

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ: «ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ
ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ
ΚΥΨΕΛΙΔΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ»**

ΚΕΣΙΣΟΓΛΟΥ Α. ΗΛΙΑΣ

A.M.: 2000.05.0013

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΤΣΟΥΤΣΟΣ ΘΕΟΧΑΡΗΣ

(επιβλέπων)

ΛΑΖΑΡΙΔΗΣ ΜΙΧΑΗΛ

ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ ΑΦΡΟΔΙΤΗ

ΧΑΝΙΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2005

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	iv
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	v
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ	vii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ.....	16
2.1. Διεθνής εμπειρία για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την παραγωγή και χρήση «ανανεώσιμου» υδρογόνου	17
2.2. Εισαγωγή καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα στον τομέα των μεταφορών	23
2.2.1. Υδρογόνο	31
2.2.2. Βιοκαύσιμα	32
2.3. Εναλλακτικά καύσιμα	35
2.3.1. Παραγωγή ντίζελ και βενζίνης από άνθρακα, φυσικό αέριο, ή βιομάζα με τη μέθοδο Fischer-Tropsch	36
2.3.2. Βιοαιθανόλη	36
2.3.3. Υδρογόνο	37
2.3.4. Μεθανόλη και Διμεθυλαιθέρας (DME).....	39
2.4. Συνδυασμός αυτόνομων ενεργειακών συστημάτων με υδρογόνο (H-SAPS)	41
2.5. Συνδυασμός κυψελίδας καυσίμου- φωτοβολταϊκού	43
2.6. Εξεργειακή ανάλυση κυψελίδας PEM σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας.....	46
2.7. Παραγωγή υδρογόνου μέσω διαδικασίας μετασχηματισμού του ατμού της βιοαιθανόλης με τη χρήση καταλυτών Cu/Ni/K/γ-Al ₂ O ₃ . Επιπτώσεις του Ni	51
2.8. Παραγωγή υδρογόνου για κυψελίδες καυσίμου μέσω καταλυτικής οξείδωσης της αιθανόλης με τη χρήση καταλυτών Ru	55
2.9. Κυψελίδες καυσίμου με τροφοδοσία αιθανόλης: Η περίπτωση της χρησιμοποίησης ανόδου από πλατίνα.....	56
2.10. Θερμοδυναμική ανάλυση της παραγωγής υδρογόνου από αιθανόλη, με χρήση CaO ως ροφητικό μέσο του CO ₂	57
2.11. Στόχοι της Διπλωματικής	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ	60
3.1. Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων	60
3.1.1. Μεθοδολογία.....	60
3.2. Προσέγγιση υποδείγματος με χρησιμοποίηση του SuperPro Designer	63
3.2.1. Υπόδειγμα	63
3.2.2. SuperPro Designer.....	65

3.2.3. Περιγραφή του συστήματος που εισάγεται στο SuperPro Designer	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	72
4.1. Αποτελέσματα Εκτίμησης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων	72
4.2. Αποτελέσματα υποδείγματος	81
4.3. Αποτελέσματα SuperPro Designer και διεξαγωγή ανάλυσης ευαισθησίας	82
4.4. Σύγκριση των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν από το υπόδειγμα και την εκτέλεση του λογισμικού SuperPro Designer .	86
4.5. Σχολιασμός αποτελεσμάτων	90
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	93
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	96
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	101
SuperPro Designer Reports	108

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο παρόν σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα της Διπλωματικής αυτής Εργασίας, κ. **Θεοχάρη Τσούτσο**, που στάθηκε πραγματικά δίπλα μου όλους αυτούς τους μήνες και με την έγκαιρη επιστημονική βοήθεια, πολύτιμη ακαδημαϊκή εμπειρία του και ανθρωπίνη ηθική συμπαράσταση που μου παρείχε, συνέβαλλε όχι μόνο στην εκπόνηση αυτής της Διπλωματικής Εργασίας, αλλά παράλληλα μου παρείχε εφόδια και για τη μετέπειτα σταδιοδρομία μου. Επίσης, νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω την κ. **Καλλιόπη Μπαλτά**, με τη σημαντικότερη επιστημονική βοήθεια και υποστήριξη της οποίας, ξεπεράστηκαν εμπόδια που μέχρι κάποια στιγμή φάνταζαν αξεπέραστα. Κλείνοντας, θεωρώ υποχρέωση μου να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη της Τριμελούς Επιτροπής, τους Καθηγητές κ. **Λαζαρίδη Μιχαήλ**, κ. **Παπαδοπούλου Αφροδίτη** και τέλος τον κ. **Γεντεκάκη Ιωάννη**.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η Διπλωματική αυτή Εργασία έχει ως θέμα της, την ανάλυση περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν από την αξιοποίηση κυψελίδων καυσίμου. Η εκπόνηση της Διπλωματικής αυτής Εργασίας ξεκίνησε περίπου στα τέλη Ιανουαρίου και ολοκληρώθηκε τέλη Ιουνίου.

Για τη διεξαγωγή της μελέτης αυτής, απαιτήθηκε αρχικά ο ορισμός των παραμέτρων που ρυθμίζουν το υπό μελέτη σύστημα. Μία από αυτές ήταν ο ορισμός της αιθανόλης ως καύσιμο-τροφοδοσία για την κυψελίδα καυσίμου. Η κυψελίδα καυσίμου που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη, ήταν τύπου PEMFC (κυψελίδα πρωτονιακής μεμβράνης ανταλλαγής). Επίσης σημαντικό είναι, να διαφανεί ότι η διερεύνηση που διεξάγεται με τη βοήθεια του λογισμικού SuperPro Designer, όπως και η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων αναφέρεται σε κινητές εφαρμογές κυψελίδων. Απαραίτητος για τον ορισμό του συστήματος μελέτης, θεωρήθηκε ο ορισμός του σημείου που γίνεται η αναμόρφωση της αιθανόλης σε υδρογόνο. Επιλέχθηκε λοιπόν αναμόρφωση της αιθανόλης πάνω στο όχημα, και όχι εκτός οχήματος, σε σημεία τροφοδοσίας, γεγονός που θα δημιουργούσε προβλήματα ασφάλειας, αναφορικά με την αποθήκευση και διατήρηση του παραγόμενου υδρογόνου σε φιάλες. Μετά τον καθορισμό των παραμέτρων αυτών, ξεκίνησε η αναζήτηση πηγών ώστε να γίνει τόσο μία ρεαλιστική απεικόνιση της παρούσας κατάστασης στο διεθνές γίγνεσθαι, όσο και πιο αξιόπιστη παρουσίαση των αποτελεσμάτων της διερεύνησης για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του συστήματος. Το κύριο εργαλείο αναζήτησης και ταυτόχρονα πηγή πληροφοριών, ήταν το Διαδίκτυο.

Η έρευνα η οποία έγινε, απέδειξε ότι δεν υπάρχει η απαιτούμενη ποσότητα πληροφορίας με αντικείμενο τις επιπτώσεις από

χρησιμοποίηση κυψελίδων λαμβάνοντας υπόψη και τις υπόλοιπες παραμέτρους που τέθηκαν παραπάνω.

Επίσης, σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι κατά τη διάρκεια της έρευνας αυτής, υπήρξε επικοινωνία με επιστήμονες που δραστηριοποιούνται στο χώρο της έρευνας στον τομέα των κυψελίδων καυσίμου (Y. Dupont, Π. Τσιακάρας, A. Patyk), καθώς και με εταιρείες που κατασκευάζουν κυψελίδες καυσίμου (Axane, Ballard). Απώτερος σκοπός, η απόκτηση και διασταύρωση πληροφοριών σχετικά με τις κυψελίδες καυσίμου και με την προσομοίωση της λειτουργίας τους.

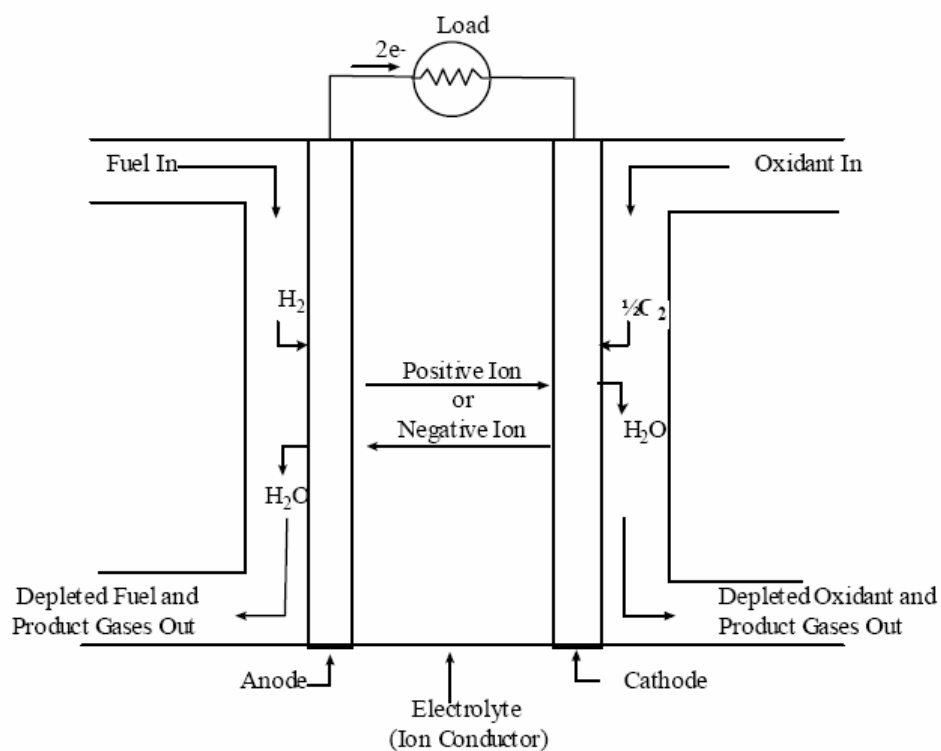
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
bbI	Βαρέλια
BEV	Όχημα κινούμενο με μπαταρία
BTU	Μονάδα μέτρησης ενεργειακού περιεχομένου
CNG	Συμπιεσμένο φυσικό αέριο
DEFC	Κυψελίδα καυσίμου με καύσιμο αιθανόλη και άμεση τροφοδοσία
DME	Διμεθυλαιθέρας
EIA	Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων
E10/E85	Μείγμα αιθανόλης με περιεκτικότητα 10% και 85%
FCV	Όχημα κινούμενο με κυψελίδα καυσίμου
GJ	Gigajoule
HEV	Υβριδικό ηλεκτρικό αυτοκίνητο
H-SAPS	Αυτόνομα ενεργειακά συστήματα με τροφοδοσία υδρογόνου
ICE	Κινητήρας εσωτερικής καύσης
kW	kilowatt
LCA	Ανάλυση κύκλου ζωής
LNG	Υγροποιημένο φυσικό αέριο
LPG	Υγροποιημένο petroleum gas (προπάνιο)
M85/M100	Μείγμα μεθανόλης με περιεκτικότητα 85% και 100%
PM	Αιωρούμενα σωματίδια
PV	Φωτοβολταϊκό
R&D	Έρευνα και ανάπτυξη

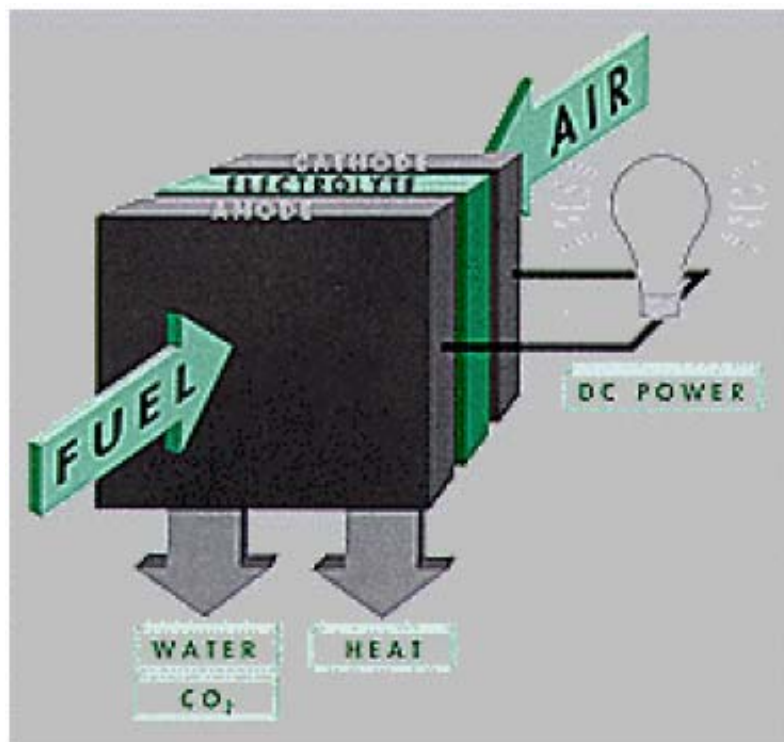
SAPS	Αυτόνομα ενεργειακά συστήματα
SPL	Επίπεδα πίεσης θορύβου
κβ%	Περιεκτικότητα % κατά βάρος
°C	Βαθμοί Κελσίου
\$	Δολάρια

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κυψελίδα καυσίμου είναι ηλεκτροχημική διάταξη, η οποία μετατρέπει τη χημική ενέργεια που περιέχεται σε ένα καύσιμο, απευθείας σε ηλεκτρική, χωρίς να είναι απαραίτητη η περαιτέρω μετατροπή της (χημικής ενέργειας), σε μηχανική ή θερμική ενέργεια. Όλοι οι τύποι κυψελίδων, αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια (την άνοδο και την κάθοδο), και έναν ηλεκτρολύτη. Οι κυψελίδες λειτουργούν περίπου σαν μπαταρίες, με τη διαφορά ότι τα αντιδρώντα, όπως και τα προϊόντα δεν αποθηκεύονται, αλλά τροφοδοτούνται συνεχώς προς αυτές, και επίσης εξέρχονται συνεχώς από αυτές. Το Διάγραμμα 1 απεικονίζει μια κυψελίδα και τη λειτουργία της (EG&G Technical Services et al., 2002).



Διάγραμμα 1: Μία τυπική κυψελίδα καυσίμου σε μία φάση λειτουργίας της (EG&G Technical Services et al., 2002)



Εικόνα 1: Μία κυψελίδα καυσίμου στη φάση της λειτουργίας της (EG&G Technical Services et al., 2002)

Μια τέτοια διάταξη λοιπόν, θεωρητικά τουλάχιστον, έχει τη δυνατότητα παραγωγής ενέργειας, για όσο της παρέχονται καύσιμο και οξειδωτικό. Στην πραγματικότητα όμως, υπεισέρχονται φαινόμενα όπως η υποβάθμιση, η διάβρωση και διάφορες άλλες δυσλειτουργίες, που μειώνουν την διάρκεια ζωής των κυψελίδων. Στην Εικόνα 1, απεικονίζεται πολύ ρεαλιστικά, μία κυψελίδα στη φάση της λειτουργίας της. Πρέπει να αναφερθεί, ότι η τοπολογία των εισροών και εκροών μπορεί να διαφέρει. Επίσης, πρέπει να τονιστεί ότι το ιόν μπορεί να είναι είτε αρνητικό, είτε θετικό. Το καύσιμο, καθώς και το οξειδωτικό, ρέουν δια μέσου της επιφάνειας της ανόδου ή της καθόδου, διαπερνούν τον ηλεκτρολύτη και παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, μέσω της ηλεκτροχημικής οξείδωσης του καυσίμου, το οποίο είναι συνήθως το αέριο υδρογόνο και της ηλεκτροχημικής μείωσης (υποβάθμισης) του οξειδωτικού το οποίο στις πλείστες των περιπτώσεων είναι το οξυγόνο (η επιλογή του οποίου προκύπτει εξαιτίας της διαθεσιμότητας και της εύκολης αποθήκευσης του σε κλειστό περιβάλλον). Οι λόγοι για τους οποίους επιλέγεται το υδρογόνο, εντοπίζονται κυρίως στο ότι το υδρογόνο σαν στοιχείο είναι πολύ δραστήριο ηλεκτροχημικά, και ως συνέπεια μπορεί να δώσει επαρκή επίπεδα πυκνότητας ρεύματος σε ένα σύστημα H_2 /αέρα, καθώς και μηδενικά επίπεδα εκπομπής ρύπων και τοξικότητας (EG&G Technical Services et al., 2002). Επίσης, το γεγονός ότι μπορεί να γίνει ανάκτησή του από πολλές πηγές, το ότι μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρισμό με υψηλές αποδόσεις, και τέλος, το ότι με την παραγωγή του μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (π.χ. αιολικά ή φωτοβολταϊκά συστήματα) παραλαμβάνεται ένα καύσιμο ευέλικτο, πλούσιο σε ενέργεια και για πολλούς ερευνητές ελάχιστα επιβαρυντικό για το περιβάλλον, το κάνει έναν «πρωταγωνιστή», όσον αφορά τις εξελίξεις στον τομέα αυτό της τεχνολογίας.

Οι πιθανοί καταλύτες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα κυψελίδων καυσίμου είναι τα εξής στοιχεία: Ni, NiO₂, Ag, οξείδια μετάλλων, καθώς και ευγενή μέταλλα, όπως η Pt. Επιπροσθέτως, ως ηλεκτρολύτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι εξής ουσίες: ιοντο-εναλλακτικές μεμβράνες πολυμερών, φωσφορικό οξύ, συνδυασμός αλκαλικών καρβονιδίων και τέλος οξείδια μετάλλων.

Η τεχνολογία των κυψελίδων έχει προχωρήσει αρκετά, πράγμα που επιδρά θετικά στην όλη εξέλιξη των πραγμάτων. Σήμερα, υπάρχουν 5 είδη κυψελίδων καυσίμου. Διαφέρουν μεταξύ τους στις συνθήκες λειτουργίας, στα υλικά από τα οποία αποτελούνται, και γενικότερα, προορίζονται για διαφορετικές εφαρμογές η καθεμιά. Οι τύποι αυτοί είναι:

- ***Phosphoric Acid Fuel Cell (PAFC)***: Το φωσφορικό οξύ, σε συγκέντρωση 100% λειτουργεί σαν ηλεκτρολύτης στην κυψελίδα, η οποία λειτουργεί στο θερμοκρασιακό φάσμα 150-220° C. Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, το φωσφορικό οξύ δεν είναι καλός αγωγός ιόντων, και ο «δηλητηριασμός» του ηλεκτροκαταλύτη Pt στην άνοδο, από το CO, γίνεται ακόμη πιο έντονος. Η σχετική σταθερότητα του συμπυκνωμένου φωσφορικού οξέος είναι υψηλή, εν συγκρίσει με άλλα κοινά οξέα: συνεπώς, αυτός ο τύπος κυψελίδας είναι ικανός να λειτουργεί στο υψηλότερο θερμοκρασιακό όριο του οξέος, όταν το φάσμα είναι 100-220°C. Επιπροσθέτως, η χρήση 100% συμπυκνωμένου οξέος, ελαχιστοποιεί την τάση των ατμών του νερού, οπότε η διαχείριση του νερού σε αυτήν την περίπτωση δεν είναι δύσκολη υπόθεση.
- ***Polymer Electrolyte Fuel Cell (PEFC)***: Σε αυτόν τον τύπο κυψελίδας ηλεκτρολύτης, είναι μία ιοντο-εναλλακτική μεμβράνη πολυμερών, που αποτελεί άριστο αγωγό

πρωτονίων. Το μόνο υγρό σε αυτόν τον τύπο κυψελίδας, είναι το νερό. Παρ' όλα αυτά, τα προβλήματα διάβρωσης είναι ελάχιστα. Η ορθή διαχείριση του νερού στη μεμβράνη είναι σημαντική για την αποτελεσματική λειτουργία, κι αυτό γιατί η κυψελίδα πρέπει να λειτουργήσει υπό συνθήκες όπου το παραγόμενο νερό, παρουσιάζει ρυθμό κατανάλωσης μικρότερο εν συγκρίσει με το ρυθμό παραγωγής του, ειδάλλως θα υπάρχουν προβλήματα ξήρανσης της μεμβράνης. Εξαιτίας του περιορισμού στη θερμοκρασία (μέγιστη περίπου 120°C), που τίθεται από το πολυμερές καθώς και των προβλημάτων στην ισορροπία του νερού, χρησιμοποιούμε καύσιμο πλούσιο σε υδρογόνο. Μεγαλύτερη ποσότητα του καταλύτη (συνήθως Pt), από αυτήν στην περίπτωση κυψελίδας PAFC, απαιτείται τόσο για την άνοδο όσο και για την κάθοδο. Επίσης πρέπει να σημειωθεί, ότι το CO «δηλητηριάζει» τον καταλύτη, συνεπώς είναι εύκολα κατανοητό ότι το καύσιμο δεν πρέπει να περιέχει CO.

- ***Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC):*** Τα PEMFCs είναι ηλεκτροχημικές συσκευές ικανές να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια λειτουργώντας σε χαμηλές θερμοκρασίες, γεγονός που δεν συμβαίνει με κανέναν άλλο τύπο κυψελίδων καυσίμου. Οι κυψελίδες τύπου PEM δεν είναι σε θέση να χειριστούν την απευθείας τροφοδοσία οργανικών καυσίμων, απαιτώντας σε τέτοια περίπτωση, περαιτέρω μετατροπή-αναμόρφωση των καυσίμων σε υδρογόνο. Το υδρογόνο υπό το πρίσμα αυτό, θεωρείται το ιδανικό καύσιμο για τα PEMFCs, από την άλλη όμως μπορεί να οξειδώνεται στον ηλεκτροκαταλύτη της ανόδου μόνο στις θερμοκρασίες λειτουργίας και αντοχής της κυψελίδας (75-100°C). Αυτός ο περιορισμός, μαζί με ένα ακόμη πλήθος προβλημάτων που σχετίζονται με την παραγωγή και την αποθήκευση του καθαρού υδρογόνου, είναι οι βασικοί παράγοντες που ώθησαν

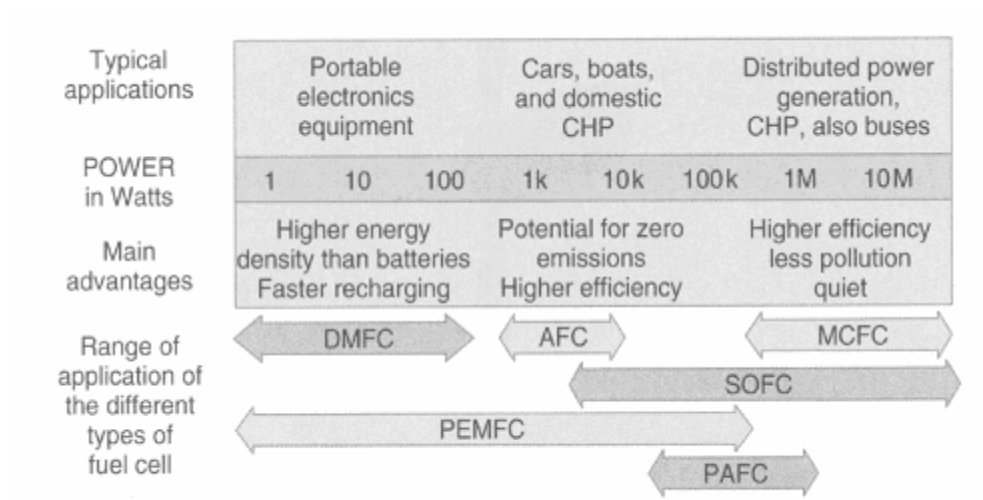
την σύγχρονη αυτοκινητοβιομηχανία στον εναλλακτικό σχεδιασμό διεργασιών παραγωγής υδρογόνου από οργανικά καύσιμα. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της πολυπλοκότητας του συστήματος ισχύος, όχι μόνο εξαιτίας της προσθήκης της συσκευής αναμόρφωσης (όπου λαμβάνει χώρα η αναμόρφωση της αιθανόλης σε CO_2 και H_2) και του αντιδραστήρα για τη shift αντίδραση (όπου λαμβάνει χώρα η αντίδραση του H_2O με το CO , παράγοντας H_2 και CO_2) αλλά επίσης και εξαιτίας της αναγκαιότητας για την προσθήκη μιας δευτερεύουσας ενεργειακής πηγής, ενός αντιδραστήρα παραγωγής θερμότητας (καυστήρα), που θα ενισχύει την ενδόθερμη αντίδραση της αναμόρφωσης. Επιπλέον, η ανεπάρκεια των καταλυτών που χρησιμοποιούνται στα PEMFC να αντέχουν στη δηλητηρίαση από το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) που υπάρχει στα προϊόντα της αναμόρφωσης, καθιστά επιτακτική την προσθήκη ενός ακόμα αντιδραστήρα που θα πραγματοποιεί την οξείδωση του μονοξειδίου του άνθρακα (συνήθως αναφέρεται ως PROX αντιδραστήρας, όπου και λαμβάνει χώρα η μετατροπή του CO σε CO_2 , μέσω της αντίδρασής του με το O_2 του αέρα που εισέρχεται στο σύστημα).

- ***Alkaline Fuel Cell (AFC):*** Ο ηλεκτρολύτης σε αυτήν την περίπτωση είναι συμπυκνωμένο KOH (85 κβ%), σε κυψελίδες που λειτουργούν σε υψηλά επίπεδα θερμοκρασίας ($\sim 250^\circ\text{C}$), ή λιγότερο συμπυκνωμένο KOH , στα επίπεδα του 35-50 κβ% για περίπτωση λειτουργίας σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 120°C . Ο ηλεκτρολύτης παραλαμβάνεται συνήθως από άσβεστο, και ένα μεγάλο φάσμα ηλεκτροκαταλυτών μπορεί να χρησιμοποιηθεί (Ni , Ag , οξείδια μετάλλων, καθώς και ευγενή μέταλλα). Η παροχή καυσίμου περιορίζεται, εξαιρώντας το υδρογόνο, σε μη δραστικά συστατικά. Το CO και σε αυτήν την περίπτωση επιδρά αρνητικά στον εξοπλισμό, ενώ πιθανή

συνύπαρξη CO_2 και KOH , δίνει K_2CO_3 , μεταβάλλοντας έτσι τον ηλεκτρολύτη. Ακόμη και η ύπαρξη μικρής ποσότητας CO_2 , μπορεί να αποβεί καθοριστική για τη λειτουργία της κυψελίδας.

- ***Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC)***: Ο ηλεκτρολύτης σε αυτήν την περίπτωση είναι ένας συνδυασμός αλκαλικών καρβονιδίων, ο οποίος παραλαμβάνεται από κεραμική μήτρα LiAlO_2 . Η κυψελίδα αυτή, λειτουργεί μεταξύ $600\text{--}700^\circ\text{C}$, οπότε και τα αλκαλικά ανθρακικής φύσεως (carbonates) σχηματίζουν ένα υψηλά αναγωγικό λιωμένο άλας, με τα ανθρακικά ιόντα να δίνουν την αγωγιμότητα που χρειάζονται τα ιόντα. Σε υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας, το Ni στην άνοδο καθώς και το NiO_2 στην κάθοδο, είναι ικανά να προωθήσουν την αντίδραση. Ευγενή μέταλλα δεν απαιτούνται.
- ***Solide Oxide Fuel Cell (SOFC)***: Ο ηλεκτρολύτης στην περίπτωση αυτή είναι σταθερό, μη πορώδες οξείδιο μέταλλου, συνήθως σταθεροποιημένο ZrO_2 . Η κυψελίδα αυτή λειτουργεί σε θερμοκρασίες $600\text{--}1000^\circ\text{C}$ οπότε και η αναγωγή των ιόντων από το οξυγόνο, λαμβάνει χώρα. Τυπικά, η άνοδος αποτελείται από Co-ZrO_2 ή Ni-ZrO_2 , και η κάθοδος από LaMnO_3 .

Στην Εικόνα 2, καθώς και στον Πίνακα 1 απεικονίζονται συνοπτικά, κάποια χαρακτηριστικά λειτουργίας του κάθε τύπου κυψελίδων, καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του.



Εικόνα 2: Τα διάφορα είδη κυψελίδων, οι εφαρμογές τους, η ισχύς τους και τα κύρια πλεονεκτήματά τους (Larminie et al., 2003)

	PEMFC	PAFC	MCFC	SOFC
Ηλεκτρολύτης	Αναγωγική μεμβράνη πρωτονίων	Φωσφορικό οξύ	Τηγμένα ανθρακικά	Σταθεροποιημένο ZrO ₂
Θερμοκρασία λειτουργίας	περίπου 80°C	περίπου 200°C	περίπου 650°C	600 - 1000°C
Πλεονεκτήματα	Λειτουργεί σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος	Ανθεκτικότητα	Μετασχηματισμός (reforming) του καυσίμου στο εσωτερικό της κυψελίδας	Μετασχηματισμός (reforming) του καυσίμου στο εσωτερικό της κυψελίδας
	Υψηλή ενεργειακή πυκνότητα	Δεν επηρεάζεται η λειτουργία της ακόμη και σε μεγαλύτερες από 1% συγκεντρώσεις CO	Ευελιξία στο κάυσιμο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί	Ευελιξία στο κάυσιμο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί
	Γρήγορο ξεκίνημα		Η θερμότητα που απορρίπτεται είναι υψηλού ενεργειακού περιεχομένου	Η θερμότητα που απορρίπτεται είναι υψηλού ενεργειακού περιεχομένου
	Σταθερός ηλεκτρολύτης		Δεν είναι απαραίτητη η χρήση ευγενών μετάλλων	Δεν είναι απαραίτητη η χρήση ευγενών μετάλλων
				Στερεός ηλεκτρολύτης
				Πολύ ανθεκτική
Μειονεκτήματα	Πολύ ευαίσθητη στο CO	Σχετικά χαμηλή αποδοτικότητα	Υψηλό κόστος για τα μείγματα μετάλλων	Αργό ξεκίνημα
	Διαχείριση του νερού	Περιορισμένη διάρκεια ζωής	Διαβρωτικός υγρός ηλεκτρολύτης	Προβλήματα sealing
	Περιορισμένη διάρκεια ζωής	Απώλειες σε ηλεκτρολύτη (φωσφορικό οξύ)	Απαιτήση σε CO ₂ από τον αέρα στην κάθοδο	Ανακύκλωση θερμότητας (thermal cycling)
	Η θερμότητα που απορρίπτεται είναι χαμηλού ενεργειακού περιεχομένου		Χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα	

Πίνακας 1: Απεικόνιση του τύπου των κυψελίδων καυσίμου με πληροφορίες για τον ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιείται, τη θερμοκρασία λειτουργίας της και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του κάθε τύπου (Larsen et al., 2004)

Στα επόμενα κεφάλαια, θα χρησιμοποιηθεί σαν αντικείμενο μελέτης και έρευνας, κυψελίδα καυσίμου PEM με καύσιμο βιοαιθανόλη. Η επιλογή αυτού του τύπου κυψελίδας, έγινε κυρίως λόγω του μεγάλου εύρους των εφαρμογών στις οποίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί, λόγω της δυνατότητας που έχει να κυμανθεί από ισχύ 1W μέχρι 100 kW, όπως διακρίνεται και στην Εικόνα 2. Επίσης, ο συγκεκριμένος τύπος κυψελίδας, παρουσιάζει το πλεονέκτημα της γρήγορης επαναφόρτισης, της δυνατότητας λειτουργίας σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος, καθώς και της πολύ υψηλής ενεργειακής πυκνότητας, έχοντας σαν συνέπεια την απρόσκοπτη λειτουργία της κατασκευής που καλύπτει με αυτό το μέσο, τις ενεργειακές της ανάγκες.

Κατά την επιλογή του ενεργειακού μέσου, απορρίφθηκε το H_2 , γιατί παρ' όλα τα περιβαλλοντικά οφέλη που προκύπτουν από την εισαγωγή του, υπάρχουν και πολλά μειονεκτήματα, όπως θα φανεί και στη συνέχεια, τα οποία συνδέονται κυρίως με το κόστος εξαγωγής του καθώς και με την αποθήκευση του, ενώ τίθενται και θέματα ασφαλείας.

Συγκεκριμένα, κατά την Rooke (2003), το H_2 είναι δύσκολο να παραμείνει αποθηκευμένο για μεγάλο χρονικό διάστημα, ενώ από την άλλη, ανασταλτικός παράγοντας θεωρείται το κόστος αποθήκευσης. Τέλος, πρέπει να τηρούνται αυστηρές προδιαγραφές ασφαλείας, για την πιθανότητα ατυχημάτων. Σοβαρό μειονέκτημα του H_2 , όσον αφορά τη διαθεσιμότητά του, θεωρείται και το γεγονός ότι πρέπει να «παραχθεί», ενώ δεν μπορεί άμεσα να «συλλεχθεί». Αν δε, προστεθεί το δεδομένο της εύκολης ανάφλεξής του (low flash point: $-273^{\circ}C$), γίνεται εύκολα κατανοητό ότι σε οποιαδήποτε θερμοκρασία στην επιφάνεια της Γης, υπάρχει σοβαρή πιθανότητα ανάφλεξής του.

Όλα τα παραπάνω, οδήγησαν τους ερευνητές προς την κατεύθυνση της παραγωγής του υδρογόνου από εναλλακτικά καύσιμα, που να λαμβάνει χώρα υπό φιλικές προς το περιβάλλον συνθήκες, και από την άλλη με συμφέροντες οικονομικούς όρους. Απαντήσεις σε αυτά τα ερωτήματα, έδωσαν το προπάνιο, η μεθανόλη και η αιθανόλη. (Rooke, 2003)

Το προπάνιο είναι μη ανανεώσιμο υλικό, ενώ το δεδομένο της χαμηλής του ανάφλεξης (low flash point: -87°C) το κάνει πιο επικίνδυνο από τη μεθανόλη και την αιθανόλη.

Η μεθανόλη από την άλλη, μπορεί εύκολα να αποθηκευτεί σε υγρή μορφή. Το σημείο ανάφλεξής της, συγκριτικά με τα το προπάνιο και το υδρογόνο, κυμαίνεται σε σχετικά υψηλά επίπεδα (low flash point: 11°C), ενώ το γεγονός ότι είναι ανανεώσιμη μορφή ενέργειας δίνει έναν παραπάνω λόγο για την επιλογή της. Το μειονέκτημά της είναι ότι για τη χρήση της, απαιτείται άμεση μετατροπή της σε υδρογόνο, πάνω στα οχήματα. (Rooke, 2003)

Για την αιθανόλη θα σχολιάζαμε τα εξής: η αιθανόλη μπορεί εύκολα να αποθηκευτεί σε υγρή μορφή, ενώ συγκριτικά με τη μεθανόλη παρουσιάζει υψηλότερο σημείο ανάφλεξης (low flash point: 13°C), συνεπώς θεωρείται πιο «ασφαλές» καύσιμο. Το 75% της αιθανόλης μπορεί να μετατραπεί σε υδρογόνο πάνω στο όχημα, ενώ κοστίζει περίπου \$0,83/γαλόνι (Rooke, 2003), η δε παραγωγή της υγρής αιθανόλης κοστίζει ελάχιστα.

Επίσης, για την αιθανόλη πρέπει να σημειωθούν τα εξής (Rooke, 2003):

- Μειώνει την εξάρτηση από το πετρέλαιο.
- Περιορίζει την αέρια ρύπανση.

- Είναι ανανεώσιμο καύσιμο.
- Στις ΗΠΑ έχουν ήδη επενδυθεί πάνω από \$3 δις σε 60 εγκαταστάσεις παραγωγής αιθανόλης.
- Στη βιομηχανία της αιθανόλης στις ΗΠΑ, απασχολούνται άμεσα και έμμεσα πάνω από 40000 άνθρωποι, ενώ αποφέρει κέρδη της τάξης των \$6 δις στην Αμερικάνικη οικονομία.
- Οι απαιτήσεις σε σιτηρά, που προορίζονταν για την παραγωγή βιοαιθανόλης, αύξησε το αγροτικό εισόδημα κατά \$12 δις ετησίως.
- Πολλοί αγρότες κατέχουν «φυτείες» αιθανόλης, γεγονός που τους επιτρέπει να αυξήσουν το κέρδος που είχαν από την παραγωγή καλαμποκιού.

Στον Πίνακα 2 παρατίθενται συγκεντρωτικά, τα χαρακτηριστικά των 4 καυσίμων, δηλαδή του υδρογόνου, της μεθανόλης, της αιθανόλης και του προπανίου. Τα στοιχεία αυτά αναφέρονται σε τομείς όπως η διαθεσιμότητα του καυσίμου, το κόστος παραγωγής του, αλλά και κάποια στοιχεία για την αποθήκευση του. Επίσης, παρατίθενται τα όρια ανάφλεξης των καυσίμων, δίνοντας έτσι κάποια στοιχεία όσον αφορά τα επίπεδα ασφαλείας, τα οποία προσεγγίζονται από το κάθε είδος καυσίμου.

Στον Πίνακα 3, εντοπίζονται κάποια στοιχεία γύρω από τις οικονομικής φύσεως ενέργειες και αποφάσεις επενδύσεων που πρέπει να ληφθούν από την πολιτική εξουσία, σε περίπτωση που απαιτηθεί μαζική εισαγωγή κάποιου, ή όλων των καυσίμων αυτών στην αγορά. Οι τομείς που εστιάζονται οι δράσεις αυτές, είναι αυτοί του κόστους του οχήματος, του κόστους παραγωγής του καυσίμου, αλλά και αυτού της μεταφοράς και διανομής του, ενώ τέλος προτείνονται και κατευθύνσεις δράσης στον τομέα της έρευνας και της ανάπτυξης (R&D).

Τομέας Επίδοσης	Υδρογόνο	Αιθανόλη	Μεθανόλη	Προπάνιο
Διαθεσιμότητα	Πρέπει να παραχθεί είτε μέσω ηλεκτρόλυσης, είτε μέσω μετατροπής της αιθανόλης	Παράγεται από σακχαρότευτλα, καλαμπόκι, καθώς και από βιομάζα	Παράγεται από φυσικό αέριο, σακχαρότευτλα, άνθρακα και από ξύλο	Παράγεται κυρίως από πετρέλαιο
Κόστος	Υψηλό	Η υγρή αιθανόλη παράγεται με σχετικά χαμηλό κόστος	Χαμηλό	Χαμηλό
Χρήση	Δεν απαιτείται περαιτέρω μετατροπή του	Το 75% της αιθανόλης μπορεί να τροποποιηθεί πάνω στο όχημα	Απαιτείται μετατροπή του πάνω στο όχημα, για άμεση χρήση του	
Αποθήκευση	Όχι για μεγάλα χρονικά διαστήματα, υψηλό κόστος αποθήκευσης	Εύκολη αποθήκευση σε υγρή μορφή	Εύκολη αποθήκευση σε υγρή μορφή	Υπό πίεση σε δοχεία
Ασφάλεια	Προβλήματα σε περίπτωση ατυχήματος - Σημείο ανάφλεξης: -273°C (πολύ χαμηλό, οπότε εύκολη ανάφλεξη)	Σημείο ανάφλεξης: 13°C (υψηλό)	Σημείο ανάφλεξης: 11°C (υψηλό)	Πολύ πιο επικίνδυνο από αιθανόλη και μεθανόλη - Σημείο ανάφλεξης: -87 °C (χαμηλό οπότε εύκολη ανάφλεξη)
Άλλα στοιχεία	Ανανεώσιμος πόρος	Ανανεώσιμος πόρος - Ήδη εργάζονται 40.000 άνθρωποι άμεσα και έμμεσα	Ανανεώσιμος πόρος	Μη ανανεώσιμος πόρος

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά των 4 καυσίμων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με την τεχνολογία των κυψελίδων καυσίμου (Rooke, 2003)

Εμπόδιο	Μεθανόλη (M85/M100)	Αιθανόλη (E10/E85)	Προπάνιο
Κόστος καυσίμου	Χωρίς επιδότηση για την μετάβαση σε αυτό το καύσιμο, αυξημένη μεθανόλη από εισαγωγές. 50% φόρος επένδυσης για επένδυση σε εγχώριες πηγές (περίπου \$2 δις). Χρειάζεται προσωρινή επιδότηση 15-30 cents/γαλόνι (περίπου \$2 δις). Τελικά, αυτοσυντηρούμενη	Τιμολογείται περίπου στα 20 cents/γαλόνι περισσότερο από τις συμβατικές πηγές οκτανίου. Προτείνεται 25% φόρος επένδυσης για τη νέα χωρητικότητα σε αιθανόλη (\$2.5 δις). Μέσα σε 10 χρόνια, αύξηση του καταναλωτικού κόστους του καυσίμου κατά \$3 δις. Τελικά, στο θέμα του κόστους υπάρχει μία αβεβαιότητα, αλλά υπάρχουν πολλές προοπτικές	Πλεονέκτημα στην τιμή (30-45 cents/γαλόνι) στην είσοδο της πόλης. Η τιμή θα αυξηθεί κάπως με την αύξηση της ζήτησης, αλλά όχι αρκετά ώστε να χαθεί το πλεονέκτημα αυτό. Πιθανώς να χρειαστεί η απαλλαγή από κάποιους φόρους επένδυσης, ώστε να υπάρξει ενδιαφέρον για εκμετάλλευση των εγχώριων κοιτασμάτων
Κόστος οχήματος	Προσωρινά, \$100-\$300 για M85. Για M100, προσωρινά γύρω στα \$2.500/όχημα, ενώ υπολογίζεται απότομη μείωση και πιθανά να εκλείψει όσο προχωράμε στην κλίμακα της παραγωγής	Καμία μεταβολή για E10. Για E85 ισχύουν τα ίδια με την M85	Προς στιγμήν, \$800-\$1200/αυτοκίνητο περισσότερο. Μάλλον το μισό από αυτό της παραγωγής της ποσότητας. Χρειάζεται υποβοήθηση με επιδοτήσεις στο ξεκίνημα, στους αγοραστές οχημάτων
Κόστος μεταφοράς καυσίμου	Χρειάζονται 2 γαλόνια μεθανόλης/γαλόνι βενζίνης. Απαιτείται περίπου 5% επέκταση του συστήματος	Η διαδοχή διυλιστήριο, σωληνώσεις, τερματικός σταθμός πρέπει να τροποποιηθεί. Χρειάζονται επενδύσεις \$3 δις, με προτεινόμενο φόρο επένδυσης γύρω στα \$600 εκατ.	Επέκταση των δεξαμενών στις εγκαταστάσεις
Κόστος διανομής (λιανική τιμή)	Η τροφοδοσία των σταθμών επισκευής είναι ένα ζήτημα. Το κόστος κυμαίνεται περίπου στα \$75.000. Ενδείκνυται αρχική τροφοδοσία με μικρές ποσότητες για αρχή. Περίπου \$1 δις χρειάζονται για υποστήριξη 25.000 σταθμών επισκευής σε επηρεαζόμενες περιοχές (\$40.000 στην καθεμιά). Τελικά, αυτοσυντηρούμενη. Φορολογία σε ομοσπονδιακό πλαίσιο, σε αναλογία με το ενεργειακό περιεχόμενο της βενζίνης	Καμία μεταβολή. Η αιθανόλη επί το παρόντος υφίσταται ομοσπονδιακού τύπου φορολόγηση της τάξης των 54 cents/γαλόνι. Τίθεται ο στόχος του 5% καθώς και φόροι επένδυσης, που θα αναπληρώσουν την απαλλαγή από τους φόρους	Τα κόστη των σταθμών επισκευής περίπου ίδια με της μεθανόλης, εκτός αν οι τοπικές προδιαγραφές ασφάλειας επιδράσουν με αύξηση του κόστους. Οι περισσότερες υπάρχουσες εγκαταστάσεις πρέπει να αναβαθμιστούν ώστε να γίνουν ελκυστικές προς τους πελάτες. Προς το παρόν, φορολογείται όπως τη βενζίνη (ισοδυναμία 1,18 BTU)

Έρευνα και Ανάπτυξη (R&D)	Καταλύτες για τις εκπομπές φορμαλδεΐδης	Μείωση του κόστους παραγωγής της αιθανόλης. Περίπου \$230 εκατ.	Καταλύτες για τις εκπομπές, αποθήκευση πάνω στο όχημα
--------------------------------------	---	---	---

Πίνακας 3: Ενέργειες που πρέπει να γίνουν στις ΗΠΑ, και κατά συνέπεια και σε πολλές ανεπτυγμένες χώρες του κόσμου, ανάλογα με το καύσιμο που πρόκειται να εισαχθεί μαζικά στην αγορά, σε κατηγορίες (κόστη καυσίμου, οχήματος, μεταφοράς καυσίμου, διανομής και ενέργειες που πρόκειται να γίνουν στον τομέα της Έρευνας και της Ανάπτυξης) (Rooke, 2003)

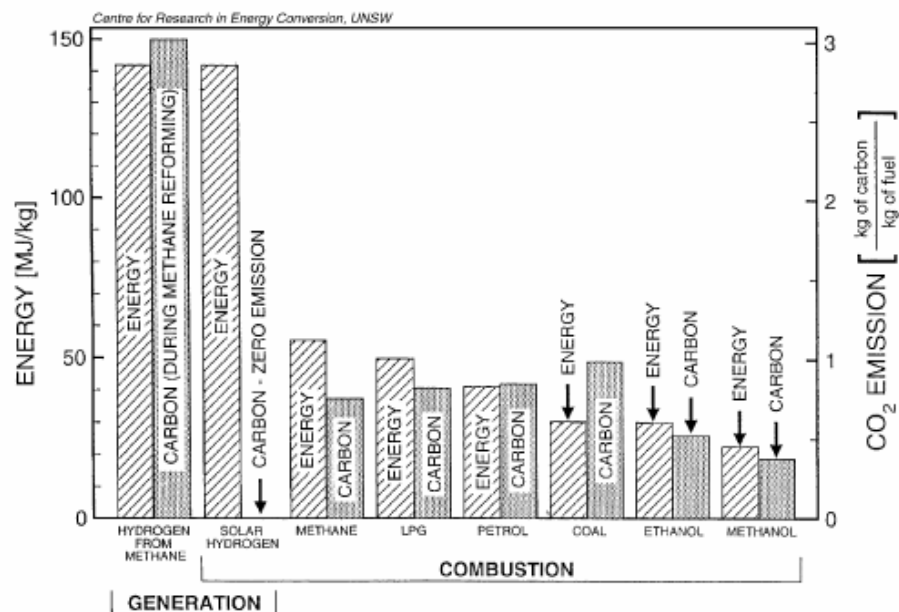
2. ΔΙΕΘΝΗΣ ΕΜΠΕΙΡΙΑ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

Αρχικά, θα γίνει μία περιγραφή της σημερινής κατάστασης στο διεθνές γίγνεσθαι. Στην παρούσα φάση τα όποια δεδομένα, προέρχονται από θεωρητικές μελέτες και λιγότερο από ήδη υπάρχοντα και λειτουργούντα συστήματα, από τα οποία τα περισσότερα χρησιμοποιούνται σε εργαστηριακό επίπεδο, και όχι ευρέως. Ακολουθεί η παράθεση κάποιων μελετών, οι οποίες αναφέρονται γενικότερα στα ενεργειακά συστήματα (ιδιαίτέρως αυτά που τροφοδοτούνται με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας- ΑΠΕ) και εξετάζουν τις δυνατότητες και προοπτικές που υπάρχουν, σχετικά με την πιο ευρεία εκμετάλλευσή τους σε συνδυασμό με τεχνολογίες, όπως οι κυψελίδες καυσίμου. Επίσης, ενσωματώνονται μελέτες οι οποίες έχουν σαν αντικείμενο τους, τη λειτουργία και την απόδοση των κυψελίδων.

2.1. Διεθνής εμπειρία για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την παραγωγή και χρήση «ανανεώσιμου» υδρογόνου

Ενδιαφέρον, παρουσιάζει μία μελέτη (Nowotny et al., 2004) η οποία διεξήχθη, με αντικείμενο την κατάδειξη του φιλικού προς το περιβάλλον χαρακτήρα του υδρογόνου, και δη του υδρογόνου παραγόμενου με συμμετοχή της ηλιακής ενέργειας. Σε αυτήν λοιπόν τη μελέτη, αφού γίνεται μία ιστορική αναδρομή, στην εποχή της Βιομηχανικής Επανάστασης και διαφαίνονται τα αποτελέσματα της αλόγιστης χρήσης των συμβατικών πηγών ενέργειας από τον άνθρωπο, με τη μορφή του φαινομένου του θερμοκηπίου και τις ολοένα αυξανόμενες εκπομπές, προτείνεται η χρήση του υδρογόνου, παραγόμενο από ΑΠΕ. Η παραγωγή και η χρήση του υδρογόνου, είναι τα δύο βασικά βήματα, τα οποία μελετήθηκαν από τους Nowotny et al. (2004) ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα, για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν από τη χρησιμοποίηση του «ανανεώσιμου» υδρογόνου. Τα στάδια από τα οποία πρέπει να διέλθει η διαδικασία αυτή είναι τα ακόλουθα (Nowotny et al., 2004):

- Το στάδιο της παραγωγής του υδρογόνου. Η προέλευση του (φυσικό αέριο, άνθρακας, πετρέλαιο ή βιομάζα) παίζει το σημαντικότερο ρόλο, όσον αφορά τις εκπομπές CO₂, που παράγονται από τη διαδικασία. Το Διάγραμμα 2, είναι διαφωτιστικό, σχετικά με τις εκπομπές που παράγονται μέσω της χρησιμοποίησης της εκάστοτε πηγής.



Διάγραμμα 2: Ποσό ενέργειας που παράγεται κατά την καύση διαφόρων καυσίμων και αντίστοιχες εκπομπές CO₂ (επίσης, απεικονίζεται και το ποσό του άνθρακα που εκπέμπεται κατά τη διαδικασία παραγωγής H₂, μέσω του μετασχηματισμού του μεθανίου) (Nowotny et al., 2004)

Αντικειμενικός στόχος λοιπόν, είναι η ελαχιστοποίηση των εκπομπών αυτών κι αυτό γιατί ειδικά, το περιβαλλοντικό όφελος που αποκομίζεται είναι σαφώς μικρότερο από το αναμενόμενο και επιθυμητό.

- Το δεύτερο στάδιο που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη είναι αυτό της καύσης του υδρογόνου. Δεν πρέπει να αγνοηθεί, ότι κατά την «καθαρή», όπως πολλοί θεωρούν, καύση του υδρογόνου με οξυγόνο, παράγονται και υποπροϊόντα, όπως NO_x, τα οποία είναι επιβλαβή, και εντείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Βέβαια, το ποσό των ρύπων που παράγεται από αυτή τη διαδικασία, είναι σημαντικά μικρότερο, από αυτό των ρύπων που παράγονται από τη λειτουργία των μηχανών εσωτερικής καύσης. Η μορφή ρύπανσης που προαναφέρθηκε, μπορεί να μειωθεί ακόμη περισσότερο, εφόσον το υδρογόνο,

μετατραπεί πρώτα σε ηλεκτρισμό με τη χρησιμοποίηση κυψελίδων καυσίμου, και στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για την κίνηση των αυτοκινήτων. Όπως επίσης φάνηκε από το Διάγραμμα 2, τα ποσά ενέργειας που παρέχονται από την καύση του υδρογόνου, είναι σαφώς μεγαλύτερα από αυτά που αποκομίζονται, από τις υπόλοιπες μεθόδους. Αυτό που προκαλεί ενδιαφέρον όμως, είναι να δούμε σε ποιες περιπτώσεις, το υδρογόνο που παράγεται είναι περιβαλλοντικά ασφαλές. Στην περίπτωση συμμετοχής ΑΠΕ στην παραγωγή του, οι εκπομπές CO₂ είναι μηδενικές, αλλά στην όλη διαδικασία, υπεισέρχονται κάποια προβλήματα που σχετίζονται με τη διαθεσιμότητα των ΑΠΕ. Επιπλέον, πρέπει να συνυπολογιστεί και το γεγονός ότι η παραγωγή υδρογόνου μέσω ηλιακής ενέργειας, γίνεται σε ένα στάδιο, ενώ χρησιμοποίηση των υπόλοιπων ΑΠΕ, συνεπάγεται και εφαρμογή δύο ή περισσότερων τεχνολογιών επεξεργασίας. Συνεπώς, το «ηλιακό» υδρογόνο, όπως αποκαλείται αυτό που παράγεται από την ηλεκτρόλυση του νερού, με την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, αποτελεί την πιο συμφέρουσα και αξιόπιστη λύση στις ανάγκες που παρουσιάζονται (Nowotny et al., 2004) κι αυτό γιατί:

1. Η ηλιακή ενέργεια βρίσκεται σε αφθονία στα μεγαλύτερα τμήματα της επιφάνειας της Γης.
2. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως φωτο-καταλύτες ή φωτο-ηλεκτρόδια, αναμένεται να κατασκευάζονται από σχετικά φτηνή πρώτη ύλη (οξείδια μετάλλων), και όχι από πυρίτιο ή από άλλους ημιαγωγούς.
3. Το γεγονός ότι η τεχνολογία αυτή μπορεί να βρει εύκολα εφαρμογή και σε εφαρμογές οικιακού τύπου, μπορεί να της δώσει την απαιτούμενη ώθηση που

χρειάζεται, για μαζική παραγωγή και ταχύτερη καθιέρωση στην αγορά.

Όσον αφορά το κόστος (Nowotny et al., 2004), λίγα μπορούν να ειπωθούν. Η πιο αισιόδοξη προοπτική, είναι αυτή που έχει σαν στόχο τη συλλογή ηλιακής ενέργειας από συλλέκτη, που θα βρίσκεται εν τροχιά γύρω από τη Γη. Το ποσό υδρογόνου που θα ισοδυναμεί με 1 lt βενζίνης, προβλέπεται να κοστίζει μόνο 20 γιαπωνέζικα γεν. Η τιμή αυτή, που αντιστοιχεί σε \$5.8 (περίπου 4,44 €) ανά GJ παραγόμενης ενέργειας, πλησιάζει την τιμή παραγωγής υδρογόνου από μεθάνιο. Μία ακόμη εκτίμηση, έγινε από τον Bockris (2004), σύμφωνα με τον οποίο, τα παρόν κόστος παραγωγής ηλιακού υδρογόνου από φωτοβολταϊκά, υπολογίζεται στα \$28 (περίπου 21.41€) ανά GJ παραγόμενης ενέργειας, ποσό που περιλαμβάνει και τα έξοδα κατασκευής και λειτουργίας του εξοπλισμού. Η σύγκριση με τα \$6 (4.59€ περίπου) κόστους ανά GJ παραγόμενης ενέργειας από φυσικό αέριο, είναι μάλλον περιττή αν σκεφτεί κανείς όμως ότι το κόστος αποκατάστασης της ρύπανσης στη δεύτερη περίπτωση, που προσεγγίζει περίπου το επιπλέον ποσό των \$33 (25,23€ περίπου) ανά GJ παραγόμενης ενέργειας, τότε συμφέρουσα αποδεικνύεται η λύση του ηλιακού υδρογόνου. Για την εξαγωγή των παραπάνω αριθμών, έγιναν οι παρακάτω παραδοχές:

- ο Τα φωτο-ηλεκτρόδια είναι κατασκευασμένα από, φτηνά σχετικά, οξειδία μετάλλων,
- ο Η απόδοση του συστήματος (η σχέση δηλαδή, της εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας, με την ηλεκτρική ενέργεια που αποδίδεται στο σύστημα) να έχει ως ελάχιστο όριο το 10%.

Σαφής προϋπόθεση όμως, για την εφαρμογή της τεχνολογίας του ηλιακού υδρογόνου είναι η ενδεδειγμένη έρευνα και μελέτη των

μειονεκτημάτων των υπάρχοντων υλικών, που θα αποσκοπεί τελικά, στην δημιουργία υλικών με τις επιθυμητές ιδιότητες.

Συμπερασματικά, οι Nowotny et al., προτείνουν έρευνα πάνω στα ήδη υπάρχοντα υλικά, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι ενεργειακές απώλειες, κατά τις μετατροπές που συμβαίνουν στο σύστημα. Η λύση λοιπόν του ηλιακού υδρογόνου, είναι ίσως η πιο αξιόλογη, από τις ΑΠΕ κι αυτό γιατί:

1. Η τεχνολογία του ηλιακού υδρογόνου, βασίζεται σε μια ΑΠΕ (ηλιακή ενέργεια) και στο νερό, που συνιστά και αυτό μία μορφή ΑΠΕ.
2. Η παραγωγή ηλιακού υδρογόνου είναι περιβαλλοντικά ασφαλής, ενώ η τεχνολογία που βασίζεται στο μετασχηματισμό του CH_4 , οδηγεί σε εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.
3. Το ηλιακό υδρογόνο αποτελεί μία καθαρή πηγή ενέργειας, κι αυτό γιατί ούτε η παραγωγή του, αλλά ούτε και η καύση του, παράγουν επιβαρυντικές προς το περιβάλλον ουσίες.
4. Το ηλιακό υδρογόνο, θα βοηθήσει στην ενεργειακή απεξάρτηση από τον άνθρακα, το πετρέλαιο καθώς και το φυσικό αέριο, γι' αυτό και θα αποτελέσει μία ασφαλή λύση για το περιβάλλον.
5. Η τεχνολογία του ηλιακού υδρογόνου είναι σχετικά απλή.

Τέλος, σε ότι έχει να κάνει με την απόδοση του συστήματος, η επίτευξη του ελαχίστου 10% είναι θέμα χρόνου, και σ' αυτό συμβάλλουν:

- I. Η ραγδαία ανάπτυξη σε τομείς υψηλής σημαντικότητας για την τεχνολογία του ηλιακού υδρογόνου, όπως την επιστήμη των υλικών, και της ηλεκτροχημείας των στερεών

II. Η εφαρμογή των τεχνολογιών του υδρογόνου σε διεθνές επίπεδο

Η ανάγκη προστασίας του περιβάλλοντος (με τις ταχέως μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες να αποτελούν την αφορμή), που μπορεί να επιτευχθεί μέσω της μείωσης των εκπομπών του άνθρακα από την παραγωγή υδρογόνου (αν η παραγωγή του γίνεται με μετατροπή του CH_4) θα οδηγήσει σε ενίσχυση του τομέα της έρευνας και τελικά θα διαδραματίσει σημαντικότατο ρόλο στις προσπάθειες για αναβάθμιση της ποιότητας του περιβάλλοντος και κατά συνέπεια της ζωής των ανθρώπων που ζουν σε αυτό.

2.2. Εισαγωγή καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα στον τομέα των μεταφορών

Μία ακόμη έρευνα που αναφέρεται στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενεργειακών συστημάτων, είναι αυτή των Hart et al. (2003). Συγκεκριμένα, εξετάζονται οι επιπτώσεις από τη διενέργεια μεταφορών, με χρησιμοποίηση καυσίμων χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα. Η ανάλυση αυτή έχει τους εξής δύο στόχους:

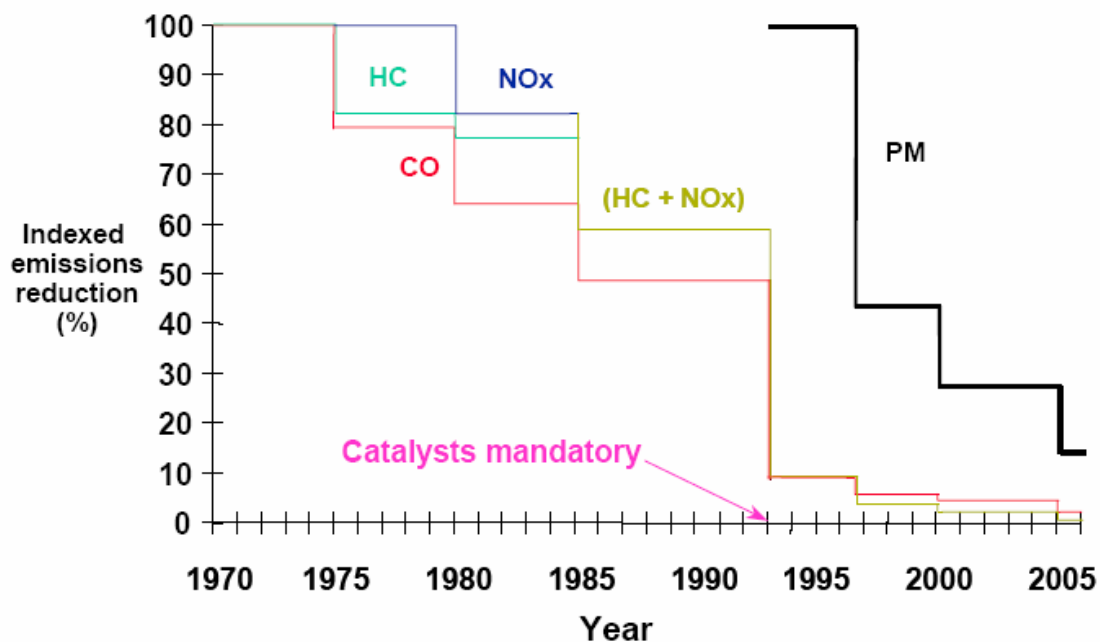
- Τον προσδιορισμό των ενεργειακών απαιτήσεων και των επιπτώσεων, που θα έχει η λειτουργία του στόλου οχημάτων με τη χρησιμοποίηση παραγόμενων βιοκαυσίμων ή υδρογόνου μέσω ΑΠΕ, ώστε τελικά να επιτευχθούν οι στόχοι που έχουν τεθεί για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και
- Τον προσδιορισμό της δυνατότητας παραγωγής «ανανεώσιμου» υδρογόνου ή υγρών βιοκαυσίμων, από εγχώριες πηγές στη Μεγάλη Βρετανία.

Στη μελέτη αυτή εισάγεται και η χρήση μοντέλων, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή συμπερασμάτων κι αυτό επειδή μοντελοποιούνται τα βιοκαύσιμα και το «ανανεώσιμο» υδρογόνο. Η ανάλυση η οποία διεξάγεται, ακολουθεί σενάρια απαιτήσεων για διανυόμενα χιλιόμετρα οδήγησης στη χώρα το 2050. Επίσης, γίνονται κάποιες υποθέσεις, λαμβάνοντας υπόψη πιθανούς ρυθμούς διείσδυσης των οχημάτων με εναλλακτικά καύσιμα και πιθανή διείσδυση βελτιωμένων οχημάτων, χρησιμοποιώντας συμβατικά καύσιμα. Γενικότερα, αν θέλαμε να δώσουμε μια εικόνα της παρούσας κατάστασης και των στόχων που διαμορφώνονται, θα σημειώναμε τα παρακάτω (Hart et al., 2003):

- Τα καύσιμα τα οποία κυριαρχούν στις μεταφορές, είναι η βενζίνη και το πετρέλαιο ντίζελ, ενώ τώρα κάνουν την εμφάνιση τους καύσιμα με χαμηλότερες εκπομπές. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται κυρίως για τη λειτουργία των οχημάτων, είναι αυτή των κινητήρων εσωτερικής καύσης.
- Κοιτώντας στο μέλλον, θα υπάρξει ποικιλία καυσίμων και τεχνολογιών που αναμένεται να συνεισφέρουν στη μείωση των εκπομπών τις επόμενες δύο δεκαετίες. Τέτοιες είναι, η χρήση υβριδικών αυτοκινήτων, διάφορες μέθοδοι καθαρισμού των εξαγόμενων αερίων από την εξάτμιση, και τέλος αναμόρφωση των καυσίμων. Όλες αυτές οι μέθοδοι, έχουν τη δυνατότητα να συνεισφέρουν στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα, με εξαίρεση κάποιες έντονα επιβαρυμένες αστικές περιοχές.
- Σημαντική μείωση στους συμβατικούς ρύπους, θα μπορούσε να επιτευχθεί με έντονη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των καυσίμων ανά όχημα (περίπου 45% βελτίωση, συγκριτικά με τα οχήματα του 2003) και συνεπώς μείωση και στις εκπομπές CO₂. Το όφελος όμως αυτό, θα μπορούσε να ισοσκελιστεί από πιθανή αύξηση των μιλίων που διανύουν τα οχήματα.
- Ακόμη και με μία επιθετική διεύθυνση, τέτοιων υψηλής αποδοτικότητας οχημάτων από σήμερα, το συνολικό εκπεμπόμενο CO₂ θα επέστρεφε στα σημερινά επίπεδα, στην περίοδο μεταξύ 2020 και 2050.
- Αν τεθούν σαν επιδίωξη σημαντικές μειώσεις στις εκπομπές CO₂ στις οδικές μεταφορές, τότε το υδρογόνο και τα βιοκαύσιμα είναι δύο λύσεις που πρέπει να ακολουθηθούν. Παρ' όλη την αργή σχετικά υιοθέτησή τέτοιων επιλογών, θα μπορούσαν να οδηγήσουν μακροπρόθεσμα σε πολύ χαμηλά επίπεδα εκπομπών CO₂, στον τομέα των μεταφορών.

- Στη Μεγάλη Βρετανία όπως και αλλού, οι οδικές μεταφορές, εξαρτώνται για παραγωγή ενέργειας κατά πολύ μεγάλο ποσοστό (περίπου 98%), στο πετρέλαιο και τα παραπροϊόντα του. Αυτό οδηγεί σε αξιοσημείωτες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που εξηγούνται, αν σκεφτεί κανείς το συνεχώς αυξανόμενο μέγεθος του στόλου των οχημάτων, και τις ολοένα αυξανόμενες αποστάσεις που αυτά διανύουν ανά έτος. Ακόμη και στην περίπτωση που ληφθεί υπόψη η μείωση της ειδικής κατανάλωσης των οχημάτων, τα περιβαλλοντικά οφέλη (αναφορικά με τη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος) τα οποία αποκομίζονται, είναι μηδενικά εν συγκρίσει με την επίδραση των αυξήσεων που προαναφέρθηκαν.

Τα κύρια καύσιμα, τα οποία χρησιμοποιούνται είναι η βενζίνη, το πετρέλαιο ντίζελ, το συμπιεσμένο ή υγροποιημένο φυσικό αέριο (CNG, LNG), καθώς και το υγροποιημένο petroleum gas (LPG), και μείγμα μικρού ποσού βιοντίζελ με ντίζελ. Διαθέσιμα είναι επίσης και υβριδικά-ηλεκτρικά οχήματα (HEV), τα οποία χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα, αλλά με την ταυτόχρονη συμβολή powertrains υψηλής αποδοτικότητας, και αποτελούν ένα μικρό ποσοστό της Βρετανικής αγοράς οχημάτων. Τα οχήματα κινούμενα με μπαταρία (BEV), αποτελούν ακόμη μικρότερο κομμάτι της αγοράς.



Διάγραμμα 3: Διακύμανση των εκπομπών από τη χρήση ντίζελ και βενζίνης για χαμηλής δυναμικότητας οχήματα, στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Hart et al., 2003)

Η παραγωγή και χρήση καυσίμων για οδικές μεταφορές, οδηγεί σε εκπομπές που επιδρούν στο τοπικό, εθνικό και τελικά στο παγκόσμιο περιβάλλον, επηρεάζουν την ανθρώπινη υγεία και τελικώς μπορούν να προκαλέσουν και άλλες περιβαλλοντικές καταστροφές. Οι εκπομπές ρύπων και η διακύμανση τους τα τελευταία 35 χρόνια απεικονίζεται στο Διάγραμμα 3. Παρακάτω, στον Πίνακα 3 (Hart et al., 2003), παρατίθενται συγκεντρωτικά στοιχεία, σχετικά με τις επιπτώσεις των καυσίμων, θεωρώντας ως βάση της σύγκρισης που κάνουμε, τη βενζίνη και γενικότερα τη συμπεριφορά της.

ΚΑΥΣΙΜΟ	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕ ΝΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑΣ (gr C/MJ)	ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO ₂	ΤΟΠΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ	ΔΙΑΘΕΣΙ ΜΟΤΗΤΑ (UK)	ΚΑΤΑΛΛ ΗΛΟΤΗΤ Α
Βενζίνη (Euro III standards)	18,9	τίθεται σαν βάση για τα παρακάτω (178gr/km)	τίθεται σαν βάση για τα παρακάτω	Παντού	Ελαφριά Οχήματα
LPG	17,2	10-15% χαμηλ. 25-30% με dedicated οχήματα	20-30% λιγότερα NOx	1300 σημεία	Ελαφριά Οχήματα
Βιοαιθανόλη		περίπου 3% λιγότερο	οριακά μειωμένες εκπομπές CO, αυξημένες NOx	Πουθενά	Ελαφριά Οχήματα
Μπαταρία	0	Όπως στην παραγωγή ηλεκτρισμού	Όπως στην παραγωγή ηλεκτρισμού	Γενικά σε ιδιόκτητα σημεία	Όλα τα οχήματα
Υβριδικό	Όπως βενζίνη και πετρ. ντίζελ	42% μείωση (για το Toyota Prius)	90% μείωση σε CO, HC, NOx (Toyota Prius)	Παντού	Όλα τα οχήματα
Πετρέλαιο Ντίζελ (Euro III standards)	20,2	τίθεται σαν βάση για τα παρακάτω - 10-20% λιγότερο από βενζίνη	τίθεται σαν βάση για τα παρακάτω - Υψηλότερα PM και NOx από τη βενζίνη	Παντού	Όλα τα οχήματα
CNG	15,3	περίπου 7% λιγότερο	10-15% λιγότερα NOx, μικρή μείωση στο CO	Σε αποθήκες και σε επιπλέον 20 σημεία	Όλα τα οχήματα
LNG	15,3	περίπου 10% περισσότερο	10-15% λιγότερα NOx, μικρή μείωση στο CO	8 σημεία	Όλα τα οχήματα
Βιοντίζελ (5% μείγμα)		περίπου 2.5% λιγότερο	οριακά αυξημένες εκπομπές NOx, μείωση στα PM, και στο CO	110 σημεία	Όλα τα οχήματα

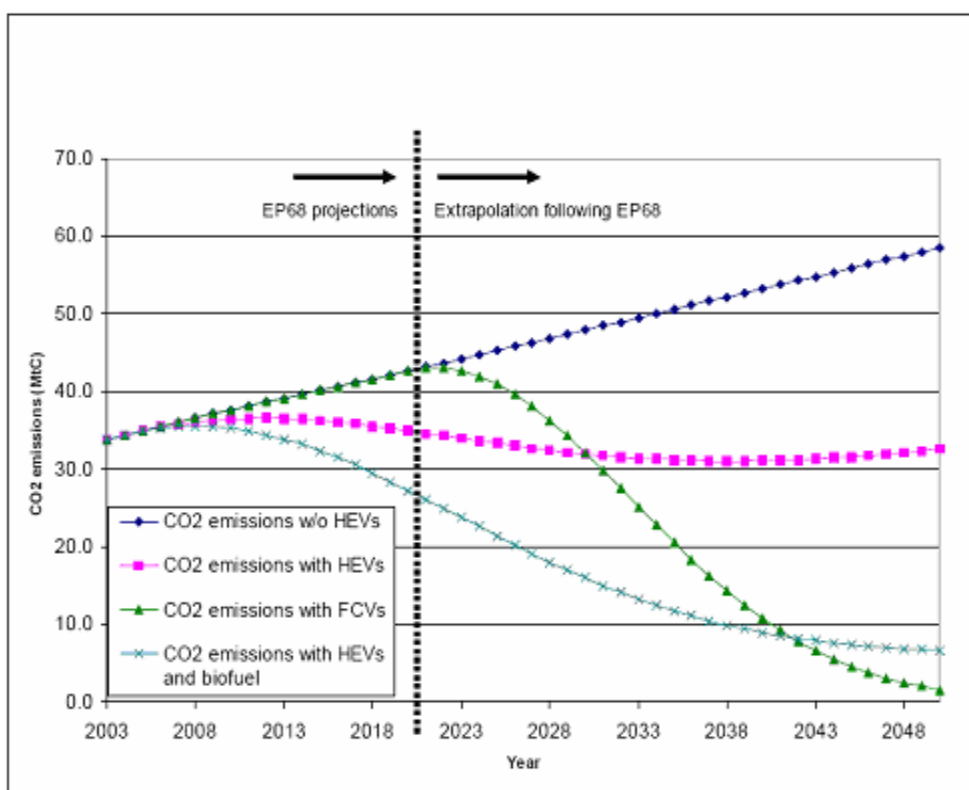
Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά μεγέθη των κυριότερων συμβατικών και εναλλακτικών καυσίμων και τεχνολογιών (Hart et al, 2003)

Στην παρούσα φάση, θα εξεταστούν οι προοπτικές για βελτιώσεις σε οχήματα, που χρησιμοποιούν ως καύσιμο τη βενζίνη και το πετρέλαιο ντίζελ. Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης, από τον καιρό που εφευρέθηκε, έχει βελτιωθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό. Βελτιώσεις συνεχίζουν να γίνονται και στις μέρες μας, αλλά είναι κυρίως μικρής κλίμακας. Παρ' όλα αυτά, η αυξημένη χρήση προηγμένου ηλεκτρονικού ελέγχου των συστημάτων, καθώς και του υβριδισμού στα οχήματα, θα συνεχίσουν να αποτελούν αφετηρία για συνεχή έρευνα και βελτίωση των κινητήρων εσωτερικής καύσης. Όπως και προαναφέρθηκε, οποιεσδήποτε εξελίξεις στον τομέα της τεχνολογίας εξαγωγής του αερίου, καθώς και στην αναμόρφωση των καυσίμων, θα μπορούσαν να επηρεάσουν θετικά και τη γενικότερη περιβαλλοντική συμπεριφορά των οχημάτων.

Αν υιοθετηθούν τα παραπάνω μέτρα στο ακέραιο, οι εκπομπές ρύπων θα μειωθούν, στο βαθμό που η συμμετοχή των οχημάτων στα προβλήματα ποιότητας αέρα, θα είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με άλλες πηγές (Hart et al., 2003). Βέβαια κάποιες συγκεκριμένες περιοχές, οι οποίες χαρακτηρίζονται από χαμηλές ταχύτητες ανέμου, ή γενικότερα ιδιαίτερο μικροκλίμα, θα συνεχίσουν να εμφανίζουν προβλήματα, τα οχήματα όμως, θα παύσουν να αποτελούν σημαντικό λόγο ρύπανσής τους.

Από την πλευρά των εκπομπών του CO₂, τα πράγματα είναι κάπως διαφορετικά. Ενδεικτικά παρατίθεται το Διάγραμμα 4, το οποίο προσεγγίζει όπως φαίνεται, χρονικά το 2050 και δείχνει πως ακόμη και με δυναμική εισαγωγή υψηλής αποδοτικότητας οχημάτων, που εκπέμπουν περίπου 45% λιγότερο CO₂ απ' ότι το 2003, οι εκπομπές μειώνονται ελάχιστα μέχρι το 2020. Φυσικά, η αύξηση στον αριθμό των διανυόμενων μιλίων, επιδρά αρνητικά στις εκπομπές, με αύξησή τους. Το διάγραμμα αυτό, ακολουθεί τις προβλέψεις του Energy Paper 68 (EP68) μέχρι το 2020, ενώ με τον ίδιο τρόπο εξάγεται και

το υπόλοιπο του διαγράμματος μέχρι το 2050. Πρέπει να σημειωθεί, ότι το παρακάτω διάγραμμα είναι μια απεικόνιση του περιορισμού που υφίστανται οι εκπομπές, μέσω κάποιων μέτρων αύξησης της αποδοτικότητας. Στο ίδιο διάγραμμα, απεικονίζεται επίσης, μία πιο αργή υιοθέτηση των ανανεώσιμων καυσίμων (μέσω κυψελίδων καυσίμου που χρησιμοποιούν υδρογόνο) στις μεταφορές (οχήματα FCVs), αλλά χωρίς να συνυπολογιστεί και η βελτίωση του 45% που προαναφέρθηκε, για τις συμβατικές τεχνολογίες. Για αυτές, γίνεται η υπόθεση ότι το επίπεδο των εκπομπών άνθρακα που οφείλεται σε αυτές, είναι αμελητέο. Είναι εύκολα αντιληπτό, ότι τα βραχυπρόθεσμα κέρδη της απόλυτης στήριξης σε νέες τεχνολογίες, είναι περιορισμένα (πιθανός λόγος θα μπορούσε να είναι η αναστροφή στο απόθεμα οχημάτων), αλλά τα μακροπρόθεσμα κέρδη, μπορούν να είναι σπουδαία. Η επιλογή με τις μικρότερες εκπομπές, όπως φαίνεται από το Διάγραμμα 4 (Hart et al., 2003), είναι αυτή της άμεσης εισαγωγής βιοκαυσίμων στα HEVs.



Διάγραμμα 4: Ενδεικτικές τιμές εκπεμπόμενου CO₂, μέχρι το 2050, μέσω εισαγωγής HEVs με τη χρήση συμβατικών καυσίμων, HEVs με χρήση βιοκαυσίμων, ή FCVs με χρήση «ανανεώσιμου» H₂ (Hart et al, 2003)

Έτσι λοιπόν, οποιαδήποτε σημαντική μείωση στις εκπομπές ρύπων λόγω μεταφορών, είναι κατανοητό, ότι θα περιλαμβάνει βελτίωση στις συμβατικές τεχνολογίες, καθώς και εναλλαγή στο καύσιμο (Hart et al., 2003).

Όπως και προαναφέρθηκε, η τεχνολογίες του υδρογόνου και των βιοκαυσίμων είναι δύο λύσεις που πρέπει να ακολουθηθούν, αν ως στόχος τίθεται η μείωση των εκπομπών του CO₂. Ακολουθεί μία σύντομη περιγραφή των δυνατοτήτων που υπάρχουν, για περαιτέρω διάδοση αυτών των καυσίμων.

2.2.1. Υδρογόνο

Σε αντίθεση με τη χρήση υδρογόνου στα οχήματα, όπου δεν σημειώνεται παραγωγή CO₂, η παραγωγή του υδρογόνου μπορεί να οδηγήσει σε εκπομπές ρύπων. Παρά το γεγονός ότι οι εκπομπές από τη χρήση φυσικών καυσίμων στα οχήματα υδρογόνου μπορεί να είναι πολύ χαμηλότερες από αυτές των οχημάτων που κινούνται με βενζίνη ή ντίζελ (CONCAWE et al.,(2003); General Motors et al.,(2002)), υπάρχει η δυνατότητα περαιτέρω μείωσης, μέσω παραγωγής του υδρογόνου από ΑΠΕ.

Η παραγωγή υδρογόνου στις μέρες μας, μπορεί να γίνει από τις εξής πηγές (Hart et al., 2003):

- μέσω ηλεκτρόλυσης του νερού, διαχωρισμό δηλαδή σε υδρογόνο και οξυγόνο. Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για αυτήν την διεργασία, μπορεί να δοθεί από ανανεώσιμες πηγές (αιολική, παλιρροιακή, κυματική, ηλιακή, ή ενέργεια που παράγεται από υδροηλεκτρικά), οπότε και το υδρογόνο, παράγεται με μηδενικές εκπομπές CO₂
- απευθείας από προϊόντα βιομάζας, μέσω ζύμωσης, αεριοποίησης ή χώνευσης, μέσω μιας σειράς αντιδράσεων για την εξαγωγή του. Κατά τη διαδικασία αυτή, παράγεται CO₂ το οποίο όμως αντισταθμίζει το CO₂, που απορροφάται κατά τη διαδικασία ωρίμανσης της βιομάζας. Άλλος τρόπος παραγωγής, είναι αυτός κατά τον οποίο εφαρμόζεται φωτο-βιολογικός διαχωρισμός του νερού, με την επενέργεια βακτηρίων και αλγών, μέσω μιας φυσικής φωτοσυνθετικής διεργασίας

Οι τεχνολογίες, οι οποίες εφαρμόζονται για τη χρησιμοποίηση του υδρογόνου στα οχήματα, είναι οι εξής:

- Κινητήρας εσωτερικής καύσης, όπου και οι εκπομπές είναι πολύ μικρές, αν και ένα μικρό ποσό NO_x , μπορεί να προκύψει από τις υψηλής θερμοκρασίας διαδικασίες καύσης. Το κόστος ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης υδρογόνου, είναι παρόμοιο με ενός συμβατικού, ενώ το κόστος του οχήματος συνολικά, θα είναι υψηλότερο λόγω του κόστους αποθήκευσης του H_2 . Οι κινητήρες υδρογόνου, μπορεί να αποδειχθούν πολύ πιο αποδοτικοί από αυτούς της βενζίνης, αλλά εμφανίζουν κι αυτές σημαντικές απώλειες. Οχήματα με κινητήρες υδρογόνου και υβριδικό χαρακτήρα, είναι υπό μελέτη, με αβέβαιη τη μακροπρόθεσμη δυνατότητα για βελτίωση.
- Κυψελίδα καυσίμου, όπου και το υδρογόνο λειτουργεί σε υψηλότερες αποδόσεις συγκριτικά με τους κινητήρες, αλλά έχει λιγότερα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις υβριδικές τεχνολογίες. Τα χαρακτηριστικά μιας κυψελίδας, όπως οι μηδενικές εκπομπές ρυπαντών, τα χαμηλά επίπεδα θορύβου κατά τη λειτουργία, καθώς και η αξιοσημείωτη δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αποτελούν συγκριτικά πλεονεκτήματα έναντι των κινητήρων εσωτερικής καύσης υδρογόνου. Μειονέκτημα αποτελεί, μέχρι στιγμής, η τιμή των κυψελίδων, η οποία κυμαίνεται μεταξύ \$3.000 και \$12.000.

2.2.2.Βιοκαύσιμα

I. Βιοντίζελ

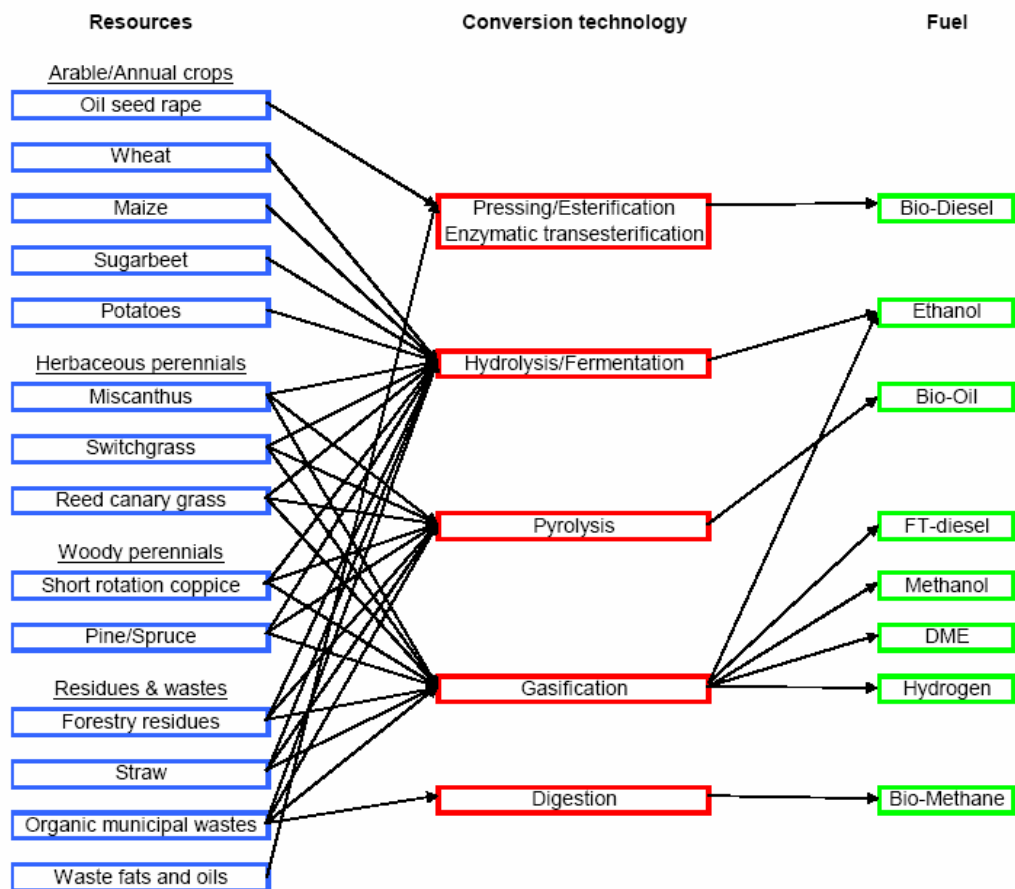
Στο Διάγραμμα 5 (Hart et al., 2003), απεικονίζεται η μεγάλη χρησιμότητα της βιομάζας, ως μέσο παραγωγής εναλλακτικών καυσίμων. Αν θέλαμε για παράδειγμα να μιλήσουμε για το βιοντίζελ, παρατηρώντας το διάγραμμα, θα καταλήγαμε σε κάποια συμπεράσματα, όσον αφορά τους τρόπους παραγωγής του. Έτσι, βιοντίζελ παράγεται μέσω εξαγωγής και εστεροποίησης ελαίου, παραγόμενου από σπόρους, είτε μέσω καθαρισμού και εστεροποίησης ανακτημένων άχρηστων φυτικών ή ζωικών ελαίων. Η διαδικασία αυτή, είναι περισσότερο περίπλοκη από ότι για αγνά φυτικά έλαια, κι αυτό γιατί πρέπει να υποστούν επεξεργασία ή να απομακρυνθούν οι μεγάλες συγκεντρώσεις λιπαρών οξέων και προσμίξεων, όπως το νερό.

Η ανάμιξη των φυτικών ελαίων με ντίζελ στο διυλιστήριο, θα μπορούσε επίσης να εφαρμοστεί ως λύση.

II. Βιοαιθανόλη

Η βιοαιθανόλη παράγεται μέσω διαφόρων βιολογικών «διαδρομών», ανάλογα με την τροφοδοσία, π.χ. μέσω ζύμωσης επιτυγχάνεται παραγωγή αιθανόλης από φυτείες ζάχαρης. Μία ακολουθία διεργασιών υδρόλυσης και ζύμωσης, εφαρμόζεται για την παραγωγή αιθανόλης από άμυλο ή λιγνοκυτταρίνη.

Στους δύο Πίνακες 4 και 5 (Hart et al., 2003) του Παραρτήματος, συνοψίζονται τα αποτελέσματα που εξάγονται από αυτή τη μελέτη, όσον αφορά τόσο τα κόστη παραγωγής όλων των καυσίμων, μέσω βιομάζας όσο και οι εκπομπές CO₂, ενώ στο Διάγραμμα 5 διακρίνονται όλοι οι πιθανοί τρόποι παραγωγής βιοκαυσίμων.



Διάγραμμα 5: Τρόποι παραγωγής καυσίμου με βάση την βιομάζα (Hart et al., 2003)

2.3. Εναλλακτικά καύσιμα

Οι Gielen et al. (2005), διεξήγαγαν μία έρευνα για το μέλλον που έχουν τα εναλλακτικά καύσιμα, παρέχοντας στοιχεία για την διείσδυση που παρουσιάζουν στον ενεργειακό τομέα. Αφού διαπιστώνεται η ισχυρή εξάρτηση την οποία έχουν σχεδόν όλες οι χώρες του κόσμου από το πετρέλαιο, του οποίου τα αποθέματα μειώνονται επικίνδυνα, προτείνονται μέθοδοι ανάκτησης του σε περιπτώσεις κοιτασμάτων που έχουν εξαντληθεί. Ο συγγραφέας σημειώνει την τάση, η οποία έχει αρχίσει να εκδηλώνεται και προωθεί την απεξάρτηση από το καθόλου «φιλικό» προς το περιβάλλον και συνεχώς εξαντλούμενο, πετρέλαιο, προβάλλοντας τη λύση των εναλλακτικών καυσίμων, σαν μία πιθανή απάντηση στα προβλήματα ποιότητας αέρα, καθώς και στους προβληματισμούς που διατυπώθηκαν παραπάνω.

Συγκεκριμένα, αναφέρονται σαν εναλλακτικά, τα εξής καύσιμα (Gielen et al., 2005):

1. Μη συμβατικά κοιτάσματα πετρελαίου
2. Παραγωγή ντίζελ και βενζίνης από άνθρακα, φυσικό αέριο, ή βιομάζα με τη μέθοδο Fischer-Tropsch
3. Φυσικό αέριο
4. Βιοαιθανόλη
5. Υδρογόνο
6. Μεθανόλη και Διμεθυλαιθέρας (DME)
7. Ηλεκτρισμός

2.3.1. Παραγωγή ντίζελ και βενζίνης από άνθρακα, φυσικό αέριο, ή βιομάζα με τη μέθοδο Fischer-Tropsch

Η παραγωγή ντίζελ και βενζίνης από άνθρακα, φυσικό αέριο, ή βιομάζα με τη μέθοδο Fischer-Tropsch, είναι ήδη αρκετά διαδεδομένη. Ειδικά στη Νότια Αφρική, η τεχνολογία αυτή, εφαρμόζεται εδώ και 50 χρόνια. Το μείγμα, το οποίο παράγεται αποτελείται κατά 80% από ντίζελ, ενώ το υπόλοιπο 20% είναι νάφθα.

Εδώ θα ασχοληθούμε με το H_2 και με τα βιοκαύσιμα, δηλαδή βιοαιθανόλη και μεθανόλη, με σκοπό να σκιαγραφηθεί η προοπτική διεύρυσής και καθιέρωσής τους, στα ενεργειακά εκείνα μέσα που καλύπτουν τις ανάγκες του ανθρώπου.

2.3.2. Βιοαιθανόλη

Η παραγωγή βιοαιθανόλης το 2003, κυμάνθηκε περίπου στα επίπεδα των 28 δισεκατομμυρίων βαρελιών (Gielen et al., 2005), που αντιστοιχούν περίπου στα 21.1MJ/lt και στο 0,4% της παγκόσμιας κατανάλωσης πετρελαίου. Η παραγωγή βιοαιθανόλης, εντοπίζεται κυρίως στη Βραζιλία (φυτείες ζάχαρης), καθώς και στις ΗΠΑ (φυτείες καλαμποκιού). Τελευταία, εμφανίστηκε η τάση παραγωγής βιοαιθανόλης από ξύλο και από κυτταρίνη οπότε ως αποτέλεσμα, αναμένεται να σημειωθεί αύξηση στην παγκόσμια παραγωγή. Σε αυτό συνηγορεί και η πολιτική πολλών χωρών που κάνουν κινήσεις προς την αύξηση της παραγωγής τους σε βιοαιθανόλη.

Βιοαιθανόλη επίσης, μπορεί να παραχθεί μέσω της μεθόδου Fischer-Tropsch. Το κόστος είναι υψηλότερο από αυτό του φυσικού αερίου και του άνθρακα, εξαιτίας του γεγονότος ότι η βιομάζα από την οποία παράγεται το καύσιμο, βρίσκεται διεσπαρμένη (Gielen et al., 2005). Η παραγωγή λοιπόν, κοστίζει γύρω στα 90 US\$/bbl (19\$/GJ), για τιμή βιομάζας 3\$/GJ. Αυτά τα κόστη, θα μπορούσαν να μειωθούν περίπου στα 70-80\$/bbl (14-16\$/GJ), (Gielen et al., 2005). Εξαιτίας του υψηλού κόστους της διαδικασίας, η μέθοδος αυτή δεν εφαρμόζεται πουθενά, και ακόμη, δεν υπάρχουν μελλοντικά σχέδια για εκμετάλλευσή της.

Γενικότερα, οι μελλοντικές προοπτικές για τη βιοαιθανόλη, συνδέονται άμεσα με τη διαθεσιμότητα της βιομάζας. Αυτή η διαθεσιμότητα, εξαρτάται από τις μελλοντικές απαιτήσεις σε τρόφιμα, τις διατροφικές συνήθειες, τους εναλλακτικούς τρόπους εκμετάλλευσης της γης και τέλος, από την παραγωγικότητα των εδαφών.

2.3.3. Υδρογόνο

Αυτή τη στιγμή, η πιο φτηνή μέθοδος μαζικής παραγωγής υδρογόνου, είναι μέσω φυσικού αερίου (Gielen et al., 2005). Οι μεγάλες μονάδες, που παράγουν υδρογόνο με αυτόν τον τρόπο, με την εγκατάσταση συστημάτων δέσμευσης του CO₂, θα μπορούσαν να συμβάλλουν στην διαμόρφωση ενός συστήματος μεταφορών, «καθαρού» από εκπομπές CO₂. Η μετάβαση όμως σε σύστημα μεταφορών βασισμένου στο υδρογόνο, θα γίνει μέσω μεταβατικής περιόδου, με υδρογόνο υψηλότερου κόστους, από αυτό που παράγεται μέσω της ηλεκτρόλυσης του νερού.

Μακροπρόθεσμα, ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή υδρογόνου, με χαμηλές ή μηδενικές εκπομπές CO₂ (Gielen et al., 2005). Το πρόγραμμα «US FutureGen», έχει ως στόχο τη λειτουργία μιας εγκατάστασης 275MW, που παράγει ταυτόχρονα ηλεκτρισμό και υδρογόνο από άνθρακα, και απομονώνει 1Mt CO₂/ χρόνο λειτουργίας, με κόστος \$950 εκατ. (\$3.450/kWeI).

Το υδρογόνο, θα μπορούσε ακόμη να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο στους κινητήρες εσωτερικής καύσης, αλλά αποτελεί καύσιμο που προορίζεται κυρίως, για υψηλής απόδοσης κυψελίδες καυσίμου. Παρ' όλα αυτά, αυτή τη στιγμή οι κυψελίδες καυσίμου δεν είναι ώριμες για μαζική εισαγωγή στην αγορά. Το κόστος τους πρέπει να μειωθεί από τα \$2.000/kW στα \$50/kW, όπως επίσης πρέπει να βελτιωθεί και η διάρκεια ζωής τους. Επιπλέον, χρειάζονται καλύτερα φορητά συστήματα αποθήκευσης, με την έννοια της ενεργειακής απόδοσης, συναρτήσει της πυκνότητας και του βάρους τους. Στο μέλλον, το υδρογόνο θα μπορούσε να παίξει πολύ σημαντικό ρόλο, κι αυτό λόγω του περιβαλλοντικού οφέλους που θα επιτευχθεί, όσον αφορά τις εκπομπές CO₂.

2.3.4. Μεθανόλη και Διμεθυλαιθέρας (DME)

Ο διμεθυλαιθέρας είναι μη τοξική ουσία, σε αντίθεση με τη μεθανόλη (Gielen et al., 2005). Και τα δύο καύσιμα, μπορούν να παραχθούν από πολλές πρώτες ύλες, μεταξύ των οποίων είναι ο άνθρακας, το φυσικό αέριο και η βιομάζα. Η παραγωγή μεθανόλης από το φυσικό αέριο, είναι μία αρκετά διαδεδομένη τεχνολογία.

Το DME μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν καύσιμο για τουρμπίνες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, για κινητήρες ντίζελ ή σαν υποκατάστατο του LPG (Liquefied Petroleum Gas) σε οικιστικού χαρακτήρα χρήση. Η παγκόσμια παραγωγή DME πλησιάζει περίπου τους 0,15 Mt/χρόνο. Κυρίως, χρησιμοποιείται σαν προωθητικό αεροζόλ για σπρέι μαλλιών. Στην Κίνα βρίσκονται δύο εγκαταστάσεις παραγωγής DME από άνθρακα, με συνολική παραγωγή τους 40 kt/χρόνο. Μέχρι το 2009, σχεδιάζεται μία απότομη αύξηση στην παραγωγή DME οπότε και ενδέχεται η παραγωγή του να εκτιναχθεί στον 1 Mt/χρόνο το οποίο ενεργειακά, μεταφράζεται σε 0,03 EJ/χρόνο (Gielen et al., 2005). Επίσης, παρόμοια τέτοια έργα με συμμετοχή αερίου όμως, έχουν προταθεί και βρίσκονται στο στάδιο του σχεδιασμού για τη Μέση Ανατολή (Gielen et al., 2005).

Συγκεντρωτικά, τα δεδομένα (κόστη προμήθειας) για όλα τα εναλλακτικά καύσιμα που έχουμε για την χρονιά που διανύουμε, καθώς και κάποιες προβλέψεις για το 2030, ενσωματώνονται στον πίνακα 6 (Gielen et al., 2005) του Παραρτήματος.

Στον πίνακα 7 (Gielen et al., 2005) του Παραρτήματος, παρατίθενται στοιχεία σχετικά με τις εκπομπές CO₂, κατά την παραγωγή και χρήση διάφορων καυσίμων. Χωρίζονται σε εκπομπές διεργασιών (κατά το στάδιο της μεταποίησης του καυσίμου, και κατά την παραγωγή

ηλεκτρικής ενέργειας που χρειάζεται για τη μεταποίηση), και σε εκπομπές κατά τη διάρκεια της χρήσης. Χωρίς τις προδιαγραφές CCS, οι εκπομπές των περισσότερων εναλλακτικών καυσίμων είναι υψηλότερες απ' ότι στα προϊόντα της διύλισης, εξαιρώντας την αιθανόλη.

2.4. Συνδυασμός αυτόνομων ενεργειακών συστημάτων με υδρογόνο (H-SAPS)

Υπάρχουν αρκετές μελέτες σε θεωρητικό επίπεδο, που συνδέουν τις ΑΠΕ με τις κυψελίδες καυσίμου, και συνήθως έχουν τη μορφή ανάλυσης κόστους. Ένα παράδειγμα αυτής της μεθοδολογίας, είναι η μελέτη που εφαρμόστηκε (Zoulias et al., 2005; Tsoutsos et al., 2004)) με θέμα την «Ολοκλήρωση ενεργειακών τεχνολογιών υδρογόνου σε αυτόνομα ενεργειακά συστήματα και ανάλυση του υπάρχοντος δυναμικού για εφαρμογές».

Στη μελέτη αυτή, στόχος είναι ο προσδιορισμός της δυνατότητας για εισαγωγή περιβαλλοντικά φιλικών τεχνολογιών υδρογόνου, σε αυτόνομα ενεργειακά συστήματα (SAPS). Ως αυτόνομα, ορίζονται εκείνα τα ενεργειακά συστήματα, τα οποία είναι αποκομμένα από το κεντρικό δίκτυο παροχών ηλεκτρικού ρεύματος και τα οποία κατά κύριο λόγο, χρησιμοποιούν τις ΑΠΕ καλύπτοντας έτσι τις ενεργειακές τους ανάγκες. Τα συστήματα αυτά συνήθως συναντώνται συνδεδεμένα με γεννήτριες πετρελαίου ή μπαταρίες, που προορίζονται για κάλυψη των έξτρα αναγκών. Τα μεγαλύτερα όμως από αυτά, αξίζει να σημειωθεί ότι βασίζονται στην χρήση ορυκτών καυσίμων. Στόχοι της μελέτης αυτής ήταν:

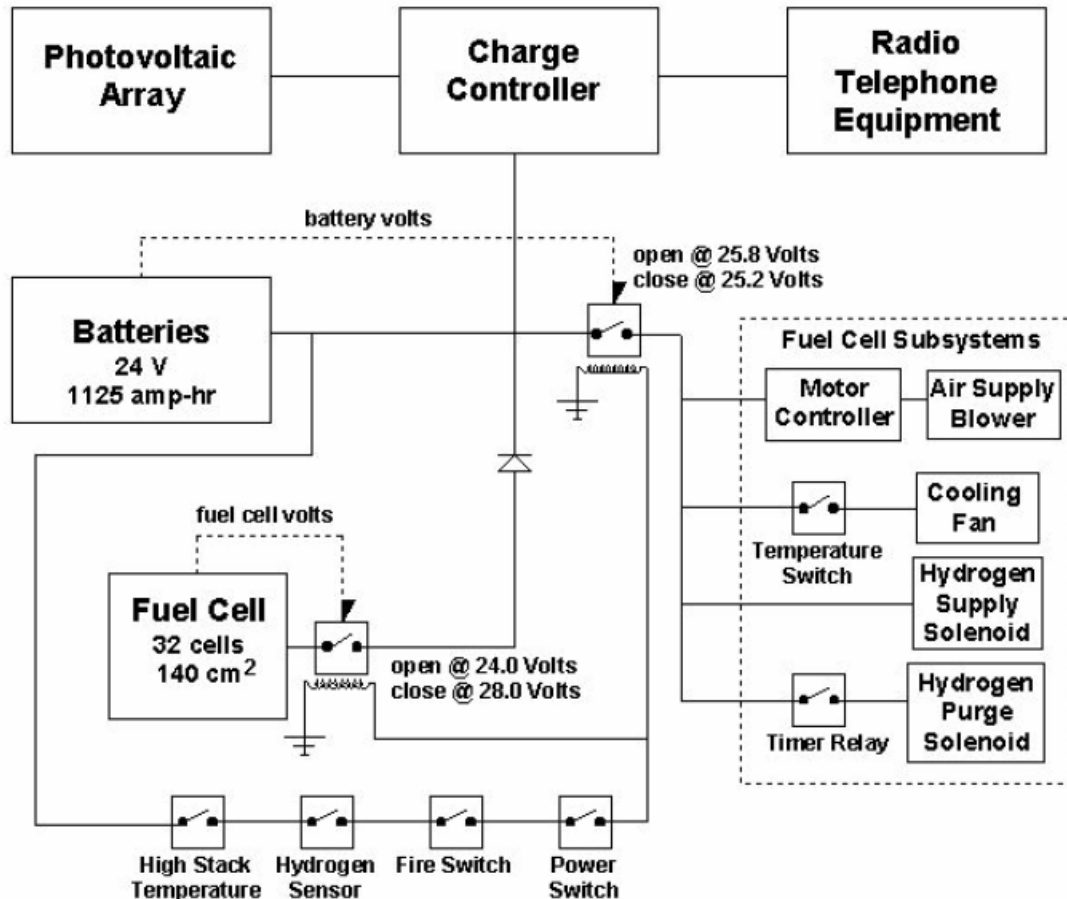
- Η ευρύτερη κατανόηση του κατά πόσο είναι εφικτή τεχνικά και οικονομικά, η καθιέρωση των αυτόνομων συστημάτων σε συνδυασμό με ΑΠΕ (H-SAPS), και η διαμόρφωση των βάσεων για έρευνα εκ μέρους των κυβερνήσεων και των βιομηχανιών, για την προώθηση νέων τεχνολογιών,
- Η αναγνώριση και ο προσδιορισμός του μεγέθους των τεχνολογικών και πρακτικών θεμάτων που σχετίζονται με την αγορά των H-SAPS,

- Η αναγνώριση των νομικών, διαδικαστικών και διοικητικών εμποδίων που αντιμετωπίζει η αγορά των Η-SAPS, καθώς και πρόταση λύσεων που θα μπορούσαν να υιοθετηθούν από τις αρχές,
- Παρουσίαση πρότασης- σχεδίου για εγκαταστάσεις Η-SAPS.

Η μελέτη αυτή περιορίστηκε σε μικρού και μεσαίου μεγέθους SAPS (ισχύς μέχρι τα 300 kW) και σε τροφοδοσία από ανανεώσιμες. Οικιακή και εμπορική χρήση περιλήφθηκαν στη μελέτη. Ακολουθήθηκε η μεθοδολογία SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats). Οι παράγοντες Strengths, Weaknesses αναφέρονται στο υδρογόνο των SAPS και αποτελούν τους επονομαζόμενους εσωτερικούς παράγοντες που μπορούν να μεταβληθούν, ενώ οι όροι Opportunities, and Threats αναφέρονται στους λεγόμενους εξωτερικούς παράγοντες-περιβάλλον που επηρεάζει την εξέλιξη της αγοράς στα Η-SAPS.

2.5. Συνδυασμός κυψελίδας καυσίμου- φωτοβολταϊκού

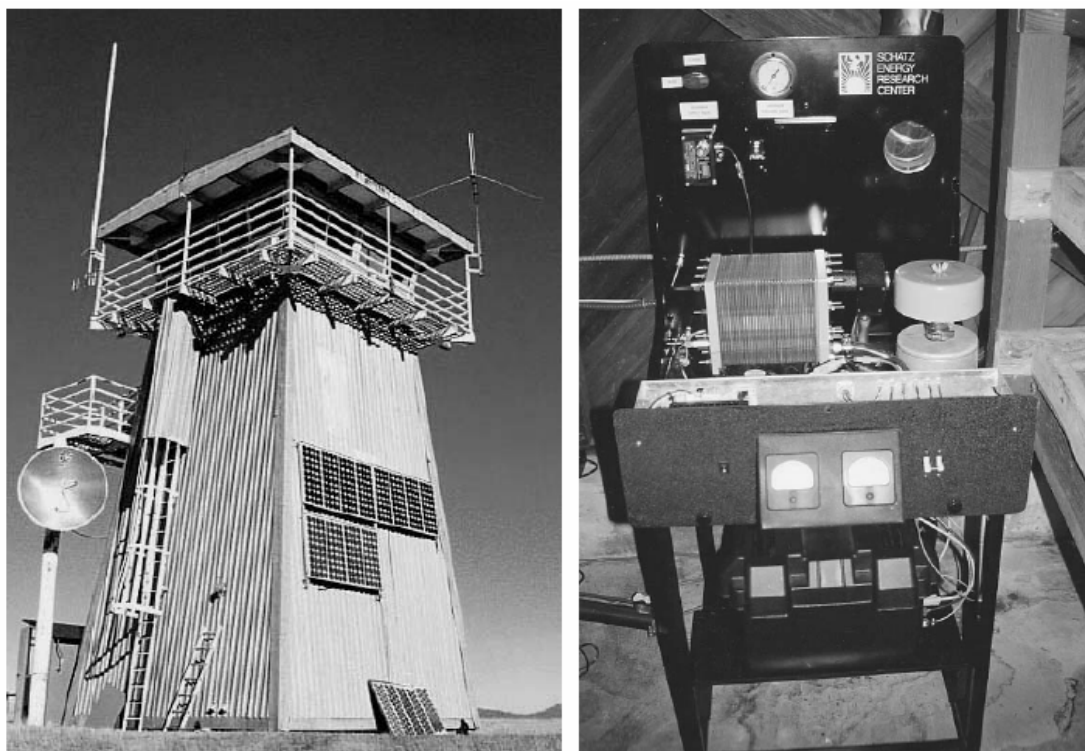
Στην περίπτωση του Schoolhouse Park, California έχουμε έναν τύπο H-SAPS υβριδικού συστήματος (Εικόνα 3), το οποίο μελετάται από τους C.E. Chamberlin et al. (2002) και όπου ένας σταθμός τηλεπικοινωνιών ηλεκτροδοτείται, τόσο από 5 ζεύγη μπαταριών (12V, 225A), τα οποία φορτίζουν από 6 ζεύγη ηλιακών συλλεκτών (12V, 65 W), όσο και από μία κυψελίδα καυσίμου PEM (100 W), με καύσιμο H_2 . Το σύστημα, λειτουργεί ως εξής: Οι ηλιακοί συλλέκτες προσλαμβάνουν την ηλιακή ακτινοβολία, κατά τη διάρκεια της ημέρας. Αφού φορτίσουν οι μπαταρίες της εγκατάστασης, αναλαμβάνει την ηλεκτροδότηση του σταθμού. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, από τη στιγμή που μετρητές τάσης, «αντιληφθούν» πτώση τάσης στις μπαταρίες, τίθεται σε λειτουργία η κυψελίδα καυσίμου, η οποία τροφοδοτείται από H_2 , αποθηκευμένο σε δοχεία υπό πίεση. Η κυψελίδα συνεχίζει να λειτουργεί και αφού ανατείλει ο ήλιος, και φορτίσει η μπαταρία σε ικανοποιητικό βαθμό, η κυψελίδα απενεργοποιείται και αρχίζει πάλι η λειτουργία των μπαταριών. Το σύστημα απεικονίζεται στο Διάγραμμα 6:



Διάγραμμα 6: Η διάταξη του συστήματος φωτοβολταϊκού- κυψελίδας καυσίμου (Chamberlin et al., 2002)

Από το παραπάνω σύστημα, αξίζει να σημειωθούν τα εξής:

- Το σύστημα αυτό είναι μία από τις λίγες εφαρμογές PEM κυψελίδας «στο πεδίο», με τόσο μεγάλη σε διάρκεια, αδιάκοπη λειτουργία.
- Το παραπάνω παράδειγμα, δείχνει ότι οι κυψελίδες PEM είναι μία βιώσιμη εναλλακτική σε μηχανικές γεννήτριες, ως συμπληρωματική λύση στο ήδη υπάρχον PV, σε απόμακρη τοποθεσία. Η τεχνολογία των κυψελίδων PEM, παρ' όλα τα προβλήματα (οικονομικής και τεχνικής φύσεως) που αντιμετωπίζει στο δρόμο για την καθιέρωσή της ως μία από τις πρώτες εναλλακτικές στον ενεργειακό τομέα, αποδεικνύεται ανθεκτική και αξιόπιστη λύση.



*Εικόνα 3: Το εξωτερικό (αριστερά) του συστήματος, και το εσωτερικό του (δεξιά)
(Chamberlin et al., 2002)*

2.6. Εξεργειακή ανάλυση κυψελίδας PEM σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας

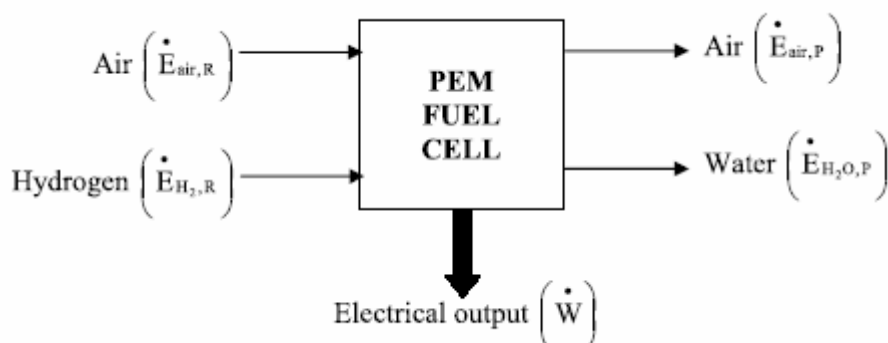
Η εξέργεια αποτελεί ένα από τα μεγέθη αξιολόγησης της λειτουργίας ενός συστήματος κυψελίδας καυσίμου, καθώς είναι μέτρο των αναντιστρεπτοτήτων που εμφανίζονται κατά τη λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος, άρα είναι σαφές ότι η μέτρηση της σε διαφορετικές συνθήκες, θα οδηγήσει σε χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την επιλογή των κατάλληλων συνθηκών λειτουργίας. Αυτή η διερεύνηση γίνεται από τον A. Kazim (2003) και αναφέρεται σε PEM κυψελίδα, ισχύος 10 kW ενώ οι συνθήκες που μεταβάλλονται στη διερεύνηση αυτή είναι η θερμοκρασία λειτουργίας, η πίεση, η τάση της κυψελίδας και τέλος η στοιχειομετρία του αέρα.

Η ενεργειακή αποδοτικότητα, που ορίζεται και ως απόδοση του «Δευτέρου Νόμου της Θερμοδυναμικής», δίνει την πραγματική τιμή της επίδοσης ενός ενεργειακού συστήματος, υπό το πρίσμα της θερμοδυναμικής. Η εξεργειακή αποδοτικότητα ενός συστήματος κυψελίδας καυσίμου, σαν αυτό που φαίνεται και στο Διάγραμμα 7, ορίζεται από το λόγο της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας W , προς τις διαφορές των εξεργειών των αντιδρώντων (αέρας + υδρογόνο) μείον αυτών των προϊόντων (αέρας + νερό), και μπορεί να εκφραστεί και ως εξής:

$$\varepsilon = \frac{\dot{W}}{(\dot{E}_{air,R} + \dot{E}_{H_2,R}) - (\dot{E}_{air,P} + \dot{E}_{H_2O,P})}$$

όπου $\dot{E}_{air,R}$, $\dot{E}_{H_2,R}$, $\dot{E}_{H_2O,P}$, $\dot{E}_{air,P}$ είναι οι συνολικές εξέργειες των αντιδρώντων (αέρας και υδρογόνο), και των προϊόντων (νερό και αέρας) αντίστοιχα. Υποθέτοντας αμελητέες επιδράσεις στην ηλεκτροχημική λειτουργία της κυψελίδας, η συνολική μεταφορά

εξέργειας ανά μονάδα μάζας κάθε αντιδρώντος και προϊόντος αποτελείται από το συνδυασμό φυσικών και χημικών εξεργειών.



Διάγραμμα 7: Σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος κυψελίδας καυσίμου (Kazim, 2003)

Τελικά, και αφού γίνεται μία σύντομη αναφορά στους ορισμούς φυσικής και χημικής εξέργειας παρατίθενται οι σχέσεις ορισμοί των $E_{air,R}$, $E_{H_2,R}$, $E_{H_2O,P}$, $E_{air,P}$. Έτσι:

$$E_{H_2,R} = m_{H_2,R} e_{H_2,R} = m_{H_2,R} (e^{CH} + e^{PH})_{H_2,R}$$

$$E_{air,R} = m_{air,R} e_{air,R} = m_{air,R} (e^{CH} + e^{PH})_{air,R}$$

$$E_{H_2O,P} = m_{H_2O,P} e_{H_2O,P} = m_{H_2O,P} (e^{CH} + e^{PH})_{H_2O,P}$$

$$E_{air,P} = m_{air,P} e_{air,P} = m_{air,P} (e^{CH} + e^{PH})_{air,P}$$

Σε κανονικές συνθήκες, η σύσταση του αέρα θα είναι 77.48% N_2 , 20.59% O_2 , 0.03% CO_2 και 1.9% $H_2O_{(g)}$. Ο υπολογισμός των φυσικών και χημικών εξεργειών, θα γίνει σε λόγους θερμοκρασίας (T/T_0) και λόγους πίεσης (P/P_0), που κυμαίνονται από 1 μέχρι 1.25 και από 1 μέχρι 3, αντίστοιχα. Επιπλέον, η ανάλυση αυτή θα λάβει χώρα σε 2 περιπτώσεις, για τάσεις κυψελίδας 0.5 και 0.6V. Επιπλέον, οι υπολογισμοί της εξεργειακής αποδοτικότητας θα γίνουν σε στοιχειομετρία του αέρα 2,3 και 4 καθώς και σε τάση 0.5V. Στον Πίνακα 8, φαίνονται οι ιδιότητες μίας τυπικής κυψελίδας καυσίμου, σε καθορισμένες συνθήκες λειτουργίας. Η ανάλυση αυτή διεξήχθη σε πειραματικά ελεγμένη κυψελίδα καυσίμου PEM ισχύος 10 kW, που κατασκευάστηκε από την Energy Partners Inc.. Αποτελείται από 40

κυψελίδες, συνολικής επιφάνειας λειτουργίας 780 cm^2 , με συνολική δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ισχύος 10 kW , με απόδοση 40% υπό πίεση 30 kPa σε θερμοκρασία 65°C .

Ιδιότητες	Τιμή
Θερμοκρασία, T_0	298K
Πίεση, T_0	1 atm
Μέση specific heat του αέρα, C_p	1.005 kJ/kg K
Μέση specific heat του υδρογόνου, C_p	14.3 kJ/kg K
Λόγος specific heat για αέρα και υδρογόνο, k	1.4
Ενθαλπία νερού σε θερμοκρ. T_0 , h_0	104.88 kJ/kg
Εντροπία νερού σε θερμοκρ. T_0 , s_0	0.3674 kJ/kg K
Ενθαλπία παραγόμενου αέρα σε θερμοκρ. T_0 , h_0	-21120.0 kJ/kmol
Εντροπία παραγόμενου αέρα σε θερμ. T_0 , s_0	129.17 kJ/kmol K
Ισχύς παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, W	10 kW
Στοιχειομετρία του αέρα, λ	3

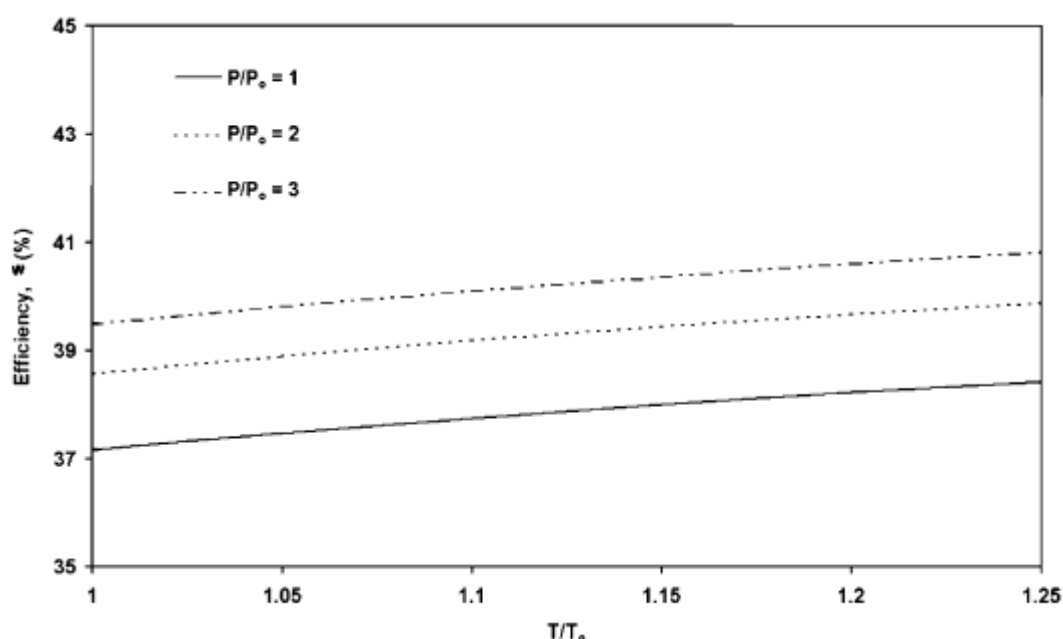
Πίνακας 8: Πίνακας ιδιοτήτων στις τυπικές συνθήκες (Kazim, 2003)

Στο Παράρτημα, επισυνάπτονται τα διαγράμματα (25-28) των φυσικών εξεργειών για κάθε αντιδρόν και προϊόν του συστήματος και τη μεταβολή τους κατά την αλλαγή των συνθηκών λειτουργίας, αυτής της μελέτης, ενώ παρακάτω ακολουθεί ο Πίνακας 9 με τις υπολογισμένες χημικές εξεργειες, καθώς και το ρυθμό παροχής μάζας σε διαφορετικές τάσεις. Επίσης, παρατίθενται το Διάγραμμα 8 που απεικονίζει την αποδοτικότητα του συστήματος, σε συνάρτηση με τους λόγους T/T_0 και P/P_0 , καθώς και το Διάγραμμα 9, που απεικονίζει την αποδοτικότητα του υπό μελέτη συστήματος σε συνάρτηση με τους λόγους T/T_0 και V/V_0 . Αυτό που θα μπορούσε λοιπόν, να σχολιαστεί σχετικά με τα διαγράμματα αυτά, είναι η τάση

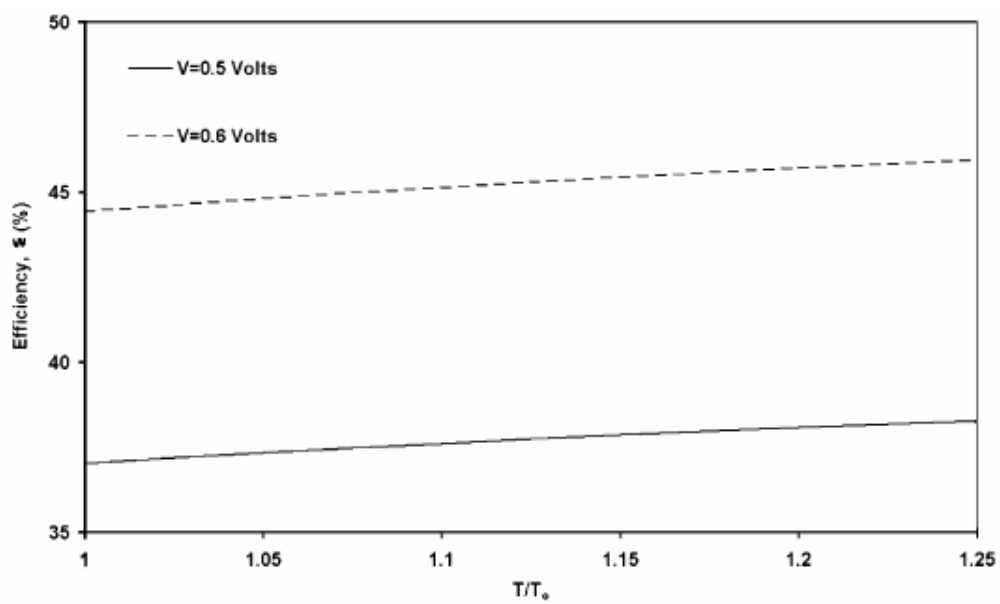
που εμφανίζει η αποδοτικότητα και είναι σε όλες τις περιπτώσεις ανάλογη των συνθηκών, δηλαδή εμφανίζει αυξητικές τάσεις στις περιπτώσεις που κινούμαστε προς υψηλότερες πιέσεις, θερμοκρασίες και τάσεις.

Αντιδρόν/ Προϊόν	Χημική Εξέργεια, e^{ch} (kJ/kg)	Παροχή Μάζας με τάση $V=0.5V$, m (kg/s)	Παροχή Μάζας με τάση $V=0.6V$, m (kg/s)
Αντιδρόν- αέρας	0	0.02142	0.01785
Αντιδρόν- υδρογόνο	159138	0.00021	0.000175
Προϊόν- νερό	2.5	0.001868	0.001557
Προϊόν- αέρας	8.58	0.019762	0.01647

Πίνακας 9: Πίνακας με τις χημικές εξέργειες καθώς και με τις διαφορετικές τιμές παροχής μάζας για διαφορετικές τάσεις της κυψελίδας (Kazim, 2003)



Διάγραμμα 8: Εξεργειακή αποδοτικότητα μιας κυψελίδας PEM υπό διάφορες συνθήκες λειτουργίας, δηλαδή πίεσης και θερμοκρασίας και τάσης $V=0.5V$ (Kazim, 2003)

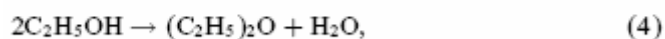
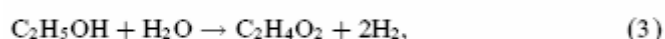
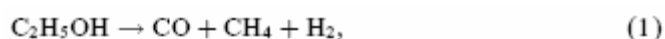


Διάγραμμα 9: Εξεργειακή αποδοτικότητα μιας κυψελίδας PEM υπό διάφορες συνθήκες λειτουργίας, τάσης $V=0.5V$ και $0.6V$, και λόγο $P/P_0=1$ (Kazim, 2003)

2.7. Παραγωγή υδρογόνου μέσω διαδικασίας μετασχηματισμού του ατμού της βιοαιθανόλης με τη χρήση καταλυτών Cu/Ni/K/γ-Al₂O₃. Επιπτώσεις του Ni

Η μελέτη αυτή (Marino et al., 2000) αναφέρεται στη διαδικασία παραγωγής του υδρογόνου που χρησιμοποιείται σαν πρώτη ύλη ή ακόμη και άμεσα σαν καύσιμο στις κυψελίδες καυσίμου, μέσω του μετασχηματισμού του ατμού (steam reforming) της βιοαιθανόλης. Ο κύριος στόχος της μελέτης αυτής ήταν η μεγιστοποίηση της παραγωγής υδρογόνου, με παράλληλη αποφυγή δημιουργίας ανεπιθύμητων παραπροϊόντων, όπως το μεθάνιο, την ακεταλδεΐδη, τον διαιθυλαιθέρα και του οξικού οξέος, που ανταγωνίζονται με το υδρογόνο με τα άτομα του υδρογόνου. Οι καταλύτες Cu/Ni/K/γ-Al₂O₃ είναι κατάλληλοι για αυτήν την αντίδραση, λόγω της ικανότητας που έχουν να παράγουν αποδεκτά μεγάλες ποσότητες υδρογόνου, σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης και θερμοκρασίας 300°C. Επίσης, αναλύθηκε η επίδραση του Ni, ως συστατικού του καταλύτη, στην αντίδραση του μετασχηματισμού της βιοαιθανόλης. Η προσθήκη Ni βελτιώνει την αεριοποίηση της αιθανόλης, αυξάνοντας την απόδοση του αερίου και μειώνοντας ταυτόχρονα, την παραγωγή ακεταλδεΐδης και οξικού οξέος.

Οι αντιδράσεις οι οποίες λαμβάνουν χώρα στο σύστημα αυτό, είναι οι εξής (Marino et al., 2000):



Η επίδραση που παρουσιάζει η αύξηση της ποσότητας του Ni στη μετατροπή της αιθανόλης, φαίνεται καθαρά στον Πίνακα 10 .

Ni (wt%)	Δείγματα με 3 wt% Cu	Δείγματα με 6 wt% Cu
0	0,76	0,78
1	0,79	0,77
2,5	0,81	0,85
6	0,83	0,9

Πίνακας 10: Μετατροπή της αιθανόλης που επιτυγχάνεται με τους υπό έλεγχο καταλύτες (Marino et al., 2000)

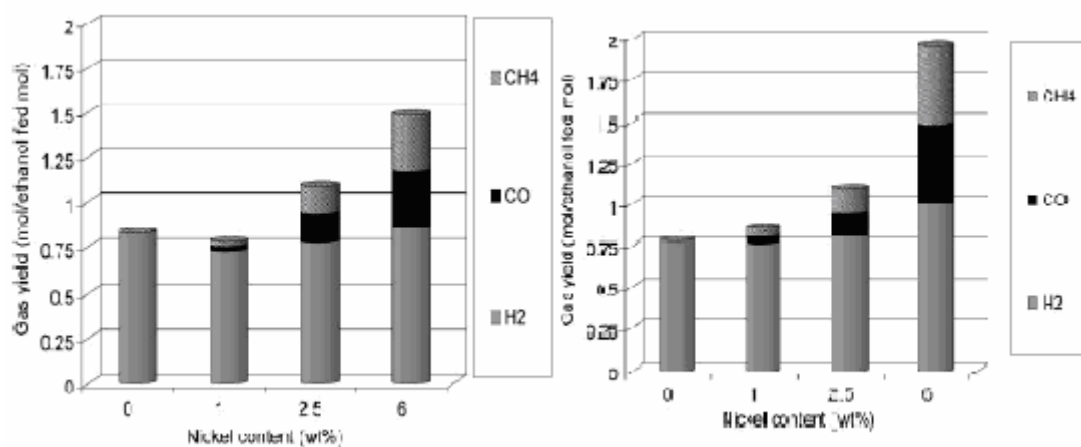
Στο Διάγραμμα 10 απεικονίζεται η απόδοση των αερίων και την κατανομή των αέριων προϊόντων, ως συνάρτηση της περιεκτικότητας σε Ni, για τις 2 πιθανές περιπτώσεις για τη σύσταση σε Cu (3 και 6 wt%). Μπορεί να παρατηρηθεί, η αυξητική τάση που εμφανίζει η απόδοση των αερίων, ακολουθώντας έτσι την αύξηση στην περιεκτικότητα σε Ni. Για σύσταση 6 wt% σε Cu, για περιεκτικότητα σε Ni της τάξης του 6 wt%, η απόδοση των αερίων είναι περίπου 2.5 φορές μεγαλύτερη από την απόδοση σε περιεκτικότητα Ni 0 wt%. Η παραγωγή του H₂ εμφανίζει μια μικρή αυξητική τάση, ενώ η μεγάλη αύξηση οφείλεται κυρίως στην αύξηση της παραγωγής του CH₄ και του CO.

Όπως όμως φάνηκε και από τα υπόλοιπα διαγράμματα, η παραγωγή του CH₄ είναι περίπου ίδια με αυτήν του CO για όλα τα δείγματα που εξετάστηκαν. Αυτό σημαίνει ότι η αντίδραση (5), δεν εκτείνεται σε μεγάλο βαθμό, πράγμα που επίσης ερμηνεύεται από το μικρό ποσό CO₂ στην εισροή των αντιδρώντων και από το ισοζύγιο του ατομικού άνθρακα.

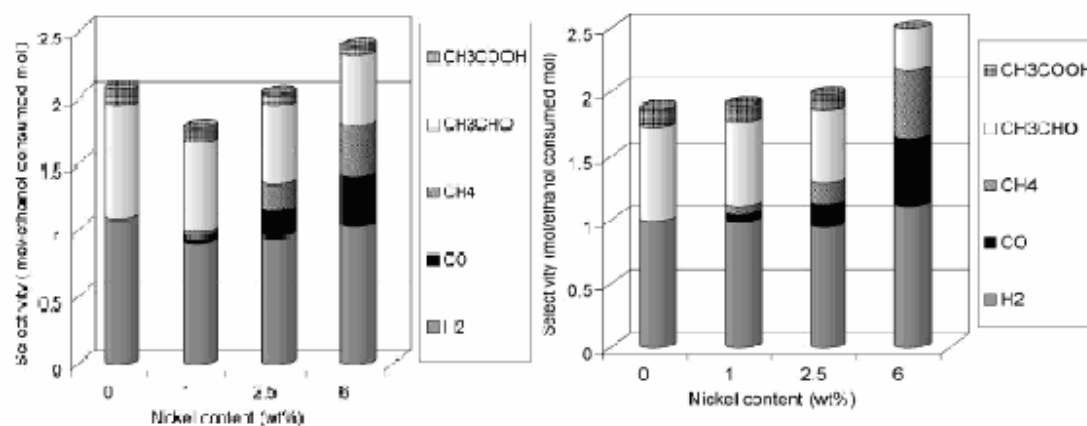
Επίσης στο Διάγραμμα 11, διακρίνεται επιλεκτικότητα του H₂, του CH₄, του CO, της ακεταλδεϋδης και τέλος του οξικού οξέος. Και για τις δύο περιπτώσεις σύστασης σε Cu, φαίνεται ότι με την αύξηση της

περιεκτικότητας σε Ni, αυξάνει επίσης και η επιλεκτικότητα σε CH₄ και CO, ενώ αντίστροφα μειώνεται αυτή του οξικού οξέος και της ακεταλδεΐδης.

Η γενική εικόνα λοιπόν της μελέτης αυτής (Marino et al., 2000), οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η προσθήκη Ni σε καταλύτες Cu/Ni/K/γ-Al₂O₃ ευνοεί την αεριοποίηση της αιθανόλης, αυξάνει την απόδοση των αερίων και μειώνει την παραγωγή οξικού οξέος και ακεταλδεΐδης. Προκειμένου να αυξηθεί η απόδοση των αερίων, καταλύτης με υψηλή περιεκτικότητα σε Cu και Ni, δείχνει να έχει το πλεονέκτημα. Η παρουσία του Ni, αυξάνει ελάχιστα την παραγωγή H₂ μέσω μιας ήπιας αύξησης στην μετατροπή της αιθανόλης, λόγω του ότι ευνοείται η απομάκρυνση των ιόντων του Cu²⁺ προς την επιφάνεια του καταλύτη. Κλείνοντας, προτείνεται η συνέχιση της έρευνας πάνω στο κομμάτι της βελτίωσης του σχηματισμού του καταλύτη και των συνθηκών λειτουργίας του αντιδραστήρα ώστε να μειωθεί κατά το μέγιστο δυνατό, ο σχηματισμός υγρών προϊόντων και CH₄.



Διάγραμμα 10: Επίδραση της περιεκτικότητας σε Ni, στην απόδοση των αερίων για καταλύτες με 3 wt% Cu (αριστερά) και καταλύτες με περιεκτικότητα 6 wt% Cu (δεξιά) (Marino, 2000)



Διάγραμμα 11: Επίδραση της περιεκτικότητας σε Ni, στην επιλεκτικότητα για καταλύτες με περιεκτικότητα 3 wt% Cu (αριστερά) και περιεκτικότητα 6 wt% Cu (Marino, 2000)

2.8. Παραγωγή υδρογόνου για κυψελίδες καυσίμου μέσω καταλυτικής οξείδωσης της αιθανόλης με τη χρήση καταλυτών Ru

Η μελέτη αυτή διεξήχθη από τους Liguras et al., 2003 και είχε σαν αντικείμενο μελέτης της, την παραγωγή υδρογόνου για κυψελίδες καυσίμου μέσω καταλυτικής οξείδωσης της αιθανόλης με τη χρήση καταλυτών Ru. Μια σειρά από καταλύτες Ru, που βασίστηκαν σε μονόλιθους κορδιερίτη, κεραμικούς αφρούς και πελέτες $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, ελέγχθηκαν για την παραγωγή υδρογόνου, μέσω καταλυτικής μερικής οξείδωσης της αιθανόλης. Ο καταλύτης που βασίστηκε στο μονόλιθο του κορδιερίτη, παρουσίασε εξαιρετική απόδοση για ένα πλήθος παραγωγικών διεργασιών, καθώς και εξαιρετική σταθερότητα σε βάθος χρόνου με μικρή παραγωγή coke. Η επίδραση του ατμού στο γραμμομοριακό λόγο της υπό αναμόρφωση αιθανόλης, καθώς και τις επιλεκτικότητες ήταν χαμηλή. Μεγαλύτερες μεταβολές παρατηρήθηκαν στο λόγο οξυγόνου και αιθανόλης. Γενικότερα, οι καταλύτες και στις τρεις μεθόδους, μπόρεσαν να αναμορφώσουν πλήρως την αιθανόλη, με υψηλές επιλεκτικότητες, όσον αφορά τα επιθυμητά προϊόντα. Το Ru που βασίστηκε σε καταλύτη κεραμικού αφρού, παρουσίασε σαφώς καλύτερη απόδοση, πιθανώς εξαιτίας των μικρότερων πόρων και υψηλότερης καμπυλότητας (tortuosity) αυτού του συστήματος.

2.9. Κυψελίδες καυσίμου με τροφοδοσία αιθανόλης: Η περίπτωση της χρησιμοποίησης ανόδου από πλατίνα

Οι Song et al. (2004), μελέτησαν τη συμπεριφορά της κυψελίδας καυσίμου, σε περίπτωση που χρησιμοποιηθεί πλατίνα στην άνοδο. Συγκεκριμένα, ελέγχονται δύο είδη καταλυτών βασισμένα στην πλατίνα. Οι καταλύτες PtSn/C δημιουργήθηκαν από τον απευθείας εμπλουτισμό του Pt/C με Sn, μέσω μιας τροποποιημένης πολύπλοκης διεργασίας. Τα αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν ότι στον καταλύτη προϋπήρχε ποσότητα SnO_2 , διαφορετική από το PtSn/C που προετοιμάστηκε από τη διαδικασία «συν-καθίζησης» (co-precipitation). Οι τεχνικές της κυκλικής βολταμετρίας, η καμπύλη πόλωσης της ανόδου και μία κυψελίδα καυσίμου άμεσης τροφοδοσίας σε αιθανόλη (Direct Ethanol Fuel Cell – DEFC), χρησιμοποιήθηκαν για εκτίμηση και σύγκριση των ηλεκτρολυτικών δραστηριοτήτων στην οξείδωση της αιθανόλης, με την παρουσία PtSn/C που δημιουργήθηκε με διαφορετική μέθοδο και με την παρουσία του εμπορικού καταλύτη PtRu/C. Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι το PtSn/C, παρουσιάζει υψηλότερη ηλεκτρολυτική δραστηριότητα από το PtRu/C. Επίσης, διαφάνηκε ότι το PtSn/C αυτής της μελέτης, συγκριτικά με αυτό που παρήχθη από τη διαδικασία της «συν-καθίζησης» (co-precipitation), παρουσιάζει παρόμοια αρχική δραστηριότητα, αλλά μικρότερη δραστηριότητα μαζί με αύξηση της πυκνότητας, κυρίως εξαιτίας της μικρής ηλεκτρονικής αγωγιμότητας και μερική κάλυψη των δραστικών σημείων πάνω στον καταλύτη. Επίσης βρέθηκε, ότι το PtSn/C μπορεί να οξειδώσει τα μόρια της αιθανόλης σε μεγαλύτερο βαθμό από το PtRu/C, οδηγώντας έτσι σε υψηλότερο συντελεστή χρήσης καυσίμου, και τέλος σε αύξηση της αποδοτικότητας της κυψελίδας καυσίμου.

2.10. Θερμοδυναμική ανάλυση της παραγωγής υδρογόνου από αιθανόλη, με χρήση CaO ως ροφητικό μέσο του CO₂

Στη συγκεκριμένη μελέτη, οι συγγραφείς (Comas et al., 2004) προσεγγίζουν την παραγωγή υδρογόνου από την αιθανόλη, μέσω αναμόρφωσής της, μοντελοποιώντας την παρουσία και μη, του CaO ως ροφητή του CO₂.

Τα πλεονεκτήματα που θα μπορούσαν να υπάρχουν από την παρουσία του CaO, προκύπτουν τελικά ότι είναι η υψηλότερη ενεργειακή αποδοτικότητα, η μεγαλύτερη παραγωγή υδρογόνου και τα μικρότερα ποσοστά CO που περιέχονται στην έξοδο του αναμορφωτή.

Η θερμοδυναμική αυτή ανάλυση της αναμόρφωσης του ατμού της αιθανόλης, με και χωρίς τη συμμετοχή του CaO, έγινε με την ελαχιστοποίηση της ελεύθερης ενέργειας του Gibbs για το σύστημα. Αυτό που παρατηρήθηκε είναι ότι και οι δύο διαδικασίες δείχνουν την ίδια συμπεριφορά στις αλλαγές της πίεσης και του λόγου του νερού προς την αιθανόλη, ενώ αποδείχθηκε ότι ατμοσφαιρική πίεση και λόγος νερού προς αιθανόλη με τιμές μεγαλύτερες του 3, αποτελούν τις ιδανικές συνθήκες για μεγαλύτερες τιμές παραγόμενου υδρογόνου και μικρότερα ποσοστά σχηματισμού άνθρακα. Η προσθήκη του CaO στον αντιδραστήρα, βελτιώνει αισθητά την παραγωγή του υδρογόνου, μειώνοντας ταυτόχρονα την περιεκτικότητα του CO στην εκροή του αναμορφωτή.

Η επίδραση της θερμοκρασίας είναι διαφορετική για τις δύο διεργασίες, με την αναμόρφωση του ατμού της αιθανόλης χωρίς CaO, να έχει μέγιστη παραγωγή υδρογόνου για θερμοκρασίες μεταξύ 700-900°C, παρουσιάζοντας μέγιστο στην παραγωγή του υδρογόνου, σε θερμοκρασία 700°C. Η αναμόρφωση με τη συμμετοχή

του CaO , έχει την υψηλότερη τιμή παραγωγής υδρογόνου μεταξύ 500-700°C.

Επιπροσθέτως, η αποδοτικότητα της διεργασίας που περιείχε CaO , ήταν υψηλότερη από αυτήν που έγινε χωρίς CaO , αποδεικνύοντας ότι η προσθήκη ενός ροφητή του CO_2 , αυξάνει την παραγωγή του υδρογόνου. Ιδανικές συνθήκες είναι οι εξής:

- Ατμοσφαιρική πίεση
- Θερμοκρασία αντιδραστήρα γύρω στους 700°C
- Γραμμομοριακός λόγος νερού/ αιθανόλη περίπου ίσος με 4

Συμπερασματικά, τα πλεονεκτήματα τα οποία μπορούν να επιτευχθούν με το συνδυασμό της αναμόρφωσης του ατμού της αιθανόλης με την απομάκρυνση του CO_2 με τη βοήθεια του CaO ως ροφητή, σε κυψελίδα PEM είναι:

- Μεγαλύτερη παραγωγή υδρογόνου
- Υψηλότερη θερμική αποδοτικότητα

2.11. Στόχοι της Διπλωματικής

Οι παραπάνω μελέτες ήρθαν να επιβεβαιώσουν το γεγονός, ότι η μετάβαση σε «φιλικότερες» προς το περιβάλλον μορφές ενέργειας, είναι επιτακτική, το ζήτημα όμως είναι να επιλεγούν οι κατάλληλες τεχνολογίες, μέσα και τεχνικές, που πραγματικά θα συμβάλλουν στην βελτίωση της ποιότητας του. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με προσπάθειες τόσο σε θεωρητικό επίπεδο, όσο κυρίως και στην πράξη.

Η τεχνολογία των κυψελίδων καυσίμου, ως ιδέα χρονολογείται από το 1839, άρχισε να εφαρμόζεται όμως περίπου στα μέσα του προηγούμενου αιώνα. Το γεγονός αυτό την κάνει πολύ «καινούργια» σαν τεχνολογία. Ευνόητο λοιπόν, είναι το ότι υπάρχουν πολλά περιθώρια ανάπτυξης, ενώ και η τεχνογνωσία σχετικά με τις κυψελίδες, όσο περνάει ο καιρός μεγαλώνει.

Η διπλωματική αυτή εργασία, θα επιχειρήσει να συνεισφέρει ώστε να «φωτιστεί», η πλευρά των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν από την εκμετάλλευση κυψελίδων, που χρησιμοποιούν σαν καύσιμο τη βιοαιθανόλη. Στόχος λοιπόν, είναι να φανούν τα όποια περιβαλλοντικά οφέλη μπορούν να προκύψουν από την χρησιμοποίηση των συστημάτων αυτών. Η ακριβής γνώση πάνω σε αυτά τα περιβαλλοντικά οφέλη, θα προσφέρει μία πολύ ικανοποιητική και πλήρη εικόνα, που θα μπορούσε να ενισχύσει την τάση προς την ευρύτερη καθιέρωση των συστημάτων αυτών, σε πολλούς τομείς της ζωής του σύγχρονου ανθρώπου, αναβαθμίζοντάς την αισθητά.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ

Όπως προαναφέρθηκε, ένας από τους σκοπούς της μελέτης αυτής είναι η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που θα έχει η χρησιμοποίηση κυψελίδων καυσίμου, με καύσιμο την αιθανόλη. Για την επίτευξη του στόχου αυτού ακολουθήθηκαν δύο μεθοδολογίες: αυτή της Εκτίμησης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Environmental Impact Assessment, EIA) ενός συστήματος κυψελίδας καυσίμου με τροφοδοσία βιοκαυσίμου, αιθανόλης εν προκειμένω, μελέτη ενός τέτοιου συστήματος μέσω ενός υποδείγματος και στη συνέχεια, εισαγωγή του συστήματος αυτού, στο πρόγραμμα SuperPro Designer της Intelligen, Inc.(version 5.0, build 9), από όπου εξήχθησαν συμπεράσματα όσον αφορά τις εκροές του συστήματος.

3.1. Εκτίμηση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων

3.1.1. Μεθοδολογία

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με το διαχωρισμό σε κατηγορίες των επιπτώσεων της κυψελίδας καυσίμου με τροφοδοσία αιθανόλης,. Στο Κεφάλαιο 4, θα επιχειρηθεί μια απεικόνιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν από τη χρησιμοποίηση κυψελίδων καυσίμου. Ο διαχωρισμός αυτός ακολούθησε τη λογική των Tsoutsos et al. (2005) με κάποιες προσαρμογές και αναφέρεται στις εξής κατηγορίες επιπτώσεων:

- ο Επιπτώσεις σε οπτικό και ακουστικό επίπεδο (visual impact and noise intrusions). Οι επιπτώσεις αυτές, αν και όχι άμεσα επιβαρυντικές για τη ζωή του ανθρώπου (και του υπολοίπου

οικοσυστήματος), επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό την ποιότητα ζωής και μπορούν να ωθήσουν τον άνθρωπο ακόμη και σε αλλαγή περιβάλλοντος.

- ο Επιπτώσεις στο οικοσύστημα, όσον αφορά εκπομπές ρύπων που επιτείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου ή την καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος, τις τάσεις ευτροφισμού ή ακόμη και το φαινόμενο της όξινης βροχής. Οι επιδράσεις αυτές ίσως να είναι και οι πιο βαρύνουσες, με την έννοια ότι αποτέλεσαν τον λόγο για τον οποίο ξεκίνησαν να υφίστανται σαν θεσμός οι Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων.
- ο Άμεσες επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού, εννοώντας κυρίως την πιθανότητα εμφάνισης καρκίνου στους περιβάλλοντες πληθυσμούς. Η σημασία αυτής της κατηγορίας επιδράσεων είναι αναμφισβήτητη, καθώς η επιβίωση του ανθρώπου είναι από τα πρωτεύοντα ζητήματα σε όποιες αποφάσεις και μέτρα ληφθούν.
- ο Έμμεσες επιπτώσεις στα αποθέματα-κοιτάσματα υλικών μη ανανεώσιμων υλικών, όπως η πλατίνα που χρησιμοποιείται κατά κόρον στην κατασκευή κυψελίδων, ή γενικά στα υπάρχοντα κοιτάσματα συμβατικών μη ανανεώσιμων καυσίμων.
- ο Επιπτώσεις λόγω ατυχημάτων στο περιβάλλον, εννοώντας τις επιδράσεις που θα είχε μια πιθανή διαρροή του καταλύτη, κατά τη λειτουργία της κυψελίδας στον υδροφόρο ορίζοντα της περιοχής. Η μελέτη των επιπτώσεων που θα προκαλούσε ένα ατύχημα τοποθετείται σε ξεχωριστή κατηγορία από αυτήν των επιπτώσεων στο οικοσύστημα, κι αυτό γιατί πρέπει να δοθεί ξεχωριστή προσοχή στον τομέα των ατυχημάτων και συγκεκριμένα στην πρόληψη τους και ίσως στη διαμόρφωση σχεδίων για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν από ατυχήματα.

- ο Επιπτώσεις στον κοινωνικό τομέα, με την έννοια της προσφοράς εργασίας και της ανεργίας. Είναι σαφές ότι ο τρόπος που θα αντιδράσει ο κοινωνικός τομέας είναι σημαντικός και πρέπει οπωσδήποτε, να αποτελέσει κομμάτι της έρευνας που κάνουμε, για τις επιπτώσεις που θα έχει το υπό μελέτη σύστημα.

Με τον παραπάνω διαχωρισμό, περικλείονται όλες εκείνες οι πιθανές επιδράσεις που θα μπορούσαν να λάβουν χώρα κατά τη λειτουργία ενός συστήματος κυψελίδας, χρησιμοποιώντας ως καύσιμο τη βιοαιθανόλη. Παράλληλα με την καταγραφή των επιπτώσεων του συστήματος που ελέγχεται, γίνεται σε κάποια σημεία και όπου είναι αυτό εφικτό, κάποιου τύπου σύγκριση με άλλες τεχνολογίες και διαφορετικά καύσιμα, ώστε να διαμορφώνεται μια πιο πλήρης εικόνα για την καθαρότητα ή μη του εν λόγω συστήματος.

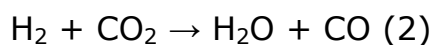
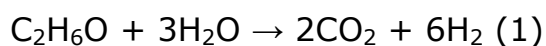
Για την απεικόνιση των παραπάνω επιπτώσεων, παρουσιάστηκαν όπου ήταν αυτό δυνατό, διαγράμματα που να δίνουν στοιχεία σχετικά με αυτές τις επιπτώσεις. Οι πηγές οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν, παρατίθενται στο τμήμα της βιβλιογραφίας.

3.2. Προσέγγιση υποδείγματος με χρησιμοποίηση του SuperPro Designer

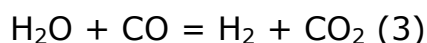
3.2.1. Υπόδειγμα

Η μέθοδος που ακολουθεί, αποτέλεσε το υπόδειγμα και την πηγή για τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στο SuperPro Designer. Διεξήχθη από τους Στεργιόπουλος et al. (2004) και σε αυτήν προσομοιώθηκε ένα σύστημα κυψελίδας καυσίμου PEM με τροφοδοσία αιθανόλης για κινητές εφαρμογές, με τη μορφή εξεργειακής ανάλυσης και ταυτόχρονης έρευνας για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του συστήματος. Το κομμάτι της μελέτης που χρησιμοποιήθηκε και αποτέλεσε το κριτήριο για την εκτίμηση των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν από το SuperPro Designer, ήταν αυτό των επιπτώσεων στο περιβάλλον, γι' αυτό και θα γίνει παράθεση, μόνο των δεδομένων που λάβαμε υπόψη στη μελέτη μας.

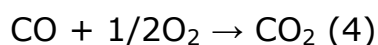
Η θεωρούμενη μονάδα αποτελείται από εξατμιστήρα/αναμικτήρα, αναμορφωτή, αντιδραστήρα μετατόπισης του CO, συσκευή απομάκρυνσης CO (PROX αντιδραστήρας), κυψελίδα καυσίμου πρωτονιακού ηλεκτρολύτη (PEMFC) και καυστήρα (ο οποίος παραλείφθηκε όπως σημειώνεται στις παραδοχές). Αφού ρυθμίστηκαν τα αέρια ρεύματα της αιθανόλης και του υδρατμού (με λόγο υδρατμού/αιθανόλη ίσο ή μεγαλύτερο από το στοιχειομετρικό για την αναμόρφωση της αιθανόλης), οδηγήθηκαν στον αναμορφωτή, όπου η σύσταση ισορροπίας για τις ακόλουθες ταυτόχρονες αντιδράσεις:



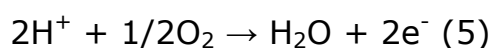
αποκαταστάθηκε στη θερμοκρασία των 600K. Και οι δύο παραπάνω αντιδράσεις είναι ενδόθερμες και πραγματοποιούνται με την προσφορά θερμότητας από τον καυστήρα. Επιπλέον, η αντίδραση μετατόπισης του CO:



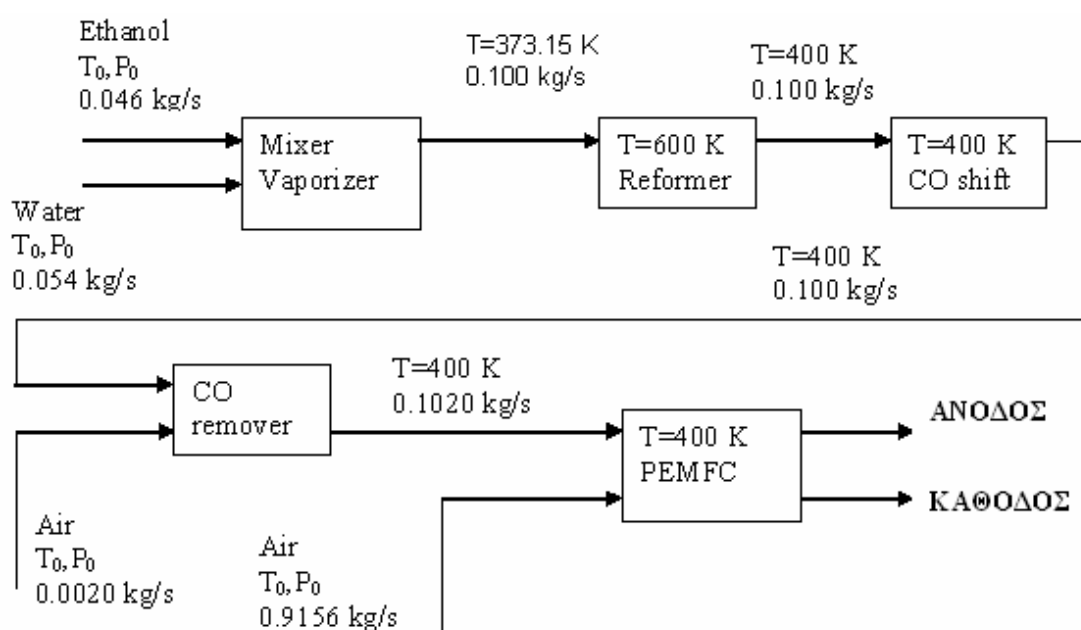
θεωρήθηκε ότι φτάνει σε ισορροπία στους 400K. Η αντίδραση (3) είναι ελαφρώς εξώθερμη και ο ρόλος της είναι να καταναλώνει ένα σημαντικό ποσό από το CO που περιέχεται στο μίγμα αναμόρφωσης παράγοντας ταυτόχρονα υδρογόνο. Δεδομένου ότι το CO είναι εξαιρετικά δηλητηριώδες για τους καταλύτες των PEMFC, η αναλογία στο ρεύμα τροφοδοσίας της κυψελίδας δεν πρέπει να ξεπερνά τα 10ppm. Για την ικανοποίηση αυτής της απαίτησης το τελικό μίγμα οδηγείται στη συσκευή απομάκρυνσης του CO (PROX), όπου πραγματοποιείται η επιλεκτική οξείδωση του CO σύμφωνα με την εξώθερμη αντίδραση:



Ο αέρας που απαιτείται για την αντίδραση (4) σε όλες τις περιπτώσεις πρέπει να είναι ίσος με το στοιχειομετρικό ποσό του CO. Τελικά, το CO μειώνεται και από τις παραπάνω αντιδράσεις παράγεται ένα μίγμα πλούσιο σε υδρογόνο που οδηγείται στην κάθοδο του PEMFC. Τα άτομα του υδρογόνου διασπώνται ηλεκτροχημικά στον καταλύτη της ανόδου σε κατιόντα H⁺, τα οποία μεταφέρονται διαμέσου της μεμβράνης στον καταλύτη της καθόδου, όπου πραγματοποιείται η ακόλουθη ηλεκτροχημική αντίδραση:



Η αντίδραση της καθόδου (5) είναι εξώθερμη και οδηγεί στη ροή ηλεκτρονίων που σχετίζεται με την επιθυμητή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη μονάδα. Η θερμοκρασία λειτουργίας πρέπει να είναι αρκετά χαμηλή (κάτω των 400K), έτσι ώστε η μεμβράνη Nafion να παραμένει ενυδατωμένη και να διευκολύνεται ο μηχανισμός μεταφοράς των πρωτονίων. Γι' αυτό το λόγο θεωρήθηκε κατάλληλη η προσαρμογή ενός συστήματος ψύξης για την επιτυχή αποβολή της θερμότητας από την αντίδραση (5). Το σύστημα απεικονίζεται στο Διάγραμμα 12:



Διάγραμμα 12: Μια προσέγγιση του συστήματος που απεικονίζεται στη μελέτη των Στεργιόπουλος et al. (2004)

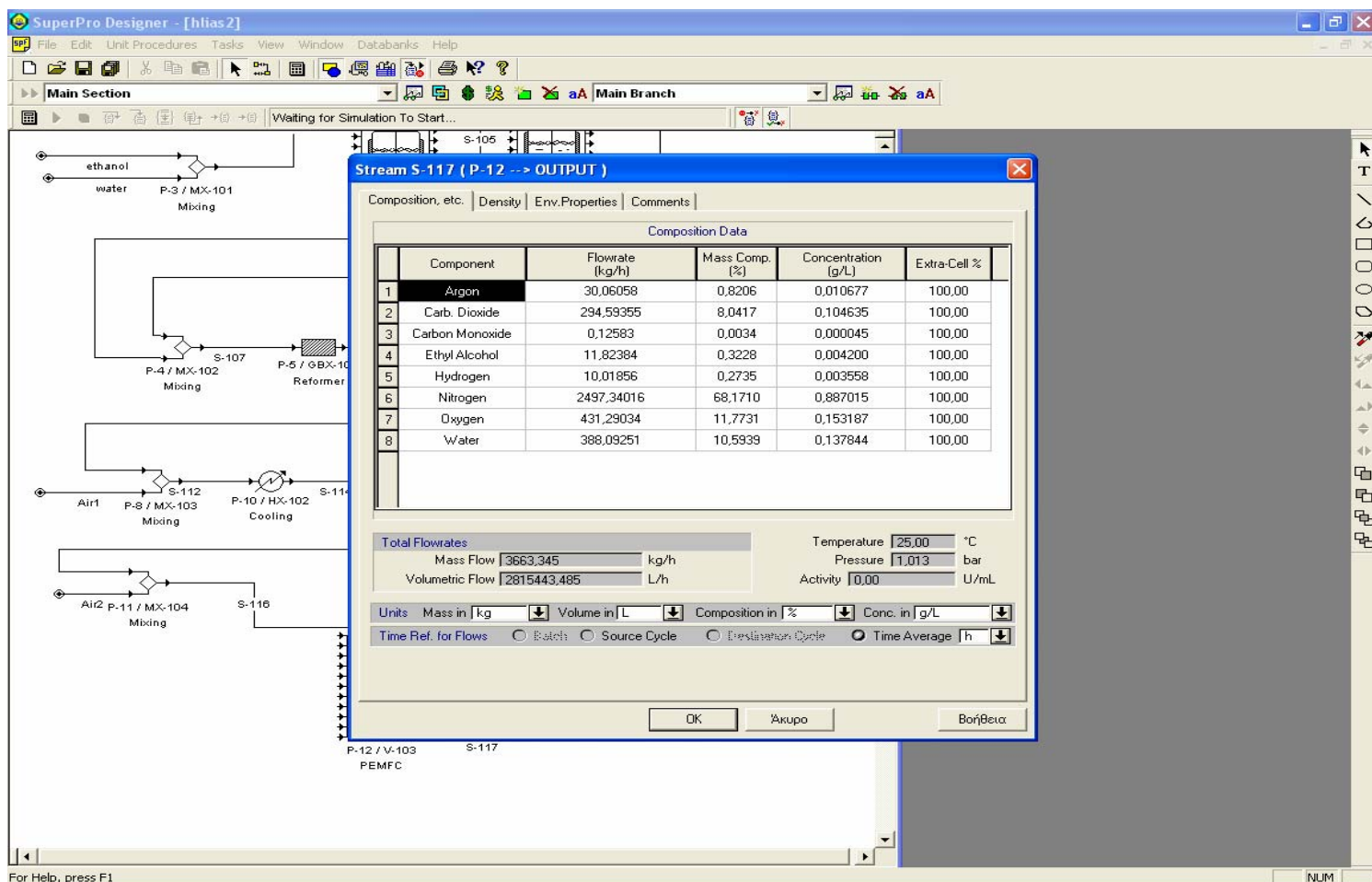
3.2.2. SuperPro Designer

Το πρόγραμμα SuperPro Designer της Intelligen Inc.(version 5.0, build 9) αποτέλεσε τη δεύτερη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και ένα ουσιαστικό εργαλείο για την προσομοίωση ενός συστήματος κυψελίδας καυσίμου, παρόμοιου με αυτό που περιγράφεται στο υπόδειγμα, με κάποιες παραδοχές και συμβάσεις.

Το λογισμικό SuperPro Designer, αποτελεί μια εφαρμογή με την οποία μπορούν να προσομοιωθούν συστήματα που άπτονται του αντικειμένου μελέτης ενός χημικού, βιοχημικού, ή περιβαλλοντολόγου μηχανικού, στο επίπεδο R&D, καθώς και στην πράξη, στο επίπεδο του υπολογισμού της αποτελεσματικότητας διαφόρων διεργασιών. Ανταποκρίνεται στις καθημερινές ανάγκες για υπολογισμούς, πολλών επιστημόνων που μπορεί να απασχολούνται σε τομείς όπως βιοχημικές, χημικές, φαρμακευτικές εταιρείες ενώ χρησιμοποιείται ευρέως και σε εταιρείες τροφίμων, εταιρείες συμβούλων περιβάλλοντος και βιολογικούς καθαρισμούς. Το λογισμικό αυτό είναι πλήρως ρυθμιζόμενο και μπορεί να προσαρμοστεί στις απαιτήσεις του κάθε επιστήμονα, καλύπτοντας έτσι ένα πλήθος εφαρμογών.

Η λειτουργία του προγράμματος βασίζεται στην προσομοίωση των διεργασιών που περιέχει το υπό μελέτη σύστημα. Επίσης, η διαδικασία περιέχει και καθορισμό συγκεκριμένων συνθηκών λειτουργίας για το σύστημα, έτσι ώστε τα αποτελέσματα που θα εξαχθούν να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στην πραγματικότητα.

Το SuperPro Designer, είναι αρκετά εύχρηστο σαν εργαλείο κι αυτό γιατί μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα μεγάλο εύρος περιβαλλοντικών εφαρμογών, ενώ παρουσιάζει και ευελιξία όσον αφορά την προσέγγιση διαφορετικών διεργασιών από αυτές που ήδη παρέχονται στο χρήστη, δίνοντας του τη δυνατότητα να εισάγει νέες καθορίζοντας ο ίδιος τις συνθήκες και τα δεδομένα εισαγωγής. Από την άλλη, όπως και προαναφέρθηκε, έγιναν αρκετές συμβάσεις, προκειμένου να εισαχθεί το μελετούμενο σύστημα στο πρόγραμμα αυτό, με τη μεγαλύτερη δυνατή πιστότητα. Η Εικόνα 4 δίνει μια εικόνα του περιβάλλοντος του προγράμματος κατά την απεικόνιση των αποτελεσμάτων για ένα συγκεκριμένο ρεύμα.



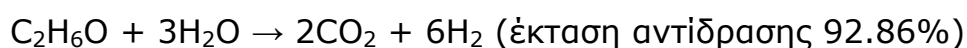
Εικόνα 4: Απεικόνιση του προγράμματος SuperPro Designer και του τρόπου που εμφανίζονται τα αποτελέσματα για το ρεύμα εκροής

3.2.3. Περιγραφή του συστήματος που εισάγεται στο SuperPro Designer

Οι εισροές αρχικά είναι ίδιες με αυτές του προαναφερθέντος συστήματος, 0.046 kg/s αιθανόλης και 0.054 kg/s νερού, δηλαδή, ουσιαστικά, υδατικό διάλυμα περιεκτικότητας 46% σε αιθανόλη.

Αρχικά, έχουμε τη μείξη (mixing) των δύο εισροών, αιθανόλης και νερού και την ανάμειξη τους (agitation) με υποβοήθηση μηχανικών μέσων. Έπειτα, έχουμε την εξάτμιση (vaporization) ενός τμήματος του μείγματος. Σαν πτητικά ορίζονται η αιθανόλη και το νερό, με

ποσοστά εξάτμισης 35.14% και 11.71% αντίστοιχα. Ακολουθεί ξανά, η φάση της μείξης του αέριου και υγρού μείγματος που εξέρχεται από τον εξατμιστήρα. Απαραίτητο είναι το επόμενο στάδιο της αναμόρφωσης (reformer), οπότε και έρχονται σε ισορροπία οι επόμενες αντιδράσεις:



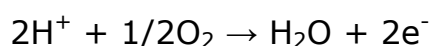
Η ισορροπία για τις αντιδράσεις αυτές αποκαθίσταται στη θερμοκρασία των 600K, ενώ το μείγμα που εξέρχεται, έχει θερμοκρασία 400K. Σημειώνεται, ότι οι παραπάνω αντιδράσεις είναι ενδόθερμες. Ακολουθεί εμπλουτισμός του μείγματος σε αέρα και η απομάκρυνση του CO (CO shift), σύμφωνα με την αντίδραση:



Η ισορροπία για αυτήν την αντίδραση αποκαθίσταται στους 400K. Το εξερχόμενο μείγμα έχει την ίδια θερμοκρασία. Σε αυτό το στάδιο, εισέρχεται παροχή 0.002 kg/s αέρα σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Παρόμοια, είναι και η αντίδραση που ακολουθεί και αναφέρεται σαν αντίδραση απομάκρυνσης του CO (CO remover):



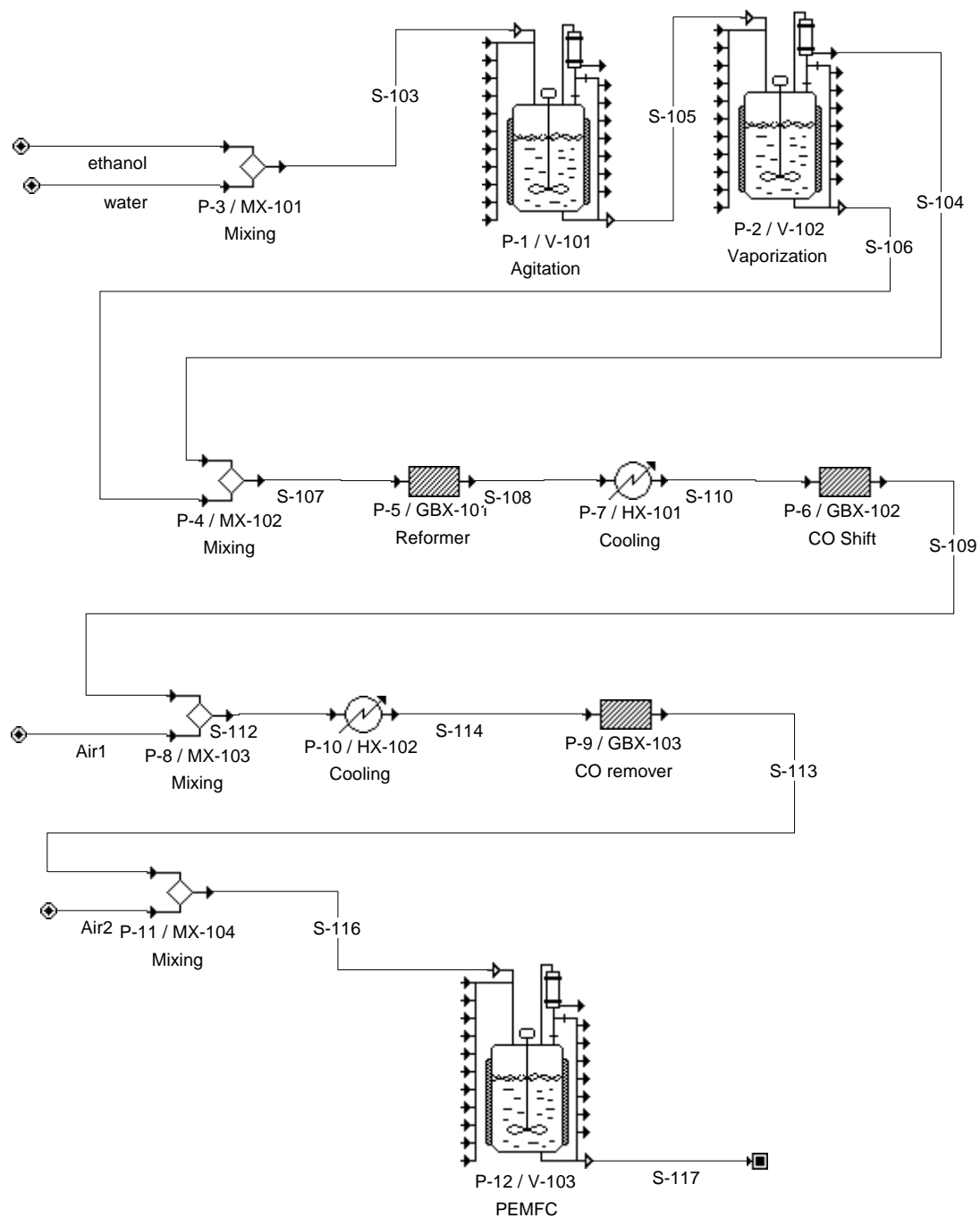
Τελικά, το μείγμα με θερμοκρασία 373K, αφού εμπλουτιστεί με μεγάλη ποσότητα αέρα (0.9156 kg/s) σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας εισάγεται στην κυψελίδα PEM, όπου και λαμβάνει θεωρητικά χώρα η αντίδραση:



Για λόγους όμως λειτουργίας του προγράμματος, η παραπάνω αντίδραση εισάγεται ως εξής στο πρόγραμμα:



Το σύστημα απεικονίζεται στο παρακάτω Διάγραμμα (13), ενώ reports από την εκτέλεση του προγράμματος παρατίθενται στο Παράρτημα:



Διάγραμμα 13: Απεικόνιση του συστήματος προσομοίωσης στο SuperPro Designer

Στη συγκεκριμένη μελέτη, προσομοιώθηκε ένα σύστημα κυψελίδας καυσίμου PEM, με τροφοδοσία αιθανόλης για κινητές εφαρμογές. Έγινε μια προσπάθεια εισαγωγής του συστήματος που περιγράφεται στο υπόδειγμα, με αρκετές παραδοχές. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα στάδια cooling που προστέθηκαν πριν τα στάδια CO shift και CO remover, έγιναν για λόγους λειτουργίας του προγράμματος. Οι συνθήκες διεξαγωγής των αντιδράσεων είναι αυτές που προαναφέρθηκαν. Επίσης, οι διεργασίες ανάμειξης τοποθετούνται κατά σύμβαση, ώστε να μην υπάρχει απώλεια καμίας ουσίας και η λειτουργία του συστήματος να συνεχίζεται ανεπηρέαστη. Τέλος, στο στάδιο που γίνεται η προσομοίωση του σταδίου της κυψελίδας, η αντίδραση που κανονικά λαμβάνει χώρα γίνεται μεταξύ ιόντων, για λόγους όμως λειτουργίας του προγράμματος, η αντίδραση αυτή γίνεται μεταξύ μορίων. Επιπλέον, δε χρησιμοποιήθηκε μετακαυστήρας, ο οποίος θεωρητικά συμβάλλει σημαντικά στη μείωση των ρύπων που εξέρχονται από την άνοδο, κι αυτό γιατί ενώ στη μελέτη του υποδείγματος γίνεται διαχωρισμός των προϊόντων της ανόδου και της καθόδου και στο μετακαυστήρα οδηγούνται μόνο τα προϊόντα της ανόδου, παρόμοιος διαχωρισμός δεν είναι εφικτός κατά την εκτέλεση του προγράμματος στο SuperPro Designer. Γενικότερα, η όλη χρήση του λογισμικού αυτού γίνεται κατά σύμβαση, και έχει σαν στόχο την προσέγγιση λειτουργίας ενός συστήματος κυψελίδας, με χρησιμοποίηση αιθανόλης σαν καύσιμο.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1. Αποτελέσματα Εκτίμησης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων

Οι επιπτώσεις λοιπόν που προκύπτουν από την αξιοποίηση μιας κυψελίδας καυσίμου με τροφοδοσία αιθανόλης, ταξινομούνται ως εξής:

- Οπτικού τύπου οχλήσεις (visual impact)
- Ακουστικού τύπου οχλήσεις (θόρυβος) (noise intrusions)
- Επιπτώσεις πάνω στο οικοσύστημα, λόγω του λειτουργίας του συστήματος
- Άμεσες επιδράσεις στην υγεία του πληθυσμού (health impact)
- Επιπτώσεις στα διαθέσιμα, μη ανανεώσιμα υλικά
- Εκπομπές χημικών λόγω ατυχημάτων (accidental release)
- Επιπτώσεις στο κοινωνικό περιβάλλον (social impact)

Όσον αφορά τις **οπτικού τύπου οχλήσεις**, θα λέγαμε ότι οι επιπτώσεις των συστημάτων αυτών, ειδικά σε κινητές εφαρμογές, είναι αμελητέες και αυτό λόγω του μεγέθους που έχει μια κυψελίδα που χρησιμοποιείται σε τέτοια περίπτωση και δε διαφέρει πολύ (οπτικά πάντα), σε σχέση με τον κινητήρα εσωτερικής καύσης.

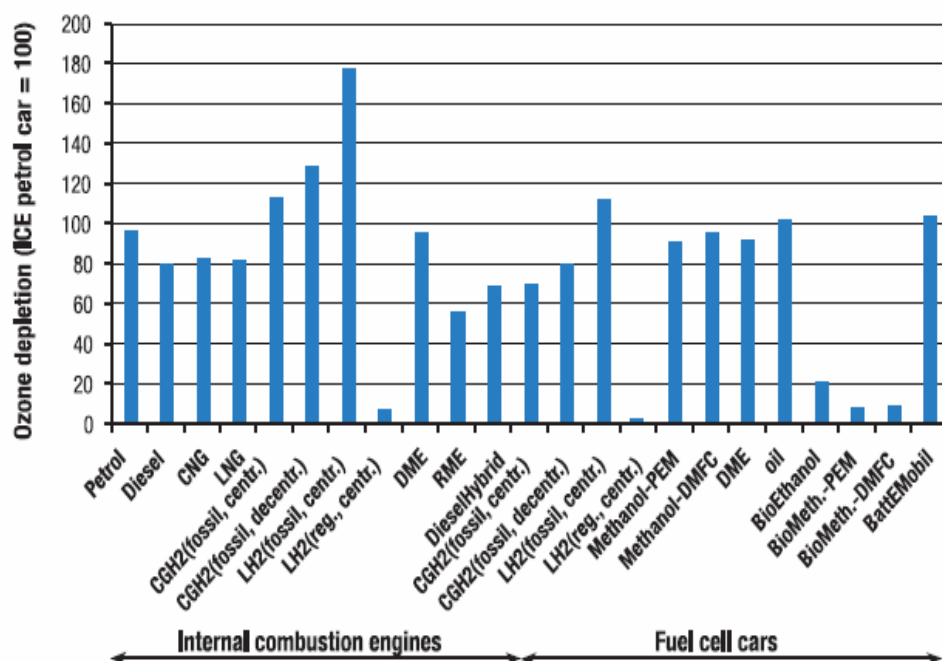
Μια πιθανή επίπτωση που θα μπορούσε να σχολιαστεί είναι αυτή του **θορύβου**, ο οποίος παράγεται κατά τη λειτουργία ενός συστήματος κυψελίδας καυσίμου. Ενδεικτικά, παρατίθεται ο Πίνακας 11, στον οποίο περιέχονται στοιχεία σχετικά με την ένταση του θορύβου (sound pressure levels) σε ακτίνα 2,5 m μακριά από λεωφορείο δεδομένων διαστάσεων, που παράγεται κατά τη λειτουργία μιας κινητήρων ντίζελ και κυψελίδας PAFC. Είναι λοιπόν εύκολα

κατανοητό, ότι προκύπτει σημαντικό κέρδος κατά τη μετάβαση σε σύστημα κυψελίδας.

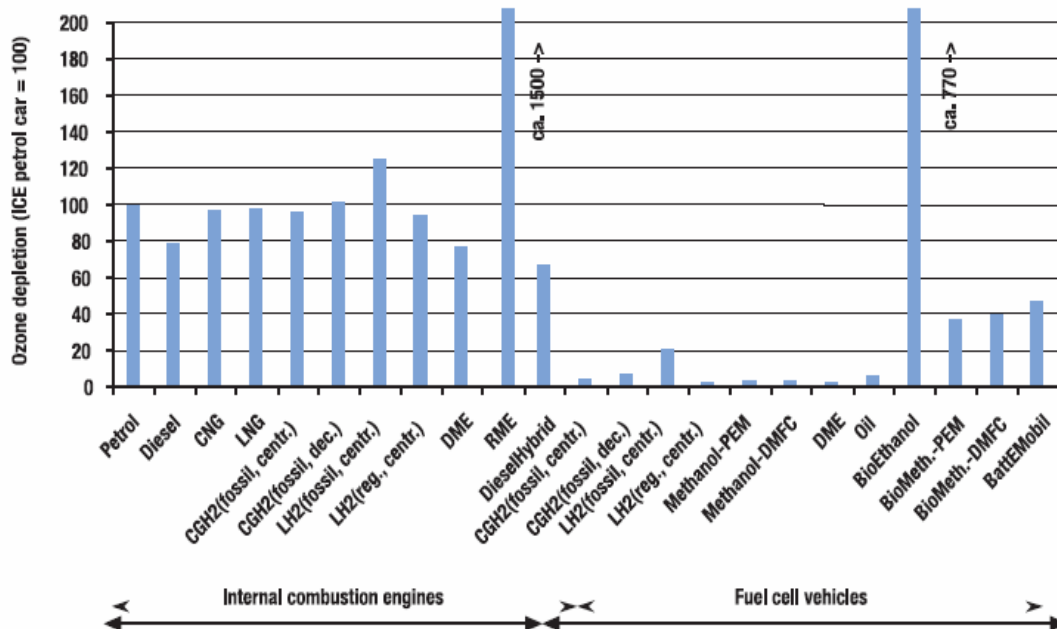
VEHICLE	Maximum SPL at 2.5m (db(A))
Gillig 50' (15m), Diesel (1995)	84
Orion 30' (9.1 m), Diesel (1989)	82
GMC (10.6 m), Diesel (1983)	87
PAFC 30' (9.1m), fuel cell bus	73

Πίνακας 11: Επίπεδα θορύβου για διάφορους τύπους λεωφορείων (Karlstrom, 2004)

Οι επιπτώσεις στο **οικοσύστημα**, μπορούν να συνοψιστούν στις εκπομπές GHG του συστήματος, και συγκεκριμένα στις εκπομπές CO₂ του συστήματος. Τα Διαγράμματα 14 και 15, δίνουν μια εικόνα για τις εκπομπές θερμοκηπίου του συστήματος στο οποίο αναφερόμαστε (PEMFC με καύσιμο βιοαιθανόλη), όσο και για την επίδραση που έχει η λειτουργία του συστήματος στη μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος, συσχετίζοντάς τις επιδράσεις αυτές με τις αντίστοιχες, συστημάτων με κινητήρες εσωτερικής καύσης, καθώς και συστημάτων κυψελίδων με διαφορετικά καύσιμα. Όπως φαίνεται λοιπόν από το Διάγραμμα 14 (IFEU, 1999), η επίδραση του υπό μελέτη συστήματος στο οικοσύστημα της περιοχής, είναι πολύ μικρότερη από τα υπόλοιπα συγκρινόμενα συστήματα, και για άλλη μία φορά το περιβαλλοντικό όφελος είναι πολύ σημαντικό. Στη δεύτερη περίπτωση μελέτης της επίδρασης του συστήματος στην καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος (Διάγραμμα 15 - IFEU, 1999), η επίδοση του συστήματος δεν είναι καθόλου θετική, γεγονός που ερμηνεύεται από τα ποσά N₂O που εκπέμπονται από τις φυτείες, που αποτελούν την πρώτη ύλη για την παραγωγή βιοαιθανόλης, και επιτείνουν τη μείωση του όζοντος στα ανώτερα ατμοσφαιρικά στρώματα.



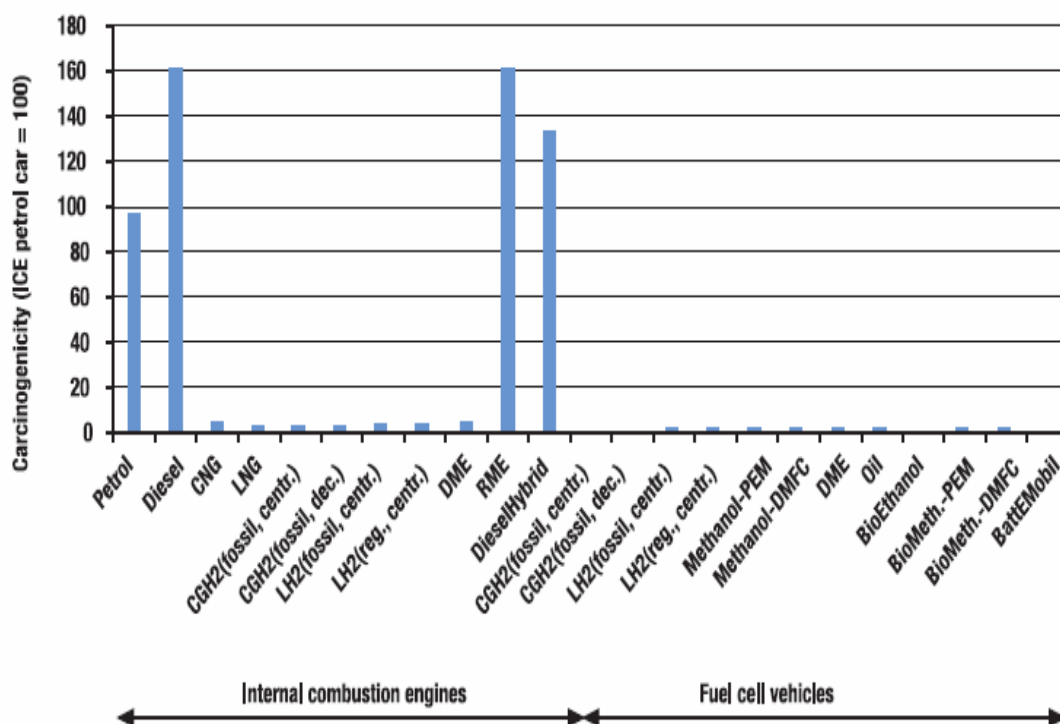
Διάγραμμα 14: Επίδραση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, θέτοντας σαν βάση (100) τον κινητήρα εσωτερικής καύσης με καύσιμο βενζίνη (IFEU, 1999)



Διάγραμμα 15: Επίδραση στη μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος, θέτοντας σαν βάση (100) τον κινητήρα εσωτερικής καύσης με καύσιμο βενζίνη (IFEU, 1999)

Στο Διάγραμμα 16 (IFEU, 1999) απεικονίζεται πολύ καθαρά, η επίδραση που παρουσιάζει η χρησιμοποίηση των διαφόρων καυσίμων

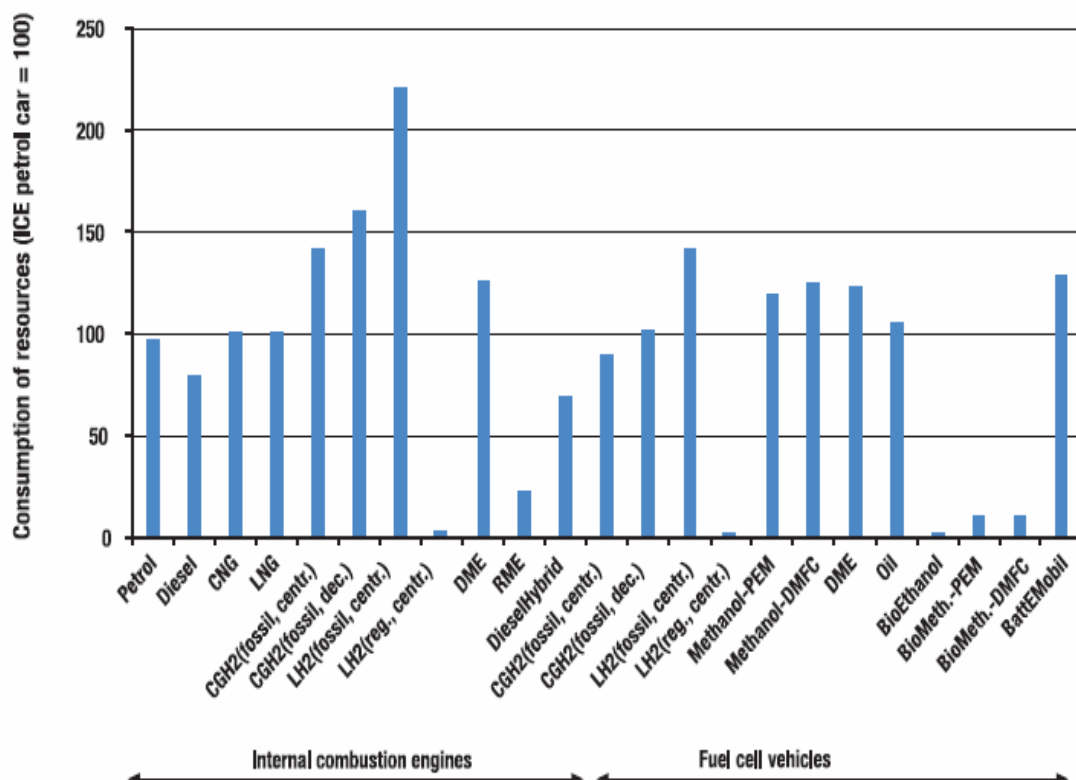
στους δύο τύπους κινητήρων που έχουμε, στην **υγεία των κατοίκων** με την έννοια της πιθανότητας εμφάνισης καρκίνου. Συγκεκριμένα, το σύστημα το οποίο περιγράφουμε, παρουσιάζει μηδενική επίδραση, όπως και όλα τα υπόλοιπα συστήματα που χρησιμοποιούν την τεχνολογία των κυψελίδων.



Διάγραμμα 16: Απεικόνιση του δυναμικού των καυσίμων χρησιμοποιούμενων σε κινητήρες, όσον αφορά την πιθανότητα εμφάνισης καρκίνου στους περιβάλλοντες πληθυσμούς, θέτοντας σαν βάση (100) τον κινητήρα εσωτερικής καύσης με καύσιμο βενζίνη (IFEU, 1999)

Το σύστημα το οποίο μελετάται, ενσωματώνει κάποια ποσότητα πλατίνας, τα **κοιτάσματα** της οποίας, σε περίπτωση ευρείας παραγωγής κυψελίδων καυσίμου, θα ελαττωθούν σε σημαντικό βαθμό (Karlstrom, 2004). Σύμφωνα όμως με τους Rade and Andersson (2001), οι οποίοι «τρέχουν» ένα σενάριο για την μελλοντική εξάπλωση των κυψελίδων, σε περίπτωση που επιδιωχθεί μαζική παραγωγή κυψελίδων καυσίμου θα υπάρξει πρόβλημα. Συγκεκριμένα, υπολογίστηκε ότι το συνολικό απόθεμα σε συγγενή

μέταλλα με την πλατίνα, είναι 155 Gg, με τα 67 Gg από αυτά να είναι πλατίνα. Στο βασικό τους σενάριο, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα γνωστά αποθέματα της πλατίνας θα έχουν εξαντληθεί γύρω στο 2050-2060. Πιο κοντινό χρονικά όμως, θεωρείται το σενάριο γύρω στο 2030, οπότε και θα γίνεται μαζική κατασκευή κυψελίδων καυσίμου, να υπάρξει πρόβλημα με τις τιμές της πλατίνας, οπότε σαν συνέπεια, η τεχνολογία των κυψελίδων καυσίμου να οδηγηθεί σε αδιέξοδο. Το γεγονός όμως είναι, ότι τα συμπεράσματα αυτά αμφισβητούνται. Για παράδειγμα, σύμφωνα με τη μελέτη TIAH (2003), η διαθεσιμότητα της πλατίνας σε σταθερή τιμή, δε θα αποτελέσει εμπόδιο για την είσοδο των κυψελίδων καυσίμου στην αγορά. Σύμφωνα μάλιστα με τη μελέτη αυτή, τα αποθέματα πλατίνας είναι αρκετά ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες σε πλατίνα, με μακροπρόθεσμη προοπτική. Το σίγουρο πάντως, είναι πως η κατάσταση προς στιγμήν είναι ελεγχόμενη, αν συνυπολογίσει κανείς και το γεγονός ότι η συνεχής έρευνα πάνω στους καταλύτες, έχει με τα χρόνια επιδράσει θετικά πάνω στις ποσότητες που χρησιμοποιούνται στις κυψελίδες, και κατά συνέπεια στο κόστος τους, σενάριο που πιθανώς να επαληθευτεί μελλοντικά και στην περίπτωση της πλατίνας. Γενικότερα, μπορεί να δοθεί μια εικόνα σχετικά με την κατανάλωση των μη ανανεώσιμων κοιτασμάτων μέσω του Διαγράμματος 17 (IFEU, 1999), από το οποίο και διακρίνεται η πολύ καλή επίδοση του συστήματός μας.



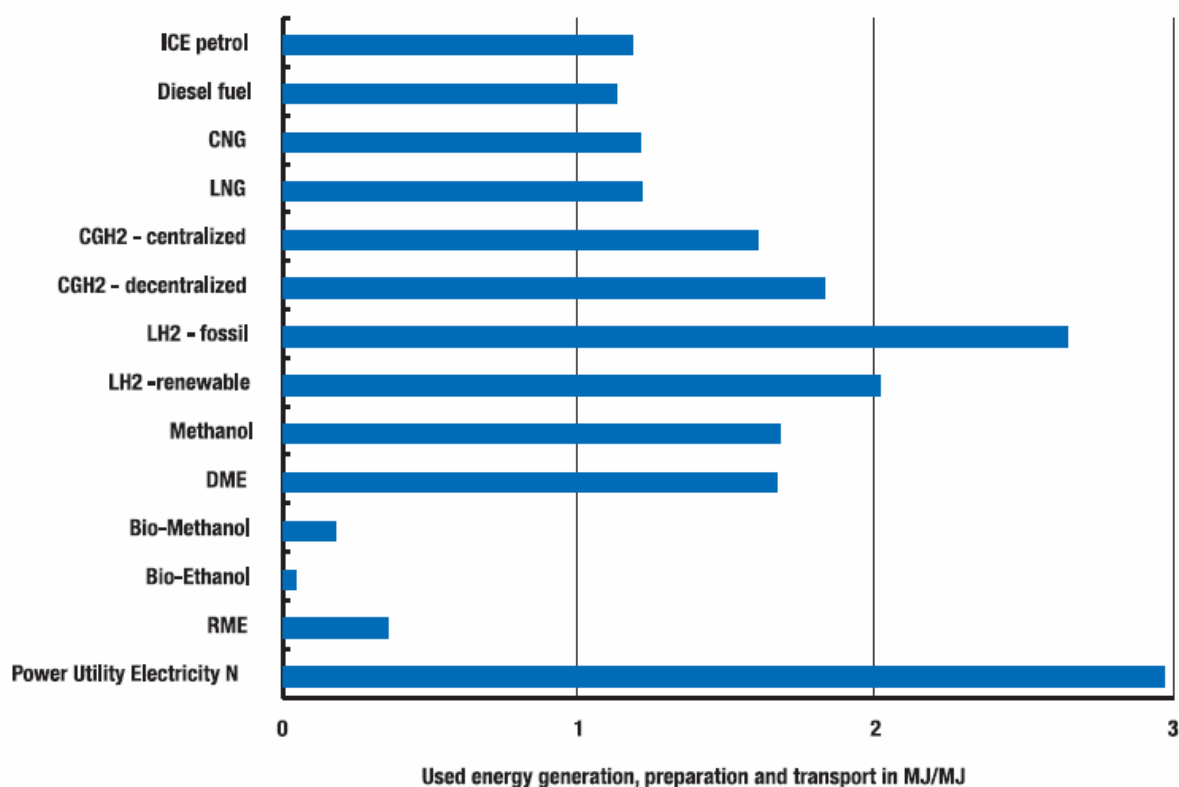
Διάγραμμα 17: Απεικόνιση της κατανάλωσης των μη ανανεώσιμων κοιτασμάτων, θέτοντας σαν βάση (100) τον κινητήρα εσωτερικής καύσης με καύσιμο βενζίνη (IFEU, 1999)

Η λειτουργία του συστήματος αυτού, θα μπορούσε επίσης να επιδράσει αρνητικά στο περιβάλλον, στην περίπτωση **διαρροής** του ηλεκτρολύτη στον υδροφόρο ορίζοντα. Συγκεκριμένα στοιχεία δεν έχουν παρατεθεί, σημαντικό όμως είναι να λαμβάνονται αυστηρά προληπτικά μέτρα ώστε να ελαχιστοποιούνται ακόμη περισσότερο οι, ήδη μικρές, πιθανότητες τέτοιου είδους ατυχημάτων.

Τέλος, σαν επίπτωση στο περιβάλλον του συστήματος, θα μπορούσε να αναφερθεί και η όποια επίδραση στην **κοινωνική και οικονομική ζωή**. Αυτό συνεπάγεται εύκολα, τη δημιουργία πολλών θέσεων εργασίας, τόσο στον τομέα παραγωγής του καυσίμου, όσο και στον τομέα που ασχολείται με την έρευνα και την ανάπτυξη, πάνω στη νέα και συνεχώς εξελισσόμενη τεχνολογία των κυψελίδων καυσίμου, αλλά και στη φάση κατασκευής και διαρκούς συντήρησης

τέτοιων συστημάτων. Σαν αρνητική, θα μπορούσε να χαρακτηριστεί η επίπτωση πάνω στο προϋπάρχον εργατικό δυναμικό του τομέα των συμβατικών καυσίμων, ο οποίος και θα παρακμάσει στην περίπτωση ολοκληρωτικής εισαγωγής των νέων τεχνολογιών στην καθημερινή μας ζωή, επιφέροντας αύξηση της ανεργίας και κατά συνέπεια κοινωνική αστάθεια και προβληματικότερη λειτουργία της οικονομίας. Ίσως μια πιθανή λύση σε αυτό το πρόβλημα, να μπορούσε να αποτελέσει η δαπάνη κεφαλαίου που θα αποσκοπεί στην επιμόρφωση του δυναμικού αυτού, και κατά συνέπεια ομαλότερη μετάβαση στη νέα πραγματικότητα. Με αυτόν τον τρόπο προλαμβάνονται προβλήματα κοινωνικού χαρακτήρα, όπως η ανεργία.

Σημειώνεται ότι στο Παράρτημα, παρατίθεται ο Πίνακας 21 που δείχνει την εκατοστιαία απόκλιση των διαφόρων συστημάτων που χρησιμοποιούνται σε οχήματα, χρησιμοποιώντας σαν βάση τον κινητήρα εσωτερικής καύσης με καύσιμο βενζίνη και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που αυτό παρουσιάζει. Επίσης, στο Διάγραμμα 18 μπορεί να διαφανεί η διευκόλυνση που μπορεί να προσφέρει σαν πιθανή απάντηση, η εισαγωγή της βιοαιθανόλης στις μεταφορές κι αυτό γιατί αποτελεί εκείνη την λύση αυτή, για την επίτευξη της οποίας απαιτούνται οι λιγότερες προσπάθειες, σε μέτρα ποσών καταναλισκόμενης ενέργειας για παραγωγή, τροποποιήσεις και τελικά μεταφορά της παραγόμενης ενέργειας.



Διάγραμμα 18: Σύγκριση των προσπαθειών, σε μέτρα καταναλισκόμενης ενέργειας ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας, που απαιτούνται για την παραγωγή, επεξεργασία και μεταφορά του κάθε ενεργειακού μέσου (IFEU, 1999)

Οι επιπτώσεις από τη χρησιμοποίηση της τεχνολογίας των κυψελίδων σε συνδυασμό με τη βιοαιθανόλη και η ένταξη τους, θα μπορούσαν να συνοψιστούν στον Πίνακα 12. Σημειώνεται η ένταξη της κάθε επίπτωσης μέσω χρησιμοποίησης συμβόλων (+). Η αντιστοίχιση της εκάστοτε ένταξης με συγκεκριμένο συμβολισμό γίνεται με βάση το υπόμνημα. Η βαθμολόγηση, σε περιπτώσεις που δεν έχουν παρατεθεί παραπάνω συγκεκριμένα στοιχεία, γίνεται με βάση τα δεδομένα που ισχύουν στη διεθνή κατάσταση και σύμφωνα με την σφαιρική εικόνα που έχει αποκομιστεί για αυτά από τη βιβλιογραφία:

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	ΕΝΤΑΣΗ
Οχλήσεις οπτικού τύπου	
Οχλήσεις ακουστικού τύπου	+
Επιπτώσεις στο οικοσύστημα	+++
Άμεσες επιπτώσεις στην υγεία	
Επιπτώσεις στα διαθέσιμα μη ανανεώσιμα υλικά	+
Επιπτώσεις λόγω ατυχημάτων ή διαρροής χημικών	+
Επιπτώσεις στον κοινωνικό τομέα	+

Πίνακας 12: Πίνακας επιπτώσεων στο περιβάλλον και βαθμολόγηση της έντασης τους. Υπόμνημα: Αμελητέα επίδραση (), Μικρή Επίδραση (+), Μέση Επίδραση (++), Σημαντική Επίδραση (+++)

4.2. Αποτελέσματα υποδείγματος

Με βάση τα δεδομένα που έχουν δοθεί, σύμφωνα με τη μελέτη των Στεργιόπουλος et al. (2004), εξάγονται κάποια αποτελέσματα (Πίνακες 13, 14), σχετικά με τις εκροές και τη σύστασή τους. Σύμφωνα λοιπόν με τους συγγραφείς, τα ρεύματα ανόδου και καθόδου της κυψελίδας παρουσιάζουν την εξής σύσταση, σε μοριακά κλάσματα (%):

ΑΝΟΔΟΣ	Σύσταση σε μοριακά κλάσματα (%)
Αργό	0,02%
Διοξείδιο του άνθρακα	47,73%
Μονοξείδιο του άνθρακα	0,00%
Αιθανόλη	1,83%
Υδρογόνο	42,73%
Άζωτο	1,38%
Οξυγόνο	0,00%
Νερό	6,31%

Πίνακας 13: Σύσταση του ρεύματος ανόδου (Στεργιόπουλος et al., 2004)

ΚΑΘΟΔΟΣ	Σύσταση σε μοριακά κλάσματα (%)
Αργό	0,53%
Διοξείδιο του άνθρακα	0,02%
Μονοξείδιο του άνθρακα	0,00%
Αιθανόλη	0,00%
Υδρογόνο	0,00%
Άζωτο	72,17%
Οξυγόνο	11,33%
Νερό	15,96%

Πίνακας 14: Σύσταση του ρεύματος καθόδου (Στεργιόπουλος et al., 2004)

4.3. Αποτελέσματα SuperPro Designer και διεξαγωγή ανάλυσης ευαισθησίας

Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν από το SuperPro Designer, συνοψίζονται στον Πίνακα 15:

Ουσία	Σύσταση σε γραμμομοριακά κλάσματα μάζας (%)
Αργό	0,82%
Διοξείδιο του άνθρακα	8,04%
Μονοξείδιο του άνθρακα	0,0034%
Αιθανόλη	0,32%
Υδρογόνο	0,27%
Άζωτο	68,17%
Οξυγόνο	11,77%
Νερό	10,59%

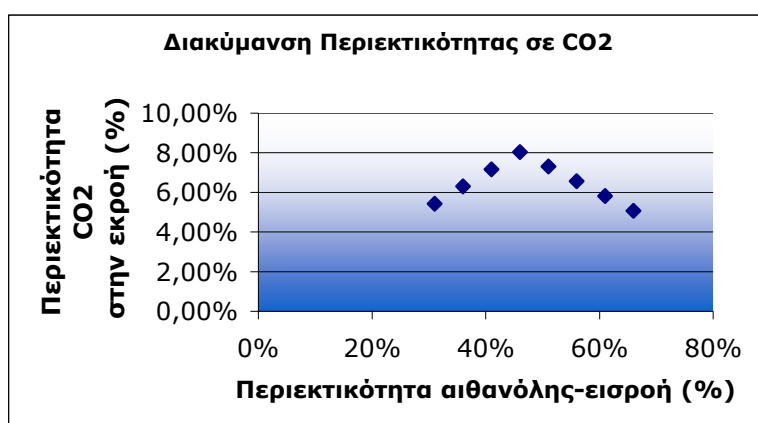
Πίνακας 15: Σύσταση της εκροής του συστήματος, όπως ελήφθη από το SuperPro Designer

Ακολουθεί η διεξαγωγή ανάλυσης ευαισθησίας (Πίνακας 16) με μεταβολές στην αρχική περιεκτικότητα του διαλύματος σε αιθανόλη ανά 5%, από ποσοστό 31% μέχρι περιεκτικότητα 66%. Η τονισμένη στήλη του πίνακα αναφέρεται στα στοιχεία που τέθηκαν σε σύγκριση με τα αντίστοιχα της μελέτης του υποδείγματος, καθώς αυτή είναι η περιεκτικότητα που επιλέγεται κατά τη διεξαγωγή της μελέτης τους. Σημειώνεται, ότι για περιεκτικότητα σε αιθανόλη 26%, όπως και για περιεκτικότητα 71%, δεν υπάρχει η απαιτούμενη ποσότητα αντιδρώντων που χρειάζεται για την διεξαγωγή των αντιδράσεων, για αυτό και τα όρια της ανάλυσης που κάνουμε είναι η περιεκτικότητα σε αιθανόλη 31% και 66%. Στη συνέχεια, παρατίθενται τα διαγράμματα (19-24) που απεικονίζουν την

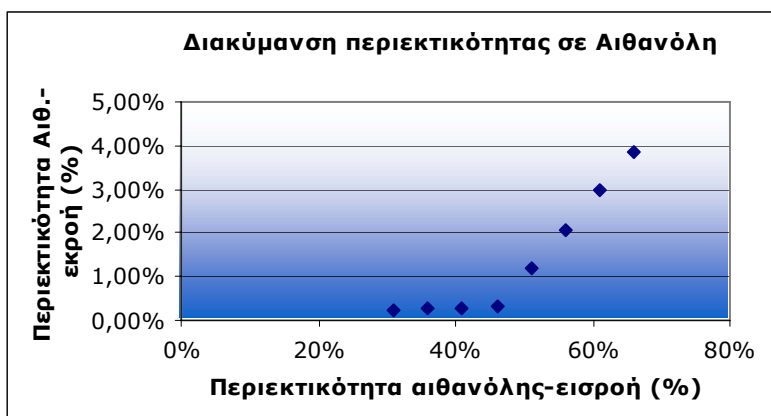
μεταβολή της περιεκτικότητας κάθε ουσίας, σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα της αιθανόλης στην εισροή του συστήματος.

ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΙΘΑΝΟΛΗ	ΣΕ	31%	36%	41%	46%	51%	56%	61%	66%
Αργό		0,82%	0,82%	0,82%	0,82%	0,82%	0,82%	0,82%	0,82%
Διοξείδιο του άνθρακα		5,43%	6,30%	7,17%	8,04%	7,32%	6,56%	5,82%	5,08%
Μονοξείδιο του άνθρακα		0,0023%	0,0027%	0,0031%	0,0034%	0,0031%	0,0028%	0,0025%	0,0022%
Αιθανόλη		0,22%	0,25%	0,29%	0,32%	1,2%	2,08%	2,96%	3,84%
Υδρογόνο		0,18%	0,21%	0,24%	0,27%	0,25%	0,22%	0,2%	0,17%
Άζωτο		68,17%	68,17%	68,17%	68,17%	68,17%	68,17%	68,17%	68,17%
Οξυγόνο		13,91%	13,20%	12,49%	11,77%	12,38%	12,99%	13,6%	14,2%
Νερό		11,26%	11,04%	10,82%	10,59%	9,87%	9,15%	8,43%	7,71%

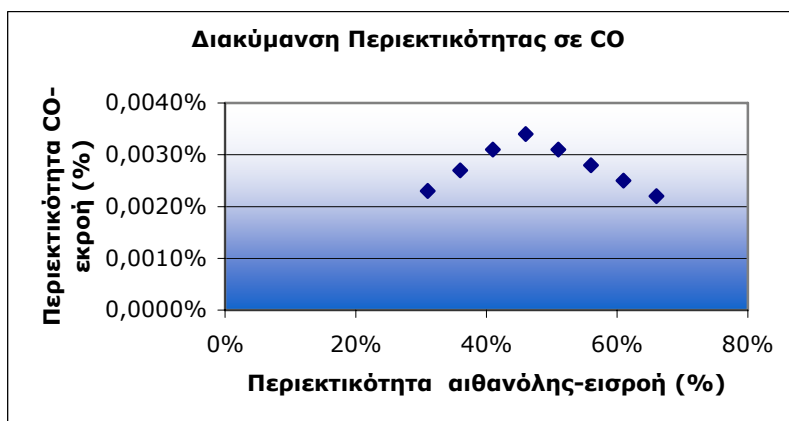
Πίνακας 16: Αποτελέσματα ανάλυσης ευαισθησίας στις εισροές του συστήματος, και επίδραση τους στις τελικές εκροές, ανά ουσία



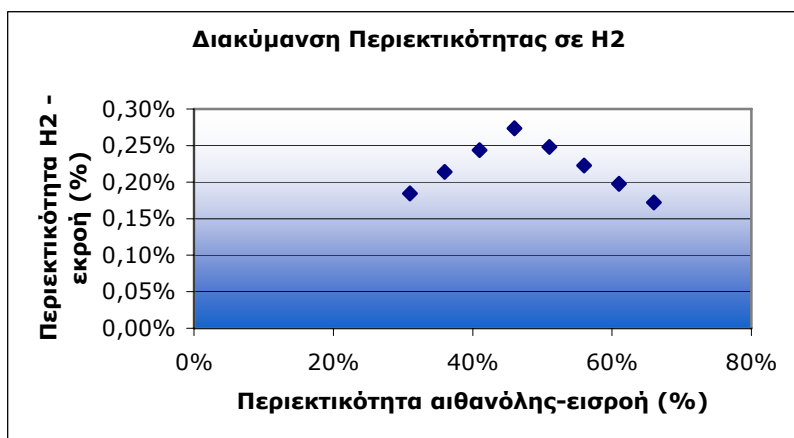
Διάγραμμα 19: Διάγραμμα που απεικονίζει την περιεκτικότητα σε CO₂ του ρεύματος εξόδου, σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα της εισροής σε αιθανόλη



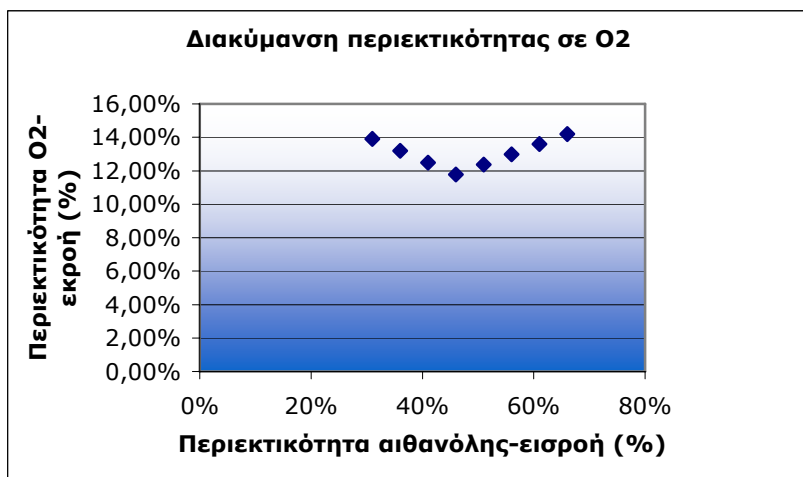
Διάγραμμα 20: Διάγραμμα που απεικονίζει την περιεκτικότητα σε αιθανόλη του ρεύματος εξόδου, σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα της εισροής σε αιθανόλη



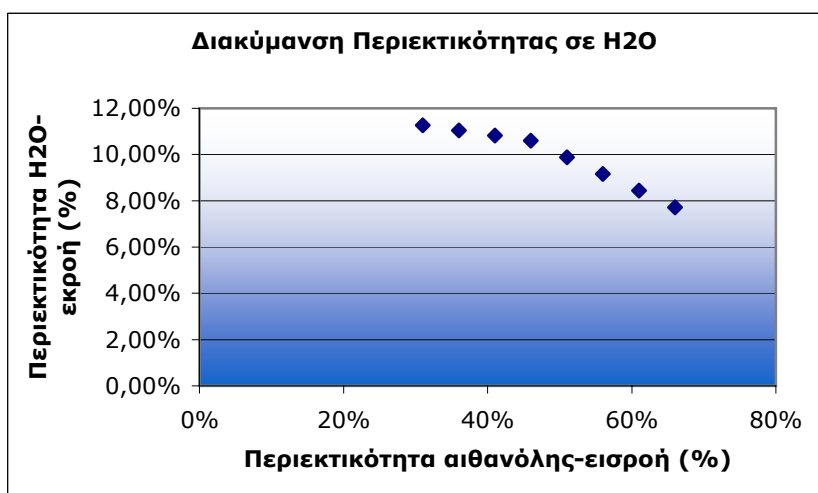
Διάγραμμα 21: Διάγραμμα που απεικονίζει την περιεκτικότητα σε CO του ρεύματος εξόδου, σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα της εισροής σε αιθανόλη



Διάγραμμα 22: Διάγραμμα που απεικονίζει την περιεκτικότητα σε H₂ του ρεύματος εξόδου, σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα της εισροής σε αιθανόλη



Διάγραμμα 23: Διάγραμμα που απεικονίζει την περιεκτικότητα σε O₂ του ρεύματος εξόδου, σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα της εισροής σε αιθανόλη



Διάγραμμα 24: Διάγραμμα που απεικονίζει την περιεκτικότητα σε H₂O του ρεύματος εξόδου, σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα της εισροής σε αιθανόλη

4.4. Σύγκριση των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν από το υπόδειγμα και την εκτέλεση του λογισμικού SuperPro Designer

Για να υπάρχει μέτρο σύγκρισης μεταξύ των αποτελεσμάτων που λαμβάνουμε από το υπόδειγμα και από τη διεξαγωγή του SuperPro Designer, πρέπει αρχικά να μετατρέψουμε τα ρεύματα εκροών ανόδου και καθόδου από την κυψελίδα του υποδείγματος, σε ένα ρεύμα εξόδου και να τροποποιήσουμε τις συστάσεις των ρευμάτων από μοριακά κλάσματα σε γραμμομοριακά.

Θέτοντας ως M_i το μοριακό βάρος της κάθε ουσίας που συμμετέχει στο σύστημα, Y_i το μοριακό κλάσμα της κάθε ουσίας που εξάγεται από το σύστημα μελέτης, w_i το γραμμομοριακό κλάσμα (%) το οποίο ισούται με $\frac{Y_i M_i}{\sum_{i=1}^n Y_i M_i}$. Η άθροιση των ποσοτήτων που υπάρχουν στα

δύο ρεύματα δεν είναι εφικτή όταν αυτές εκφράζονται υπό τη μορφή ποσοστών, για αυτό και υπολογίζεται και η αντίστοιχη παροχή Q_i (σε kg/s) κάθε ουσίας στα ρεύματα εξόδου. Οι παροχές αυτές θα χρησιμεύσουν τελικά στον υπολογισμό του συνολικού γραμμομοριακού κλάσματος, μετά την, θεωρητική πάντα, ανάμειξη των εκροών ανόδου και καθόδου. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι παροχές της ανόδου και της καθόδου, είναι δεδομένες από τη μελέτη και αντιστοιχούν σε τιμές 0,0943 kg/s για την άνοδο και 0,8535 kg/s για την κάθοδο. Έτσι λοιπόν καλούμαστε να υπολογίσουμε το γραμμομοριακό κλάσμα κάθε ουσίας για τα δύο ρεύματα ανόδου και καθόδου (Πίνακες 17, 18):

ΑΝΟΔΟΣ	Σύσταση σε μοριακά κλάσματα (%), Y_i	Μοριακό Βάρος, M_i	$Y_i M_i$	w_i	Q_i (kg/s)
Αργό	0,02%	39,95	0,00799	0,03%	0,0000310837
Διοξείδιο του άνθρακα	47,73%	44,01	21,005973	86,66%	0,081719944
Μονοξείδιο του άνθρακα	0,00%	28,01	0,000000	0,00%	0,000000000
Αιθανόλη	1,83%	46,07	0,843081	3,48%	0,003279854
Υδρογόνο	42,73%	2,01	0,858873	3,54%	0,003341290
Άζωτο	1,38%	28,02	0,386676	1,60%	0,001504293
Οξυγόνο	0,00%	32,00	0	0,00%	0,000000000
Νερό	6,31%	18,02	1,137062	4,69%	0,004423534
Άθροισμα			24,239655	100,00%	0,094300000

Πίνακας 17: Διαδικασία μετατροπής του μοριακού κλάσματος κάθε ουσίας που υπάρχει στο ρεύμα ανόδου σε γραμμομοριακά

ΚΑΘΟΔΟΣ	Σύσταση σε μοριακά κλάσματα (%), Y_i	Μοριακό Βάρος, M_i	$Y_i M_i$	w_i	Q_i (kg/s)
Αργό	0,53%	39,95	0,211735	0,79%	0,006707049
Διοξείδιο του άνθρακα	0,02%	44,01	0,008802	0,03%	0,000278818
Μονοξείδιο του άνθρακα	0,00%	28,01	0,000000	0,00%	0,000000000
Αιθανόλη	0,00%	46,07	0,000000	0,00%	0,000000000
Υδρογόνο	0,00%	2,01	0,000000	0,00%	0,000000000
Άζωτο	72,17%	28,02	20,222034	75,05%	0,640565677
Οξυγόνο	11,33%	32,00	3,6256000	13,46%	0,114846752
Νερό	15,96%	18,02	2,875992	10,67%	0,091101704
Άθροισμα			26,944163	100,00%	0,853500000

Πίνακας 18: Διαδικασία μετατροπής του μοριακού κλάσματος κάθε ουσίας που υπάρχει στο ρεύμα καθόδου σε γραμμομοριακά

Ουσία	Συνολική παροχή ουσίας ρεύμα (kg/s) κάθε στο εξόδο	Συνολικό ποσοστό συμμετοχής στη συνολική εκροή του συστήματος (%)
Αργό	0,006738133	0,7100%
Διοξείδιο του άνθρακα	0,081998762	8,6500%
Μονοξείδιο του άνθρακα	0,000000000	0,0000%
Αιθανόλη	0,003279854	0,3500%
Υδρογόνο	0,003341290	0,3500%
Άζωτο	0,642069970	67,7400%
Οξυγόνο	0,114846752	12,1200%
Νερό	0,095525239	10,0800%
Άθροισμα	0,947800000	100,0000%

Πίνακας 19: Συνολική παροχή και ποσοστό συμμετοχής της κάθε ουσίας στη συνολική εκροή του συστήματος, θεωρώντας την άνοδο και την κάθοδο σαν ενιαία εκροή

Τα τονισμένα στοιχεία του Πίνακα 19, είναι αυτά που τίθενται σε σύγκριση με τα αποτελέσματα που τελικά εξάγονται από το SuperPro Designer. Στον Πίνακα 20, παρατίθενται συνολικά όλα τα αποτελέσματα που έχουν εξαχθεί από τις δύο μελέτες:

Ουσία	SuperPro Designer	Υπόδειγμα	Απόκλιση +/- (%)
Αργό	0,8200%	0,7100%	13,3700%
Διοξείδιο του άνθρακα	8,0400%	8,6500%	-7,5800%
Μονοξείδιο του άνθρακα	0,0034%	0,0000%	100,0000%
Αιθανόλη	0,3200%	0,3500%	-7,2000%
Υδρογόνο	0,2700%	0,3500%	-28,9000%
Άζωτο	68,1700%	67,7400%	0,6300%
Οξυγόνο	11,7700%	12,1200%	-2,9200%

Νερό	10,5900%	10,0800%	4,8600%
------	----------	----------	---------

Πίνακας 20: Πίνακας που απεικονίζει τα αποτελέσματα του SuperPro Designer και αυτά του υποδείγματος, με παράλληλο υπολογισμό της απόκλισης που αυτά εμφανίζουν

Οι αποκλίσεις εξηγούνται κυρίως λόγω των συμβάσεων που κάναμε κατά τη μεταφορά του συστήματος στο SuperPro Designer. Για παράδειγμα, η διαφορά στην περιεκτικότητα του CO, η οποία και θα μπορούσε να ερμηνευτεί από την μικρή ακρίβεια που έχουν οι μετρήσεις της μελέτης για τη συγκεκριμένη ουσία, ενώ η απόκλιση στην περιεκτικότητα σε H₂, θα μπορούσε να εξηγηθεί από τη σύμβαση που έγινε, όσον αφορά την αντίδραση που λαμβάνει χώρα στην κυψελίδα καυσίμου, μετατρέποντας τις ιοντικές μορφές σε μοριακές, αλλά πιθανόν και στον αυθαίρετο ορισμό της έκτασης της αντίδρασης απομάκρυνσης του CO (ορίστηκε 95%) και της αντίδρασης της κυψελίδας, η οποία και ορίστηκε 75%. Η χρήση δύο δεκαδικών ψηφίων δεν εξυπηρετεί, εντούτοις δεν μπορεί να υποθεθεί κάποια τιμή διάφορη του μηδενός, εξήγηση που ερμηνεύει και τη μεγάλη απόκλιση που διακρίνεται.

Γενικότερα, αν θέλαμε να σχολιάσουμε τα αποτελέσματα τα οποία εξήχθησαν από το SuperPro Designer, θα λέγαμε ότι είναι ακριβή και αξιόπιστα, μέχρι του βαθμού να μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα.

4.5. Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Στο παρόν σημείο, θα μπορούσε να γίνει ένας σχολιασμός σχετικά με την ανάλυση ευαισθησίας, η οποία εφαρμόστηκε στα αποτελέσματα του SuperPro Designer. Ο σχολιασμός αυτός, θα μπορούσε να αποβεί χρήσιμος κι αυτό γιατί θα έδινε μια πιο «εικόνα» σχετικά με τη λειτουργία του συστήματος και τελικά θα βοηθούσε στην επίτευξη του σκοπού διεκπεραίωσης της εργασίας αυτής.

Παρατηρώντας λοιπόν, τα παραπάνω διαγράμματα που απεικονίζουν την περιεκτικότητα κάθε ουσίας στο ρεύμα εξόδου σε αντιστοιχία με την περιεκτικότητα του αρχικού διαλύματος σε αιθανόλη, θα σημειώναμε αρχικά, ότι η τιμή της περιεκτικότητας σε αιθανόλη, η οποία είχε αρχικά επιλεγεί ίση με 46% (Στεργιόπουλος et al., 2004), αποτελεί το σημείο καμπής των διαγραμμάτων, δηλαδή ουσιαστικά, αποτελεί ένα «όριο» στην συμπεριφορά του συστήματος, εκατέρωθεν του οποίου ανατρέπονται οι ισορροπίες, και κατά συνέπεια είναι η «ιδανική» τιμή αρχικής περιεκτικότητας σε αιθανόλη που μπορεί να επιλεγεί, προκειμένου να έχουμε έναν συνδυασμό φιλικής προς το περιβάλλον και ταυτόχρονα αποδοτικής (με την έννοια της εκμετάλλευσης της ποσότητας της αιθανόλης που εισέρχεται και δεν εξέρχεται ανεκμετάλλευτη), λειτουργίας του υπό μελέτη συστήματος.

Η ερμηνεία των διαγραμμάτων αυτών βασίζεται κυρίως στους κανόνες της χημικής κινητικής, και με βάση αυτούς θα γίνει ο σχολιασμός τους. Ξεκινώντας το σχολιασμό από το διάγραμμα διακύμανσης της αιθανόλης (Διάγραμμα 18), θα μπορούσε ίσως να σημειωθεί το γεγονός, ότι κινούμενος προς την οριακή τιμή αρχικής περιεκτικότητας σε αιθανόλη (46%), μπορεί να παρατηρήσει κανείς ότι το ποσό της αιθανόλης που περνά ανεπεξέργαστο και εξέρχεται

από το σύστημα παραμένει σχεδόν σταθερό (περιεκτικότητα στο ρεύμα εξόδου, που παρουσιάζει εξέλιξη της μορφής: 0,22-0,25-0,29-0.32%), ενώ η διερεύνηση σε μεγαλύτερες της οριακής, περιεκτικότητες θα φανέρωνε σαφείς τάσεις αύξησης της περιεκτικότητας της ουσίας στο ρεύμα εξόδου (0,32-1,20-2,08%-...). Το συμπέρασμα στο οποίο μπορεί να οδηγηθεί ο ερευνητής, είναι ότι πέρα από την οριακή τιμή, το σύστημα δεν μπορεί να αξιοποιήσει με βέλτιστο τρόπο την τροφοδοτούμενη αιθανόλη, εκπέμποντας ένα ποσοστό της ανεπεξέργαστο, δημιουργώντας έτσι απαιτήσεις για τοποθέτηση εξοπλισμού ώστε να διεξάγεται ανακυκλοφορία στο ποσοστό της αιθανόλης που εξέρχεται ανεπεξέργαστο.

Για τα Διαγράμματα 17 και 19, που απεικονίζουν τη διακύμανση της περιεκτικότητας της εκροής σε CO και CO₂, θα μπορούσε να σχολιαστεί το γεγονός ότι η αύξηση της περιεκτικότητας της αιθανόλης μέχρι την οριακή τιμή της, εκφράζεται κυρίως μέσω αύξησης της περιεκτικότητας των δύο αυτών ενώσεων στην εκροή. Η αύξηση αυτή, ποσοτικά σημειώνεται περισσότερο στην περιεκτικότητα σε CO₂, σημειώνεται δε και μια μικρή αύξηση στην περιεκτικότητα σε CO, η οποία όμως είναι πολύ μικρότερη λόγω της ύπαρξης σταδίων στην όλη διαδικασία, που αποσκοπούν αποκλειστικά στη μείωση της ποσότητας του που εισρέει στην κυψελίδα. Η φθίνουσα τάση που απεικονίζεται σε τιμές περιεκτικότητας μεγαλύτερες από την οριακή (46%), ερμηνεύεται ως εξής: πέρα από την οριακή τιμή, αυξάνει το ποσοστό της αιθανόλης που εξέρχεται ανεπεξέργαστο, χωρίς να έχει μετατραπεί σε CO και CO₂, για αυτό και δε σημειώνεται αύξηση στις συγκεντρώσεις των τελευταίων. Για το O₂ (Διάγραμμα 21) θα μπορούσε ίσως να ειπωθεί ότι η μέγιστη χρησιμοποίησή του και κατά συνέπεια ελάχιστη εκροή σημειώνεται για τιμή αρχικής περιεκτικότητας ίση με την κρίσιμη, δηλαδή 46% και ότι παρουσιάζει αντίστροφη τάση σε σχέση με το H₂, τάση που εξηγείται αν σκεφτεί κανείς ότι η δέσμευση του O₂ από

το H_2 είναι περίπου στο μισό, λόγω στοιχειομετρίας στο H_2O (2:1). Η φθίνουσα τάση που εμφανίζει το H_2O εξηγείται κυρίως από το γεγονός ότι όσο μετακινούμαστε προς πυκνότερα μείγματα αιθανόλης, τόσο ελαττώνεται το ποσοστό του H_2O που εισέρχεται στο σύστημα.

5. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στο παρόν σημείο, θα γίνει μία ανασκόπηση της Διπλωματικής και μια προσπάθεια αναγνώρισης των προβλημάτων και των κενών που προέκυψαν κατά το διάστημα εκπόνησής της. Η Διπλωματική αυτή εργασία, είχε σαν σκοπό την προσομοίωση ενός συστήματος κυψελίδας καυσίμου με τροφοδοσία αιθανόλης και ειδικότερα ανάλυση της περιβαλλοντικής του συμπεριφοράς. Όσον αφορά τη διεθνή κατάσταση, θα μπορούσε ίσως να σχολιαστεί το γεγονός ότι η πληροφορία ήταν ελλιπής, συνεπώς το κείμενο της διεθνούς κατάστασης πραγματεύεται γενικότερα το συνδυασμό ΑΠΕ και κυψελίδων, ενώ ταυτόχρονα επιχειρείται μία μικρή περιγραφή τεχνικής φύσεως θεμάτων σχετικά με τη λειτουργία των κυψελίδων και τη διακύμανση της απόδοσης λειτουργίας της με τροποποίηση κάποιων υλικών του συστήματος. Η έρευνα αυτή απέδειξε επίσης, ότι δεν υπάρχει η απαιτούμενη ποσότητα πληροφορίας με αντικείμενο τις επιπτώσεις από χρησιμοποίηση κυψελίδων λαμβάνοντας υπόψη και τις παραμέτρους της εν κινήσει αναμόρφωσής της σε υδρογόνο. Οι μεθοδολογίες που θα μπορούσαν να ακολουθηθούν για τη μελέτη του συστήματος, ήταν πολλές. Στην παρούσα εργασία επιλέχτηκε σαν υπόδειγμα, μελέτη η οποία είχε αναλύσει την εξεργειακή συμπεριφορά ενός συστήματος κυψελίδας καυσίμου για κινητές εφαρμογές, με καύσιμο αιθανόλη, δηλαδή τα δεδομένα και οι συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση του SuperPro Designer, πάρθηκαν από το υπόδειγμα αυτό. Το SuperPro Designer δεν αποτελεί την «ιδανική» εφαρμογή για τη διερεύνηση πάνω σε ενεργειακά συστήματα, χρησιμοποιείται κατά σύμβαση όμως λόγω έλλειψης πιο αποτελεσματικών εργαλείων. Αυτό μας οδηγεί σε πολλές παραδοχές, οι οποίες αναφέρονται παραπάνω και αναπόφευκτα επηρεάζουν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων που εξάγονται. Μια αρκετά αξιόπιστη εναλλακτική μέθοδος, θα ήταν αυτή

της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (Life Cycle Analysis - LCA), που θα μας έδινε αρκετά αξιόπιστα αποτελέσματα τα οποία θα αναφερόντουσαν σε όλη τη διάρκεια της «ζωής» των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του συστήματός μας, αλλά και την περιβαλλοντική επίδοση του συστήματος κατά τη φάση της λειτουργίας του, καθώς και στη φάση της αποσύνθεσης των υλικών του. Ένα πιθανό μειονέκτημα που θα προέκυπτε από τη χρησιμοποίηση της μεθόδου αυτής, θα ήταν η άγνοια των κοινωνικών συνεπειών που θα είχε η λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος και η γενικότερη προσέγγιση του θέματος των επιπτώσεων από πιο ευρεία σκοπιά. Συνοψίζοντας, για περαιτέρω αποτελέσματα, θα προτείναμε τα εξής:

- Εύρεση καταλληλότερων πηγών για καλύτερη παρουσίαση του state-of-the-art, καθώς και περισσότερα στοιχεία για τις άμεσες επιπτώσεις του συγκεκριμένου, υπό μελέτη συστήματος.
- Το υπόδειγμα το οποίο χρησιμοποιήθηκε, πραγματευόταν γενικότερα την απόδοση μιας κυψελίδας καυσίμου. Ιδανική, θα θεωρείτο, η εξεύρεση πηγής που θα αναφερόταν μόνο στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- Διαμόρφωση εξειδικευμένου λογισμικού για εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων σχετικά με τη λειτουργία συστημάτων κυψελίδων με καύσιμο αιθανόλη.
- Ιδανική θα ήταν και η χρήση του λογισμικού αυτού για προσδιορισμό της τύχης των ρύπων στο χώρο και στο χρόνο, με βάση τις εκάστοτε συνθήκες (μετεωρολογικές κυρίως), προκειμένου να θεωρηθεί ακόμη πιο πλήρης η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός τέτοιου συστήματος.
- Πειραματική προσέγγιση του συστήματος και διεξαγωγή μετρήσεων, που θα έδιναν μια πιο αξιόπιστη μορφή,

αποτελέσματα και, κατά συνέπεια, συμπεράσματα στην όλη προσπάθεια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. AEAT, *International resource costs of biodiesel and bioethanol* AEAT/ENV/ED50273/R1, AEA Technology, Harwell, UK, 2003a
2. Bockris J.O'M., Communication to J.Nowotny on 6 June, 2004
3. Borken J., Patyk A. and Reinhardt G.A., *Basisdaten fur okologische Bilanzierungen (Data for LCAs, in German)*, Vieweg, Braunschweig, Wiesbaden, 1999
4. Chamberlin C.E., Lehman P.A., Zoellick J.I., Engel R.A., and Rommel D.S., *Fuel Cell /Photovoltaic integrated power system for a remote telecommunications station*, Schatz Energy Research Center, 2002
5. CONCAWE, EUCAR, and JRC, *Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context*, 2003
6. Dreier T., *Biogene Kraftstoffe. Energetische, okologische und okonomische Analyse, IfE Schriftenreihe Heft 38*, TU Munchen, Munchen, 1999
7. EG&G Technical Services, Inc. Science Applications International Corporation, *Fuel Cell Handbook (sixth edition)*, US Department of Energy, 2002
8. ETSU, *An Assessment of Renewable Energy for the UK*. Report R-82, ETSU, Harwell, UK, 1994
9. General Motors, BP, ExxonMobil, Shell, TotalFinaElf, and LBST *GM well-to wheel analysis of energy use and greenhouse gas emissions of advanced fuel/vehicle systems, a European study*. L-B-Systemtechnik, Ottobrunn, Germany, 2002

10. Gielen D., Unander F., *Alternative Fuels: An Energy Technology Perspective*, IEA/ETO Working Paper, Office of Energy Technology and R&D, International Energy Agency, 2005
11. Hart D., Bauen A., Chase A., Howes J., *Liquid biofuels and hydrogen from renewable resources in the UK to 2050: a technical analysis. An assessment of the implications of achieving ultra-low carbon road transport carried out for the UK Department for Transport*, E4Tech (UK) Ltd, 2003
12. Howes J., *The potential for renewable hydrogen as a transport fuel for the UK*, MSc Thesis, Imperial College London, London, UK, 2002
13. IFEU, *Okologischer Vergleich von Kraftfahrzeugen mit verschiedenen Antriebsenergien unter besonderer Berucksichtigung der Brennstoffzelle*, Heidelberg, (Authors: Patyk A., Hopfner U.), 1999
14. Karlstrom M., *Environmental Assessment of Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell Systems- Consequences of an Evolutionary Perspective on Technology Development*, Environmental Systems Analysis, Chalmers University of Technology, 2004
15. Karlstrom M., *Environmental Technology Assessment of Introducing Fuel Cell City Buses- A Case Study of Fuel Cell Buses in Goteborg*, Department of Environmental Systems Analysis, Chalmers University of Technology, 2002
16. Kazim A., *Exergy analysis of a PEM fuel cell at variable operating conditions*, Energy Conversion & Management, Elsevier, 2003
17. Larminie J., Dicks A., *Fuel Cell Systems Explained*, Second Edition, Wiley, 2003
18. Larsen H., Feidenhans'l R., Sonderberg Petersen L., *Riso Energy Report 3*, Riso National Laboratory, 2004

19. Marino F., Boveri M., Baronetti G., Laborde M., *Hydrogen production from steam reforming of bioethanol using Cu/Ni/K/γ-Al₂O₃ catalysts. Effect of Ni*, International Journal of Hydrogen Energy, Pergamon, 2000
20. Nowotny J., Sorrell C.C., Sheppard L.R., Bak T., *Solar-hydrogen: Environmentally safe fuel for the future*, International Association for Hydrogen Energy, Elsevier, 2004
21. Oertel D., Fleischer T., *Fuel Cells: Impact and consequences of Fuel Cells technology on sustainable development*, Institute for Prospective Technological Studies, European Science and Technology Observatory, European Commission Centre- Joint Research Center, 2003
22. Patyk A. and Hopfner U., *Ökologischer Vergleich von Kraftfahrzeugen mit verschiedenen Antriebsenergien unter besonderer Berücksichtigung der Brennstoffzelle* (Environmental Comparison of Vehicles with Different Power Trains), Report for the Office of Technology Assessment of the German Parliament, Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg, 1999
23. Pehnt M., *Ganzheitliche Bilanzierung von Brennstoffzellen in der Energie- und Verkehrstechnik (Life-cycle Assessment of Fuel Cells in Mobile and Stationary Applications)*, Ph.D.Dissertation, VDI-Verlag Fortschrittsberichte, Vol. 6 No.476, Dusseldorf, 2002
24. Pehnt M., *Life-cycle analysis of fuel cell system components*, volume 4, part 13, pp 1293-1317, Handbook of Fuel Cells-Fundamentals, Technology and Applications, 2003
25. Rade I., Andersson B., *Platinum group metal resource constraints for fuel-cell electric vehicles*, PRT Report, Goteborg: Department of Physical Resource Theory,

Chalmers University of Technology and Goteborg University, 2001

26. Rooke A., *Alcohol Fuel Cells as an Alternative Solution to Foreign Oil Dependence* (Powerpoint Presentation), 2003
27. Song S.Q., Zhou W.J., Zhou Z.H., Jiang L.H., Sun S.Q., Xin Q., Leontidis V., Kontou S., Tsiakaras P., *Direct Ethanol PEM Fuel Cells: The case of platinum based anodes*, International Journal of Energy, Elsevier, 2004
28. STC, *Assessment of Emissions of Greenhouse Gases from Fuel Cell Vehicles*, Prepared for Methanex Corporation, Delta BC, Canada, 2000
29. TIAx, *Platinum Availability and Economics for PEMFC Commercialization*, US Department of Energy, 2003
30. Tsoutsos T., Frantzeskaki N., Gekas V., *Environmental impacts from the solar energy technologies*, Energy Policy, vol. 33, pp 289-296, Elsevier, 2005
31. Tsoutsos T.D., Zoulias E.I., Lymberopoulos N., Glockner R., *H-SAPS Market Potential Analysis for the introduction of the Hydrogen Energy Technology in Stand-alone Power Systems*, Wind Engineering, vol. 28, Dim 5, pp 615-619, 2004
32. Wang M. Q., *GREET 1.5-Transportation Fuel-Cycle Model*, Center for Transportation Research, Energy Systems Division, Argonne National Laboratory, Argonne, IL 1999
33. Weiss M.A., Heywood J.B., Drake E.M., Schafer A. and AuYeung F.F., *On the Road in 2020. A life-cycle Analysis of New Automobile Technologies*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 2000
34. Wisconsin Energy Center, *Fuel Cells For Distributed Generation: A technology and marketing summary*, 2000
35. Zoulias E., Glockner R., Lymperopoulos N., Tsoutsos T., Vosseler I., Gavalda O., Mydske H.J. , Taylor P.,

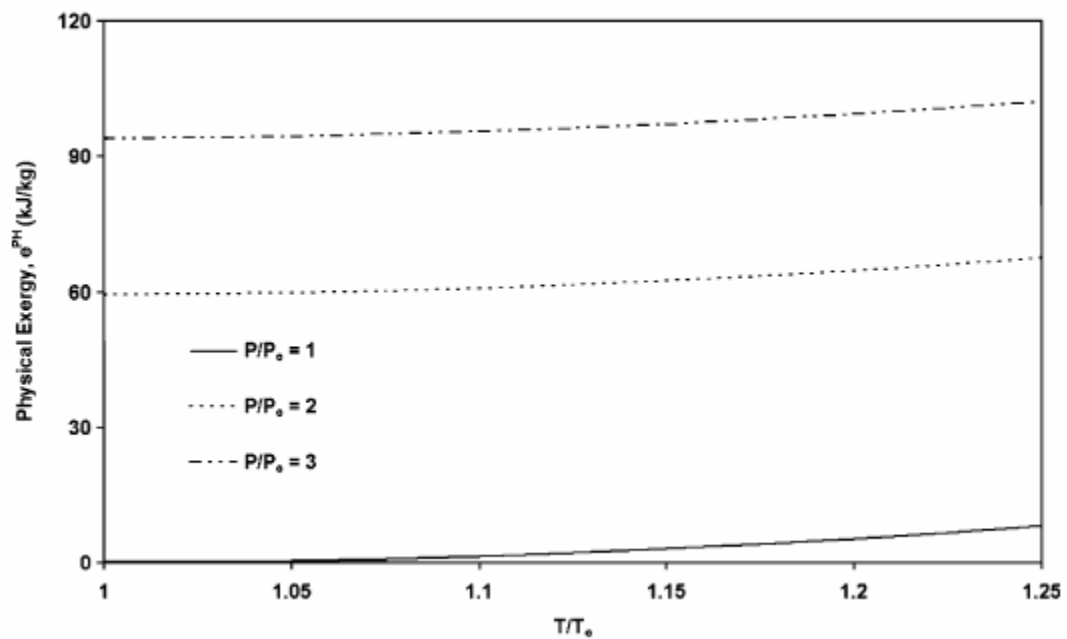
Integration of hydrogen energy technologies in stand-alone power systems analysis of the current potential for applications, Renewable & Sustainable Energy Reviews, , Elsevier, corrected proof, 2005

36. Στεργιόπουλος Β., Shuqin Song, Δουβαρτζίδης Σ., Τσιακάρης Π., *Εξεργειακή ανάλυση κυψελίδας καυσίμου με τροφοδοσία αιθανόλης για κινητές εφαρμογές*, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, 2004

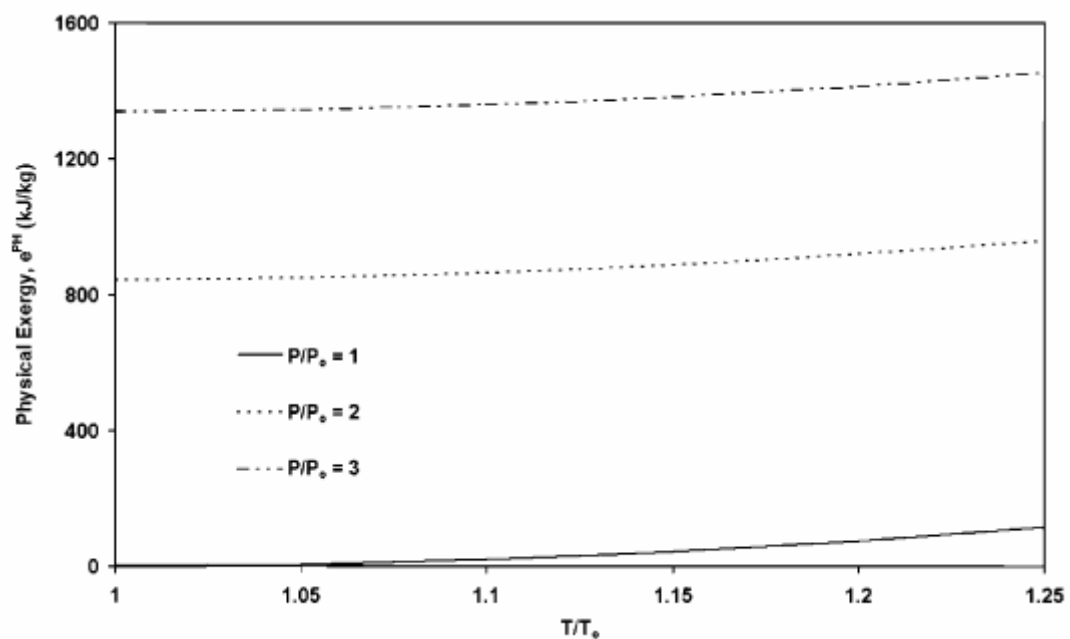
Websites

1. www.azom.com, *Platinum and hydrogen for fuel cell vehicles*
2. www.fuelcellknowledge.org
3. www.h2fc.com
4. www.scholar.google.com
5. www.sciencedirect.com
6. www.scirus.com
7. www.epa.gov
8. www.eea.eu.int
9. www.iea.org

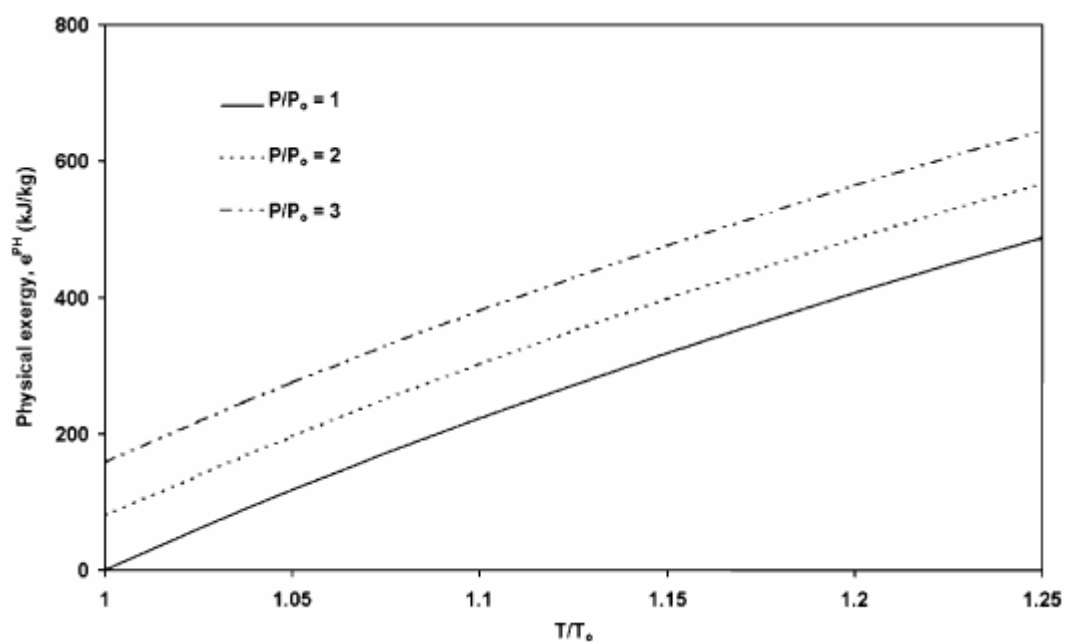
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



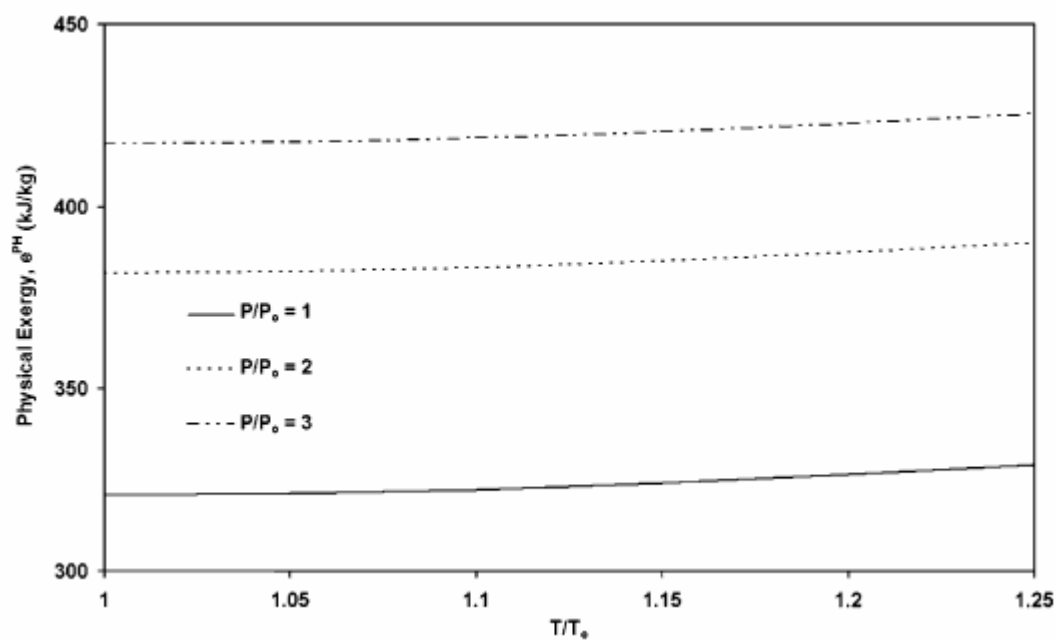
Διάγραμμα 25: Φυσική εξέργεια εισερχόμενου αέρα (Kazim, 2003)



Διάγραμμα 26: Φυσική εξέργεια εισερχόμενου υδρογόνου (Kazim, 2003)



Διάγραμμα 27: Φυσική εξέργεια παραγόμενου νερού (Kazim, 2003)



Διάγραμμα 28: Φυσική εξέργεια παραγόμενου αέρα (Kazim, 2003)

Fuel	Feedstock	Total supply cost (excluding co-products value ¹ and subsidies)		
		£/GJ	£/l	£/km
Biodiesel ²	Rapeseed	20-33	0.60-1.00	0.04 – 0.07
Biodiesel ²	Waste veg. oil	14-26	0.42-0.78	0.03 – 0.05
Bioethanol ²	Sugar beet	15	0.32	0.04
Bioethanol ²	Wheat grain	15	0.32	0.04
Bioethanol ³	Wheat straw	9-15	0.19-0.32	0.02 – 0.04
Bioethanol ³	SRC	8-19	0.18-0.43	0.02 – 0.05
FT-diesel ³	SRC	9-15	0.32-0.54	0.02 – 0.03
Petrol / Diesel	Oil	5.20 ⁴	0.19	0.01 – 0.013

Πίνακας 4: Συνολικά κόστη προμήθειας για τα βιοκαύσιμα, ανάλογα με το είδος της βιομάζας που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή τους (Hart et al., 2003)

Fuel	Feedstock	GHG emissions ¹ (kg CO ₂ equivalent/GJ fuel produced)
Biodiesel	Rapeseed	17-45
Biodiesel	Waste veg. oil	1.9-16.1
Bioethanol	Sugar beet	30-90 ²
Bioethanol	Wheat grain	26-77 ³
Bioethanol	Wheat straw	8-72
Bioethanol	SRC	4-90
FT-diesel	SRC	2.4-29

Πίνακας 5: Εκπομπές GHG, ανάλογα με το είδος της βιομάζας που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή τους, ανά GJ παραγόμενης ενέργειας (Hart et al., 2003)

	Feedstock	US\$/GJ 2005	US\$/GJ 2030	Comments	Resource location
With existing vehicle/fuel supply infrastructure					
Gasoline from crude oil imported from OPEC countries	Imported OPEC oil	12.7	11.3	2005 40 US\$/bbl crude 2030 29 US\$/bbl crude Upgrading+delivery 5.5 US\$/GJ	Middle East
Gasoline CO ₂ -EOR	Indigenous oil resources	9.1	7.3	2005 20 US\$/bbl crude 2030 10 US\$/bbl crude Upgrading +delivery 5.5 US\$/GJ	US, Canada, North Sea
Gasoline non-conventional oil	Indigenous oil sands	8.2	7.7	2005 15 US\$/bbl crude 2030 12 US\$/bbl crude Upgrading + delivery 5.5 US\$/GJ	Canada
Ethanol	Biomass	11.4	10.2	2005 cane sugar; 2030 lignocellulose	CSA, North America, Asia
Gasoline/diesel FT-synthesis	Natural gas	10.7	8.7	Gas feedstock 0.5 US\$/GJ Delivery 3.8 \$/GJ	Middle East
Gasoline/diesel FT-synthesis	Coal		12.9	Coal feedstock 0.5 US\$/GJ Delivery 3.8 \$/GJ	China, US, Australia
Gasoline/diesel FT-synthesis	Biomass	19.0	16.2	Biomass feedstock 3 US\$/GJ Delivery 3.8 \$/GJ	CSA, North America, Asia
New vehicle/fuel supply infrastructure needed					
Methanol	Natural gas		9.8	Gas feedstock 0.5 US\$/GJ Delivery 3.8 \$/GJ	Middle East
DME	Natural gas		10.2	Gas feedstock 0.5 US\$/GJ Delivery 3.8 \$/GJ	Middle East
CNG	Natural gas		10.0	Gas 5 US\$/GJ Delivery 4.8 \$/GJ	North America, Europe, Japan
Hydrogen	Electricity	42.9	28.5	Electricity 5 cents/kWh in 2005 4 cents/kWh in 2030	North America, Europe, Japan
Hydrogen decentralized	Natural gas	30.0	21.0	Gas 5 US\$/GJ	North America, Europe, Japan
Hydrogen centralized	Natural gas/coal		15.0	Gas 4 US\$/GJ or coal 1 US\$/GJ	North America, Europe, Japan

Πίνακας 6: Κόστη προμήθειας για τα εναλλακτικά καύσιμα (Gielen et al, 2005)

	Process ⁸ emissions [kg CO ₂ /GJ]	Use emissions [kg CO ₂ /GJ]	CCS [kg CO ₂ /GJ]	Total w/o CCS [kg CO ₂ /GJ]	Index	Total with CCS [kg CO ₂ /GJ]	Index
With existing vehicle/fuel supply infrastructure							
Gasoline from crude oil	5-10	73	-5-0	78-83	98-102	78	100
Gasoline CO ₂ -EOR	5-10	73	-50—100	78-83	98-102	-22-33	-28-42
Gasoline non-conventional	35	73	-30	108	133	78	100
Ethanol (biomass)	10-30	0	-90-0	10-30	12-37	-80-10	-103-13
FT Gasoline/diesel (gas)	25	73	-20	98	126	78	100
FT Gasoline/diesel (coal)	160	73	-145	233	288	88	113
FT Gasoline/diesel (biomass)	5	0	-100	5	6	-95	-122
New vehicle/fuel supply infrastructure needed							
Methanol (gas)	10	65	10	75	93	65	83
DME (gas)	10	67	10	77	95	67	86
CNG (gas)	5-10	56	0	61-66	75-81	61-66	78-85
Hydrogen (electricity) ⁹	0-100	0	-90-0	0-90	0-123	0-10	0-13
Hydrogen decentralized (gas)	80-100	0	0	80-100	99-123	80-100	103-128
Hydrogen centralized (gas)	70-90	0	-85—60	70-90	86-111	5-10	6-13
Hydrogen centralized (coal)	134-156	0	-110—145	134-156	165-193	9-24	12-31

Πίνακας 7: Εκπομπές CO₂ κατά τα στάδια της παραγωγής και της χρήσης (Gielen et al, 2005)

	Carcinogenicity	Acidification	Eutrophication	Photo smog	Ozone depletion	Green House effect	Resources consumption
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
environmental risk	extremely high	high	high	intermediate	extremely high	extremely high	intermediate
specific contribution (private car) ^{2,3}	No data	intermediate	high	high	high	extremely high	extremely high
Petrol-ICE	0	0	0	0	0	0	0
Diesel-ICE	45	59	124	0	-21	-22	-23
CNG-ICE	-95	-38	-26	-62	-3	-9	5
LNG-ICE	-95	-38	-25	-66	-2	-12	3
CGH ₂ (c_fos)-ICE	-99	-16	7	-56	-4	21	51
CGH ₂ (dc_fos)-ICE	-99	-6	9	-49	3	39	71
LH ₂ (c_fos)-ICE	-99	50	60	-43	27	82	125
LH ₂ (c_reg)-ICE	-99	-63	-44	-93	-5	-96	-98
DME-ICE	-95	4	39	-14	-22	-11	15
RME-ICE	45	273	473	-7	1.366	-45	-76
Diesel Hybrid	25	23	72	-34	-41	-40	-40
CGH ₂ (c_fos)-FC	-100	-74	-72	-84	-98	-43	-28
CGH ₂ (dc_fos)-FC	-100	-70	-71	-80	-95	-35	-19
LH ₂ (c_fos)-FC	-100	-41	-45	-76	-83	-12	10
LH ₂ (c_reg)-FC	-100	-96	-96	-99	-99	-99	-99
MeOH-FC	-100	-60	-66	-74	-97	-18	6
MeOH- DMFC	-100	-58	-64	-73	-96	-15	11
DME-FC	-100	-60	-67	-68	-97	-18	9
Petrol-FC	-100	-49	-75	-69	-93	-9	-7
BioEtOH-FC	-100	198	250	-3	594	-79	-96
BioMeOH-FC	-100	85	174	64	-66	-90	-89
BioMeOHDMFC	-100	94	187	72	-64	-90	-88
BattEVehicle	-100	669	490	13	254	662	832
1) Indicated are the relative differences with regard to the reference petrol engine private car							
2) Negative values correspond to environmental benefits (lower pollution as the reference)							
3) Abbreviations compare with table 10							

Πίνακας 21: Απόκλιση στις κατηγορίες της περιβαλλοντικής επίδοσης στην κλίμακα επί τοις εκατό, θέτοντας σαν βάση τον κινητήρα εσωτερικής καύσης, για εφαρμογές οχημάτων (Oertel et al.,2003)

SuperPro Designer Reports

SuperPro Designer reports

• ENVIRONMENTAL IMPACT REPORT

**** LUMPED ENVIRONMENTAL STREAM PROPERTIES Section ****

```
=====
=====
STREAM NAME      ethanol    water    Air2     S-117     Air1
SOURCE           INPUT     INPUT     INPUT     P-12     INPUT
DESTINATION      P-3       P-3       P-11     OUTPUT    P-8
=====
=====
```

STREAM PROPERTIES

ACTIVITY	U/ml	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TEMP	°C	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
PRES	bar	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
TOC	mg C/l	437740.6	0.0	0.0	2.3	0.0
COD	mg O/l	1637794.4	0.0	0.0	8.8	0.0
ThOD	mg O/l	1637794.4	0.0	0.0	8.8	0.0
BODu	mg O/l	1482203.9	0.0	0.0	7.9	0.0
BOD5	mg O/l	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TKN	mg N/l	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NH3	mg N/l	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NO3/NO2	mg N/l	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TP	mg P/l	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TS	mg Slds/l	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TSS	mg Slds/l	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
VSS	mg Slds/l	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

DVSS mg Slds/l	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TDS mg Slds/l	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
VDS mg Slds/l	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DVDS mg Slds/l	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

DAILY THROUGHPUTS

TOC kg C/d	2213.7	0.0	0.0	158.1	0.0
COD kg O/d	8282.6	0.0	0.0	591.4	0.0
ThOD kg O/d	8282.6	0.0	0.0	591.4	0.0
BODu kg O/d	7495.8	0.0	0.0	535.2	0.0
BOD5 kg O/d	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TKN kg N/d	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NH3 kg N/d	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NO3/NO2 kg N/d	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TP kg P/d	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TS kg Slds/d	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TSS kg Slds/d	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
VSS kg Slds/d	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DVSS kg Slds/d	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TDS kg Slds/d	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
VDS kg Slds/d	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DVDS kg Slds/d	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

**** OVERALL BALANCE Section ****

ENVIRONMENTAL LOAD (per Hour)

=====			
=====			
Environmental Property	IN	OUT	(IN-OUT)/IN

	(kg/h)	(kg/h)	(% Reduction)
=====			
=====			
TOC	92.239200	6.585879	92.860000
COD	345.110400	24.640883	92.860000
ThOD	345.110400	24.640883	92.860000
BODu	312.324912	22.299999	92.860000
BOD5	0.000000	0.000000	0.000000
TKN	0.000000	0.000000	0.000000
NH3	0.000000	0.000000	0.000000
NO3/NO2	0.000000	0.000000	0.000000
TP	0.000000	0.000000	0.000000
TS	0.000000	0.000000	0.000000
TSS	0.000000	0.000000	0.000000
VSS	0.000000	0.000000	0.000000
DVSS	0.000000	0.000000	0.000000
TDS	0.000000	0.000000	0.000000
VDS	0.000000	0.000000	0.000000
DVDS	0.000000	0.000000	0.000000
CaCO3	0.000000	0.000000	0.000000
=====			

=====

ENVIRONMENTAL LOAD (per Year)

Hours per Year = 7920.0

=====			
=====			
Component Name	IN	OUT	(IN-OUT)/IN
	(kg/year)	(kg/year)	(% Reduction)
=====			
=====			

TOC	730534.464	52160.161	92.860
COD	2733274.368	195155.790	92.860
ThOD	2733274.368	195155.790	92.860
BODu	2473613.303	176615.990	92.860
BOD5	0.000	0.000	0.000
TKN	0.000	0.000	0.000
NH3	0.000	0.000	0.000
NO3/NO2	0.000	0.000	0.000
TP	0.000	0.000	0.000
TS	0.000	0.000	0.000
TSS	0.000	0.000	0.000
VSS	0.000	0.000	0.000
DVSS	0.000	0.000	0.000
TDS	0.000	0.000	0.000
VDS	0.000	0.000	0.000
DVDS	0.000	0.000	0.000
CaCO3	0.000	0.000	0.000

=====
=====

**** COMPONENT FATE Section ****

Component Allocation (Per Hour)

=====
=====

Component Name	TOTAL	OUT AS	OUT AS	OUT AS
IN	SOLID WASTE	LIQUID WASTE	EMISSION	
(kg/h)	(kg/h)	(kg/h)	(kg/h)	

=====
=====

Argon	30.060576	0.000000	0.000000	0.000000
-------	-----------	----------	----------	----------

Carb. Dioxide	0.991008	0.000000	0.000000	0.000000
Carbon Monoxide	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Ethyl Alcohol	165.600000	0.000000	0.000000	0.000000
Hydrogen	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Nitrogen	2497.340160	0.000000	0.000000	0.000000
Oxygen	671.903424	0.000000	0.000000	0.000000
Water	297.464832	0.000000	0.000000	0.000000

Plant Totals	3663.360000	0.000000	0.000000	0.000000
--------------	-------------	----------	----------	----------

=====

=====

Component Allocation (Per Year)

Hours per Year = 7920.0

=====

=====

Component Name	TOTAL IN (kg/yr)	OUT AS SOLID WASTE (kg/yr)	OUT AS LIQUID WASTE (kg/yr)	OUT AS EMISSION (kg/yr)
----------------	------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------

=====

=====

Argon	238079.762	0.000	0.000	0.000
Carb. Dioxide	7848.783	0.000	0.000	0.000
Carbon Monoxide	0.000	0.000	0.000	0.000
Ethyl Alcohol	1311552.000	0.000	0.000	0.000
Hydrogen	0.000	0.000	0.000	0.000
Nitrogen	19778934.067	0.000	0.000	0.000
Oxygen	5321475.118	0.000	0.000	0.000
Water	2355921.469	0.000	0.000	0.000

Plant Totals	29013811.200	0.000	0.000	0.000
--------------	--------------	-------	-------	-------

=====

=====

**** SARA 313 CHEMICALS Section ****

ENVIRONMENTAL LOAD (per Hour)

Component Name	IN	OUT AS WASTE	(IN-OUT)
(kg/h)	(kg/h)	(kg/h)	
Plant Totals	0.000000	0.000000	0.000000

ENVIRONMENTAL LOAD (per Year)

Hours per Year = 7920.0

Component Name	IN	OUT AS WASTE	(IN-OUT)
(kg/year)	(kg/year)	(kg/year)	
Plant Totals	0.000	0.000	0.000

**** 33/50 CHEMICALS Section ****

ENVIRONMENTAL LOAD (per Hour)

Component Name	IN	OUT AS WASTE	(IN-OUT)
(kg/h)	(kg/h)	(kg/h)	
Argon	30.060576	0.000000	30.060576
Water	297.464832	0.000000	297.464832
Plant Totals	327.525408	0.000000	327.525408

ENVIRONMENTAL LOAD (per Year)

Hours per Year = 7920.0

Component Name	IN	OUT AS WASTE	(IN-OUT)
(kg/year)	(kg/year)	(kg/year)	
Argon	238079.762	0.000	238079.762
Water	2355921.469	0.000	2355921.469
Plant Totals	2594001.231	0.000	2594001.231

**** SOLID WASTE Section ****

Part 1 : Stream By Stream

	Composition	Component Flow	Annual Comp.Flow
	%	(kg/h)	(kg/year)
		-----	-----
Plant Totals		0.000000	0.000

Part 2 : Component By Component

Stream	Component Flow	Annual Comp.Flow	Prct	
	(kg/h)	(kg/year)	%	

Plant Totals	0.000000	0.000		

**** LIQUID WASTE Section ****

Part 1 : Stream By Stream

Composition	Component Flow	Annual Comp.Flow
%	(kg/h)	(kg/year)
	-----	-----
Plant Totals	0.000000	0.000

Part 2 : Component By Component

Stream	Component Flow	Annual Comp.Flow	Prct
	(kg/h)	(kg/year)	%
	-----	-----	
Plant Totals	0.000000	0.000	

**** EMISSIONS Section ****

Part 1 : Stream By Stream

Composition	Component Flow	Annual Comp.Flow
%	(kg/h)	(kg/year)
	-----	-----
Plant Totals	0.000000	0.000

Part 2 : Component By Component

Stream	Component Flow (kg/h)	Annual Comp.Flow (kg/year)	Pret %
Plant Totals	0.000000	0.000	

**** HAZARDOUS STREAMS Section ****

Part 1 : Stream By Stream

Composition %	Component Flow (kg/h)	Annual Comp.Flow (kg/year)
Plant Totals	0.000000	0.000

Part 2 : Component By Component

Stream	Component Flow (kg/h)	Annual Comp.Flow (kg/year)	Prct %
Plant Totals	0.000000	0.000	

**** POLLUTION INDICES Section ****

Waste-to-Main-Revenue-Stream indices could not be printed (no main revenue stream defined)

 *
 * Waste-to-Raw-Materials Indices *
 *

Total Waste
 ----- = 0.000

Raw Materials

Solid Waste
 ----- = 0.000

Raw Materials

Liquid Waste

----- = 0.000

Raw Materials

Emissions

----- = 0.000

Raw Materials

• **STREAM REPORT**

OVERALL PROCESS DATA

=====				
Annual Operating Time	=	7920.00	h	
Annual Throughput	=	0.00	kg MP	
Operating Days Per Year	=	330.00		
=====				

MP = Main Product = Unknown

STARTING MATERIAL REQUIREMENTS

=====				
=====				
Section	Starting	Active	Gross	Amt Needed
Name	Material	Product	Yield (%)	kg Sin/kg MP

Main Section	(none)	(none)	Unknown	Unknown
=====				
=====				

Sin = Section Starting Material

Aout = Section Active Product

BULK RAW MATERIAL REQUIREMENTS PER SECTION

SECTIONS IN: Main Branch

Main Section

Raw Material	kg/Year	kg/Hour	kg/kg MP
Ethyl Alcohol	1311552.00	165.600	N/A
Water	1539648.00	194.400	N/A
Air2	26162611.20	3303.360	N/A
Section Total	29013811.20	3663.360	N/A

SUMMARY (Entire Flowsheet)

Raw Material	kg/Year	kg/Hour	kg/kg MP
Ethyl Alcohol	1311552.00	165.600	N/A
Water	1539648.00	194.400	N/A
Air2	26162611.20	3303.360	N/A
Flowsheet Total	29013811.20	3663.360	N/A

=====

=====

BREAKDOWN PER RAW MATERIAL AND SECTION (kg/h)

=====

Raw Material	Main Section	Subtotal

Ethyl Alcohol	165.600	165.600
Water	194.400	194.400
Air2	3303.360	3303.360

TOTAL	3663.360	3663.360

=====

=====

BREAKDOWN PER RAW MATERIAL AND SECTION (kg/year)

=====

Raw Material	Main Section	Subtotal

Ethyl Alcohol	1311552.0	1311552.0
Water	1539648.0	1539648.0
Air2	26162611.2	26162611.2

TOTAL	29013811.2	29013811.2

=====

COMPONENT BALANCE AND STREAM REPORT

```

=====
=====
STREAM NAME      ethanol   water   S-103   S-105   S-104
SOURCE           INPUT    INPUT    P-3     P-1     P-2
DESTINATION      P-3     P-3     P-1     P-2     P-4
=====
=====

```

STREAM PROPERTIES

```

ACTIVITY U/ml      0.0     0.0     0.0     0.0     0.0
TEMP    °C        25.0    25.0    25.0    25.0    100.0
PRES   bar         1.0     1.0     1.0     1.0     1.0
DENSITY g/L       785.890  994.704  886.369  886.348  2.092

```

COMPONENT FLOWRATES (kg/h averaged)

```

Ethyl Alcohol    165.6000   0.0000   165.6000   165.6000   58.1872
Water            0.0000   194.4000   194.4000   194.4000   22.7689

```

```

=====
=====
TOTAL (kg/h)     165.6000   194.4000   360.0000   360.0000   80.9561
TOTAL (L/h)      210.7166   195.4350   406.1515   406.1608   38704.1191
=====
=====

```

```

=====
=====
STREAM NAME      S-106    S-107    S-108    S-110    S-109
SOURCE           P-2     P-4     P-5     P-7     P-6
DESTINATION      P-4     P-5     P-7     P-6     P-8

```

=====

=====

STREAM PROPERTIES

ACTIVITY	U/ml	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TEMP	°C	100.0	100.0	127.0	25.0	127.0
PRES	bar	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
DENSITY	g/L	3.898	3.264	0.395	0.578	0.395

COMPONENT FLOWRATES (kg/h averaged)

Carb. Dioxide	0.0000	0.0000	238.4189	238.4189	289.8460
Carbon Monoxide	0.0000	0.0000	35.2473	35.2473	2.5167
Ethyl Alcohol	107.4128	165.6000	11.8238	11.8238	11.8238
Hydrogen	0.0000	0.0000	37.7255	37.7255	40.0742
Water	171.6311	194.4000	36.6302	36.6302	15.5732

=====

=====

TOTAL (kg/h)	279.0439	360.0000	359.8457	359.8457	359.8340
TOTAL (L/h)	71581.3304	110285.4495	910829.1859	622684.8315	910829.1859

=====

=====

=====

=====

STREAM NAME	Air1	S-112	S-114	S-113	Air2
SOURCE	INPUT	P-8	P-10	P-9	INPUT
DESTINATION	P-8	P-10	P-9	P-11	P-11

=====

=====

STREAM PROPERTIES

ACTIVITY U/ml	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TEMP °C	25.0	125.0	25.0	100.0	25.0
PRES bar	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
DENSITY g/L	1.158	0.401	0.559	0.443	1.158

COMPONENT FLOWRATES (kg/h averaged)

Argon	0.0655	0.0655	0.0655	0.0655	29.9951
Carb. Dioxide	0.0022	289.8482	289.8482	293.6047	0.9888
Carbon Monoxide	0.0000	2.5167	2.5167	0.1258	0.0000
Ethyl Alcohol	0.0000	11.8238	11.8238	11.8238	0.0000
Hydrogen	0.0000	40.0742	40.0742	40.0742	0.0000
Nitrogen	5.4432	5.4432	5.4432	5.4432	2491.8970
Oxygen	1.4645	1.4645	1.4645	0.0988	670.4389
Water	0.2246	15.7979	15.7979	15.7979	102.8402

TOTAL (kg/h)	7.2000	367.0340	367.0340	367.0340	3296.1600
TOTAL (L/h)	6219.8441	914580.6595	657172.7707	829016.0105	2847444.6476

STREAM NAME	S-116	S-117
SOURCE	P-11	P-12
DESTINATION	P-12	OUTPUT

STREAM PROPERTIES

ACTIVITY	U/ml	0.0	0.0
TEMP	°C	32.5	25.0
PRES	bar	1.0	1.0
DENSITY	g/L	1.062	1.301

COMPONENT FLOWRATES (kg/h averaged)

Argon	30.0606	30.0606
Carb. Dioxide	294.5935	294.5935
Carbon Monoxide	0.1258	0.1258
Ethyl Alcohol	11.8238	11.8238
Hydrogen	40.0742	10.0186
Nitrogen	2497.3402	2497.3402
Oxygen	670.5377	431.2903
Water	118.6381	388.0925

TOTAL (kg/h)	3663.1940	3663.3454
TOTAL (L/h)	3448810.2874	2815443.4847

OVERALL COMPONENT BALANCE (kg/h averaged)

COMPONENT	IN	OUT	(OUT-IN)
Argon	30.060576	30.060576	0.000000
Carb. Dioxide	0.991008	294.593548	293.602540
Carbon Monoxide	0.000000	0.125833	0.125833

Ethyl Alcohol	165.600000	11.823840	-153.776160
Hydrogen	0.000000	10.018561	10.018561
Nitrogen	2497.340160	2497.340160	0.000000
Oxygen	671.903424	431.290343	-240.613081
Water	297.464832	388.092512	90.627680
=====			
=====			
TOTAL	3663.360000	3663.345374	-0.014626
=====			
=====			

EQUIPMENT CONTENTS

This section will be skipped (overall process is continuous)

• INPUT DATA REPORT

THERMODYNAMIC AND OTHER PROPERTIES OF CHEMICAL COMPONENTS

Number of Components = 8

Component	Full Name	Formula

Argon	Argon	Ar
Carb. Dioxide	Carbon Dioxide	CO ₂
Carbon Monoxide	Carbon Monoxide	CO
Ethyl Alcohol	Ethyl Alcohol	C ₂ H ₅ OH
Hydrogen	Hydrogen	H ₂

Nitrogen	Nitrogen	N2
Oxygen	Oxygen	O2
Water	Water	H2O

NOTE: Properties indicated by *** have been used in the current simulation.

CompName	MW (g/gmol)	Tb (C)	Tfreez (C)	DHform (J/gmol)
Argon	39.95***	-185.87***	-189.37	0.00
Carb. Dioxide	44.01***	-273.15***	-56.57	-393510.00
Carbon Monoxide	28.01***	-191.44***	-205.00	-110530.00
Ethyl Alcohol	46.07***	78.25***	-114.10	-276980.00
Hydrogen	2.01***	-252.71***	-259.20	0.00
Nitrogen	28.02***	-195.76***	-210.00	0.00
Oxygen	32.00***	-182.84***	-218.79	0.00
Water	18.02***	100.00***	0.00	-285830.00

CRITICAL PROPERTIES

CompName	Tc (C)	Pc (bar)	Zc	Omega
Argon	-122.29	48.98	0.2908	0.0000
Carb. Dioxide	31.03	75.27	0.2740	0.2390
Carbon Monoxide	-140.24	35.68	0.2950	0.0482
Ethyl Alcohol	240.75	61.40	0.2400	0.6440
Hydrogen	-240.15	12.90	0.3030	-0.2160
Nitrogen	-146.90	34.65	0.2900	0.0390
Oxygen	-118.39	51.81	0.2880	0.0250
Water	374.19	221.20	0.2350	0.3440

Component	Volum. Coef.	Part.Size (microns)	Henry C (10 ⁴ m ³ -atm/gmol)
-----------	--------------	---------------------	--

Argon	1.00	0.0	0.0000
Carb. Dioxide	1.00	0.0	218.8000
Carbon Monoxide	1.00	0.0	11420.0000
Ethyl Alcohol	1.00	0.0	0.3030
Hydrogen	1.00	0.0	0.0000
Nitrogen	1.00	0.0	0.0000
Oxygen	1.00	0.0	0.0000
Water	1.00	0.0	0.0000

TEMPERATURE DEPENDENT PROPERTIES

CorrID Formula [T:temp, Tr=T/Tc, t=1-Tr, a,b,c,d,e:coeffs]

0	a
1	$a+bT+cT^2+dT^3+eT^4$
2	$\exp(a+b/T+\ln(T)+dT^e)$
3	$a/b^{(1+(1-T/c)^d)}$
4	$a(1-Tr)^{(b+cTr+dTr^2+eTr^3)}$
5	$a+b(c/T/\sinh(c/T))^2+d(e/T/\cosh(e/T))^2$
6	$a^2/t+b-2act-adt^2-c^2t^3/3-cdt^4/2-d^2t^5/5$
7	$\exp(a+b/T+\ln(T)+dT^2+e/T^2)$
8	$a+bt^{0.35}+ct^{(2/3)}+dt+et^{(4/3)}$
9	$10^{(a+b/(c+T))}$

Argon

Property	CorrId	a	b	c	d	e
LiqDen (g/l)	1	3089.66	-15.3406			
LiqCp (J/mol-K)	0	73.27				
GasCp (J/mol-K)	1	20.79	0.0000E-2	0.0000E-4	0.0000E-8	
VapPress (mmHg)	9	6.82	341.7783	-0.5983		
DHvap (J/kmol)	4	8730.80	0.3526			

Carb. Dioxide

Property	CorrId	a	b	c	d	e

LiqDen (g/l)	1	5090.53	-14.6805			
LiqCp (J/mol-K)	0	209.35				
GasCp (J/mol-K)	1	19.80	7.3440E-2	-0.5602E-4	1.7150E-8	
VapPress (mmHg)	9	8.03	983.8362	-5.0316		
DHvap (J/kmol)	4	24570.69	0.3936			

Carbon Monoxide

Property	CorrId	a	b	c	d	e

LiqDen (g/l)	1	1733.20	-9.6297			
LiqCp (J/mol-K)	0	93.16				
GasCp (J/mol-K)	1	30.87	-1.2850E-2	0.2789E-4	-1.2720E-8	
VapPress (mmHg)	9	7.41	342.5000	-4.2000		
DHvap (J/kmol)	4	8512.12	0.3599			

Ethyl Alcohol

Property	CorrId	a	b	c	d	e

LiqDen (g/l)	*** 1	1051.78	-0.8918			
LiqCp (J/mol-K)	0	113.00				
GasCp (J/mol-K)	1	9.01	21.4100E-2	-0.8390E-4	0.1373E-8	
VapPress (mmHg)	9	8.32	1718.1000	-35.6200		
DHvap (J/kmol)	4	55789.00	0.3125			

Hydrogen

Property	CorrId	a	b	c	d	e

LiqDen (g/l)	1	98.92	-1.3787			
LiqCp (J/mol-K)	0	23.60				
GasCp (J/mol-K)	1	27.14	0.9274E-2	-0.1381E-4	0.7645E-8	
VapPress (mmHg)	9	5.82	67.5078	2.5000		

DHvap (J/kmol) 4 1282.71 0.3259

Nitrogen

Property	CorrId	a	b	c	d	e
----------	--------	---	---	---	---	---

LiqDen (g/l) 1 1301.19 -6.1226

LiqCp (J/mol-K) 0 88.80

GasCp (J/mol-K) 1 31.15 -1.3570E-2 0.2680E-4 -1.1680E-8

VapPress (mmHg) 9 6.49 255.6800 -6.6500

DHvap (J/kmol) 4 7901.04 0.3584

Oxygen

Property	CorrId	a	b	c	d	e
----------	--------	---	---	---	---	---

LiqDen (g/l) 1 1620.47 -5.2931

LiqCp (J/mol-K) 0 97.00

GasCp (J/mol-K) 1 28.11 -0.0003E-2 0.1746E-4 -1.0650E-8

VapPress (mmHg) 9 6.69 319.0130 -6.5000

DHvap (J/kmol) 4 9557.19 0.3638

Water

Property	CorrId	a	b	c	d	e
----------	--------	---	---	---	---	---

LiqDen (g/l) *** 1 1103.38 -0.3645

LiqCp (J/mol-K) 0 75.24

GasCp (J/mol-K) 1 32.24 0.1924E-2 0.1055E-4 -0.3596E-8

VapPress (mmHg) 9 8.14 1746.1500 -42.5500

DHvap (J/kmol) 4 60335.24 0.4132

ENVIRONMENTAL PROPERTIES

CompName	log10(POW)	Water Diff.	Air Diff.	Kmax	Ks
	(10 ⁶ cm ² /s)	(10 ³ cm ² /s)	(mg/g-h)	(mg/L)	

Argon	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Carb. Dioxide	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Carbon Monoxide	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ethyl Alcohol	-0.3200	0.0000	0.0001	88.0000	9.7777
Hydrogen	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Nitrogen	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Oxygen	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Water	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

CompName TOC (gC/g) COD (gO/g) ThOD (gO/g) BODu/COD
BOD5/BODu

Argon	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Carb. Dioxide	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Carbon Monoxide	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ethyl Alcohol	0.5570	2.0840	2.0840	0.9050	0.0000
Hydrogen	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Nitrogen	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Oxygen	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Water	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

CompName TKN (gN/g) NH3 (gN/g) NO3-NO2 (gN/g) TP (gP/g)
CaCO3 (g/g)

Argon	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Carb. Dioxide	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Carbon Monoxide	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ethyl Alcohol	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Hydrogen	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Nitrogen	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Oxygen	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Water	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

CompName	Solid?	TS(gSolds/g)	TSS/TS	VSS/TSS	DVSS/VSS	VDS/TDS	DVDS/VDS
----------	--------	--------------	--------	---------	----------	---------	----------

Argon	No	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Carb. Dioxide	No	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Carbon Monoxide	No	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ethyl Alcohol	No	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Hydrogen	No	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Nitrogen	No	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Oxygen	No	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Water	No	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

CompName	IsHazardous?	Haz.Thres. (ppm)	Cr+6 (g/g)	Metal (g/g)
----------	--------------	------------------	------------	-------------

Argon	No	0.0000	0.0000	0.0000
Carb. Dioxide	No	0.0000	0.0000	0.0000
Carbon Monoxide	No	0.0000	0.0000	0.0000
Ethyl Alcohol	No	0.0000	0.0000	0.0000
Hydrogen	No	0.0000	0.0000	0.0000
Nitrogen	No	0.0000	0.0000	0.0000
Oxygen	No	0.0000	0.0000	0.0000
Water	No	0.0000	0.0000	0.0000

PROPERTIES AND COMPOSITION OF MIXTURES

Mixture	Is Liquid or Solid?	Density (a+bT: g/l)
		a b

Air	No	
Air2	No	

Air

Ingredient	Mass %
------------	--------

Water	1.96
Argon	1.24
Nitrogen	74.00
Carb. Dioxide	0.05
Oxygen	22.75

Air2

Ingredient	Mass %
------------	--------

Water	3.12
Nitrogen	75.60
Argon	0.91
Carb. Dioxide	0.03
Oxygen	20.34

BIOMASS DATA

Primary Biomass = (none)

WaterComponent = Water

H2OInPrimBiomass= 0.800

STREAM ACTIVITY DATA

ActivityRefComp = (none)

ActivityBasis = 0.000
MainRevenueStrm = None
(Ethyl Alcohol)

=====

=====

STREAM REPORT FORMAT

Material Balances = kg/h average
Overall Material Balances = kg/h averaged
OMIT STREAMS WITH ZERO FLOWRATE
COMBINE INTRACELLULAR WITH EXTRACELLULAR FLOWRATES
DO NOT DISPLAY MASS WEIGHT PERCENT OF VARIOUS COMPONENTS

INPUT STREAM DATA

StreamName = ethanol
Temp = 25.00 degC
Press = 1.01 bar

Component	Mass Flow (kg/hr)	Mass %	Extracell. %
Ethyl Alcohol	165.60000	100.00	100.00

StreamName = water
Temp = 25.00 degC
Press = 1.01 bar

Component	Mass Flow (kg/hr)	Mass %	Extracell. %
Water	194.40000	100.00	100.00

StreamName = Air2
Temp = 25.00 degC
Press = 1.01 bar

Component	Mass Flow (kg/hr)	Mass %	Extracell. %
-----------	-------------------	--------	--------------

Argon	29.99506	0.91	100.00
Carb. Dioxide	0.98885	0.03	100.00
Nitrogen	2491.89696	75.60	100.00
Oxygen	670.43894	20.34	100.00
Water	102.84019	3.12	100.00

StreamName = Air1

Temp = 25.00 degC

Press = 1.01 bar

Component	Mass Flow (kg/hr)	Mass %	Extracell. %
Argon	0.06552	0.91	100.00
Carb. Dioxide	0.00216	0.03	100.00
Nitrogen	5.44320	75.60	100.00
Oxygen	1.46448	20.34	100.00
Water	0.22464	3.12	100.00

PROCEDURE / OPERATION DATA

Number of Procedures = 12

Procedure Name = P-1

Procedure Descript = Agitation

=====

01 OP > AGITATE-1 (Agitation)

Operation has been initialized by user.

Auxiliary Power (kW) = 0.00

Auxiliary Heating (kcal/h) = 0.00

Auxiliary Heating Agent = Steam

Auxiliary Cooling (kcal/h) = 0.00

Auxiliary Cooling Agent = Cooling Water

Labor = 0.10 labor-hrs/hr of Operator

Equipment capacity utilization is calculated.

Specific Power (kW/m³) = 0.10

Long description option selected. Working to Vessel Volume Ratio () = 0.00

Min Working To Total Volume () = 0.00

Max Working To Total Volume () = 0.00

Exit Temperature (°C) = 25.03

=====

Procedure Name = P-2

Procedure Descript = Vaporization

=====

01 OP > VAPORIZE-1 (Batch Vaporization)

Operation has been initialized by user.

Auxiliary Power (kW) = 0.00

Auxiliary Heating (kcal/h) = 0.00

Auxiliary Heating Agent = Steam

Auxiliary Cooling (kcal/h) = 0.00

Auxiliary Cooling Agent = Cooling Water

Labor = 1.00 labor-hrs/hr of Operator

Equipment capacity utilization is calculated.

Specific Power (kW/m³) = 0.00

Main heating agent is Steam

Long description option selected. Working to Vessel Volume Ratio (!) = 0.00

Min Working To Total Volume () = 0.00

Max Working To Total Volume () = 0.00

Exit Temperature (°C) = 100.00

Evaporation Time (h) = 60.00

Operating Temp = 100.00 °C

Operating Press = 1.01 °C

Pressure = 1.01

Air Leak Rate = 0.00

Condenser Temperature = 15.00

Gaseous Port / Stream = S-104

Final Solution Temp = 100.00

Ave. Vaporiz. Heat = 540.00 kcal/kg

Final Liquid Volume = 335.00 m³

=====

Component Name	Volatile ?	Relative Vaporization
----------------	------------	-----------------------

Argon	No	1.00
Carb. Dioxide	No	1.00
Carbon Monoxide	No	1.00
Ethyl Alcohol	Yes	3.00
Hydrogen	No	1.00
Nitrogen	No	1.00
Oxygen	No	1.00
Water	Yes	1.00

=====

=====

Procedure Name = P-3

Procedure Descript = Mixing

=====

01 OP > MIX-1 (2-Stream Mixing)

Operation has been initialized by user.

Auxiliary Power (kW) = 0.00

Auxiliary Heating (kcal/h) = 0.00

Auxiliary Heating Agent = Steam

Auxiliary Cooling (kcal/h) = 0.00

Auxiliary Cooling Agent = Cooling Water

Labor = 0.00 labor-hrs/hr of Operator

Equipment capacity utilization is calculated.

Specific Power (kW/(kg/h)) = 0.00

Long description option selected.

=====

Procedure Name = P-4

Procedure Descrpt = Mixing

=====

01 OP > MIX-1 (2-Stream Mixing)

Operation has been initialized by user.

Auxiliary Power (kW) = 0.00

Auxiliary Heating (kcal/h) = 0.00

Auxiliary Heating Agent = Steam

Auxiliary Cooling (kcal/h) = 0.00

Auxiliary Cooling Agent = Cooling Water

Labor = 0.00 labor-hrs/hr of Operator

Equipment capacity utilization is calculated.

Specific Power (kW/(kg/h)) = 0.00

Long description option selected.

=====

=====

Procedure Name = P-5

Procedure Descrpt = Reformer

=====

01 OP > REACT-1 (Stoich. Reaction (in GBX))

Operation has been initialized by user.

Auxiliary Power (kW) = 0.00

Auxiliary Heating (kcal/h) = 0.00

Auxiliary Heating Agent = Steam

Auxiliary Cooling (kcal/h) = 0.00

Auxiliary Cooling Agent = Cooling Water

Labor = 1.00 labor-hrs/hr of Operator

Equipment capacity utilization is calculated.

Main heat transfer agent is Steam

Long description option selected. Working to Vessel Volume Ratio () = 0.00

Min Working To Total Volume () = 0.00

Max Working To Total Volume () = 0.00

Exit Temperature (°C) = 127.00

Thermal Mode : Isothermal

Exit Temperature = 127.00 °C

Setup Time = 0.00

Reaction Time = 60.00

No emissions are calculated for this operation.

REACTION DATA

Reaction #1 :

Enthalpy Reference = 0.00 kcal/kg

Enthalpy Ref. Temp. = 327.00 °C

Enthalpy Ref. Comp. = (none) °C

Component Name Stoich.Coeff.

Argon 0.00

Carb. Dioxide 2.00

Carbon Monoxide 0.00

Ethyl Alcohol -1.00

Hydrogen 6.00

Nitrogen 0.00

Oxygen 0.00

Water -3.00

Reaction Extent is Set by User.

Extent of Reaction(%) = 92.86

Reaction extent refers to the limiting component

Reaction #2 :

Enthalpy Reference = 0.00 kcal/kg

Enthalpy Ref. Temp. = 327.00 °C

Enthalpy Ref. Comp. = (none) °C

Component Name Stoich.Coeff.

Argon 0.00
Carb. Dioxide -1.00
Carbon Monoxide 1.00
Ethyl Alcohol 0.00
Hydrogen -1.00
Nitrogen 0.00
Oxygen 0.00
Water 1.00

Reaction Extent is Set by User.

Extent of Reaction(%) = 18.85

Reaction extent refers to the limiting component

=====

Procedure Name = P-6

Procedure Descript = CO Shift

=====

01 OP > REACT-1 (Stoich. Reaction (in GBX))

Operation has been initialized by user.

Auxiliary Power (kW) = 0.00

Auxiliary Heating (kcal/h) = 0.00

Auxiliary Heating Agent = Steam

Auxiliary Cooling (kcal/h) = 0.00

Auxiliary Cooling Agent = Cooling Water

Labor = 1.00 labor-hrs/hr of Operator

Equipment capacity utilization is calculated.

Main heat transfer agent is Steam

Long description option selected. Working to Vessel Volume Ratio () = 0.00

Min Working To Total Volume () = 0.00

Max Working To Total Volume () = 0.00

Exit Temperature (°C) = 127.00

Thermal Mode : Isothermal

Exit Temperature = 127.00 °C

Setup Time = 0.00

Reaction Time = 60.00

No emissions are calculated for this operation.

REACTION DATA

Reaction #1 :

Enthalpy Reference = 0.00 kcal/kg

Enthalpy Ref. Temp. = 127.00 °C

Enthalpy Ref. Comp. = (none) °C

Component Name Stoich.Coeff.

Argon 0.00

Carb. Dioxide 1.00

Carbon Monoxide -1.00

Ethyl Alcohol 0.00

Hydrogen 1.00

Nitrogen 0.00

Oxygen 0.00

Water -1.00

Reaction Extent is Set by User.

Extent of Reaction(%) = 92.86

Reaction extent refers to the limiting component

=====
=====

Procedure Name = P-7

Procedure Descrpt = Cooling
=====

01 OP > COOL-1 (Cooling)

Operation has been initialized by user.

Auxiliary Power (kW) = 0.00

Auxiliary Heating (kcal/h) = 0.00

Auxiliary Heating Agent = Steam

Auxiliary Cooling (kcal/h) = 0.00

Auxiliary Cooling Agent = Cooling Water

Labor = 0.10 labor-hrs/hr of Operator

Equipment capacity utilization is calculated.

Main cooling agent is Chilled Water

Long description option selected.Exit Temperature = 25.00

Overall Effic.(%)= 100.00

Heat Transf Coef = 1290.66

Cooling Agent = Chilled Water

=====
=====

Procedure Name = P-8

Procedure Descrpt = Mixing
=====

01 OP > MIX-1 (2-Stream Mixing)

Operation has been initialized by user.

Auxiliary Power (kW) = 0.00

Auxiliary Heating (kcal/h) = 0.00

Auxiliary Heating Agent = Steam

Auxiliary Cooling (kcal/h) = 0.00

Auxiliary Cooling Agent = Cooling Water

Labor = 0.00 labor-hrs/hr of Operator

Equipment capacity utilization is calculated.

Specific Power (kW/(kg/h)) = 0.00

Long description option selected.

=====

=====

Procedure Name = P-9

Procedure Descript = CO remover

=====

01 OP > REACT-1 (Stoich. Reaction (in GBX))

Operation has been initialized by user.

Auxiliary Power (kW) = 0.00

Auxiliary Heating (kcal/h) = 0.00

Auxiliary Heating Agent = Steam

Auxiliary Cooling (kcal/h) = 0.00

Auxiliary Cooling Agent = Cooling Water

Labor = 1.00 labor-hrs/hr of Operator

Equipment capacity utilization is calculated.

Main heat transfer agent is Steam

Long description option selected. Working to Vessel Volume Ratio () = 0.00

Min Working To Total Volume () = 0.00

Max Working To Total Volume () = 0.00

Exit Temperature (°C) = 100.00

Thermal Mode : Isothermal

Exit Temperature = 100.00 °C

Setup Time = 0.00

Reaction Time = 60.00

No emissions are calculated for this operation.

REACTION DATA

Reaction #1 :

Enthalpy Reference = 0.00 kcal/kg

Enthalpy Ref. Temp. = 127.00 °C

Enthalpy Ref. Comp. = (none) °C

Component Name Stoich.Coeff.

Argon 0.00
Carb. Dioxide 1.00
Carbon Monoxide -1.00
Ethyl Alcohol 0.00
Hydrogen 0.00
Nitrogen 0.00
Oxygen -0.50
Water 0.00

Reaction Extent is Set by User.

Extent of Reaction(%) = 95.00

Reaction extent refers to the limiting component

=====

Procedure Name = P-10

Procedure Descrpt = Cooling

=====

01 OP > COOL-1 (Cooling)

Operation has been initialized by user.

Auxiliary Power (kW) = 0.00

Auxiliary Heating (kcal/h) = 0.00

Auxiliary Heating Agent = Steam

Auxiliary Cooling (kcal/h) = 0.00

Auxiliary Cooling Agent = Cooling Water

Labor = 0.10 labor-hrs/hr of Operator

Equipment capacity utilization is calculated.

Main cooling agent is Chilled Water

Long description option selected.Exit Temperature = 25.00

Overall Effic.(%)= 100.00

Heat Transf Coef = 1290.66

Cooling Agent = Chilled Water

=====

=====

Procedure Name = P-11

Procedure Descript = Mixing

=====

01 OP > MIX-1 (2-Stream Mixing)

Operation has been initialized by user.

Auxiliary Power (kW) = 0.00

Auxiliary Heating (kcal/h) = 0.00

Auxiliary Heating Agent = Steam

Auxiliary Cooling (kcal/h) = 0.00

Auxiliary Cooling Agent = Cooling Water

Labor = 0.00 labor-hrs/hr of Operator

Equipment capacity utilization is calculated.

Specific Power (kW/(kg/h)) = 0.00

Long description option selected.

=====

Procedure Name = P-12

Procedure Descript = PEMFC

=====

01 OP > REACT-1 (Batch Stoich. Reaction)

Operation has been initialized by user.

Auxiliary Power (kW) = 0.00

Auxiliary Heating (kcal/h) = 0.00

Auxiliary Heating Agent = Steam

Auxiliary Cooling (kcal/h) = 0.00

Auxiliary Cooling Agent = Cooling Water

Labor = 1.00 labor-hrs/hr of Operator

Equipment capacity utilization is calculated.

Specific Power (kW/m³) = 0.00

Main heat transfer agent is Chilled Water

Long description option selected. Working to Vessel Volume Ratio (ι) = 0.00

Min Working To Total Volume () = 0.00

Max Working To Total Volume () = 0.00

Exit Temperature (°C) = 25.00

Thermal Mode : Isothermal

Exit Temperature = 25.00 °C

Setup Time = 0.00

Reaction Time = 60.00

No emissions are calculated for this operation.

REACTION DATA

Reaction #1 :

Enthalpy Reference = 0.00 kcal/kg

Enthalpy Ref. Temp. = 127.00 °C

Enthalpy Ref. Comp. = (none) °C

Component Name	Stoich.Coeff.
----------------	---------------

Argon	0.00
Carb. Dioxide	0.00
Carbon Monoxide	0.00
Ethyl Alcohol	0.00
Hydrogen	-1.00
Nitrogen	0.00
Oxygen	-0.50
Water	1.00

Reaction Extent is Set by User.

Extent of Reaction(%) = 75.00

Reaction extent refers to the limiting component

=====

=====

PROCESS SCHEDULING DATA

=====

=====

Plant Mode of Operation = CONTINUOUS

Annual Operating Time = 7920.00 hours

OTHER EQUIPMENT PARAMETERS

Equip. Name	Stand-by and/or Staggered Units	Material of Construction	Material Factor	Install. Factor	Maintenance Factor
-------------	------------------------------------	-----------------------------	--------------------	--------------------	-----------------------

V-101	0	SS316	1.000	1.000	0.100
V-102	0	SS316	1.000	1.000	0.100
MX-101	0	CS	1.000	0.500	0.100
MX-102	0	CS	1.000	0.500	0.100
GBX-101	0	CS	1.000	0.500	0.100
GBX-102	0	CS	1.000	0.500	0.100
HX-101	0	CS	1.000	0.500	0.100
MX-103	0	CS	1.000	0.500	0.100
GBX-103	0	CS	1.000	0.500	0.100
HX-102	0	CS	1.000	0.500	0.100
MX-104	0	CS	1.000	0.500	0.100
V-103	0	SS316	1.000	1.000	0.100

LABOR PARAMETERS

Procedure::Operation Name	Labor Type	Labor Factor
------------------------------	---------------	-----------------

-		
P-1::AGITATE-1	Operator	0.10 labor-hrs/hr
P-2::VAPORIZE-1	Operator	1.00 labor-hrs/hr
P-3::MIX-1	Operator	0.00 labor-hrs/hr
P-4::MIX-1	Operator	0.00 labor-hrs/hr
P-5::REACT-1	Operator	1.00 labor-hrs/hr
P-6::REACT-1	Operator	1.00 labor-hrs/hr
P-7::COOL-1	Operator	0.10 labor-hrs/hr
P-8::MIX-1	Operator	0.00 labor-hrs/hr

P-9::REACT-1	Operator	1.00 labor-hrs/hr
P-10::COOL-1	Operator	0.10 labor-hrs/hr
P-11::MIX-1	Operator	0.00 labor-hrs/hr
P-12::REACT-1	Operator	1.00 labor-hrs/hr

MULTIPLIERS FOR FIXED CAPITAL COST ESTIMATION

Multiplier	Main Section
DFC is Set?	No
Piping	0
Instrumentation	0
Insulation	0
Electricals	0
Buildings	0
Yard Improvement	0
Auxiliary	0
Engineering	0
Construction	0
Construction	0
Contractor	0
Contingency	0

MAIN REVENUE AND OTHER REVENUE DATA

Main Revenue = n/a

Number of Other Revenue Streams = 0

Revenue Stream Name	Price (\$/kg)	Set by User
---------------------	---------------	-------------

RAW MATERIALS

Input Stream Name	Purchasing Price (\$/kg)	Set by User

ethanol	0.750	NO
water	0.000	NO
Air2	0.000	NO
Air1	0.000	NO

WASTE TREATMENT/DISPOSAL COSTS

a. SOLID WASTE

Waste Stream Name	Waste Treat./Disp. Cost (\$/kg)	Set by User

b. LIQUID WASTE

Waste Stream Name	Waste Treat./Disp. Cost (\$/kg)	Set by User

c. EMISSIONS

Waste Stream Name	Waste Treat./Disp. Cost (\$/kg)	Set by User
