laboratory.*
34. Wikipedia <http://en.wikipedia.org/wiki/Bioethanol#Bioalcohols>
35. Wouk, V. (2005) “Hybrids: Then and now,” *IEEE Spectrum*, vol. 32, no. 7, pp.16–21.
36. [www.biomassenergy.gr](http://www.biomassenergy.gr)
37. Wyczalek, F.A. “Hybrid electric vehicles—Year 2000,” (2000). in *Proc. 35thIEEE Intersoc. Energy Conversion Eng. Conf.*, vol. 1, Las Vegas, NV, July 2000, pp. 349–355
38. Wyman, and Charles. (1996). *Handbook on bioethanol: Production and utilization*, Washington, DC : Taylor & Francis.
39. Αντωνικόπουλο, Μ. (2010). «Ανάλυση Υβριδικού Συστήματος Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας που συνδυάζει ΑΠΕ και Τεχνολογίες Υδρογόνου», *Διπλωματική εργασία, ΕΜΠ.*
40. Βαμβούκα Δ., (2009). «Βιομάζα, βιοενέργεια και περιβάλλον».
41. Βουλουβούτης Α., Κουρίδης Χ., Κουφοδήμος Γ., Μπεζεργιάννη Σ., Φονταράς Γ. (2008). «Καύσιμα Μεταφορών & Αειφόρος Ανάπτυξη», *Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας.*
42. Δαβόρας, Β. *Βιοκαύσιμα - Βιοαιθανόλη. Α.Π.Θ. [S.1.]. 2009.*
43. Δρίτσας Α., Κόγιου Π.. (2008). «Η χρήση των βιοκαυσίμων (βιοαιθανόλη και βιοντίζελ) στον τομέα των μεταφορών», *Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών.*
44. E.E COM (2001) 547, Ανακοίνωση της Επιτροπής προς το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο.
45. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (2006). «Ετήσια Έκθεση 2006».
46. Όμιλος Εταιρειών ΠΕΤΡΟΓΚΑΖ <http://www.petrogaz.gr>, Ιούνιος 2013

47. Ραφαηλίδης, Α., (2005) « Παραγωγή βιοντίζελ: πρώτες ύλες, μεθοδολογία, προϊόντα», Περιφερειακό Τμήμα Κεντρικής και Δυτικής Μακεδονίας Μακεδονίας Πανελληνίου Συλλόγου Χημικών Μηχανικών, Ημερίδα: «Βιοκαύσιμα –το βιοντίζελ στην Ελληνική αγορά», Θεσσαλονίκη.
48. Ρωμανός, Νικόλαος, Ηλεκτροκίνητα μέσα μεταφοράς στην Ελλάδα – Υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές, ΤΕΕ, Αθήνα, 12-13 Ιαν., 2006
49. Τεχνολογική Πλατφόρμα Βιοκαυσίμων Περιφερειακού Πόλου Καινοτομίας Θεσσαλίας . (2008). «Στρατηγικό Σχέδιο Έρευνας & Στρατηγικό Σχέδιο Εφαρμογής Τεχνολογίας».
50. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, Γενική Διεύθυνση Ενέργειας, Διεύθυνση Πετρελαϊκής Πολιτικής. (2010). «6η Εθνική Έκθεση (έτους 2009) σχετικά με την προώθηση της χρήσης των βιοκαυσίμων ή άλλων ανανεώσιμων καυσίμων για μεταφορές στην Ελλάδα την περίοδο 2005-2010».
51. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής: [www.ypeka.gr](http://www.ypeka.gr)