

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ: ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ – ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΜΗΜΕΝΟΥ ΧΩΡΟΥ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Οικονομοτεχνική Ανάλυση Οικιακού Συστήματος Παραγωγής
Ισχύος 10 kW με Κυψέλη Καυσίμου Τροφοδοτούμενη με Φυσικό
Αέριο

Πουτακίδης Χαράλαμπος
Κωνσταντινίδης Κορνήλιος

Επιβλέπων: Επίκουρος Καθηγητής Γεώργιος Μαρνέλλος

ΚΟΖΑΝΗ ΙΟΥΛΙΟΣ 2013

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να εξετάσει τη βιωσιμότητα ενός συστήματος κυψέλης καυσίμου τύπου SOFC με συμπαραγωγή θερμότητας, ισχύος 10kW σε μία οικία στην πόλη της Λάρισας. Πιο συγκεκριμένα πρόκειται να διαστασιολογηθεί και αξιολογηθεί ένα σύστημα κυψελών καυσίμου, όπου η είσοδος του συστήματος είναι φυσικό αέριο από το δίκτυο της Δ.Ε.Π.Α. και μέσω της διεργασίας της αναμόρφωσης υδρογονανθράκων θα οδηγείται το μείγμα στην κυψέλη καυσίμου SOFC για να πάρουμε σαν έξοδο ηλεκτρική ισχύ (ηλεκτρικό ρεύμα) και ζεστό νερό το οποίο θα χρησιμοποιείται για τη θέρμανση της οικίας. Αρχικά λοιπόν, γίνεται μια αναφορά στο φυσικό αέριο και στις ιδιότητές του καθώς και μια σύντομη ιστορική αναδρομή. Στη συνέχεια της εργασίας, παρουσιάζονται τα οφέλη από τη χρήση του υδρογόνου και γίνεται μια εκτενής αναφορά σε όλα τα είδη κυψελών καυσίμων που υπάρχουν. Πολύ σημαντικό τμήμα των συστημάτων κυψελών καυσίμου είναι οι αναμορφωτές, διατάξεις απαραίτητες για τον εμπλουτισμό του καυσίμου σε υδρογόνο. Αυτό είναι το επόμενο τμήμα της εργασίας όπου παρουσιάζονται οι βασικές διεργασίες αναμόρφωσης. Ακολουθεί ανάλυση για τα συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (Σ.Η.Θ.) και εν συνεχεία η τεχνική μελέτη με το συνολικό διάγραμμα ροής. Επίσης διενεργήθηκε ενεργειακή επιθεώρηση της οικίας πριν τη θεωρητική εγκατάσταση του συστήματος SOFC και μετά, για να γίνουν πιο εύκολα αντιληπτά τα οφέλη αυτής της επένδυσης. Αξίζει επιπροσθέτως να αναφερθεί ότι εντάσσουμε αυτή την παρέμβαση στο συγχρηματοδοτούμενο πρόγραμμα “εξοικονόμηση κατ οίκον” για να μειωθεί το αρχικό κόστος της επένδυσης και να την αποσβέσουμε συντομότερα. Τέλος παρουσιάζονται τα οικονομικά μεγέθη της εργασίας μαζί με τα αποτελέσματα.

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε, καταρχήν, να ευχαριστήσουμε όλους όσους συνέβαλαν με οποιονδήποτε τρόπο στην επιτυχή εκπόνηση της διπλωματικής μας εργασίας. Πρώτα από όλους, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε από καρδιάς τον Επίκουρο καθηγητή κ. Μαρνέλλο Γεώργιο για την πολύτιμη βοήθεια και την καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας μας. Ήταν πάντα διαθέσιμος να μας προσφέρει τις γνώσεις και την εμπειρία του στη βαθύτερη κατανόηση της περιοχής των κυψελών καυσίμου. Επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους των φοιτητικών μας χρόνων για την με κάθε τρόπο αρωγή και στήριξή τους στην εκπόνηση της διπλωματικής μας εργασίας. Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μας, που από την πρώτη στιγμή αποτελούν πολύτιμους συμπαραστάτες στους αγώνες για την επίτευξη των στόχων και των ονείρων μας.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	11
2. Θεωρητικό μέρος.....	12
2.1. Φυσικό Αέριο	12
2.1.1. Ορισμός	12
2.1.2. Ιδιότητες	12
2.1.3. Σύντομη Ιστορική Αναδρομή.....	13
2.1.4. Εξαγωγή και Μεταφορά.....	14
2.1.5. Χρήσεις	16
2.1.6. Οφέλη	18
2.1.7. Περιβάλλον.....	19
2.2. Υδρογόνο	20
2.2.1. Γενικά στοιχεία.....	20
2.2.2. Το Υδρογόνο ως ενεργειακό καύσιμο	21
2.2.3. Πλεονεκτήματα του υδρογόνου έναντι των συμβατικών πηγών ενέργειας	24
2.2.4. Μειονεκτήματα του υδρογόνου έναντι των συμβατικών πηγών Ενέργειας.....	26
2.3. Κυψέλες Καυσίμου Υδρογόνου.....	28
2.3.1. Εισαγωγή στις κυψέλες καυσίμου υδρογόνου.	28
2.3.2. Βασικοί τύποι κυψελών καυσίμου.....	31
2.4. Αναμορφωτές των υδρογονούχων καυσίμων	44
2.4.1. Ο ρόλος των αναμορφωτών.....	44
2.4.2. Ενδόθερμη αναμόρφωση ατμού	47
2.4.3. Εξώθερμη μερική οξειδωση	50
2.4.4. Αυτόθερμη αναμόρφωση	52
2.5. Ηλεκτρικές και Θερμικές Ενεργειακές Ανάγκες των κτηρίων στην Ελλάδα	54
2.5.1. Γενικά Στοιχεία	54
2.5.2. Ενεργειακή κατανάλωση	55
2.6. Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ)	61
2.6.1. Γενικά.....	61
2.6.2. Εγκαταστάσεις Σ.Η.Θ. στην Ελλάδα από το 1970 έως το 2010.....	62
2.6.3. Πλεονεκτήματα Σ.Η.Θ.	63
2.7 Συστήματα (Σ.Η.Θ.).....	64
2.7.1. Γενικά.....	64

2.7.2. Κυψέλη Καυσίμου	64
2.7.3. Σύγκριση Συστημάτων ΣΗΘ	65
2.8 Τροφόδότηση μονάδων Σ.Η.Θ. με αέρια καύσιμα	67
2.8.1 Εναλλακτικά καύσιμα.....	67
2.8.2 ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ Σ.Η.Θ. ΜΕ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	67
2.9 Σύνδεση συστημάτων Σ.Η.Θ. με τα δίκτυα διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας	68
2.9.1. Γενικά στοιχεία.....	68
2.9.2. Λειτουργικές πρακτικές συστημάτων Σ.Η.Θ.	69
2.9.3. Βασικά χαρακτηριστικά διατάξεων σύνδεσης.....	70
2.9.4. Σύνδεση συστημάτων Σ.Η.Θ. στη χαμηλή τάση.....	74
2.9.5 Σύνδεση συστημάτων Σ.Η.Θ. στη μέση τάση.....	74
2.10 Περιβαλλομτική διάσταση της Σ.Η.Θ.	75
2.11. Θεσμικό πλαίσιο για τη Σ.Η.Θ. στην Ελλάδα.	75
3.Τεχνική μελέτη.....	81
3.1. Περιγραφή της Οικίας.....	81
3.2.Ενεργειακή Κατάσταση της οικίας.....	82
3.2.1.Θερμικές Ανάγκες.....	87
3.2.2. Ηλεκτρικές ανάγκες.....	88
3.3. Περιγραφή Διεργασίας-Διάγραμμα Ροής.....	88
3.4.Σχεδιασμός-Διαστασιολόγηση.....	90
4. Ενεργειακή Αναβάθμιση οικίας.....	95
5.ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ	100
5.1. Παρουσίαση του προγράμματος “εξοικονόμηση κατ’ οίκον”	100
5.2. Διάρκεια Ζωής Συστήματος και χρόνος λειτουργίας.....	104
5.3. Έσοδα από πώληση παραγόμενου Ρεύματος.....	106
5.3.1. Τιμολόγηση.....	106
6.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	113
Βιβλιογραφία:	115

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 2.1.: Οι προδιαγραφές της χημικής σύστασης του Φυσικού Αερίου	12
Πίνακας 2.2.: Συμβολαιοποιημένες ποσότητες ΔΕΠΑ.....	16
Πίνακας 2.3.: Υποκαθιστάμενα καύσιμα	18
Πίνακας 2.4.: εκπεμπόμενοι ρύποι κατά την καύση του φυσικού αερίου σε σχέση με άλλα καύσιμα σε $\frac{g}{kWh}$	20
Πίνακας 2.5.:Διάφοροι τύποι κυψελών καυσίμου μαζί με τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της λειτουργίας τους	32
Πίνακας 2.6.: Μέση ενεργειακή κατανάλωση διαφόρων τύπων κτιρίων ανά είδος χρήσης. Όλες οι τιμές είναι σε kWh ανά τετραγωνικό μέτρο το χρόνο	57
Πίνακας 2.7: Συγκριτικός Πίνακας Συστημάτων Σ.Η.Θ. για κτήρια όπου (*) είναι οι μεγάλης ισχύος μηχανές μπορούν να δώσουν και Α.Μ.Π, (**)οι αποδόσεις σήμερα των κυψελών καυσίμου φτάνουν έως 80%, Θ.Ν. το Θερμό Νερό, Α.Χ.Π. ο Ατμός Χαμηλής Πίεσης και Α.Μ.Π. = Ατμός Μέσης Πίεσης.	66
Πίνακας 2.8: Προτεινόμενα Συστήματα Σ.Η.Θ. για διάφορα είδη κτηρίων	66
Πίνακας 2.9: Πιέσεις Τροφοδοσίας μονάδων Σ.Η.Θ.	67
Πίνακας 3.1: Τα αποτελέσματα του λογισμικού ΤΕΕΚΕΝΑΚ 1.29.1.19 για την υπό εξέταση οικία.	82
Πίνακας 3.2: Ενεργειακή κατάταξη της οικίας από το λογισμικό ΤΕΕΚΕΝΑΚ 1.29.1.19	86
Πίνακας 3.3: Παροχές.....	94
Πίνακας 4.1: Ενεργειακή επιθεώρηση μετά από την εγκατάσταση τους συγκεκριμένου συστήματος με το λογισμικό ΤΕΕΚΕΝΑΚ 1.29.1.19	96
Πίνακας 4.2: Ενεργειακή κατάταξη της οικίας μετά από την εγκατάσταση τους συγκεκριμένου συστήματος με το λογισμικό ΤΕΕΚΕΝΑΚ 1.29.1.19	99
Πίνακας 5.1: Κατηγορίες και ανώτατα όρια δαπανών του προγράμματος Εξοικονόμηση κατ οίκον	104
Πίνακας 5.2: Τιμές Φ.Α.	105
Πίνακας 5.3: Τιμές σταθμών Σ.Η.Θ.Υ.Α. που κάνουν χρήση φυσικού αερίου	107
Πίνακας 5.3: Οικιακό τιμολόγιο	110
Πίνακας 5.4: Το άμεσο κόστος των συντελεστών που απαρτίζουν το σύστημα.....	111
Πίνακας 5.5: Το έμμεσο κόστος των συντελεστών που απαρτίζουν το σύστημα. .	112

Λίστα Σχημάτων

Σχήμα 2.1.:Αποθέματα Φυσικού Αερίου	15
Σχήμα 2.2.: Συμβολαιοποιημένες ποσότητες ΔΕΠΑ..	16
Σχήμα 2.3: Οι οδοί για το υδρογόνο	23
Σχήμα 2.4.:Κυψέλη-συστοιχία καυσίμου.....	31
Σχήμα 2.5.:Τυπική λειτουργία μια κυψέλης PEMFC	33
Σχήμα 2.6.: Συστοιχίες κυψελών καυσίμου PEMFC.....	34
Σχήμα 2.7.:Τυπική λειτουργία μια κυψέλης AFC	36
Σχήμα 2.8.:Τυπική λειτουργία μια κυψέλης PAFC	38
Σχήμα 2.9.:Τυπική λειτουργία μια κυψέλης MCFC	40
Σχήμα 2.10.:Τυπική λειτουργία μια κυψέλης SOFC	42
Σχήμα 2.11.: Αναμορφωτής υδρογονούχων καυσίμων και διεργασίες που συμβαίνουν στο εσωτερικό του	46
Σχήμα 2.12.: Αναμορφωτής ατμού	50
Σχήμα 2.13.: Αναμορφωτής μερικής οξειδωσης	52
Σχήμα 2.14: Αυτόθερμη αναμόρφωση	54
Σχήμα 2.15.:γραφική απεικόνιση των ποσοστών των κτηρίων ανάλογα με τη χρήση τους.....	56
Σχήμα 2.16.: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από τα «νοικοκυριά» ανα τελική χρήση	58
Σχήμα 2.17.: Μέση ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά κατοικία	59
Σχήμα 2.18.: Κατανομή κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.....	59
Σχήμα 2.19.: Το προφίλ του καταναλισκόμενου φορτίου για μία μεγάλη οικιστική περιοχή στην Καλιφόρνια των Η.Π.Α.Όπου σαν «Ja» δηλώνει τον Ιανουάριο, σαν «Αρ» τον απρίλιο , «Jl» τον Ιουλιο,και «Οc» τον Οκτώβριο. Σαν «WD» δηλώνει τις καθημερινές ενώ σαν «WE» το Σαββατοκύριακο. Τέλος το «PD» δηλώνει το μέγιστο φορτίο ημέρας.....	60
Σχήμα 2.20.: Το προφίλ της κατανάλωσης κλεκτρισμού για ένα τυπικό σπίτι Οσάκα της Ιαπωνίας.	61
Σχήμα 3.1: Απεικόνιση των 4 κλιματικών Ζωνών της Ελλάδας.....	81
Σχήμα 3.2: Συνολικό διάγραμμα ροής.	89
Σχήμα 3.3: Η χαρακτηριστική V-I κυψέλης καυσίμου.....	91
Σχήμα 3.4: Καμπύλη ισχύος κυψέλης.....	93

1. Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε παγκόσμια κλίμακα έχει αυξηθεί ραγδαία, είτε αυτό μεταφράζεται άμεσα σε κόστος χρήματος, είτε αυτό μεταφράζεται σε περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Γι' αυτό είναι πλέον επιτακτική η ανάγκη ανάπτυξης των τεχνολογιών και των συστημάτων εκείνων που θα μας επιτρέψουν να παράγουμε όσο γίνεται πιο φθηνά την ενέργεια που καταναλώνουμε και να καταφέρουμε σαν χώρα, αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο να ξεφύγουμε από τον ενεργειακό κορεσμό – αδιέξοδο στο οποίο έχουμε φτάσει. Έχει αποδειχθεί ότι η παραγωγή αποκλειστικά ηλεκτρικής ή θερμικής ενέργειας έχει φτάσει στους μέγιστους βαθμούς απόδοσης της οι οποίοι ωστόσο οδηγούν σε πολύ μεγάλες εγκαταστάσεις. Άρα για να υπάρξει μια συνολική αύξηση του βαθμού απόδοσης, κρίνεται επιβεβλημένη η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Αυτό ακριβώς είναι και το θέμα της παρούσας εργασίας, να εξετάσει ένα σύστημα Σ.Η.Θ. (Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού Θερμότητας) το οποίο θα τροφοδοτείται με φυσικό αέριο, την πλέον κατάλληλη πρώτη ύλη, δεδομένης της θερμογόνου δύναμής του, της περιεκτικότητάς του σε υδρογόνου και της πολύ εύκολης διαθεσιμότητάς του μέσω κεντρικού δικτύου. Συγκεκριμένα ,στο παρόν κεφάλαιο θα περιγράψουμε τους συντελεστές που απαρτίζουν μια κυψέλη καυσίμου. Ξεκινώντας με μία εκτενή αναφορά στο φυσικό αέριο, το οποίο και αποτελεί το κύριο υποκατάστατο καύσιμο του πετρελαίου στις μεγάλες πόλεις της χώρας, συνεχίζοντας με το υδρογόνο που αποτελεί ουσιαστικά το καύσιμο για μια κυψέλη καυσίμου, και τους αναμορφωτές οι οποίοι παρέχουν , μέσα από θερμοχημικές επεξεργασίες, υλικό με καθαρότερο υδρογόνο. Τέλος θα αναφερθούμε στη μέση κατανάλωση ενέργειας από μία κατοικία για να έχουμε μία τάξη μεγέθους για τα ποσά ενέργειας που χρειάζεται να καλύψει η συγκεκριμένη εφαρμογή.

2. Θεωρητικό μέρος

2.1. Φυσικό Αέριο

2.1.1. Ορισμός

Το φυσικό αέριο είναι μίγμα υδρογονανθράκων σε αέρια κατάσταση, αποτελούμενο κυρίως από μεθάνιο (σε ποσοστό άνω του 85%). Είναι ο ελαφρύτερος υδρογονάνθρακας, πολύ καθαρό, χωρίς προσμίξεις και θειούχα συστατικά. Είναι ένα φυσικό προϊόν που βρίσκεται σε υπόγεια κοιτάσματα της γης και είτε συναντάται μόνο του είτε συνυπάρχει με κοιτάσματα πετρελαίου και αποτελεί το φιλικότερο συμβατικό καύσιμο στο περιβάλλον και στον άνθρωπο [1].

2.1.2. Ιδιότητες

2.1.2.1. Χημική σύσταση

Η σύσταση του φυσικού αερίου διαφέρει ανάλογα με την πηγή προέλευσής του. Οι προδιαγραφές του όμως παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 2.1.: Οι προδιαγραφές της χημικής σύστασης του Φυσικού Αερίου [1].

Μεθάνιο (CH ₄)	Min 85%
Αιθάνιο (C ₂ H ₆)	Max 8,6%
Προπάνιο (C ₃ H ₈)	Max 3%
Βουτάνια	Max 2%
Πεντάνια και άλλοι υδρογονάνθρακες	Max 1%
Άζωτο (N ₂)	Max 5%
Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	Max 3%

Το φυσικό αέριο είναι ελαφρύτερο από τον αέρα με σχετική πυκνότητα 0,55. Σε περίπτωση διαρροής, διαχέεται και διαφεύγει άμεσα προς την ατμόσφαιρα (σε αντίθεση με το υγραέριο που είναι βαρύτερο από τον αέρα και σε περίπτωση διαφυγής συγκεντρώνεται χαμηλά). Είναι άοσμο, αλλά κατά τη μεταφορά του προστίθεται μια ειδική ουσία με χαρακτηριστική οσμή ώστε να ανιχνεύεται σε περίπτωση διαφυγής.

Τα όρια ανάφλεξης του φυσικού αερίου είναι 4,5% - 15%. Δηλαδή, η καύση δεν μπορεί να συντηρηθεί εάν η περιεκτικότητα του αέρα σε φυσικό αέριο είναι εκτός αυτών των ορίων. Έχει τη χαμηλότερη εκπομπή ρύπων από όλα τα συμβατικά καύσιμα και δεν περιέχει μονοξείδιο του άνθρακα συνεπώς δεν είναι τοξικό [1].

2.1.2.2. Θερμογόνος Δύναμη

Ανώτερη Θερμογόνος Δύναμη (ΑΘΔ) ορίζεται η ενέργεια που εκλύεται κατά την καύση 1 Nm^3 φυσικού αερίου όταν στα προϊόντα καύσης το νερό βρίσκεται σε υγρή κατάσταση.

Η τιμή της ΑΘΔ δεν είναι σταθερή καθώς εξαρτάται από τη σύσταση του φυσικού αερίου και υπολογίζεται κάθε μήνα από τη ΔΕΠΑ σύμφωνα με μετρήσεις που γίνονται στους σταθμούς παραλαβής του φυσικού αερίου. Μια μέση τιμή ΑΘΔ είναι 11,5 kWh/ Nm^3 .

Αντίστοιχα ως Κατωτέρα Θερμογόνος Δύναμη (ΚΘΔ) ορίζεται η ενέργεια που εκλύεται κατά την καύση 1 Nm^3 φυσικού αερίου όταν στα προϊόντα καύσης το νερό βρίσκεται σε αέρια κατάσταση δηλαδή σε μορφή υδρατμών (οπότε έχει απορροφήσει ενέργεια) και είναι χαμηλότερη περίπου 10% από τη ΑΘΔ. Μια μέση τιμή ΚΘΔ είναι 10,4 kWh/ Nm^3 [1].

2.1.3. Σύντομη Ιστορική Αναδρομή.

Η ασφαλτος και τα βιτουμένια, τα πιο παλιά γνωστά προϊόντα του πετρελαίου, όπως και ενδείξεις για διαρροές φυσικού αερίου πρωτοεμφανίστηκαν μεταξύ 6000 και 2000 π.Χ. στην περιοχή που σήμερα βρίσκεται το Ιράν. Η χρήση του φυσικού αερίου αναφέρεται στην Κίνα το 900 π.Χ. περίπου, όπου ανοίχθηκαν γύρω στα 900-1100 φρέατα και το αέριο μεταφερόταν με αγωγούς από μπαμπού.

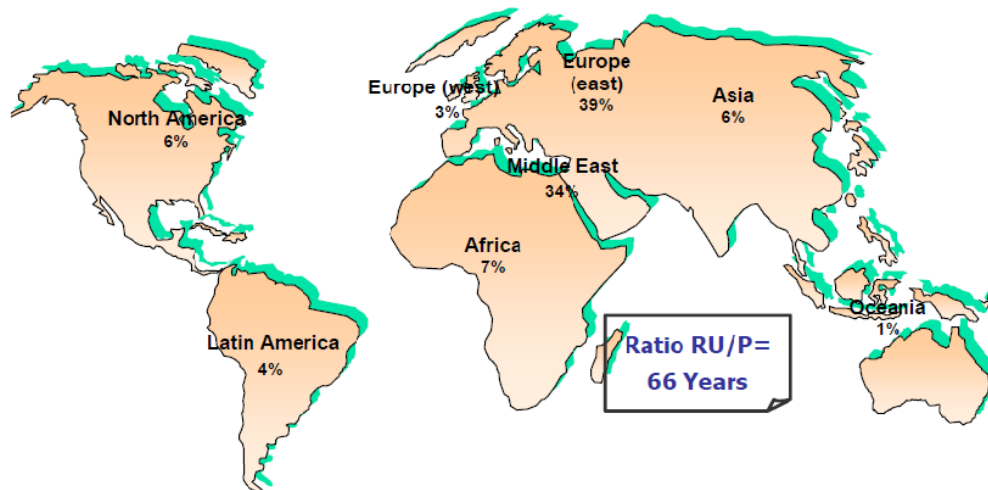
Στην Ευρώπη αυτές οι επιτεύξεις ήταν άγνωστες και το φυσικό αέριο δεν ανακαλύφθηκε παρά το 1659 στην Αγγλία. Το αέριο από απόσταξη ανθράκων ανακαλύφθηκε το 1670 και άρχισε να χρησιμοποιείται το 1790, γιατί ήταν πιο εύκολη η μεταφορά, η αποθήκευση και η χρησιμοποίησή του στις μηχανές εσωτερικής καύσεως και στον φωτισμό δρόμων και σπιτιών. Το 1821 η πόλη Fredonia στην περιφέρεια της Νέας Υόρκης φωτιζόταν με φυσικό αέριο. Αλλά η χρησιμοποίηση του φυσικού αερίου εξακολουθούσε να είναι περιορισμένη, γιατί δεν υπήρχε τρόπος μεταφοράς του σε μεγάλες αποστάσεις και επί έναν αιώνα το φυσικό αέριο παρέμεινε στο περιθώριο της βιομηχανικής εξέλιξης, που βασίστηκε στον άνθρακα, το πετρέλαιο και τον ηλεκτρισμό.

Η μέθοδος μεταφοράς φυσικού αερίου με αγωγούς αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 1920 και αποτέλεσε ένα σημαντικό στάδιο στη χρήση του αερίου. Μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο ακολούθησε μια περίοδος τεράστιας κατανάλωσης, που συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Το 1960 η παγκόσμια παραγωγή φυσικού αερίου ήταν 470 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα και το 1979 ήταν 1,459 τρισεκατομμύρια κυβικά μέτρα. Το 1950 το φυσικό αέριο αποτελούσε το 12% της καταναλισκόμενης παγκοσμίως ενέργειας, ένα ποσοστό που αυξήθηκε σε 14,6% το 1960 και σε 25% το 1980. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας (ΔΟΕ) η κατανάλωση φυσικού αερίου θα υπερβεί την κατανάλωση άνθρακα το 2010 και το φυσικό αέριο θα καλύπτει το 1/4 των παγκόσμιων ενεργειακών αναγκών το 2030 [2].

2.1.4. Εξαγωγή και Μεταφορά

Το φυσικό αέριο είναι καύσιμο και πρώτη ύλη της χημικής βιομηχανίας. Εξορύσσεται από υπόγειες κοιλότητες στις οποίες βρίσκεται υπό υψηλή πίεση. Σε αυτές τις κοιλότητες το φυσικό αέριο σχηματίστηκε με τρόπο παρόμοιο με τον τρόπο σχηματισμού του πετρελαίου. Μεταφέρεται προς τους τόπους όπου πρόκειται να χρησιμοποιηθεί όπως είναι, χωρίς την ανάγκη περαιτέρω επεξεργασίας.

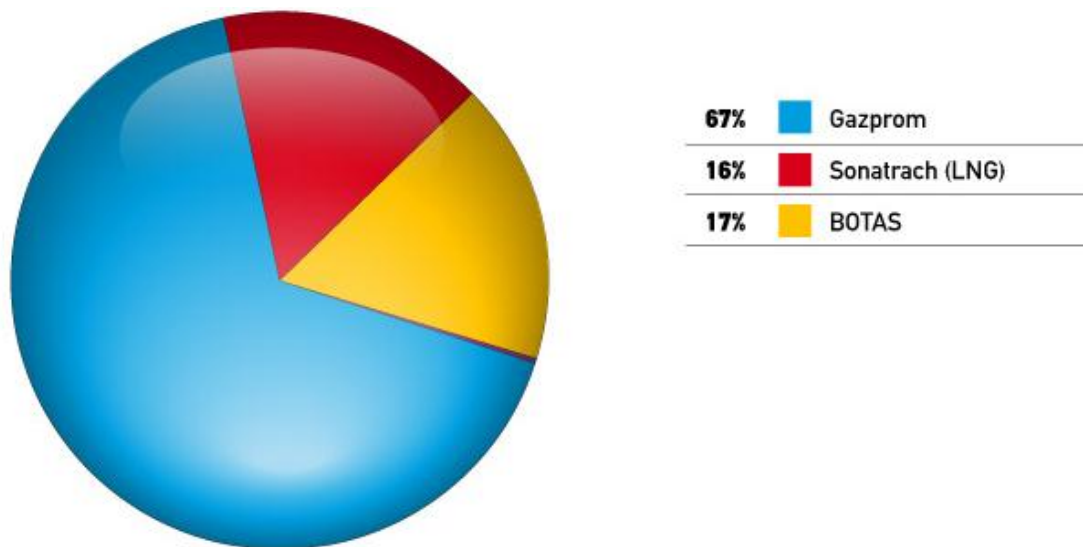
Τα κοιτάσματα φυσικού αερίου βρίσκονται συνήθως μακριά από τα κύρια κέντρα καταναλώσεως· συνεπώς πρέπει να μεταφερθεί, αν και οι βιομηχανίες χημικής επεξεργασίας είναι συχνά εγκατεστημένες στην περιοχή της παραγωγής. Η μεταφορά του φυσικού αερίου εξαρτάται από την κατάστασή του. Σε αέρια κατάσταση μεταφέρεται με αγωγούς υπό υψηλή πίεση, ενώ σε υγρή κατάσταση μεταφέρεται με πλοία.



Σχήμα 2.1.: Αποθέματα Φυσικού Αερίου [3].

Οι μεγάλοι αγωγοί υψηλής πίεσης καθιστούν δυνατή τη μεταφορά του αερίου σε απόσταση χιλιάδων χιλιομέτρων. Παραδείγματα τέτοιων αγωγών είναι οι αγωγοί της Βόρειας Αμερικής, που εκτείνονται από το Τέξας και τη Λουιζιάνα μέχρι τη βορειοανατολική ακτή και από την Αλμπέρτα ως τον Ατλαντικό. Αγωγοί επίσης εκτείνονται από τη Σιβηρία μέχρι την Κεντρική και Δυτική Ευρώπη. Οι έρευνες για πετρέλαιο έχουν αποκαλύψει την ύπαρξη μεγάλων κοιτασμάτων αερίου στην Αφρική, Μέση Ανατολή, Αλάσκα και αλλού. Η μεταφορά από τέτοιες περιοχές γίνεται με πλοία. Το αέριο υγροποιείται στους -160 βαθμούς Κελσίου και μεταφέρεται, όπως το πετρέλαιο, με δεξαμενόπλοια ειδικά κατασκευασμένα για τον σκοπό αυτό. Ένα κυβικό μέτρο υγρού φυσικού αερίου αντιστοιχεί σε 600 κυβικά μέτρα αερίου σε ατμοσφαιρική πίεση. Το ειδικό βάρος του υγρού αερίου είναι σχετικά χαμηλό (περίπου 0,55) [4].

Η ΔΕΠΑ είναι ο κύριος εισαγωγέας φυσικού αερίου αγωγών και υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG) στην Ελλάδα και είναι η μοναδική εταιρεία η οποία έχει υπογράψει μακροχρόνιες συμβάσεις προμήθειας αερίου με τη ρωσική Gazprom, την τουρκική BOTAS, και την αλγερινή Sonatrach [2].



Σχήμα 2.2.: Συμβολαιοποιημένες ποσότητες ΔΕΠΑ.[2].

Πίνακας 2.2.: Συμβολαιοποιημένες ποσότητες ΔΕΠΑ[2].

Παραγωγός Χώρα (αγωγός και ΥΦΑ)	Προμηθεύτρια Εταιρεία	Μέγιστη Ποσότητα (δισ Nm ³ ανά έτος)	Περίοδος Συμβολαίου (διάρκεια έως)
Ρωσία	Gazprom	2,80	2016
Αλγερία	Sonatrach (LNG)	0,68	2021
Τουρκία	BOTAS	0,71	2021
Σύνολο Συμβολαιοποιημένων Ποσοτήτων ΔΕΠΑ		4,2	

2.1.5. Χρήσεις

Το φυσικό αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πλήθος εφαρμογών και περιπτώσεων στο σπίτι, στις επιχειρήσεις και στη βιομηχανία.

Στον οικιακό τομέα για:

- κεντρική θέρμανση πολυκατοικίας
- αυτόνομη θέρμανση μονοκατοικίας ή διαμερίσματος
- παροχή ζεστού νερού
- μαγείρεμα
- κλιματισμό

Στον επαγγελματικό τομέα για:

- θέρμανση
- μαγείρεμα και ψήσιμο
- παραγωγή ζεστού νερού
- παραγωγή ατμού
- κλιματισμό
- συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας

Μια σειρά επαγγελματιών μπορεί να χρησιμοποιήσει το φυσικό αέριο καλύπτοντας τις καθημερινές ανάγκες των επιχειρήσεών τους, όπως αρτοποιεία, εστιατόρια, εργαστήρια ζαχαροπλαστικής, κομμωτήρια, εργαστήρια αργυροχρυσοχοΐας, στεγνοκαθαριστήρια, συνεργεία αυτοκινήτων με φούρνους βαφής κ.ά.

Επίσης, ξενοδοχεία, νοσοκομεία, εκπαιδευτικά ιδρύματα, μεγάλα κτίρια γραφείων, εμπορικά κέντρα και καταστήματα, κολυμβητήρια, αθλητικές εγκαταστάσεις μπορούν να χρησιμοποιήσουν το φυσικό αέριο καλύπτοντας τις ενεργειακές τους ανάγκες με οικονομία και ασφάλεια.

Στη βιομηχανία για:

- κάλυψη θερμικών αναγκών για όλες τις παραγωγικές διαδικασίες (παραγωγή ατμού, ξήρανση)
- κλιματισμό
- συμπαραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας [1].

Παράλληλα το φυσικό αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στον αγροτικό τομέα. Μια σημαντική εφαρμογή του στον αγροτικό τομέα είναι η χρήση του σε θερμοκήπια. Το φυσικό αέριο στα θερμοκήπια χρησιμοποιείται ως θερμαντικό και για τον εμπλουτισμό του χώρου με διοξείδιο του άνθρακα. Συνήθως, οι εφαρμοζόμενες τεχνολογίες είναι οι υδροπονικές καλλιέργειες, οι οποίες με τη χρήση του φυσικού αερίου επιτυγχάνουν υψηλότερη παραγωγή και καλύτερη ποιότητα προϊόντων, καθώς και επιμήκυνση της περιόδου καλλιέργειας τους χειμερινούς μήνες και σε μεγάλες εκτάσεις θερμοκηπίων.

Ήδη στη χώρα μας λειτουργούν με φυσικό αέριο δύο θερμοκηπιακές μονάδες εκατό στρεμμάτων έκαστη [2].

Το φυσικό αέριο μπορεί να υποκαταστήσει όλα τα γνωστά και ευρέως χρησιμοποιούμενα καύσιμα και μορφές ενέργειας.

Πίνακας 2.3.: Υποκαθιστάμενα καύσιμα [1].

ΧΡΗΣΗ	ΥΠΟΚΑΘΙΣΤΑΜΕΝΟ ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟ ΚΑΥΣΙΜΟ
Θέρμανση χώρων (κεντρική ή αυτόνομη)	Πετρέλαιο Θέρμανσης & Ηλεκτρισμός
Παραγωγή ζεστού νερού	Ηλεκτρισμός & Πετρέλαιο Κίνησης
Παραγωγή ατμού	Πετρέλαιο Κίνησης & Μαζούτ
Μαγείρεμα-Ψήσιμο	Ηλεκτρισμός, Υγραέριο & Πετρέλαιο Κίνησης
Κλιματισμός (ψύξη-θέρμανση)	Ηλεκτρισμός
Βιομηχανικές χρήσεις	Μαζούτ, Πετρέλαιο Κίνησης & Υγραέριο

2.1.6. Οφέλη

Η χρήση του φυσικού αερίου σε όλους τους τομείς της κατανάλωσης, σε οικιακή, επαγγελματική και βιομηχανική χρήση, προσφέρει αναρίθμητα οφέλη στο χρήστη, συμβάλλοντας παράλληλα σε ένα καθαρότερο περιβάλλον και αναβαθμίζοντας την ποιότητα ζωής των πολιτών.

1. Οικονομία: Αποτελεί διαχρονικά την πιο οικονομική επιλογή και τη καλύτερη ενεργειακή επένδυση σε βάθος χρόνου για οικιακή και επαγγελματική χρήση προσφέροντας ανταγωνιστικά τιμολόγια ως προς τις συμβατικές μορφές ενέργειας (πετρέλαιο, ηλεκτρικό ρεύμα, υγραέριο κλπ.).
2. Ευκολία στη χρήση: Είναι διαθέσιμο όποτε το χρειάζεστε κάθε στιγμή μέσα από το εγκαταστημένο δίκτυο. Δεν χρειάζεται να το παραγγείλετε ή να είστε σε ετοιμότητα για την παραλαβή του. Η λειτουργία των συσκευών φυσικού αερίου είναι απλή και προσφέρει ευκολίες και άνεση στην καθημερινή σας ζωή (πχ. παροχή ζεστού νερού στη στιγμή).
3. Καθαριότητα και εξοικονόμηση χώρου: Δεν απαιτείται εγκατάσταση δεξαμενής, αφού είναι διαθέσιμο μέσα από το δίκτυο διανομής, ενώ απαλλάσσετε από τις δυσάρεστες οσμές και τα υπολείμματα του πετρελαίου.
4. Ακρίβεια στη μέτρηση και χρέωση μετά την κατανάλωση: Η μέτρηση της κατανάλωσης γίνεται από τις ενδείξεις του μετρητή, όπως στις περιπτώσεις της ΔΕΗ και της εταιρείας Υδρευσης-Αποχέτευσης, ενώ πληρώνετε πάντα μόνο όσο έχετε καταναλώσει και μετά την κατανάλωσή του.

5. Μειωμένο κόστος συντήρησης συσκευών: Η καθαρή καύση του εξασφαλίζει μειωμένο κόστος συντήρησης συσκευών και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.
6. Φιλικότητα προς το περιβάλλον: Είναι το πιο καθαρό και λιγότερο ρυπογόνο συμβατικό καύσιμο. Η καύση του παράγει λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα, οπότε υποκαθιστώντας τα άλλα καύσιμα συμβάλλει στη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Δεν περιέχει ενώσεις θείου που ρυπαίνουν το περιβάλλον και προκαλούν το φαινόμενο της όξινης βροχής [1].

2.1.7. Περιβάλλον

Το φαινόμενο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, η αυξανόμενη σημασία του φαινομένου του θερμοκηπίου, η καταστροφή των δασών, έχουν καταστήσει την προστασία του περιβάλλοντος θέμα μείζονος σημασίας. Μια και βασική αιτία της ατμοσφαιρικής ρύπανσης αποτελεί η χρήση καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας, είναι αναγκαίο οι ενεργειακές επιλογές να συνδυάζουν την ανάπτυξη με την περιβαλλοντική προστασία.

Το φυσικό αέριο είναι το πιο καθαρό και με τους χαμηλότερους ρύπους σε σχέση με όλα τα υπόλοιπα συμβατικά καύσιμα. Η καύση του είναι καθαρή και παράγει λιγότερο οπότε υποκαθιστώντας τα άλλα καύσιμα συμβάλλει στη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου και δεν εκπέμπει αιθάλη και αιωρούμενα σωματίδια, περιορίζοντας την ατμοσφαιρική ρύπανση. Ενώ δεν περιέχει ενώσεις θείου που ρυπαίνουν το περιβάλλον και προκαλούν το φαινόμενο της όξινης βροχής.

Ενδεικτικά στο κάτωθι πίνακα δίνονται οι εκπνεύσιμοι ρύποι κατά την καύση του φυσικού αερίου σε σχέση με άλλα καύσιμα (σε g ρύπου ανά kWh εισαγόμενης θερμότητας καυσίμου) [1].

Πίνακας 2.4.: εκπεμπόμενοι ρύποι κατά την καύση του φυσικού αερίου σε σχέση με άλλα καύσιμα σε $\frac{g}{KWh}$ [1].

Τύπος καυσίμου	Διοξείδιο του Άνθρακα	Διοξείδιο του Θείου	Μονοξείδιο του Άνθρακα	Μονοξείδιο του Αζώτου	Υδρογονάνθρακες	Σωματίδια
Μαζούτ χαμηλού θείου	260	1,147	0,046	0,0439	0,015	0,150
Πετρέλαιο θέρμανσης	249	0,056	0,045	0,189	0,015	0,023
Πετρέλαιο κίνησης	244	0,054	0,044	0,185	0,015	0,022
Υγραέριο	227	0,000	0,025	0,157	0,006	0,007
Φυσικό Αέριο	177	0,000	0,022	0,137	0,005	0,007

2.2.Υδρογόνο

2.2.1.Γενικά στοιχεία

Το υδρογόνο αποτελεί το 90% της συνολικής μάζας του σύμπαντος και είναι το ελαφρύτερο στοιχείο που υπάρχει στη φύση. Σε καθαρή μορφή (αέρια) στο περιβάλλον της γης σπάνια συναντάται, αλλά δεσμευμένο, υπάρχει σχεδόν σε όλα τα ορυκτά της. Το υδρογόνο απαντιέται και σε πολλές σημαντικές δομικές οργανικές ενώσεις των έμβιων όντων της γης, μεταξύ αυτών των οργανικών ενώσεων στην κερατίνη, στα ένζυμα που συντελούν στη πέψη και στα μόρια του DNA. Επίσης, υπάρχει άφθονο και στις διάφορες τροφές που καταναλώνει ο άνθρωπος, υπό τη μορφή των λιπών, των πρωτεϊνών και των υδρογονανθράκων. Λόγω του μικρού του βάρους, δεν αποτελεί περισσότερο από το 1% της συνολικής μάζας της γης. Καθώς το υδρογόνο συντήκεται, παράγονται διάφορα βαρύτερα στοιχεία από αυτό, με σημαντικότερο μεταξύ αυτών το Ήλιο (He). Η συγκεκριμένη διαδικασία της σύντηξης του υδρογόνου παράγει την ενέργεια που εκλύουν τα άστρα μέσα στο σύμπαν, ενώ βάσει αυτής πιστεύεται ότι δημιουργήθηκε αρχικά και το ίδιο το σύμπαν.

Σε συνήθη θερμοκρασία περιβάλλοντος, το υδρογόνο βρίσκεται πάντα σε αέρια φάση, στην οποία σαν υλικό είναι άχρωμο, άοσμο, και εύφλεκτο. Όταν καίγεται με το οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα (ή και με το «καθαρό» οξυγόνο), το υδρογόνο σχηματίζει νερό και παράγει θερμότητα σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση:



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

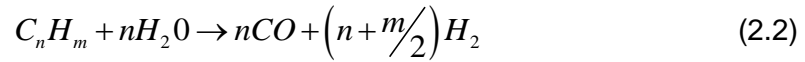
Το υδρογόνο κατέχει την πρώτη θέση στον περιοδικό πίνακα των χημικών στοιχείων και το άτομό του συμβολίζεται με το λατινικό γράμμα H. Κάθε άτομό του αποτελείται από ένα πρωτόνιο και από ένα ηλεκτρόνιο, ενώ κατά την ένωση δύο διαφορετικών ατόμων του παράγεται ένα μόριο υδρογόνου με μοριακό τύπο: H₂ (H – H). Το υδρογόνο μπορεί να συνδυαστεί χημικά με σχεδόν οποιοδήποτε άλλο χημικό στοιχείο και έτσι δίνει τις περισσότερες χημικές ενώσεις από οποιοδήποτε άλλο του περιοδικού πίνακα. Στις σημαντικότερες από τις ενώσεις του συγκαταλέγονται το νερό, οι ενώσεις του με τον άνθρακα (οργανικές ενώσεις) και οι διάφοροι φυσικοί υδρογονάνθρακες όπως το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο [5].

2.2.2. Το Υδρογόνο ως ενεργειακό καύσιμο

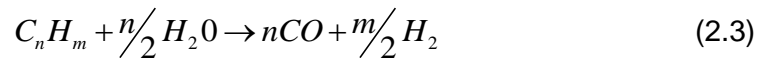
Το υδρογόνο χρησιμοποιείται σαν βιομηχανικό καύσιμο εδώ και αρκετές δεκαετίες. Τεράστιες ποσότητες υδρογόνου καταναλώνονται κάθε χρόνο παγκοσμίως γι' αυτόν τον σκοπό και μάλιστα με τάση που αυξάνει από χρονιά σε χρονιά (ενδεικτικά, το 2003 καταναλώθηκαν παγκοσμίως περίπου 41,09 εκατομμύρια τόνοι υδρογόνου, ενώ το 2004 η ποσότητα αυτή ανήλθε στα 50 εκατομμύρια τόνους. Από την άλλη μεριά, η χρήση του υδρογόνου σαν ενεργειακό καύσιμο είναι προς το παρόν περιορισμένη [6].

Από την συνολική ποσότητα του υδρογόνου που παράγεται κάθε χρονιά σε παγκόσμια κλίμακα, η βιομηχανία της αμμωνίας καταναλώνει περίπου ο 50% αυτής, ενώ τα διυλιστήρια του πετρελαίου το 37%. Το υπόλοιπο 13%, καταναλώνεται σε διάφορους άλλους βιομηχανικούς τομείς, μεταξύ των οποίων το μεγαλύτερο ποσοστό σε κατανάλωση κατέχει η βιομηχανία των τροφίμων (π.χ. χρησιμοποίηση υδρογόνου για υδρογόνωση των ελαίων). Σήμερα, υπάρχουν αρκετές μέθοδοι με τις οποίες μπορεί να παραχθεί οικονομικά και σε μαζικές ποσότητες (εμπορικές μέθοδοι παραγωγής του υδρογόνου). Οι κυριότερες από αυτές είναι οι εξής [7]:

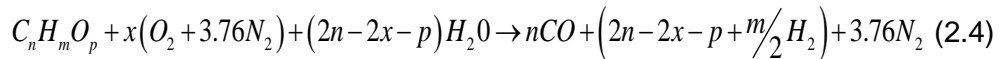
- Η αναμόρφωση των υδρογονανθράκων με υδρατμό, μεταξύ αυτών κυρίως του φυσικού αερίου (SR –steam reforming).



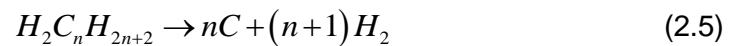
- Η καταλυτική μερική οξειδωση (ή αεριοποίηση) των βαρέων υδρογονανθράκων ή του γαιάνθρακα (CPO-Catalytic partial oxidation).



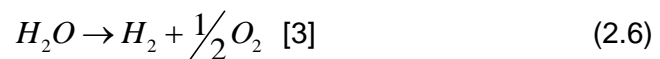
- Η αυτόθερμη αναμόρφωση του υδρογονάνθρακα παρουσία υδρατμού και αέρα (ATR-Autothermalreforming).

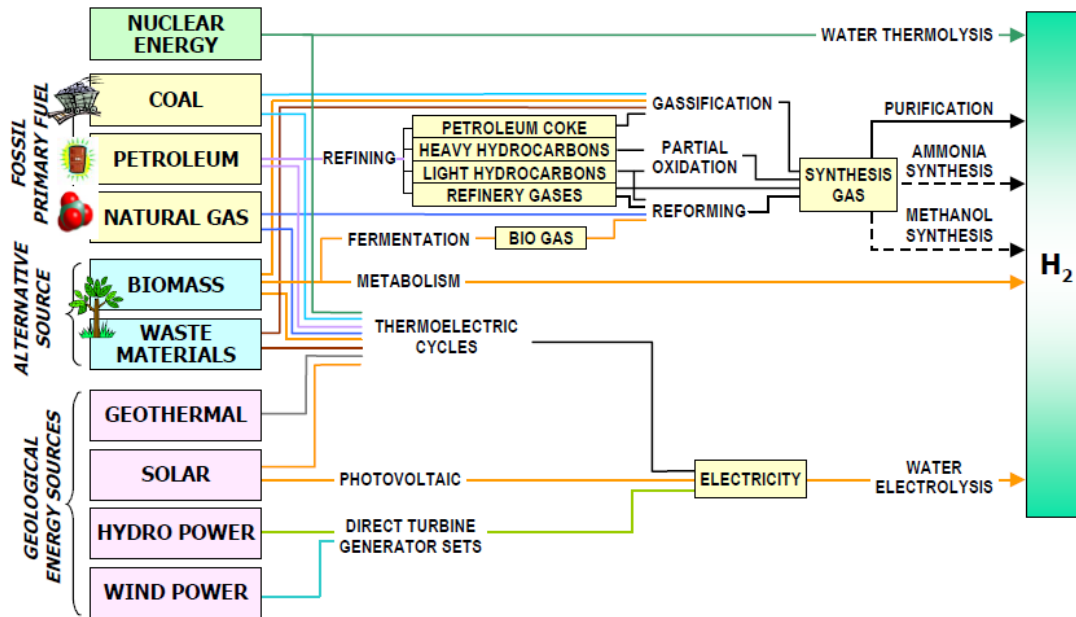


- Η θερμική διάσπαση των μορίων λόγω θερμοκρασίας (TC-Thermal cracking).



- Η ηλεκτρόλυση του νερού με ηλεκτρισμό





Σχήμα 2.3: Οι οδοί για το υδρογόνο [3].

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

Το υδρογόνο που παράγεται μέσω της χρησιμοποίησης της τεχνολογίας των διαφόρων ΑΠΕ (ιδιαίτερα της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας) θεωρείται ως ιδανικό, γιατί προκαλεί πολύ λιγότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους παραγωγής του. Η μόνη έκλυση ρύπων που εμφανίζεται στην περίπτωση αυτή, προκύπτει κατά τις διαδικασίες κατασκευής, μεταφοράς και εγκατάστασης των διαφόρων ΑΠΕ που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του και δευτερευόντως κατά τη διαδικασία μεταφοράς του προς την κατανάλωση.

Γενικά, το υδρογόνο σαν καύσιμο δεν συμβάλλει σχεδόν καθόλου στην επιβάρυνση του παγκόσμιου κλίματος και οι ρύποι που παράγονται κατά την ενεργειακή του εκμετάλλευση είναι μηδαμικοί σε σχέση με αυτούς που παράγονται κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων.

Εικάζεται, ότι στις επόμενες δεκαετίες θα αρχίσει να καταλαμβάνει ολοένα και σημαντικότερο μερίδιο στην παγκόσμια ενεργειακή αγορά και ότι στο απώτερο μέλλον θα αντικαταστήσει ένα μεγάλο μέρος της υπάρχουσας υποδομής σε παραγωγή, διανομή και κατανάλωση ενέργειας που βασίζεται σήμερα κατά πλείστον στα ορυκτά καύσιμα. Βραχυπρόθεσμα, η ενεργειακή χρήση του υδρογόνου προβλέπεται ότι θα αυξηθεί στη βιομηχανία και στον οικιακό τομέα, προκειμένου να διευκολυνθεί εκεί η παραγωγή και η αποθήκευση της ενέργειας, ενώ στη συνέχεια οι εφαρμογές του προβλέπεται ότι θα επεκταθούν και στον τομέα των μεταφορών (αυτοκίνητα, λεωφορεία κ.τ.λ.). Η μετάβαση όμως, από το υπάρχον σύστημα παραγωγής και διανομής της ενέργειας που επί σειράς δεκαετιών βασίζεται κατά κύριο λόγο στα ορυκτά καύσιμα, σε ένα νέο το οποίο θα έχει σαν κύριο μέσο του το υδρογόνο, απαιτεί χρόνο και γενναία και δαπανηρά βήματα από κυβερνήσεις και παραγωγούς της ενέργειας σε όλη την υφήλιο [7].

2.2.3. Πλεονεκτήματα του υδρογόνου έναντι των συμβατικών πηγών ενέργειας

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

- Σε σχέση με οποιοδήποτε συμβατικό καύσιμο, το υδρογόνο παρουσιάζει όπως έχουμε πει την μεγαλύτερη ικανότητα παραγωγής ενέργειας ανά μονάδα βάρους του, η οποία ισούται περίπου με 120.7 kJ/kg. Η ενέργεια αυτή, είναι τρεις φορές μεγαλύτερη περίπου από την ενέργεια 1 kg συμβατικής βενζίνης.
- Κατά την καύση του (ή κατά την ηλεκτρόλυσή του μέσα σε κυψέλες καυσίμου), το υδρογόνο παράγει ελάχιστους ρύπους, οι οποίοι είναι πολύ λιγότεροι από αυτούς που παράγονται κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων. Όσο περισσότερο «καθαρή» είναι η ποσότητα του υδρογόνου που καίγεται με το οξυγόνο, τόσο λιγότεροι ρύποι εκλύονται κατά την καύση αυτή. Παρουσία «καθαρού» οξυγόνου, η καύση του «καθαρού» υδρογόνου παράγει μόνο νερό και θερμότητα, ενώ όταν το συμμετέχον οξυγόνο αντιδρά σαν «ατμοσφαιρικό» παράγονται και ορισμένα οξείδια του αζώτου (λόγω της παρουσίας του αζώτου στον ατμοσφαιρικό αέρα). Οι ποσότητες όμως αυτές είναι πολύ μικρές για να επηρεάσουν σημαντικά την ατμόσφαιρα της γης, ακόμα και για μαζικής κλίμακας κατανάλωση του υδρογόνου.

- Όπως αναφέραμε πριν, η καύση (ή η ηλεκτρόλυση) του υδρογόνου με τον ατμοσφαιρικό αέρα παράγει σαν κύριο προϊόν της το νερό. Οι ποσότητες όμως αυτού, όπως και οι αντίστοιχες ποσότητες των οξειδίων του αζώτου, είναι πολύ μικρές, ακόμα και για μαζική κατανάλωση του υδρογόνου, ώστε να επηρεάσουν σημαντικά το γήινο περιβάλλον. Εξάλλου, η πλεονάζουσα ποσότητα του νερού που παράγεται κατά την ένωση του υδρογόνου με το οξυγόνο μέσα σε ενεργειακές διατάξεις, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για περαιτέρω σκοπούς (π.χ. άρδευση γης, υδροδότηση πόλεων από σταθερές διατάξεις παραγωγής ενέργειας υδρογόνου). Εκτός από αυτό, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, μια δυνατή μέθοδος παραγωγής του υδρογόνου είναι και η παραγωγή του μέσω της ηλεκτρόλυσης του νερού, οπότε οι παραπάνω ποσότητες νερού που παράγονται από τη χρήση του μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν για την εκ νέου παραγωγή του, βάζοντας έτσι το παραγόμενο από αυτό νερό σε έναν ημιανεώσιμο κύκλο ζωής. Η διαδικασία αυτή αναμένεται να εφαρμοστεί στη πράξη στα επόμενα χρόνια, με την αντίστοιχη ανάπτυξη των εναλλακτικών τεχνολογιών παραγωγής του μέσω ηλεκτρόλυσης (π.χ. χρήση ηλιακής ή αιολικής ενέργειας).
- Το υδρογόνο είναι το ίδιο ακίνδυνο, από πλευράς αυθόρμητης ανάφλεξης, σε σχέση με τα υπόλοιπα συμβατικά ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται σήμερα (π.χ. βενζίνη, πετρέλαιο, φυσικό αέριο κ.τ.λ.). Μάλιστα, κατά την απουσία ατμοσφαιρικού αέρα και υπό συνθήκες συνθήκες περιβάλλοντος ($T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ και $P = 1\text{ atm}$), το υδρογόνο είναι λιγότερο εύφλεκτο από αυτά τα καύσιμα, έχοντας για θερμοκρασία αυθόρμητης ανάφλεξης του τους 585°C (αντίστοιχη θερμοκρασία αυθόρμητης ανάφλεξης της βενζίνης, απουσία ατμοσφαιρικού αέρα: $230\text{ }^{\circ}\text{C} \div 480\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- Μπορεί να συμβάλει σταδιακά στη μείωση του ρυθμού κατανάλωσης των ορυκτών καυσίμων, επιφέροντας έτσι σημαντικές ωφέλειες στον περιβαλλοντικό, ενεργειακό αλλά και οικονομικό τομέα, μέσω της δημιουργίας νέων θέσεων εργασίας για τον τελευταίο. Αν και σε πολλές περιπτώσεις τα διάφορα ορυκτά καύσιμα χρησιμοποιούνται και τα ίδια σαν πρώτες ύλες για την παρασκευή του υδρογόνου, το ενεργειακό και περιβαλλοντικό όφελος που προκύπτει από τη χρησιμοποίηση του υδρογόνου ως φορέα ενέργειας είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο των ορυκτών καυσίμων. Όπως έχουμε αναφέρει, η πιο αποδοτική και συμφέρουσα οικονομικά μέθοδος παρασκευής του υδρογόνου αυτή τη στιγμή, βασίζεται στην αναμόρφωση του φυσικού αερίου. Το φυσικό αέριο είναι ένα ορυκτό, το οποίο είναι αρκετά φθηνό, πολύ

αποδοτικό και υπάρχει ακόμα σε μεγάλες διαθέσιμες ποσότητες στη φύση. Βεβαίως η χρησιμοποίησή του δεν σημαίνει ότι δεν θα πρέπει να γίνει αξιοποίηση των διαφόρων ΑΠΕ για την παραγωγή του υδρογόνου, οι οποίες μάλιστα μελλοντικά θα πρέπει και να το αντικαταστήσουν σ' αυτήν τη λειτουργία. Η χρησιμοποίησή του πάντως, αποτελεί ένα καλό προσωρινό μέτρο για την παραγωγή υδρογόνου με περιβαλλοντικά φιλικούς τρόπους, μέχρις ότου η μαζική χρησιμοποίηση των διαφόρων ΑΠΕ γι' αυτόν τον σκοπό γίνει πραγματικότητα.

- Τέλος, το υδρογόνο μπορεί να παρασκευαστεί με πολυάριθμες μεθόδους και σε οποιοδήποτε μέρος της γης και επομένως μπορεί να βοηθήσει πολλά κράτη που είναι «φτωχά» σε διαθέσιμα κοιτάσματα ορυκτών καυσίμων να αναπτύξουν τα δικά τους αυτόνομα και ολοκληρωμένα ενεργειακά συστήματα. Μέσου αυτού τα συγκεκριμένα κράτη, που ως γνωστόν είναι τα πολυπληθέστερα πάνω στον πλανήτη, θα μπορέσουν να αναπτύξουν τις δικές τους αυτόνομες ενεργειακές οικονομίες, ξεφεύγοντας από τον φαύλο κύκλο της ενεργειακής τους εξάρτησης από άλλα κράτη – προμηθευτές τους σε ορυκτά καύσιμα. Να αναφερθεί επίσης, ότι στα πλαίσια της ενεργειακής ανεξαρτησίας που προσφέρει το υδρογόνο ως καύσιμο ανήκει και η υψηλή αυτονομία και αυτοδιαχείριση που προσφέρει όταν καταναλώνεται στα πλαίσια ενός ενεργειακού συστήματος, η οποία συντελεί στο να προφυλάσσεται ικανοποιητικά το σύστημα αυτό όταν στο δίκτυό του συμβούν διάφορες καταστροφές λόγω δυσμενών γεγονότων (π.χ. πυρκαγιές, πλημμύρες, σεισμοί κ.τ.λ.), αφού η διακοπή της λειτουργίας μερικών τμημάτων του δεν έχει οπωσδήποτε σαν αποτέλεσμα την καθολική του κατάρρευση, μιας και τα διάφορα τμήματα που το αποτελούν είναι, λίγο ή περισσότερο ανεξάρτητα το ένα με το άλλο [8].

2.2.4. Μειονεκτήματα του υδρογόνου έναντι των συμβατικών πηγών Ενέργειας.

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

- Το μεγαλύτερο πρόβλημα που αντιμετωπίζει σήμερα το υδρογόνο σαν καύσιμο, αλλά και γενικότερα σαν βιομηχανικό προϊόν, είναι αυτό της αποτελεσματικής και ασφαλούς αποθήκευσής του. Δεδομένου ότι το υδρογόνο είναι ένα στοιχείο που σε αέρια κατάσταση είναι πολύ ελαφρύ, η συμπίεση μεγάλης ποσότητάς του σε πολύ μικρού μεγέθους δεξαμενές είναι ακόμα αρκετά δύσκολη, εξαιτίας των υψηλών πιέσεων που χρειάζονται γι' αυτό (ή αντίστοιχα εξαιτίας των πολύ χαμηλών θερμοκρασιών που χρειάζονται για την αποθήκευσή του σαν υγρό). Εκτός από αυτό, οι ακραίες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που απαιτούνται για την αέρια ή την υγρή του αποθήκευση, συνεπάγονται και την κατανάλωση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας για την επίτευξή τους, με αποτέλεσμα η αέρια ή η υγρή αποθήκευση του υδρογόνου να είναι αρκετά δαπανηρή σαν μέθοδος αποθήκευσής του. Για τον λόγο αυτό και η έρευνα που γίνεται σήμερα πάνω στην αποθήκευση του υδρογόνου έχει στραφεί προς νέες τεχνικές μεθόδους, οι οποίες αφενός έχουν σαν πεδίο αναφοράς τους την αποθήκευσή του σε νανοδομημένα υλικά (αύξηση της ποσότητας αποθήκευσής του) και στην δέσμευσή του από στερεά υλικά τα οποία το αποθηκεύουν στη μάζα τους με τη μορφή «στερεού» (προσροφημένο ή απορροφημένο μεταξύ των στερεών τους μορίων). Η «στερεή» αποθήκευση του υδρογόνου στα συγκεκριμένα υλικά, έχει σαν αποτέλεσμα να μειώνονται δραματικά οι ακραίες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που απαιτούνται κατά την αποθήκευσή του σαν υγρό ή σαν αέριο.
- Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει το υδρογόνο σαν καύσιμο παραγωγής ενέργειας είναι και το γεγονός, ότι το παγκόσμιο δίκτυο διανομής του προς το παρόν δεν υφίσταται, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μαζική κλίμακα και από όλες τις χώρες του κόσμου. Επιπλέον, λόγω της ανυπαρξίας του δικτύου διανομής του, το κόστος ανεφοδιασμού του υδρογόνου σε παγκόσμια κλίμακα παραμένει ακόμα υψηλό, μιας και οι διάφορες τεχνολογίες παραγωγής του μέσω ΑΠΕ δεν έχουν εξελιχθεί ακόμα σε ικανοποιητικό βαθμό. Το γεγονός όμως αυτό αναμένεται να αλλάξει στο μέλλον, όσο η κατανάλωσή του σαν καύσιμο θα αρχίσει να αυξάνεται και όσο η παραγωγή του από ΑΠΕ θα γίνεται όλο και περισσότερο φθηνότερη.
- Ένα τελευταίο πρόβλημα που αντιμετωπίζει σήμερα το υδρογόνο σαν καύσιμο μαζικής παραγωγής ενέργειας, είναι και το αυξημένο κόστος των διαφόρων ενεργειακών διατάξεων που χρησιμοποιούνται για την αξιοποίησή

του σαν καύσιμο (των κυψελών καυσίμου και των MEK υδρογόνου). Η τεχνολογία των διατάξεων αυτών, προς το παρόν, δε μπορεί ακόμα να θεωρηθεί ολοκληρωτικά αξιόπιστη, μιας και κατά την εφαρμογή τους παρουσιάζονται ορισμένα τεχνικά και οικονομικής φύσης προβλήματα που δεν καθιστούν ικανή τη μαζική χρησιμοποίησή τους. Για παράδειγμα, διάφορες κυψέλες καυσίμου υδρογόνου (π.χ. κυψέλες καυσίμου για οικιακή ή μεταφορική χρήση), εμφανίζουν ακόμα αρκετά προβλήματα μη ανοχής σε «μη καθαρά» υδρογονούχα καύσιμα, δηλαδή σε υδρογονούχα καύσιμα που δεν περιέχουν το υδρογόνο σε μεγάλες περιεκτικότητες (ως γνωστόν οι κυψέλες αυτές μπορούν να λειτουργήσουν και με «μη καθαρό» υδρογόνο π.χ. μεθανόλη, αιθανόλη κ.τ.λ.). Αυτό με τη σειρά του αυξάνει το κόστος χρήσης τους, λόγω της ανάγκης παραγωγής «καθαρού» υδρογόνου για μέγιστη αποδοτική λειτουργία τους, με αποτέλεσμα οι συγκεκριμένες κυψέλες καυσίμου να μην είναι ακόμα αρκετά ανταγωνιστικές σε σχέση με τις αντίστοιχες συμβατικές διατάξεις ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται σήμερα για την παραγωγή ενέργειας και να μην χρησιμοποιούνται ακόμα ευρέως. Επιπλέον, ένα ακόμα «αδύνατο» σημείο των κυψελών αυτών είναι, ότι τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή διαφόρων μηχανικών μερών είναι σχετικά ακριβά με αποτέλεσμα το κόστος χρήσης τους να αυξάνει ακόμα περισσότερο. Από την άλλη μεριά, τόσο στον τομέα της «καθαρότητας» των καυσίμων τους, όσο και στον τομέα των υλικών κατασκευής, οι ολοένα και περισσότερες ανακαλύψεις που γίνονται σήμερα από τους επιστήμονες που ασχολούνται με το συγκεκριμένο πεδίο δείχνουν, ότι στο μέλλον οι «απόγονες» ενεργειακές διατάξεις τους θα έχουν αντιμετωπίσει τα περισσότερα από τα προβλήματα αντιμετωπίζουν σήμερα [9].

2.3. Κυψέλες Καυσίμου Υδρογόνου.

2.3.1 Εισαγωγή στις κυψέλες καυσίμου υδρογόνου.

Οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου (ή απλά κυψέλες καυσίμου – fuel cells) αποτελούν σήμερα τις σημαντικότερες διατάξεις παραγωγής ενέργειας μέσω υδρογόνου. Με τη χρήση αυτών, η αποθηκευμένη χημική ενέργεια του υδρογόνου μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρισμό και σε θερμότητα, μέσω της ηλεκτρόλυσης του υδρογόνου από το ατμοσφαιρικό οξυγόνο. Από τον ηλεκτρισμό και την θερμότητα που παράγεται

από αυτές, μπορεί στη συνέχεια να προκύψει οποιαδήποτε άλλη μορφή ενέργειας που χρησιμοποιεί ο άνθρωπος στις καθημερινές ενεργειακές του ανάγκες.

Κατά την παραγωγή ενέργειας (ηλεκτρισμού ή θερμότητας) από μία κυψέλη καυσίμου υδρογόνου, σημαντικότερο ρόλο στην απόδοσή της διαδραματίζει η διαδικασία της κατάλυσης. Η κατάλυση αυτή, όπως θα δούμε και στη συνέχεια, αποτελεί μια διεργασία η οποία λαμβάνει χώρα κατεξοχήν στη διάσταση του νανομέτρου. Για τον λόγο αυτό σήμερα, η έρευνα πάνω στους διάφορους τύπους κυψελών καυσίμου επικεντρώνεται κυρίως σ' αυτόν τον τομέα. Όπως προείπαμε, οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου παράγουν ηλεκτρισμό και θερμότητα από την ηλεκτρόλυση του υδρογόνου με το ατμοσφαιρικό οξυγόνο. Η βασική αυτή ηλεκτροχημική διαδικασία, λαμβάνει χώρα μέσα σε μία διάταξη ηλεκτρόλυσης του υδρογόνου που περιέχουν και η οποία καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος του όγκου τους. Το κυριότερο προϊόν αυτής της διαδικασίας είναι προφανώς το νερό, ενώ παράγονται επίσης και ορισμένα οξείδια του αζώτου, αλλά σε πολύ μικρότερες ποσότητες σε σχέση μ' αυτό. Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή μόνο ηλεκτρισμού, με τη μορφή συνεχούς ρεύματος, ή για τη συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας.

Παρόλο που οι κυψέλες καυσίμου αποτελούν μια σχετικά νέα τεχνολογία, η πρώτη υποτυπώδης διάταξη παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας μέσω της ηλεκτρόλυσης του υδρογόνου τοποθετείται χρονικά αρκετά πιο παλιά. Συγκεκριμένα, το 1839 ο Άγγλος μηχανικός Sir William Grove κατάφερε να κατασκευάσει μια τέτοια διάταξη, η οποία χρησιμοποιούσε το υδρογόνο ως καύσιμο. Εξαιτίας όμως της έντονης τάσης που υπήρχε τότε να αξιοποιηθούν τα διάφορα ορυκτά καύσιμα για την παραγωγή ενέργειας, το επίτευγμά του δεν μπόρεσε ποτέ να ορθοποδήσει.

Έτσι, για έναν και πλέον αιώνα μετά, η δημιουργία διατάξεων παραγωγής ενέργειας μέσω της ηλεκτρόλυσης του νερού εγκαταλείφθηκε, μέχρι που την δεκαετία του 1950 το ενδιαφέρον γι' αυτές αναζωπυρώθηκε και πάλι. Αιτία γι' αυτό αποτέλεσαν τα διαστημικά προγράμματα Gemini και Apollo της NASA, με τα οποία μελετήθηκε η εφαρμογή των κυψελών καυσίμου για την κάλυψη των αυξημένων ενεργειακών αναγκών που παρουσίαζαν τα διαστημικά της σκάφη. Έτσι επιτεύχθηκε η κατασκευή της πρώτης πρακτικά αξιοποιήσιμης κυψέλης καυσίμου (η οποία ήταν τύπου AFC, όπως θα δούμε και στη συνέχεια) με τη βοήθεια της οποίας το διαστημικό όχημα Apollo 11 προσεδάφιστηκε το 1969 στη Σελήνη .

Έκτοτε, οι κυψέλες καυσίμου έχουν εξελιχθεί αρκετά και γίνονται όλο και περισσότερο χρήσιμες στις καθημερινές ενεργειακές ανάγκες του ανθρώπου. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν σήμερα οι διάφοροι τύποι κυψελών καυσίμου, που έχουν κατασκευαστεί, αποτελεί το γεγονός, ότι σαν διατάξεις παραγωγής ενέργειας χαρακτηρίζονται από μια ιδιαίτερη πολυμορφία ως προς το είδος των καυσίμων που μπορούν να χρησιμοποιήσουν. Εκτός δηλαδή από το «καθαρό» υδρογόνο, οι περισσότεροι τύποι των κυψελών καυσίμου μπορούν να χρησιμοποιήσουν πολυάριθμα άλλα υδρογονούχα καύσιμα, χωρίς να μειώνουν σημαντικά την απόδοσή τους σε ισχύ. Παραδείγματα άλλων υδρογονούχων καυσίμων, πλην του «καθαρού» υδρογόνου, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις κυψέλες καυσίμου είναι η μεθανόλη (CH_3OH), η αιθανόλη (C_2H_6OH), το φυσικό αέριο, ακόμη και τα διάφορα υγρά ορυκτά καύσιμα που περιέχουν υδρογόνο, όπως το πετρέλαιο και η βενζίνη. Απαραίτητη πάντως προϋπόθεση για την χρησιμοποίηση των συγκεκριμένων καυσίμων σ' αυτές, είναι να υπάρχει μια διάταξη μετατροπής τους σε υδρογόνο, έτσι ώστε να μπορούν να διοχετευτούν στο εσωτερικό της κάθε κυψέλης καυσίμου. Η διάταξη αυτή, είναι γνωστής ως αναμορφωτής των υδρογονούχων καυσίμων .

Θα πρέπει επίσης να τονίσουμε, ότι οι κυψέλες καυσίμου υδρογόνου αποτελούν πολύ πλεονεκτικές διατάξεις παραγωγής ενέργειας όχι μόνο γι' αυτή την πολυπλοκότητα των διαφορετικών καυσίμων που μπορούν να χρησιμοποιήσουν, αλλά και για δύο άλλα σημαντικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν την λειτουργία τους: το πρώτο είναι η δυνατότητά τους να παράγουν μεγάλα ποσά ενέργειας από το καύσιμο που χρησιμοποιούν (το υδρογόνο) και το άλλο, ότι από περιβαλλοντική σκοπιά, η μαζική τους χρησιμοποίηση συμφέρει έναντι αυτής των συμβατικών διατάξεων παραγωγής ενέργειας (ΜΕΚ ορυκτών καυσίμων) μιας και το κύριο προϊόν από την ηλεκτρόλυση του υδρογόνου που επιτελείται στο εσωτερικό τους είναι, όπως αναφέραμε, το νερό [10].

Τέλος, στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται μία χαρακτηριστική διάταξη (ή συστοιχίας) κυψέλης καυσίμου :



Σχήμα 2.4.:Κυψέλη-συστοιχία καυσίμου [11].

2.3.2. Βασικοί τύποι κυψελών καυσίμου

Υπάρχουν πολλοί τρόποι κατηγοριοποίησης των διαφόρων τύπων κυψελών καυσίμου που χρησιμοποιούνται σήμερα για την παραγωγή ενέργειας μέσω υδρογόνου. Ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος τρόπος γι' αυτό, αποτελεί η κατηγοριοποίησή τους βάσει του ηλεκτρολύτη που αυτοί περιέχουν στο εσωτερικό τους, προκειμένου να διοχετεύσουν το υδρογόνο τους (με τη μορφή των πρωτονίων του) προς την κάθοδό τους. Από τον συγκεκριμένο τρόπο κατηγοριοποίησής τους προκύπτουν οι εξής παρακάτω βασικοί τύποι τους (όπου μετά τον κάθε τύπο κυψέλης καυσίμου σημειώνεται και ο ηλεκτρολύτης που χρησιμοποιείται) [7]:

- Κυψέλη καυσίμου PEMFC – Μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων
- Κυψέλη καυσίμου AFC – Αλκάλια
- Κυψέλη καυσίμου PAFC – Φωσφορικό οξύ
- Κυψέλη καυσίμου MCFC – Τηγμένα ανθρακικά άλατα
- Κυψέλη καυσίμου SOFC – Σταθεροποιημένα οξειδία

Στον παρακάτω πίνακα απεικονίζονται διάφορα χαρακτηριστικά στοιχεία λειτουργίας των παραπάνω βασικών τύπων κυψελών καυσίμου. Η κατάταξη των τύπων των κυψελών καυσίμου που απεικονίζει ο παρακάτω, έχει γίνει κατά την αύξουσα σειρά της θερμοκρασίας της λειτουργίας τους

Πίνακας 2.5.: Διάφοροι τύποι κυψελών καυσίμου μαζί με τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της λειτουργίας τους [12].

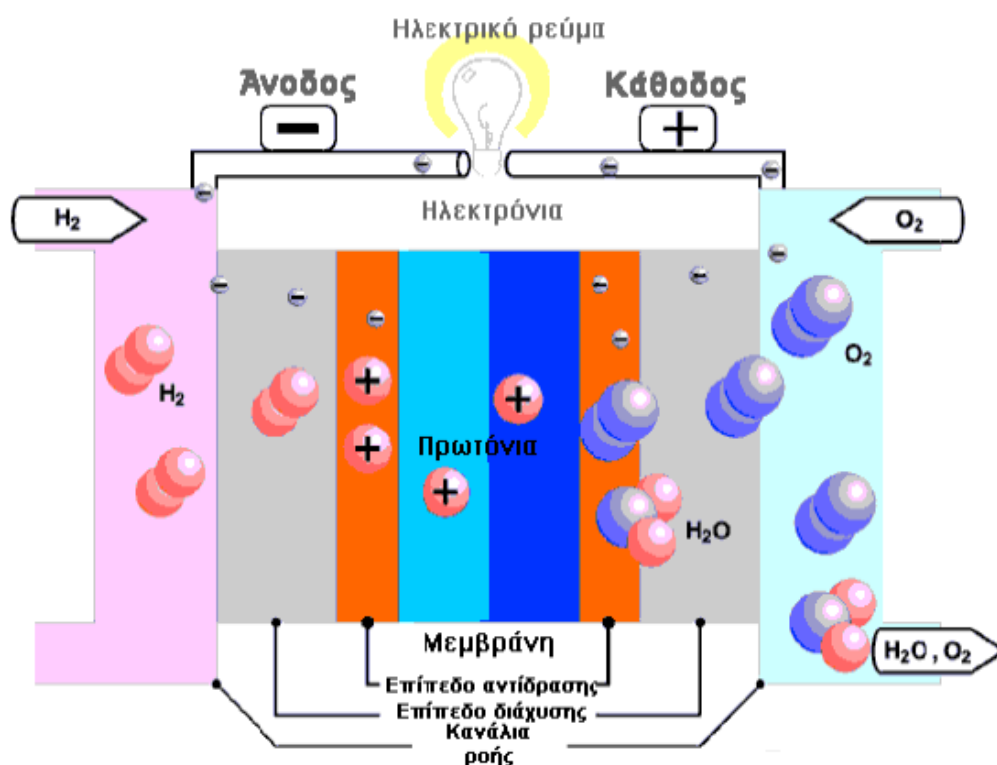
Τύπος κυψέλης καυσίμου	Πυκνότητα Ρεύματος (A/cm ²)	Ηλεκτρολύτης	Θερμοκρασία λειτουργίας (°C)	Απόδοση Ηλεκτρικής Ισχύος (%)	Ισχύς	Κυριότερες Εφαρμογές
Κυψέλη καυσίμου μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων (PEMFC)	0.12	Στερεά πολυμερής ιοντική μεμβράνη	50 – 100	40 – 50	50 – 250 kW	Μεταφορές, Ηλεκτροπαραγωγή, φορητές ηλεκτρονικές συσκευές
Αλκαλικές κυψέλες καυσίμου (AFC)	0.2	Υδροξείδιο του καλίου	50 – 200	70	10 – 100 kW	Διάστημα
Κυψέλη καυσίμου φωσφορικού οξέος (PAFC)	0.216	Φωσφορικό οξύ	180 – 200	40 – 60	Ως 10 MW (μελλοντικά)	Ηλεκτροπαραγωγή και συμπαραγωγή σε κτιριακές εγκαταστάσεις
Κυψέλη καυσίμου τήγματος ανθρακικών αλάτων (MCFC)	0.16	Τήγμα ανθρακικών αλάτων καλίου και λιθίου	620 – 660	>60	Ως 100 MW (μελλοντικά)	Κεντρικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, συμπαραγωγής
Κυψέλη καυσίμου στερεών οξειδίων (SOFC)	0.2	Κεραμικό διοξείδιο του ζιρκονίου	800 – 1000	>60	Ως 100 MW (μελλοντικά)	Κεντρικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, συμπαραγωγής

Στην συνέχεια θα αναφερθούμε συνοπτικά, στους διάφορους τύπους των κυψελών καυσίμου που απεικονίζονται στον παραπάνω πίνακα.

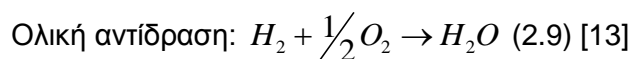
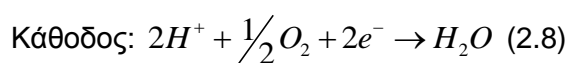
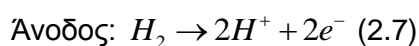
2.3.2.1. Κυψέλη καυσίμου με μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίων (ή κυψέλη καυσίμου PEMFC)

Οι κυψέλες καυσίμου PEMFC, αποτελούν σήμερα τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες κυψέλες καυσίμου στη πράξη, έχοντας μία πολυμερική μεμβράνη αγωγό ιόντων H⁺, ως ηλεκτρολύτη. Η λειτουργία τους δε, συμβαίνει σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες (50 ÷ 100°C) και η ισχύς που παράγουν είναι αρκετή για την εφαρμογή τους στις περισσότερες από τις καθημερινές ενεργειακές ανάγκες του ανθρώπου (π.χ. κίνηση μεταφορικών οχημάτων, τροφοδότηση ηλεκτρικών συσκευών κ.τ.λ.). Σ' αυτό βοηθάει και η ικανότητα που παρουσιάζουν να προσαρμόζονται γρήγορα σε συχνές αυξομειώσεις της παραγόμενης ισχύος τους. Η ηλεκτρική ισχύς που παράγεται από μία κυψέλη καυσίμου PEMFC, κυμαίνεται στην περιοχή των 50 με 250 kW. Η εκτεταμένη έρευνα που πραγματοποιείται σήμερα πάνω στην τροφοδότηση, από κυψέλες καυσίμου, των διαφόρων μεταφορικών οχημάτων και γενικότερα των ηλεκτρομηχανολογικών διατάξεων μέσης ισχύος, είναι επικεντρωμένη κυρίως σ' αυτόν τον τύπο των κυψελών καυσίμου.

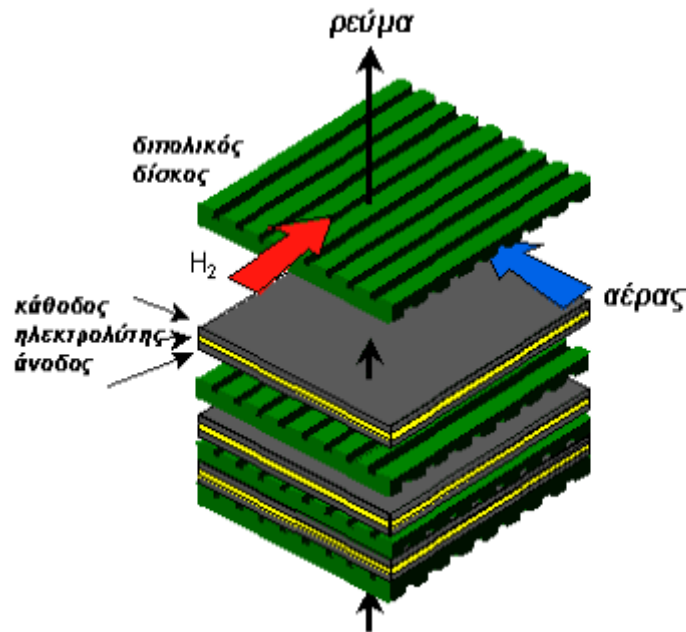
Το μοναδικό ίσως αδύναμο σημείο που παρουσιάζουν οι κυψέλες καυσίμου PEMFC, είναι η αρνητική τους συμπεριφορά στην λειτουργία τους με μη «καθαρό» υδρογόνο, δηλαδή με υδρογονούχα καύσιμα τα οποία δεν περιέχουν το υδρογόνο στη μάζα τους σε μεγάλες περιεκτικότητες [8].



Σχήμα 2.5.: Τυπική λειτουργία μια κυψέλης PEMFC [13].



Για πρακτικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται συνήθως συστοιχίες κυψελίδων καυσίμου ώστε να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ισχύς.



Σχήμα 2.6.: Συστοιχίες κυψελών καυσίμου PEMFC [13]

- Πλεονεκτήματα: Λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας λειτουργίας, εκκινούν γρήγορα και προσαρμόζονται αμέσως σε συχνές αυξομειώσεις της παραγόμενης ισχύος τους, πράγμα που τις καθιστά κατάλληλες για την εφαρμογή στα οχήματα. Άλλο ένα πλεονέκτημα των PEM είναι η υψηλή πυκνότητα ισχύος. Έχει τη μεγαλύτερη πυκνότητα ισχύος από όλους τους τύπους κυψελών, με εξαίρεση ίσως την AFC. Τέλος, η χρήση στερεού ηλεκτρολύτη μειώνει τη διάβρωση που υφίστανται τα υλικά και η διάρκεια ζωής της κυψέλης φτάνει τις 40.000 ώρες.
- Μειονεκτήματα: Ένα μειονέκτημα είναι ότι ο καταλύτης είναι φτιαγμένος από λευκόχρυσο, που είναι πολύ ακριβός, αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο το κόστος (προβλεπόμενο κόστος κυψέλης καυσίμου ~900\$/kW). Ο λευκόχρυσος είναι πολύ ευαίσθητος στο μονοξειδίο του άνθρακα. Μπορεί εύκολα να δηλητηριαστεί από μερικά μόνο ppm, τα οποία μπορεί να προέλθουν από τυχόν διάβρωση των μεταλλικών διπολικών πλακών. Τέλος, η χαμηλή θερμοκρασία λειτουργίας, έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή μικρής ποσότητας θερμικής ενέργειας για εκμετάλλευση [26].

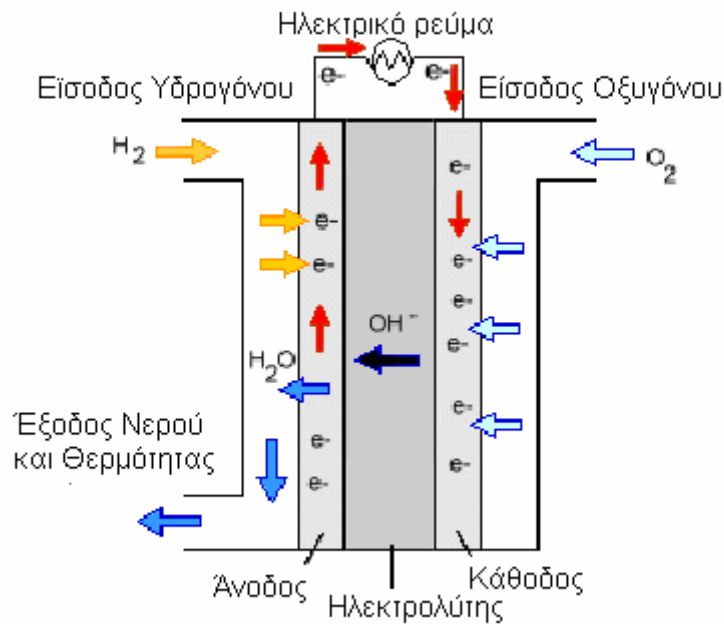
2.3.2.2. Κυψέλη καυσίμου αλκαλίων (ή κυψέλη καυσίμου AFC)

Οι κυψέλες καυσίμου αλκαλίων (ή κυψέλες καυσίμου AFC), αποτελούν τις πρώτες κυψέλες καυσίμου υδρογόνου που εφαρμόστηκαν ποτέ στην πράξη για την

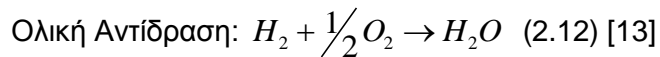
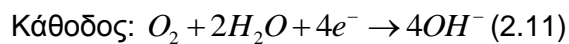
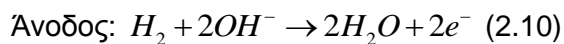
παραγωγή ενέργειας, χρησιμοποιώντας συμπυκνωμένο διάλυμα ΚΟΗ (σε μήτρες ασβέστου) ως ηλεκτρολύτη . Η πρώτη εφαρμογή τους, έγινε στο διαστημικό πρόγραμμα των οχημάτων Gemini και Apollo τα οποία αναπτύχθηκαν από τη NASA για την προσεδάφιση στη Σελήνη τη δεκαετία του 60' [14].

Οι κυψέλες καυσίμου AFC, έχουν πολύ υψηλό βαθμό απόδοσης ηλεκτρικής ισχύος, ο οποίος μπορεί να φτάσει μέχρι το 70%. Ο υψηλός αυτός βαθμός της απόδοσής τους, οφείλεται κυρίως στον εξίσου υψηλό ρυθμό με τον οποίο πραγματοποιούνται οι διάφορες καταλυτικές χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στο εσωτερικό τους. Το κύριο μειονέκτημα που παρουσιάζουν οι κυψέλες καυσίμου AFC, είναι ότι είναι ιδιαίτερα ευπρόσβλητες, κατά την λειτουργία τους, από την παρουσία του CO_2 στο εσωτερικό τους, ακόμη και όταν αυτό υφίσταται σε πολύ μικρές ποσότητες. Κατά την παρουσία του, η απόδοση των κυψελών καυσίμου πέφτει σημαντικά και η λειτουργία τους παρεμποδίζεται (δηλητηριάζεται), με αποτέλεσμα να ελαττώνεται σημαντικά ο συνολικός χρόνος ζωής τους. Γι' αυτό και το μίγμα υδρογόνου –ατμοσφαιρικού οξυγόνου το οποίο καταναλώνουν, καθαρίζεται επιμελώς από οποιοσδήποτε ποσότητες CO_2 , πριν αυτό διοχετευτεί στο εσωτερικό τους. Εξαιτίας της υψηλού βαθμού προσβολής τους στο CO_2 , οι κυψέλες καυσίμου AFC εμφανίζουν ως εκ τούτου αρκετά μεγάλο κόστος λειτουργίας και γι' αυτό δεν χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα. Η χρησιμοποίησή τους όμως σε διαστημικές εφαρμογές, στις οποίες το κόστος είναι δευτερεύον ζήτημα ενώ το πρωτεύον είναι η απόδοση, η χρησιμοποίησή των κυψελών καυσίμου AFC είναι ευρύτατη [15].

Αλκαλική κυψελίδα καυσίμου



Σχήμα 2.7.:Τυπική λειτουργία μια κυψέλης AFC [13].



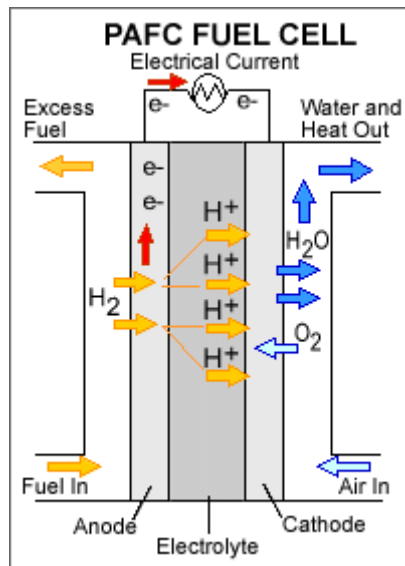
- Πλεονεκτήματα: Η χαμηλή θερμοκρασία λειτουργίας τους δίνει το πλεονέκτημα της γρήγορης εκκίνησης.
- Μειονεκτήματα: Η ευαισθησία τους στο διοξείδιο του άνθρακα απαιτεί τη χρήση υδρογόνου υψηλής καθαρότητας, καθώς και ενός συστήματος αφαίρεσης του CO_2 από τον εισαγόμενο αέρα που χρησιμοποιείται σαν οξειδωτικό. Η χρήση διαβρωτικού ηλεκτρολύτη είναι ακόμη ένα μειονέκτημα. Ο ηλεκτρολύτης (KOH) διαβρώνει τα υλικά γύρω του, με αποτέλεσμα τη μείωση της διάρκειας ζωής της κυψέλης (περίπου 10.000 ώρες) και την αύξηση του κόστους της [26].

2.3.2.3. Κυψέλη καυσίμου φωσφορικού οξέος (ή κυψέλη καυσίμου PAFC)

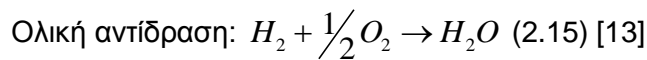
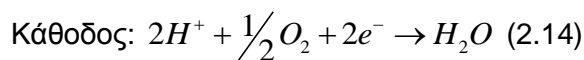
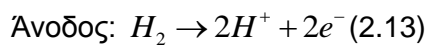
Οι κυψέλες καυσίμου φωσφορικού οξέος (phosphoric - acid fuel cells ή PAFC) αποτελούν σήμερα τις δεύτερες πιο διαδεδομένες κυψέλες καυσίμου στη πράξη, μετά τις κυψέλες καυσίμου, διαθέτοντας συμπυκνωμένο διάλυμα H_3PO_4 (σε μήτρες καρβιδίου του πυριτίου) για ηλεκτρολύτη. Ο βαθμός απόδοσης ηλεκτρικής ισχύος των κυψελών καυσίμου PAFC, κυμαίνεται στην περιοχή των $40 \div 60\%$, ενώ η θερμοκρασία λειτουργίας τους κυμαίνεται μεταξύ των $150\text{ }^\circ\text{C}$ και $200\text{ }^\circ\text{C}$. Για θερμοκρασία λειτουργίας μικρότερη των $150\text{ }^\circ\text{C}$ και για κατανάλωση μη «καθαρού» υδρογόνου, ο ηλεκτρολύτης των κυψελών καυσίμου PAFC (φωσφορικό οξύ), γίνεται κακός ιοντικός αγωγός των πρωτονίων του υδρογόνου και το CO που σχηματίζεται πάνω στον καταλύτη τους από την διάσπαση των υδρογονούχων καυσίμων τους, δηλητηριάζει την άνοδό τους, μειώνοντας παράλληλα και τον βαθμό της απόδοσής τους.

Για θερμοκρασία όμως λειτουργίας τους που βρίσκεται μεταξύ των $150\text{ }^\circ\text{C}$ και $200\text{ }^\circ\text{C}$ και για κατανάλωση υδρογονούχων καυσίμων, τα επίπεδα ανοχής τους σε συγκεντρώσεις CO είναι αρκετά υψηλές, με αποτέλεσμα να λειτουργούν φυσιολογικά. Η μόνη εξαίρεση σ' αυτό, αποτελεί η λειτουργία τους με υδρογονούχα καύσιμα που περιέχουν και ορισμένες ποσότητες από σουλφίδια στη μάζα τους (όπως είναι για παράδειγμα η λειτουργία τους με συμβατική βενζίνη). Στην περίπτωση αυτή, τα σουλφίδια των συγκεκριμένων υδρογονούχων καυσίμων θα πρέπει πρώτα να απομακρυνθούν πρώτου αυτά διοχετευτούν στο εσωτερικό τους. Τα σημαντικότερα αδύναμα σημεία των κυψελών καυσίμου PAFC, είναι το σχετικά μεγάλο μέγεθος του όγκου τους και το επίσης αυξημένο βάρος της μάζας τους. Επίσης, η τάση του ρεύματος που παράγουν είναι σχετικά χαμηλή.

Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στο εσωτερικό των κυψελών καυσίμου PAFC κατά την παραγωγή ενέργειας από το υδρογόνο, είναι πανομοιότυπες με αυτές που συμβαίνουν στο εσωτερικό των κυψελών καυσίμου PEMFC [15].



Σχήμα 2.8.:Τυπική λειτουργία μια κυψέλης PAFC [17].



- Πλεονεκτήματα: Οι PAFC είναι ανθεκτικές στις ακαθαρσίες που περιέχει το καύσιμο που παράγεται με αναμόρφωση υδρογονανθράκων. Έτσι το κόστος της επεξεργασίας του καυσίμου ελατώνεται. Η υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας της κυψέλης την καθιστά κατάλληλη για συμπαραγωγή, μιας και η παραγωγή θερμικής ενέργειας είναι πολύ μεγάλη και η ανάκτησή της πολύ εύκολη. Τέλος, έχει μεγάλη διάρκεια ζωής (~40.000 ώρες).
- Μειονεκτήματα: Η υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας της κυψέλης την καθιστά αργή στην εκκίνηση της. Επίσης η πυκνότητα ισχύος που παρουσιάζει είναι μικρή και η όλη συσκευή είναι ογκώδης, γεγονός που την κάνει δύσχρηστη σε οχήματα και σε κινητές εφαρμογές. Τέλος, η χρήση του λευκόχρυσου ως καταλύτη την καθιστά πολύ ακριβή (προβλεπόμενο κόστος κυψέλης καυσίμου ~2000\$/kW) [26].

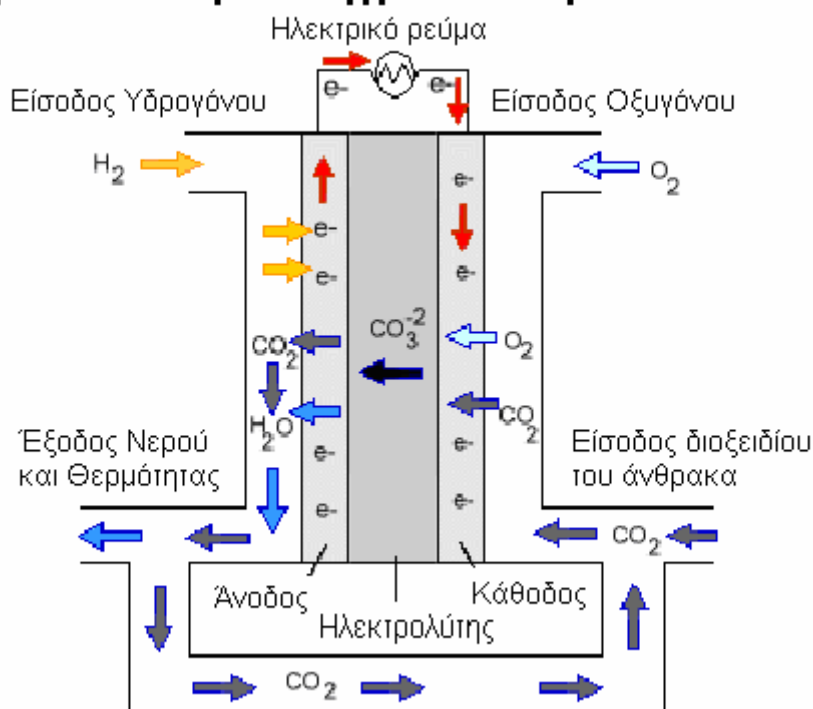
2.3.2.4. Κυψέλη καυσίμου τηγμένου ανθρακικού άλατος (ή κυψέλη καυσίμου MCFC)

Οι κυψέλες καυσίμου τηγμένου ανθρακικού άλατος (molten carbonate fuel cells, ή MCFC), χρησιμοποιούν τις ενώσεις των ανθρακικών ριζών, με στοιχεία όπως είναι το Li, το Na και το K σαν ηλεκτρολύτη τους. Οι ανθρακικές αυτές ενώσεις, βρίσκονται στο εσωτερικό τους σε υγρή μορφή και ενεργούν εμποτισμένες μέσα σε κατάλληλο υπόστρωμα.

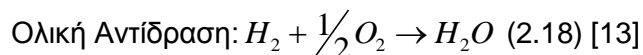
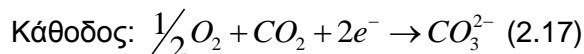
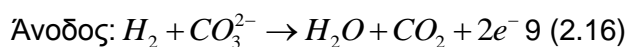
Παρότι έχουν αρκετά υψηλό βαθμό απόδοσης ηλεκτρικής ισχύος (μεγαλύτερος του 60%), οι υψηλές θερμοκρασίες στις οποίες λειτουργούν κανονικά οι κυψέλες καυσίμου MCFC (620°C με 660°C) δεν προσφέρονται για την εφαρμογή τους σε καθημερινές ενεργειακές ανάγκες. Εκτός αυτού, οι υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας τους επιδρούν αρνητικά και στα υλικά με τα οποία είναι κατασκευασμένες, με αποτέλεσμα να μειώνουν σημαντικά τον συνολικό χρόνο ζωής τους. Η λειτουργία τους σε θερμοκρασίες άνω των 600°C, οφείλεται στην αδυναμία που έχει ο ηλεκτρολύτης τους (τηγμένο ανθρακικό άλας) να καθίσταται ιοντικά αγωγίμος σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Από την άλλη μεριά, η λειτουργία των κυψελών καυσίμου MCFC σε τόσο υψηλές θερμοκρασίες, παρουσιάζει κι ένα θετικό για την λειτουργία τους σημείο, το οποίο απορρέει από την σημαντική επιτάχυνση των αντιδράσεων που συμβαίνουν στο εσωτερικό τους. Με τον τρόπο αυτό, αποφεύγεται και η χρήση ενός ιδιαίτερα δαπανηρού υλικού σαν καταλύτη τους, οπότε μειώνεται και το συνολικό κόστος λειτουργίας τους. Σαν καύσιμα, στις κυψέλες καυσίμου MCFC, μπορούν εκτός από το «καθαρό» υδρογόνο να χρησιμοποιηθούν και άλλα υλικά, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγεται και το CO, το οποίο ως γνωστόν δρα καταστρεπτικά για τους περισσότερους από τους υπόλοιπους τύπους των κυψελών καυσίμου.

Η ηλεκτρική ισχύς που παράγεται από τις κυψέλες καυσίμου MCFC, βρίσκεται μεταξύ των 10 kW και 2 MW, ανάλογα και με την διάταξη στην οποία βρίσκουν εφαρμογή. Εξαιτίας της παρουσίας του ανθρακικού ηλεκτρολύτη τους, οι χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στο εσωτερικό των κυψελών καυσίμου MCFC διαφέρουν από τις αντίστοιχες που συμβαίνουν στο εσωτερικό των κυψελών καυσίμου PEMFC και έχουν ως εξής [18]:

Κυψελίδα καυσίμου τετηγμένων ανθρακικών αλάτων



Σχήμα 2.9.: Τυπική λειτουργία μια κυψέλης MCFC [13].



- Πλεονεκτήματα: Η υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας δίνει τη δυνατότητα της χρησιμοποίησης φθηνότερου καταλύτη από άλλες κυψέλες καυσίμου και αυξάνει τον βαθμό απόδοσης. Επιπλέον, επιτρέπεται η χρήση περισσότερων τύπων καυσίμων, η αναμόρφωση των οποίων γίνεται στο εσωτερικό της κυψέλης καυσίμου και όχι με τη χρήση κάποιου εξωτερικού αναμορφωτή, μειώνοντας το κόστος κατασκευής της κυψέλης. Το προβλεπόμενο κόστος της κυψέλης καυσίμου είναι ~1200 \$/kW. Τέλος, η παραγόμενη θερμότητα είναι κατάλληλη για συμπαραγωγή, με αποτέλεσμα την αύξηση του συνολικού βαθμού απόδοσης.
- Μειονεκτήματα: Το μειονέκτημα των MCFC είναι η μικρή διάρκεια ζωής. Οι υψηλές θερμοκρασίες στις οποίες αυτά λειτουργούν καθώς και ο χρησιμοποιούμενος ηλεκτρολύτης επιταχύνουν την καταστροφή των

εξαρτημάτων και τη διάβρωση της κυψέλης καυσίμου, κάτι που στην ουσία μειώνει τη διάρκεια ζωής των MCFC [26].

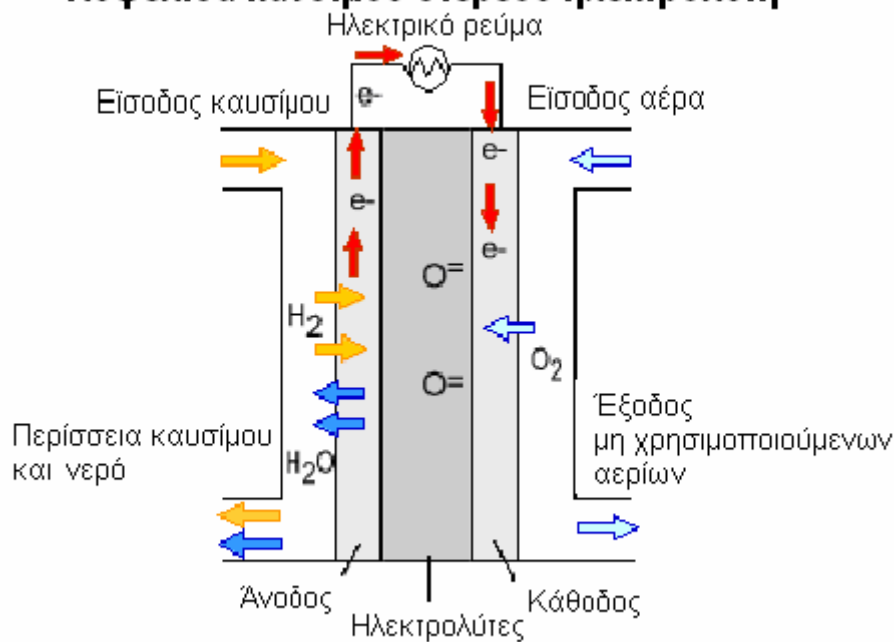
2.3.2.5. Κυψέλη καυσίμου στερεού οξειδίου (ή κυψέλη καυσίμου SOFC)

Ο ηλεκτρολύτης σε αυτές τις κυψέλες καυσίμου είναι ένα στερεό, μη πορώδες, σκληρό κεραμικό, το οποίο είναι κατασκευασμένο από κράμα οξειδίων του ζirkονίου ZrO_3 και του υπρίου Y_2O_3 . Συνήθως, η άνοδος είναι κεραμικό μίγμα νικελίου και ζirkονίου ($Ni-ZrO_2$) ή μίγμα κοβαλτίου και ζirkονίου ($Co-ZrO_2$), ενώ η κάθοδος είναι από μαγγανίο λαθανίου στροντίου ($Sr-doped LaMnO_3 - LMS$). Αυτές οι κυψέλες καυσίμου λειτουργούν σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (650-1000 °C), γεγονός το οποίο τις καθιστά κατάλληλες μόνο για συγκεκριμένες εφαρμογές.

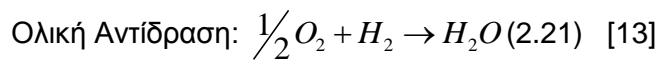
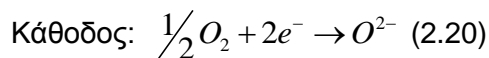
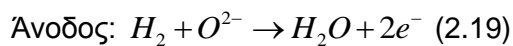
Ως καύσιμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν μονοξείδιο του άνθρακα, φυσικό αέριο ή ατμοί υγρών καυσίμων που μετατρέπονται σε μίγμα αερίων που περιέχουν υδρογόνο, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας λειτουργίας. Μεν χρειάζεται εξωτερική αναμόρφωση του καυσίμου [25].

Όπως και οι κυψέλες καυσίμου MCFC, έτσι και οι κυψέλες καυσίμου SOFC (κυψέλες καυσίμου στερεού οξειδίου ή solid oxide fuel cells), παρουσιάζουν ιδιαίτερα αυξημένη απόδοση ηλεκτρικής ισχύος, η οποία υπερβαίνει το 60%. Η παραγόμενη ισχύς που παράγουν οι κυψέλες καυσίμου SOFC, ανέρχεται στα 100kW περίπου. Οι κυψέλες καυσίμου SOFC, χρησιμοποιούν στερεά υλικά σαν ηλεκτρολύτες τους (σκληρά κεραμικά), τα οποία είναι κατασκευασμένα από κράμα οξειδίων του ζirkονίου και του νατρίου. Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις που χαρακτηρίζουν τη λειτουργία τους έχουν ως εξής [19]:

Κυψελίδα καυσίμου στερεού ηλεκτρολύτη



Σχήμα 2.10.: Τυπική λειτουργία μια κυψέλης SOFC [13].



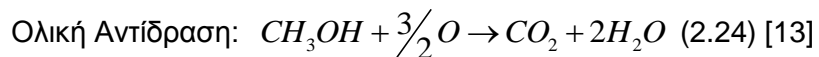
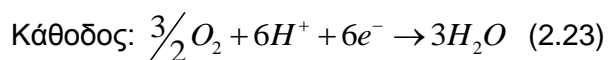
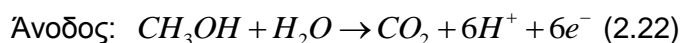
- Πλεονεκτήματα: Ο στερεός ηλεκτρολύτης μειώνει τη πιθανότητα διάβρωσης εντός της κυψέλης. Επιπλέον λόγω του ότι η κατασκευή είναι στερεή, οι κυψέλες καυσίμου αυτού του τύπου μπορούν να πάρουν διάφορα σχήματα: κυλινδρικές, πλακοειδείς, μονολιθικές. Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας λειτουργίας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν φθηνότεροι καταλύτες απ'ότι σε κυψέλες χαμηλής θερμοκρασίας. Επιπλέον, η συνολική απόδοση αυξάνεται, μιας και παράγεται μεγάλη ποσότητα εκμεταλεύσιμης θερμικής ενέργειας για συμπαραγωγή. Τέλος η μεγάλη θερμοκρασία επιτρέπει τη χρήση περισσότερων τύπων καυσίμου. Με αυτά τα καύσιμα, η αναμόρφωση γίνεται στο εσωτερικό της κυψέλης και όχι με τη χρήση εξωτερικού αναμορφωτή, μειώνοντας το συνολικό κόστος (προβλεπόμενο κόστος κυψέλης καυσίμου ~1000\$/kW).
- Μειονεκτήματα: Η υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας επιφέρει και δυσάρεστες συνέπειες, όπως είναι ο αργός χρόνος εκκίνησης και η επιτάχυνση της

φθοράς των εξαρτημάτων της κυψέλης καυσίμου, μειώνοντας τη διάρκεια ζωής της (40000 ώρες) [26].

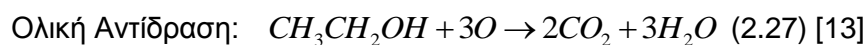
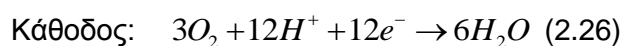
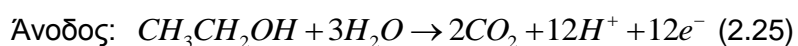
Σε αυτό το σημείο οφείλουμε να πούμε ότι η εγκατάσταση που θα μας απασχολήσει στην παρούσα εργασία θα διαθέτει κυψέλη καυσίμου SOFC.

Οι κυψέλες καυσίμου SOFC αποτελούν τον τελευταίο από τους πέντε σημαντικότερους τύπους κυψελών καυσίμου που χρησιμοποιούνται σήμερα. Εκτός όμως από αυτούς, υπάρχουν και αρκετοί άλλοι διαφορετικού τύπου κυψελών καυσίμου οι οποίοι έχουν κατασκευαστεί και οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας μέσω υδρογόνου. Οι περισσότεροι όμως από αυτούς, παρουσιάζουν προς το παρόν σχετικά χαμηλές επιδόσεις στην λειτουργία τους ή και αρκετά μεγάλο κόστος στην κατασκευή τους, με αποτέλεσμα να είναι δευτερεύουσας σημασίας και να μην μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πρακτικές εφαρμογές, τουλάχιστον μέχρι την παρούσα φάση της εξέλιξής τους. Γστόσο κάποιοι από αυτούς, παρόλο ότι βρίσκονται ακόμη σε πειραματικό στάδιο εξέλιξης, παρουσιάζουν ορισμένα αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά, τα οποία τους καθιστούν αρκετά ελπιδοφόρους ως προς την πρακτική χρήση τους στο μέλλον. Θα αναφέρουμε εν συντομία τρεις από αυτούς τους τύπους των κυψελών καυσίμου, οι οποίοι παρουσιάζουν και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Οι τύποι αυτοί είναι οι εξής :

1. Οι κυψέλες καυσίμου άμεσης μεθανόλης (DMFC).



2. Οι κυψέλες καυσίμου άμεσης αιθανόλης (DEFC).



3. Οι κυψέλες αναπαραγόμενου καυσίμου (RFC).

Οι δύο πρώτες, δηλαδή οι κυψέλες καυσίμου άμεσης μεθανόλης (DMFC) και οι κυψέλες καυσίμου άμεσης αιθανόλης (DEFC), παρουσιάζουν το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό, ότι μπορούν και λειτουργούν με υγρά καύσιμα (μεθανόλη και αιθανόλη αντίστοιχα), χωρίς να απαιτούν την παρουσία ενός «αναμορφωτή» καυσίμου, ο οποίος θα μετατρέπει το υγρό τους καύσιμο σε αέριο υδρογόνο. Το συγκεκριμένο τους χαρακτηριστικό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, γιατί στην ουσία λύνει το μεγάλο πρόβλημα της αποθήκευσης του υδρογόνου που αντιμετωπίζουν σήμερα τα ενεργειακά συστήματα που τροφοδοτούνται από κυψέλες καυσίμου. Ο τρίτος σημαντικός τύπος κυψελών καυσίμου από τους παραπάνω τύπους που αναφέραμε (οι κυψέλες καυσίμου RFC), έχουν κι αυτές ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό λειτουργίας, το οποίο συνίσταται στο γεγονός, ότι παρουσιάζουν τη δυνατότητα να αναπαράγουν σε σημαντικό βαθμό το υδρογόνο που καταναλώνουν, υδρολύοντας προς αυτού το νερό που παράγεται κατά την ηλεκτρόλυσή του. Αυτό βέβαια συμβαίνει με την προϋπόθεση, ότι κατά το χρονικό διάστημα στο οποίο αναπαράγουν το καύσιμό τους, το ενεργειακό σύστημα στο οποίο λειτουργούν δεν απαιτεί από αυτές μεγάλη ισχύ (λειτουργεί στο «ρελαντί»). Όπως καταλαβαίνουμε, οι συγκεκριμένες κυψέλες καυσίμου παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την χρησιμοποίησή τους σε μεταφορικά οχήματα, μιας και αυτά χαρακτηρίζονται από συχνές αυξομειώσεις της καταναλισκόμενης ισχύος τους (κατά την στάση τους και την κίνησή τους με πέδηση) [7].

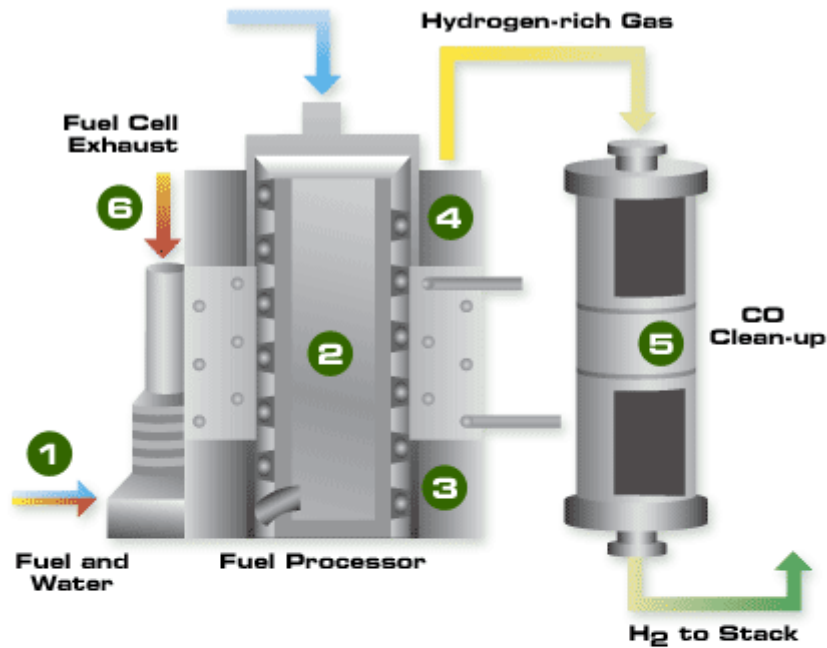
2.4. Αναμορφωτές των υδρογονούχων καυσίμων

2.4.1. Ο ρόλος των αναμορφωτών.

Όπως έχουμε αναφέρει, οι διάφορες κυψέλες καυσίμου υδρογόνου λειτουργούν στο μέγιστο της απόδοσής τους χρησιμοποιώντας «καθαρό» (ή υψηλής περιεκτικότητας) υδρογόνο. Ωστόσο, οποιοδήποτε υλικό, το οποίο περιέχει στη μάζα του ποσότητες από υδρογόνο ικανές να τις τροφοδοτήσουν, μπορεί να χρησιμοποιηθεί από αυτές σαν καύσιμο, χωρίς αυτό να επηρεάζει σημαντικά την απόδοσή τους. Παραδείγματα τέτοιων άλλων υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σ' αυτές αντί του «καθαρού» υδρογόνου, αποτελούν η μεθανόλη, η αιθανόλη, το φυσικό αέριο, τα παράγωγα του πετρελαίου, το υγρό προπάνιο κτλ.. Η μόνη διαφορά που υπάρχει κατά την χρήση αυτών των χημικών ενώσεων στις κυψέλες καυσίμου υδρογόνου αντί

του «καθαρού» υδρογόνου είναι, ότι οι χημικές ενώσεις αυτές δεν μπορούν εφαρμοστούν κατά κανόνα ως έχει (εκτός από την περίπτωση των κυψελών άμεσης μεθανόλης (DMFC) και άμεσης αιθανόλης (DEFC) που είδαμε στην παραπάνω παράγραφο), αλλά αντίθετα θα πρέπει πρώτα να μετατραπούν σε «καθαρό» υδρογόνο, προκειμένου να γίνει εφικτή η χρήση τους. Η μετατροπή τους αυτή, πραγματοποιείται μέσω μιας βασικής θερμοχημικής επεξεργασίας τους, η οποία ονομάζεται αναμόρφωση (reforming procedure). Γενικά, με τον όρο αναμόρφωση, ονομάζουμε την θερμοχημική εκείνη επεξεργασία ενός αερίου υδρογονάνθρακα, κατά την οποία ο υδρογονάνθρακας αυτός διοχετεύεται σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας διαμέσου ενός χημικού αντιδραστήρα και κατά την οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε αέριο ρεύμα πλούσιο σε «καθαρό» υδρογόνο.

Στην τεχνολογία των ενεργειακών συστημάτων με κυψέλες καυσίμου υδρογόνου, με την εφαρμογή της συγκεκριμένης διαδικασίας σε ειδικές διατάξεις που ονομάζονται αναμορφωτές καυσίμου (fuel processors ή reformers), οι οποίοι μπορούν να έχουν τέτοιο μέγεθος ώστε να τους επιτρέπει για παράδειγμα να τοποθετούνται σε μεταφορικά οχήματα, μπορεί να παραχθεί το υψηλής περιεκτικότητας υδρογόνο που είναι απαραίτητο για την ομαλή λειτουργία των περισσοτέρων τύπων των κυψελών καυσίμου. Η χρήση των αναμορφωτών καυσίμου πολλές φορές επιβάλλεται σε διάφορα συστήματα που λειτουργούν με κυψέλες καυσίμου υδρογόνου, αφού στις περισσότερες περιπτώσεις είναι τεχνικά δύσκολο ή δαπανηρό να λειτουργήσουν με «καθαρό» υδρογόνο. Στο παρακάτω σχήμα 1.7 και απεικονίζεται ένας τυπικός αναμορφωτής υδρογονούχων καυσίμων και επεξηγούνται οι διάφορες διεργασίες που συμβαίνουν στο εσωτερικό του κατά την μετατροπή αυτών σε «καθαρό» υδρογόνο:



- 1 Air, fuel, and water are preheated
- 2 The mixture enters the reformer where it forms hydrogen and carbon monoxide
- 3 Carbon monoxide reacts with steam to produce additional hydrogen and carbon dioxide
- 4 Sulfur compounds are removed from the fuel
- 5 Any remaining carbon monoxide is preferentially oxidized (burnt) to remove it
- 6 Waste hydrogen returning from the fuel cell is combusted and used in the fuel processor for higher efficiency operation

Σχήμα 2.11.: Αναμορφωτής υδρογονούχων καυσίμων και διεργασίες που συμβαίνουν στο εσωτερικό του [21].

Η αναμόρφωση των υδρογονούχων καυσίμων από αναμορφωτές είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί σε μεγάλη ή και σε μικρή κλίμακα. Παράδειγμα μεγάλης κλίμακας αναμόρφωσης υδρογονούχων καυσίμων μέσω αναμορφωτή τους, αποτελεί η αναμόρφωση υδρογονούχων υλικών μέσα σε μεγάλα εργοστάσια που υπάρχουν σήμερα για την παραγωγή «καθαρού» υδρογόνου, στα οποία το «καθαρό» υδρογόνο παράγεται από διάφορα υγρά ή αέρια υδρογονούχα καύσιμα (π.χ. μεθάνιο, βιοντίζελ κ.τ.λ.). Παράδειγμα μικρής κλίμακας αναμόρφωσης υδρογονούχων καυσίμων μέσω αναμορφωτή τους, αποτελεί η τοπική και άμεση τροφοδότηση των κυψελών καυσίμου υδρογόνου σε ένα μεταφορικό όχημα υδρογόνου, στο οποίο σαν

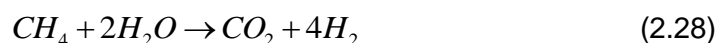
πρωτογενές καύσιμό του χρησιμοποιείται για παράδειγμα η συμβατική βενζίνη ή η αιθανόλη [20].

Τόσο για τη μεγάλη, όσο και για τη μικρή κλίμακα αναμόρφωση των υδρογονούχων καυσίμων μέσω αναμορφωτή, υπάρχουν τρεις κύριες τεχνικές επεξεργασίας τους, οι οποίες θα εξεταστούν αναλυτικά στη συνέχεια.

2.4.2. Ενδόθερμη αναμόρφωση ατμού

Η πρώτη από τις τρεις κύριες τεχνικές αναμόρφωσης των διαφόρων υδρογονούχων καυσίμων για την παραγωγή «καθαρού» υδρογόνου, είναι η λεγόμενη ενδόθερμη αναμόρφωση ατμού (endothermic steam reforming). Η μέθοδος αυτή διαχωρίζεται στις εξής δύο υποκατηγορίες της :

- 1) Η πρώτη υποκατηγορία της αφορά την ενδόθερμη αναμόρφωση του φυσικού αερίου και συγκεκριμένα του CH_4 που αυτό κυρίως περιέχει στον όγκο του (σε περιεκτικότητα 70% κ.ο. περίπου), σε «καθαρό» υδρογόνο. Η ενδόθερμη αναμόρφωση του CH_4 του φυσικού αερίου προς παραγωγή υδρογόνου, πραγματοποιείται με την μίξη του φυσικού αερίου σε υψηλές θερμοκρασίες (της τάξεως των 760 °C), με υπέρθερμο υδρατμό. Το θερμό αέριο μίγμα που προκύπτει από τη μίξη αυτή, διοχετεύεται στη συνέχεια μέσα από κατάλληλες μεμβράνες οι οποίες, με χημικό τρόπο, αποσπούν τις ποσότητες του υδρογόνου που περιέχονται στο CH_4 του φυσικού αερίου. Οι διαδικασία αυτή πραγματοποιείται προφανώς μέσα σε αναμορφωτές φυσικού αερίου και οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα μέσα σ' αυτούς έχουν ως εξής:



Στην περίπτωση που η ενδόθερμη αναμόρφωση του φυσικού αερίου χρησιμοποιείται για την παραγωγή υδρογόνου που προορίζεται να χρησιμοποιηθεί σε κυψέλες καυσίμου που λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες (π.χ. κυψέλες καυσίμου MCFC ή κυψέλες καυσίμου SOFC), το CO το οποίο, όπως παρατηρούμε από την παραπάνω αντίδραση (1.29), παράγεται κατά τη συγκεκριμένη μέθοδο, μπορεί να διοχετευτεί παράλληλα

με το παραγόμενο υδρογόνο στο εσωτερικό των συγκεκριμένων κυψελών, χωρίς να υπάρξει κανένα πρόβλημα. Αυτό, γιατί οι συγκεκριμένες κυψέλες καυσίμου δεν είναι ιδιαίτερα ευπρόσβλητες από την παρουσία του CO κατά την λειτουργία τους, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών στις οποίες λειτουργούν. Στην περίπτωση όμως που το παραγόμενο, από την παραπάνω μέθοδο, υδρογόνο προορίζεται για την χρησιμοποίησή του σε κυψέλες καυσίμου που λειτουργούν σε χαμηλές θερμοκρασίες (π.χ. PEMFC ή PAFC), το CO που επίσης παράγεται με αυτό, μπορεί να δηλητηριάσει με την παρουσία του τις συγκεκριμένες κυψέλες, μειώνοντας σημαντικά τον συνολικό χρόνο λειτουργίας τους. Για τον λόγο αυτό, το υδρογόνο που παράγεται μέσω της αναμόρφωσης του φυσικού αερίου, θα πρέπει πρώτα να απαλλαγεί από τις επιπλέον ποσότητές του σε CO, πριν αυτό διοχετευτεί στις παραπάνω κυψέλες καυσίμου.

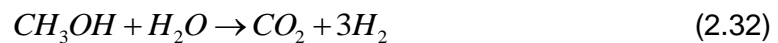
Η απομάκρυνση του CO από τη μάζα του πραγματοποιείται σήμερα με διάφορες τεχνικές, οι οποίες εφαρμόζονται ανάλογα με την καθαρότητα της ποσότητας του τελικού υδρογόνου που θέλουμε να παράγουμε και ανάλογα με τα διάφορα τεχνικά μέσα που διαθέτουμε κάθε φορά. Μία εναλλακτική λύση έναντι της απομάκρυνσης, μέσω εξειδικευμένων τεχνικών, των επιπλέον ποσοτήτων CO από το παραγόμενο, μέσω της ενδόθερμης αναμόρφωσης του φυσικού αερίου, υδρογόνο, αποτελεί η μετατροπή και του ίδιου του CO σε υδρογόνο, μέσω της μιας αντίδρασης που ονομάζεται αντίδραση απομακρύνσεως νερού (ή water shift gas reaction , WSG):.



Για την εφαρμογή όμως της παραπάνω αντίδρασης, θα πρέπει βέβαια να καταναλώσουμε κάποια επιπλέον ποσά ενέργειας από αυτά που θα καταναλώναμε αν χρησιμοποιούσαμε τις περισσότερες από τις τεχνικές απομακρύνσεως του CO, γεγονός που συνεπάγεται ένα επιπλέον κόστος κατά την εφαρμογή της παραπάνω αντίδρασης.

- 2) Η δεύτερη υποκατηγορία της ενδόθερμης αναμόρφωσης ατμού, μετά την αναμόρφωση του φυσικού αερίου, αφορά την αναμόρφωση των διαφόρων αλκοολών σε υδρογόνο. Εδώ, θα εξετάσουμε την αναμόρφωση της αλκοόλης μεθανόλης (CH_3OH). Εκτός από την συγκεκριμένη αλκοόλη, για την

παραγωγή του υδρογόνου μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλες αλκοόλες, όπως για παράδειγμα η μεθανόλη (CH_3CH_2OH) η προπανόλη ($CH_3CH_2CH_2OH$) κ.τ.λ.. Η μετατροπή της μεθανόλης (CH_3OH) σε υδρογόνο, πραγματοποιείται μέσα σε αναμορφωτές μέσω της ενδόθερμης αναμόρφωσής της με ατμό, σύμφωνα με τις εξής δύο αντιδράσεις:



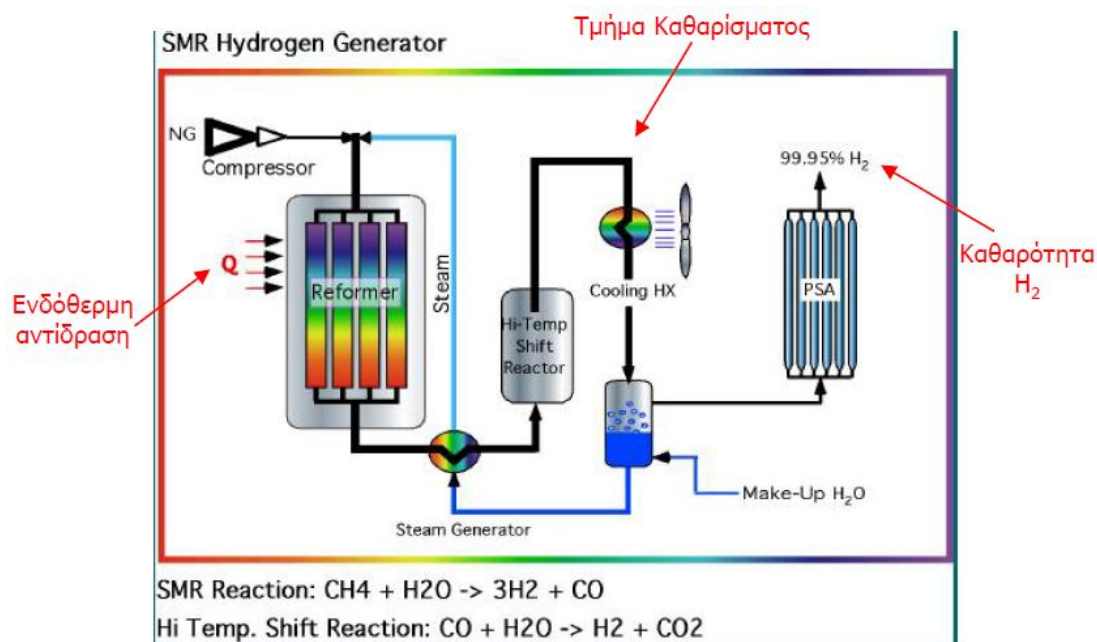
Και εδώ η ποσότητα του CO που παράγεται, μπορεί να μετατραπεί σε υδρογόνο μέσω εξειδικευμένων τεχνικών απομάκρυνσης του CO ή μέσω της water shift gas αντίδρασης που είδαμε παραπάνω.

Από τις δύο προηγούμενες υποκατηγορίες της ενδόθερμης αναμόρφωσης με ατμό που εξετάσαμε, η αναμόρφωση των αλκοολών και ιδιαίτερα της μεθανόλης, παρουσιάζει σε σχέση με την αναμόρφωση του φυσικού αερίου το πλεονέκτημα, ότι απαιτεί αρκετά χαμηλότερες θερμοκρασίες για να πραγματοποιηθεί (της τάξης περίπου των $300\text{ }^\circ\text{C}$, ενώ η ενδόθερμη αναμόρφωση του φυσικού αερίου πραγματοποιείται στους $760\text{ }^\circ\text{C}$ περίπου).

Γενικά, το κύριο μειονέκτημα της ενδόθερμης αναμόρφωσης ατμού σαν μέθοδος παραγωγής του υδρογόνου είναι, ότι, όπως καταδεικνύει και η ονομασία της, είναι μια διαδικασία που απαιτεί ενέργεια (θερμότητα) για την πραγματοποίησή της. Αυτό σημαίνει, ότι για να παραχθεί, μέσω αυτής της μεθόδου, υδρογόνο για να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια σε κυψέλες καυσίμου, θα πρέπει να καταναλωθούν ορισμένα ποσά ενέργειας υπό τη μορφή θερμότητας, γεγονός που, από οικονομικής πλευράς, επιβαρύνει το τελικό κόστος λειτουργίας της κάθε κυψέλης καυσίμου.

Επίσης, το CO που παράγεται, παράλληλα με το υδρογόνο, κατά την παραπάνω μέθοδο, δεν είναι δυνατό να απομακρυνθεί πλήρως από το παραγόμενο υδρογόνο, ακόμα και μέσω της χρησιμοποίησης της water shift gas αντίδρασης. Όπως όμως γνωρίζουμε, το CO δρα καταστρεπτικά στην ομαλή λειτουργία μιας κυψέλης καυσίμου που λειτουργεί σε χαμηλές

θερμοκρασίες και ως εκ τούτου είναι ανεπιθύμητο σαν συστατικό προϊόν του υδρογόνου που διοχετεύεται σ' αυτή, έστω και αν αυτό περιέχεται σε μικρές ποσότητες στο διοχετευόμενο υδρογόνο [22].



Σχήμα 2.12.: Αναμορφωτής ατμού [3].

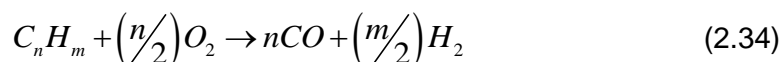
2.4.3. Εξώθερμη μερική οξείδωση

Η δεύτερη κύρια τεχνική αναμόρφωσης των υδρογονούχων καυσίμων που εφαρμόζεται σήμερα για την παραγωγή υδρογόνου, είναι η τεχνική της εξώθερμης μερικής οξείδωσης αυτών (exothermal partial oxidation). Η τεχνική αυτή, χρησιμοποιείται συνήθως στη πράξη για την μετατροπή του μεθανίου και των υψηλών υδρογονανθράκων σε υδρογόνο και ιδιαίτερα όταν υπάρχει αφθονία από ορυκτά καύσιμα που περιέχουν κάποια από τα υλικά αυτά στη μάζα τους (π.χ. φυσικό αέριο, βιοαέριο, παράγωγα πετρελαίου κ.τ.λ.). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την μετατροπή των διαφόρων αλκοολών σε υδρογόνο, αλλά αυτό εφαρμόζεται σπάνια, λόγω του υψηλού κόστους που έχει η συγκεκριμένη διαδικασία.

Για το φυσικό αέριο, η μετατροπή του CH₄ του σε υδρογόνο μέσω της εξώθερμης μερικής οξείδωσης, πραγματοποιείται σύμφωνα με την εξής αντίδραση:



Στην γενικότερη περίπτωση της εξώθερμης μερικής οξειδωσης ενός υψηλού υδρογονάνθρακα με χημικό τύπο C_nH_m , η παραγωγή υδρογόνου από τη μάζα του μέσω της εξώθερμης μερικής οξειδωσης, περιγράφεται από την παρακάτω αντίδραση:

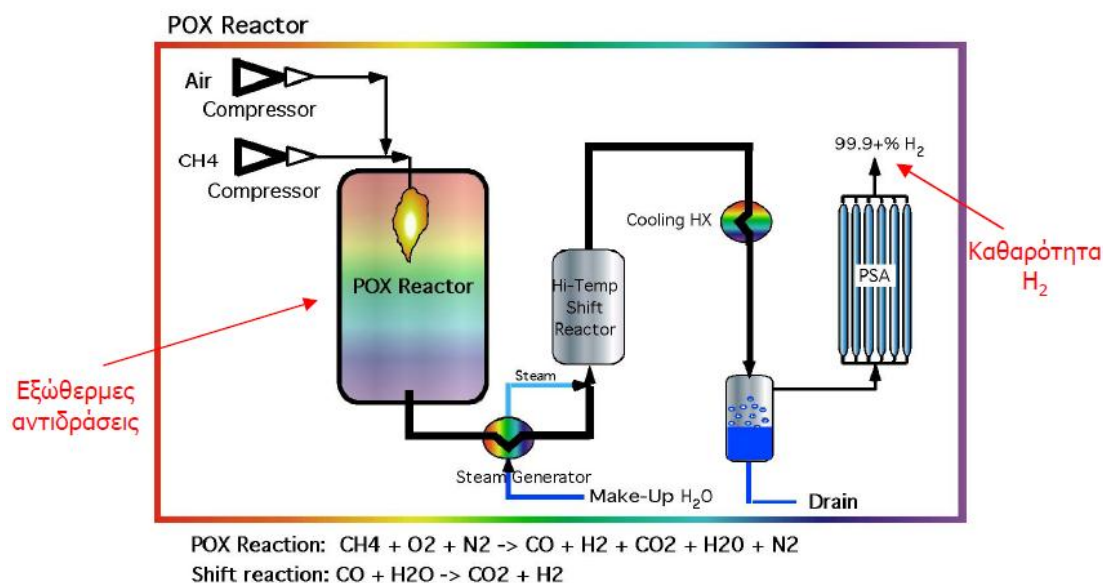


Η εξώθερμη μερική οξειδωση του μεθανίου και των υψηλών υδρογονανθράκων υπερτερεί έναντι της ενδόθερμης αναμόρφωσης του φυσικού αερίου και των αλκοολών στο γεγονός, ότι για την ίδια ποσότητα αντιδρώντος καυσίμου, η απόδοση της εξώθερμης μερικής οξειδωσης είναι μεγαλύτερη από την απόδοση της ενδόθερμης αναμόρφωσης. Το σημαντικότερο όμως πλεονέκτημα της εξώθερμης μερικής οξειδωσης σε σχέση με την ενδόθερμη αναμόρφωση ατμού είναι, ότι όπως προκύπτει και από την ονομασία της, αποτελεί μια εξώθερμη διαδικασία και επομένως η συνολική ενέργεια που καταναλώνεται κατά την πραγματοποίησή της είναι πολύ μικρότερη από αυτή που καταναλώνεται κατά την πραγματοποίηση της ενδόθερμης αναμόρφωσης ατμού.

Όπως και στην ενδόθερμη αναμόρφωση ατμού, έτσι και στην εξώθερμη μερική οξειδωση, κατά την διαδικασία της παράγονται ορισμένες ποσότητες από CO (αντιδράσεις (1.33) και (1.34) που παρουσιάσαμε παραπάνω), οι οποίες απομακρύνονται στη συνέχεια μερικώς με τη βοήθεια της water shift gas αντίδρασης. Λόγω της αδυναμίας που υπάρχει για πλήρη απομάκρυνση αυτών των ποσοτήτων μέσω της συγκεκριμένης αντίδρασης, η εξώθερμη μερική οξειδωση, όπως και η ενδόθερμη αναμόρφωση ατμού, είναι πιο αποτελεσματική για την παραγωγή υδρογόνου σε κυψέλες καυσίμου που λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες.

Εκτός όμως από το CO που, όπως προκύπτει και από τις παραπάνω αντιδράσεις (1.33) και (1.34), κατά την εκτέλεση της εξώθερμης μερικής οξειδωσης και ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες περιβάλλοντος που επικρατούν, είναι δυνατό να παραχθούν από αυτή και ορισμένες ποσότητες από CO_2 . Ως γνωστών όμως, η έκλυση του αερίου CO_2 προς την ατμόσφαιρα, συμβάλλει στην εντατικοποίηση του φαινομένου του θερμοκηπίου, με τις γνωστές συνέπειες που αυτό έχει στο περιβάλλον της γης και γι' αυτό η εξώθερμη μερική οξειδωση δεν μπορεί να

χαρακτηριστεί απολύτως εναλλακτική σαν μέθοδος παραγωγής του υδρογόνου. Βέβαια, οι ποσότητες του CO_2 που εκλύονται από την εφαρμογή της, ακόμα και για μεγάλης κλίμακας εφαρμογές της, είναι πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες ποσότητες του CO_2 και των λοιπών ρυπογόνων αερίων που εκλύονται από τις συμβατικές μεθόδους επεξεργασίας των ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται σήμερα (π.χ. διυλιστήρια πετρελαίου κ.τ.λ.), οπότε η χρησιμοποίηση της εξώθερμης μερικής οξειδωσης για την παραγωγή υδρογόνου από υδρογονούχα καύσιμα συμφέρει από αυτήν την άποψη [23].



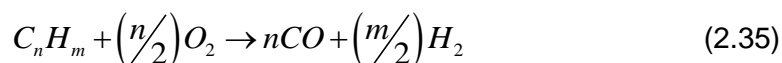
Σχήμα 2.13.: Αναμορφωτής μερικής οξειδωσης [3].

2.4.4. Αυτόθερμη αναμόρφωση

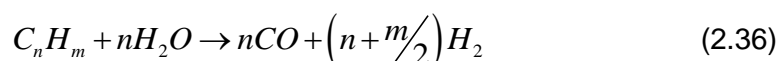
Ο συνδυασμός της ενδόθερμης αναμόρφωσης ατμού με την εξώθερμη μερική οξειδωση, μας δίνει μια τρίτη βασική μέθοδο αναμόρφωσης των υδρογονούχων καυσίμων, η οποία ονομάζεται αυτόθερμη αναμόρφωση (autothermal reforming). Η αυτόθερμη αναμόρφωση αποτελείται από δύο χαρακτηριστικά λειτουργικά μέρη (1. Έκλυση θερμότητας προς το περιβάλλον και 2. απορρόφηση θερμότητας από το περιβάλλον) και χαρακτηρίζεται από υψηλή απόδοση παραγωγής υδρογόνου. Από το μέρος της λειτουργίας της στο οποίο εκλύεται θερμότητα προς το περιβάλλον, η αυτοθερμική αναμόρφωση εκμεταλλεύεται ένα το ποσό αυτό της θερμότητας προκειμένου να τροφοδοτήσει το άλλο λειτουργικό της μέρος το οποίο απορροφάει θερμότητα από το περιβάλλον. Η αυτόθερμη αναμόρφωση χαρακτηρίζεται από

γρήγορη και εύκολη εκκίνησή της, γεγονός που την καθιστά απλή κατά την διεκπεραίωσή της.

Οι δύο διαδοχικές αντιδράσεις που την περιγράφουν είναι οι παρακάτω:



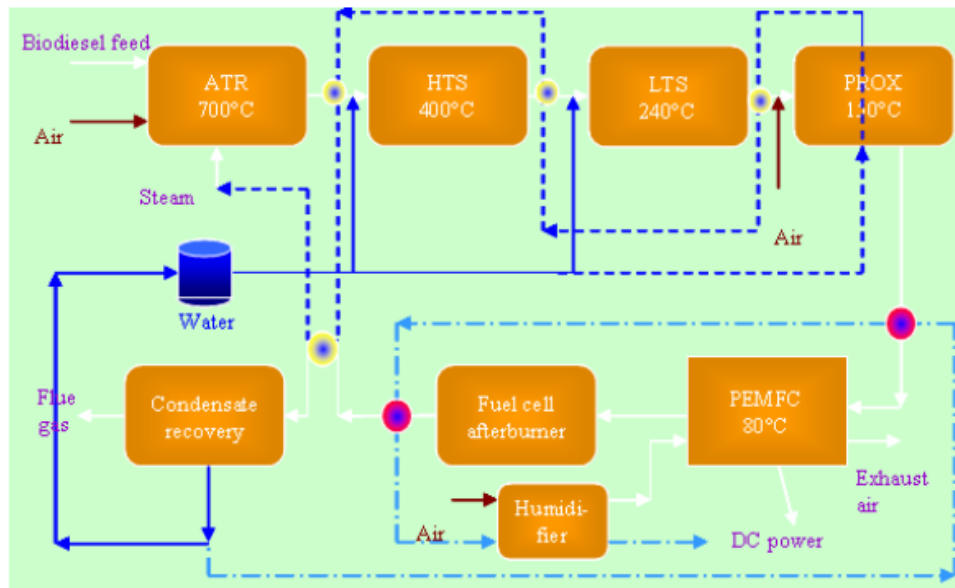
με $\Delta Q > 0$ (έκλυση θερμότητας – οξείδωση καυσίμου) και



με $\Delta Q < 0$ (απορρόφηση θερμότητας – αναγωγή καυσίμου).

Η βασική πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται στην αυτόθερμη αναμόρφωση για την παραγωγή υδρογόνου, όπως προκύπτει και από τις παραπάνω αντιδράσεις (1.35) και (1.36), είναι οι υδρογονάνθρακες. Για τον λόγο αυτό, κατά την εφαρμογή της συμφέρει να χρησιμοποιούνται τα διάφορα υδρογονούχα καύσιμα τα οποία τους περιέχουν αυτούς σε μεγάλες ποσότητες. Τέτοια υδρογονούχα καύσιμα είναι για παράδειγμα το φυσικό αέριο (CH_4), το πετρέλαιο και τα παράγωγά του, το βιοαέριο κ.τ.λ.

Ένα σημαντικό θετικό στοιχείο που παρουσιάζει η αυτόθερμη αναμόρφωση σαν τεχνική παραγωγής του υδρογόνου είναι, ότι οι ποσότητες του CO που προκύπτουν από αυτή (βλ. αντιδράσεις (1.35) και (1.36)), είναι πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες ποσότητες του CO που προκύπτουν κατά την ενδόθερμη αναμόρφωση ατμού ή κατά την εξώθερμη μερική οξείδωση. Για τον λόγο αυτό, η αυτόθερμη αναμόρφωση εφαρμόζεται πολύ αποδοτικά, όταν θέλουμε να παράγουμε υδρογόνο προοριζόμενο για την μετέπειτα χρήση του σε κυψέλες καυσίμου χαμηλών θερμοκρασιών (οι οποίες, ως γνωστόν, είναι ιδιαίτερα ευάλωτες σ' αυτό) [24].



Σχήμα 2.14: Αυτόθερμη αναμόρφωση [3].

2.5. Ηλεκτρικές και Θερμικές Ενεργειακές Ανάγκες των κτηρίων στην Ελλάδα

2.5.1. Γενικά Στοιχεία

Ο τομέας των κτιρίων αποτελεί ίσως τον σημαντικότερο οικονομικό χώρο της Ευρώπης, παρουσιάζοντας ετήσιο κύκλο εργασιών που ξεπερνά τα 400 δις Ευρώ. Ταυτόχρονα, σε ημερήσια βάση, η παγκόσμια πρωτογενής ενεργειακή κατανάλωση που σχετίζεται με τα κτίρια ξεπερνάει τα 17 εκατομμύρια βαρέλια πετρελαίου, ποσότητα περίπου ίση με την συνολική παραγωγή των χωρών του ΟΠΕΚ.

Στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ο τομέας των κτιρίων απορροφά, κατά μέση τιμή, το 40% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης. Η ανά χώρα κύμανση ποικίλει από 20% για την Πορτογαλία, έως και 45% για την Ιρλανδία, ενώ στην Ελλάδα κυμαίνεται περίπου στο 30%.

Δεδομένου ότι ο κάτοικος των αστικών κυρίως κέντρων βιώνει το 80% της ζωής του στο εσωτερικό των κτιρίων, είναι προφανής η επίδραση της ποιότητας του εσωτερικού κλίματος τόσο στην υγεία και την άνεση όσο και την παραγωγικότητά του. Η κατά τα τελευταία χρόνια δραματική υποβάθμιση του ατμοσφαιρικού προβλήματος καθώς και χρήση υλικών και συσκευών μη φιλικών προς το

περιβάλλον έχουν συντελέσει στην εμφάνιση σημαντικών, ποιοτικά και ποσοτικά, περιβαλλοντικών και ενεργειακών προβλημάτων στα κτίρια.

Ειδικότερα, η αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος στα μεγάλα αστικά κέντρα έχει συντελέσει στην δραματική αύξηση της απαιτούμενης ενέργειας για τον δροσισμό των κτιρίων κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η απαιτούμενη ενέργεια για τον δροσισμό ενός κτιρίου στο κέντρο της Αθήνας είναι σχεδόν διπλάσια από την απαιτούμενη στην περιφέρεια της πόλης.

Παράλληλα η αύξηση των επιπέδων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και οι υψηλές εκπομπές μέρους των σύγχρονων δομικών υλικών συντελούν στην αύξηση της συγκέντρωσης ρυπαντών στο εσωτερικό των κτιρίων, με ιδιαίτερα σημαντικές συνέπειες τόσο στην υγεία όσο και την παραγωγικότητα των ενοίκων. Μετρήσεις σε κτίρια γραφείων και νοσοκομεία στην ευρύτερη περιοχή Αθηνών έδειξαν ιδιαίτερα αυξημένες συγκεντρώσεις ρύπων στο εσωτερικό των κτιρίων καθώς και αυξημένα ποσοστά παθολογίας των ενοίκων.

Τα παραπάνω καθορίζουν το πλαίσιο εξέτασης και ανάλυσης του όλου ενεργειακού και περιβαλλοντικού προβλήματος των κτιρίων. Η ενεργειακή συμπεριφορά των κτιρίων δεν θα πρέπει να αποσυνδέεται από τα προβλήματα περιβάλλοντος και θα πρέπει να μελετάται σαν μια ενότητα μαζί με το συγκεκριμένο εξωτερικό μικροκλίμα στον χώρο του κτιρίου, καθώς και το διαμορφούμενο εσωτερικό περιβάλλον. [28]

2.5.2 Ενεργειακή κατανάλωση

Τα κτίρια καταναλώνουν ενέργεια για την επίτευξη θερμικής και οπτικής άνεσης εντός των χώρων, καθώς και για την χρήση ειδικών συσκευών.

Η τελική ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι της τάξης των 350 Mtoe ανά έτος, χωρίς να υπολογίζεται η συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το μεγαλύτερο μέρος της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων καλύπτεται από το φυσικό αέριο, 116 Mtoe, το πετρέλαιο 99 Mtoe, τον ηλεκτρισμό 91 Mtoe, και τα στερεά καύσιμα με 11 Mtoe.

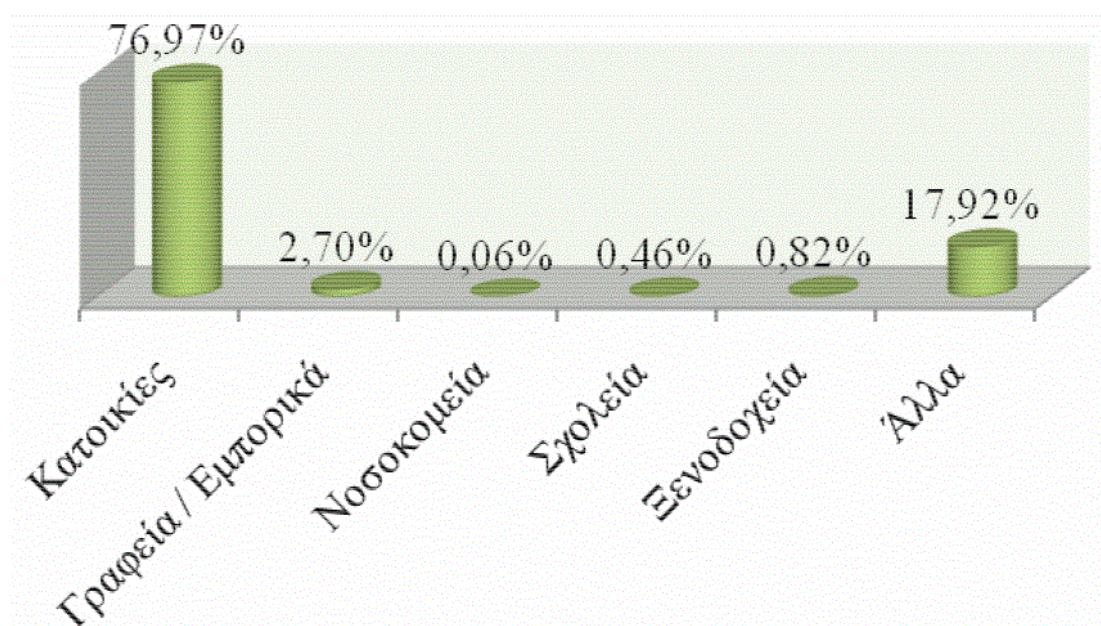
Οι πραγματικές ενεργειακές ανάγκες των κτιρίων στην Ευρώπη καλύπτονται σε μεγάλο ποσοστό και την έμμεση χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας και των άλλων ατμοσφαιρικών πηγών. Στην περίπτωση αυτή το σύνολο της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων υπολογίζεται σε 740 Mtoe πρωτογενούς ενέργειας. Η κατανομή των διαφόρων πλέον καυσίμων είναι 43% διάφορα καύσιμα για την

παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, 20% από άμεση χρήση πετρελαίου, 18% από άμεση χρήση φυσικού αερίου, 6% από άλλα στερεά καύσιμα και κατά 15% από ηλιακή ενέργεια.

Με βάση τα παραπάνω προκύπτει ότι αντιστοιχεί περίπου ένας τόνος ισοδύναμου πετρελαίου ανά έτος και ανά κάτοικο για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων στην Ευρώπη. Η διαχρονική μεταβολή κατά τα τελευταία χρόνια είναι ελαφρά αυξητική και η ετήσια αύξηση του ρυθμού κατανάλωσης στα κτίρια είναι ίση με 0.7%.

Η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων στην Ελλάδα, είναι της τάξης των 4.6 Mtoe, και αντιστοιχούν 0.55 Mtoe ενέργειας ανά κάτοικο το έτος, δηλαδή περίπου το μισό της αντίστοιχης κατανάλωσης στην υπόλοιπη Ευρώπη. Η διαχρονική μεταβολή της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων στην Ελλάδα είναι καθαρά αυξητική και ο ετήσιος ρυθμός αύξησης της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων είναι περίπου 1,8%[28].

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται ο αριθμός των κτιρίων ανάλογα με τη χρήση τους, σύμφωνα με στοιχεία της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας. Το μεγαλύτερο ποσοστό αποτελούν οι κατοικίες, εκεί δηλαδή όπου οι άνθρωποι περνούν και τον περισσότερο χρόνο τους. Οι κατοικίες αποτελούν συνεπώς, τη σημαντικότερη ενεργειακή κατανάλωση στον κτιριακό τομέα και ακολουθούν τα γραφεία. [29]



Σχήμα 2.15.: γραφική απεικόνιση των ποσοστών των κτηρίων ανάλογα με τη χρήση τους [30]

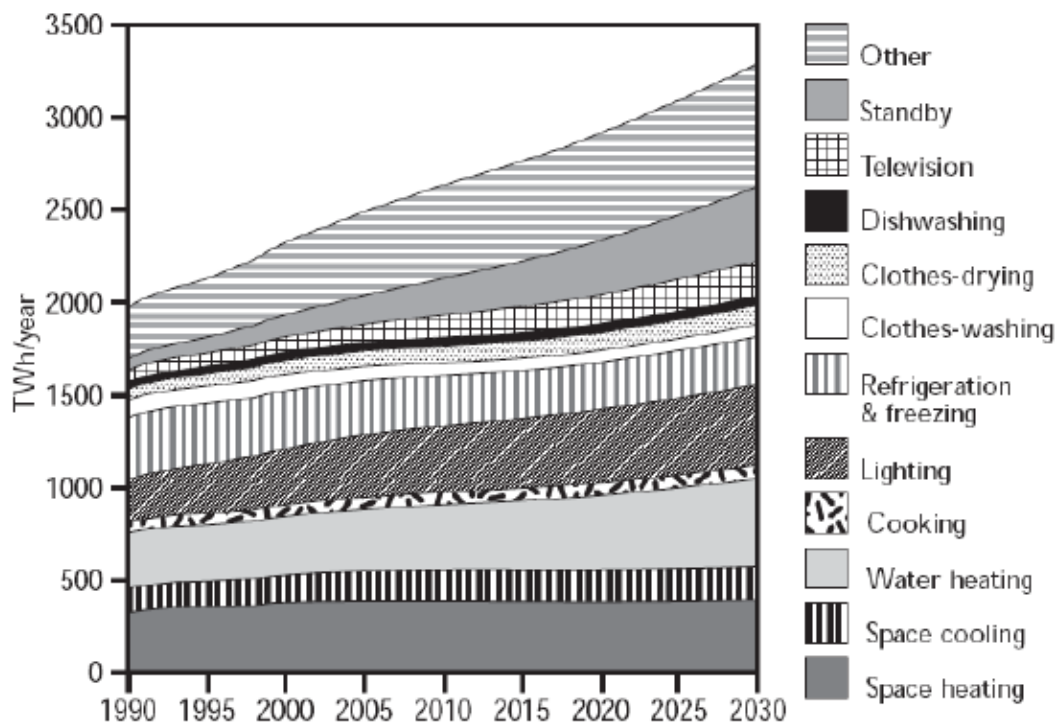
Πολύ σημαντικό είναι επίσης το πώς διαμορφώνεται ειδική ενεργειακή κατανάλωση των διαφόρων τύπων κτιρίων στην Ελλάδα, όπως μετρήθηκε στα πλαίσια πρόσφατου ερευνητικού προγράμματος. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής επέτρεψαν την γνώση της τελικής κατανάλωσης ανά χρήση [28].

Πίνακας 2.6.: Μέση ενεργειακή κατανάλωση διαφόρων τύπων κτιρίων ανά είδος χρήσης. Όλες οι τιμές είναι σε kWh ανά τετραγωνικό μέτρο το χρόνο [28].

Τύπος Κτιρίου	Δροσισμός	Θέρμανση	Φωτισμός	Συσκευές	Σύνολο
Γραφεία	24	95	20	48	187
Εμπορικά	18	74	19	41	152
Σχολεία	2	66	16	8	92
Νοσοκομεία	3	299	52	53	407
Ξενοδοχεία	11	198	24	40	273

Όπως παρατηρείται η θέρμανση των χώρων αποτελεί την σημαντικότερη ειδική ενεργειακή κατανάλωση για όλα τα κτίρια στην χώρα. Το γεγονός αυτό οφείλεται σε μια σειρά από παραμέτρους που σχετίζονται με το πλήθος των εγκαταστημένων συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού το είδος της προστασίας των κτιρίων κατά την διάρκεια του χειμώνα και του θέρους, καθώς και στο γεγονός ότι για τον δροσισμό των χώρων χρησιμοποιείται ηλεκτρική ενέργεια και συσκευές με συντελεστή απόδοσης κατά πολύ μεγαλύτερο της μονάδας[28].

Παρά τη συνεχή βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των οικιακών συσκευών και του φωτισμού, η ηλεκτρική κατανάλωση αυξάνει κατά 2% το έτος, τα τελευταία 10 χρόνια. Αυτή η αύξηση σχετίζεται με τα υψηλότερα επίπεδα άνεσης, και την εισαγωγή νέου τύπου φορτίων (ηλεκτρονικές συσκευές) που αυξάνει συνεχώς [25].

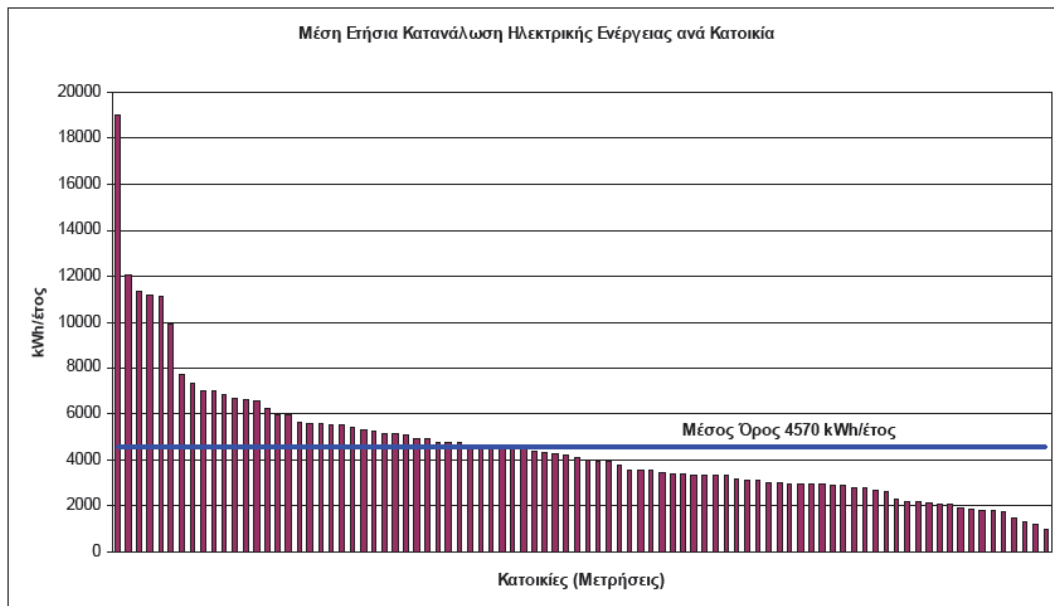


Σχήμα 2.16.: Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από τα «νοικοκυριά» ανα τελική χρήση [25].

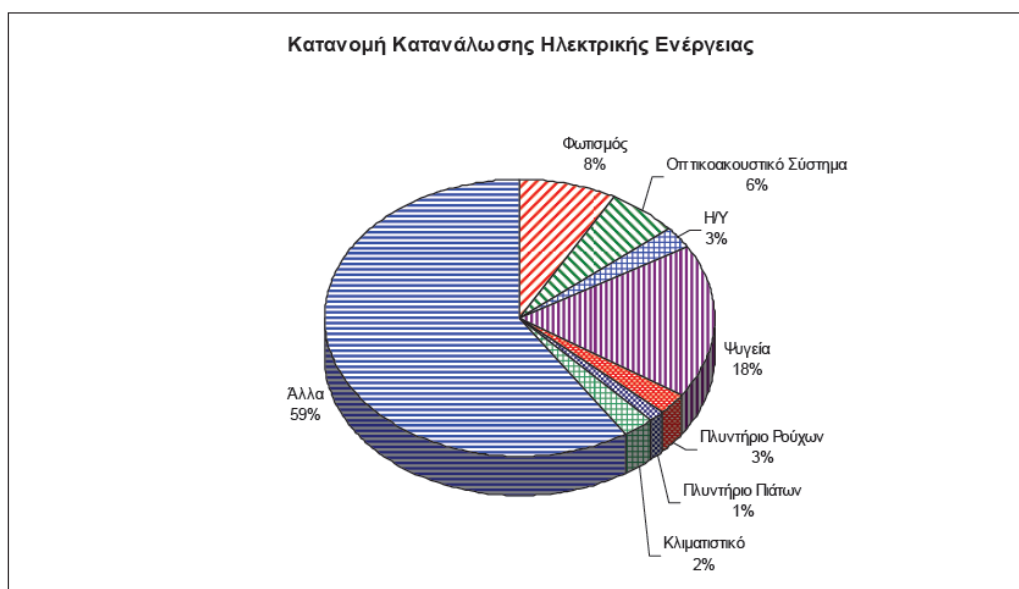
Συγκεκριμένα, η κατανάλωση ενέργειας στον οικιακό τομέα αφορά το 23,5% περίπου της συνολικής τελικής κατανάλωσης ενέργειας της χώρας. Σε απόλυτες τιμές, σύμφωνα με στοιχεία της ΔΕΗ, η κατανάλωση αυτή είναι 12786 GWh ετησίως σε 3.600.000 κατοικίες περίπου. Η κατανάλωση ενέργειας στις κατοικίες προορίζεται τόσο για την κάλυψη των θερμικών (θέρμανση χώρων και ζεστό νερό χρήσης) όσο και των ηλεκτρικών φορτίων (μαγείρεμα, φωτισμός, οικιακές συσκευές, ψύξη, κλπ). Τα ηλεκτρικά φορτία δε αντιστοιχούν στο 35% περίπου της συνολικά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τη Δ.Ε.Η [25].

2.5.2.1 Έρευνα ΚΑΠΕ σε Ελληνικά «Νοικοκυριά».

Σύμφωνα με το έργο « Residential Monitoring to Decrease Energy Use and Carbon Emissions in Europe (REDOMESE)» (ερωτηματολόγια), του οποίου ο κύριος σκοπός είναι να συνεισφέρει στην καλύτερη κατανόηση της ηλεκτρικής κατανάλωσης του οικιακού τομέα των Ευρωπαϊκών χωρών για τους διάφορους τύπους των συσκευών, και να εξετάσει θέματα συμπεριφοράς καταναλωτών και επιπέδων άνεσης [21].



Σχήμα 2.17.: Μέση ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά κατοικία [21].



Σχήμα 2.18.: Κατανομή κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας [21]

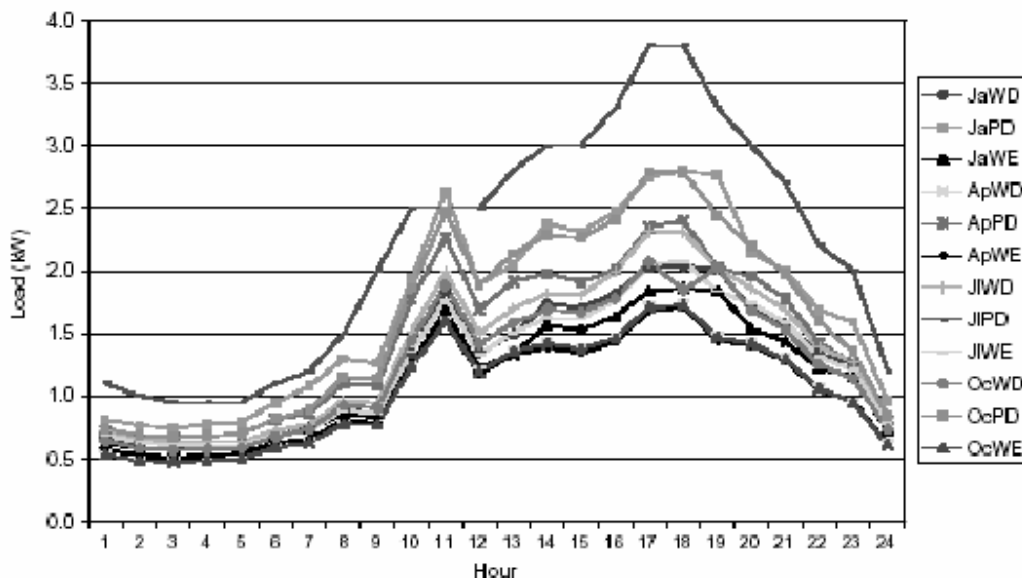
Το ερωτηματολόγιο που τέθηκε κάλυπτε τις παρακάτω ενότητες:

- Γενικά στοιχεία
- Ψυγεία/Καταψύκτες
- Συσκευές πλυσίματος
- Συσκευές μαγειρέματος
- Συσκευές γραφείου
- Οικιακή διασκέδαση
- Κλιματισμός/Ψυκτική άνεση

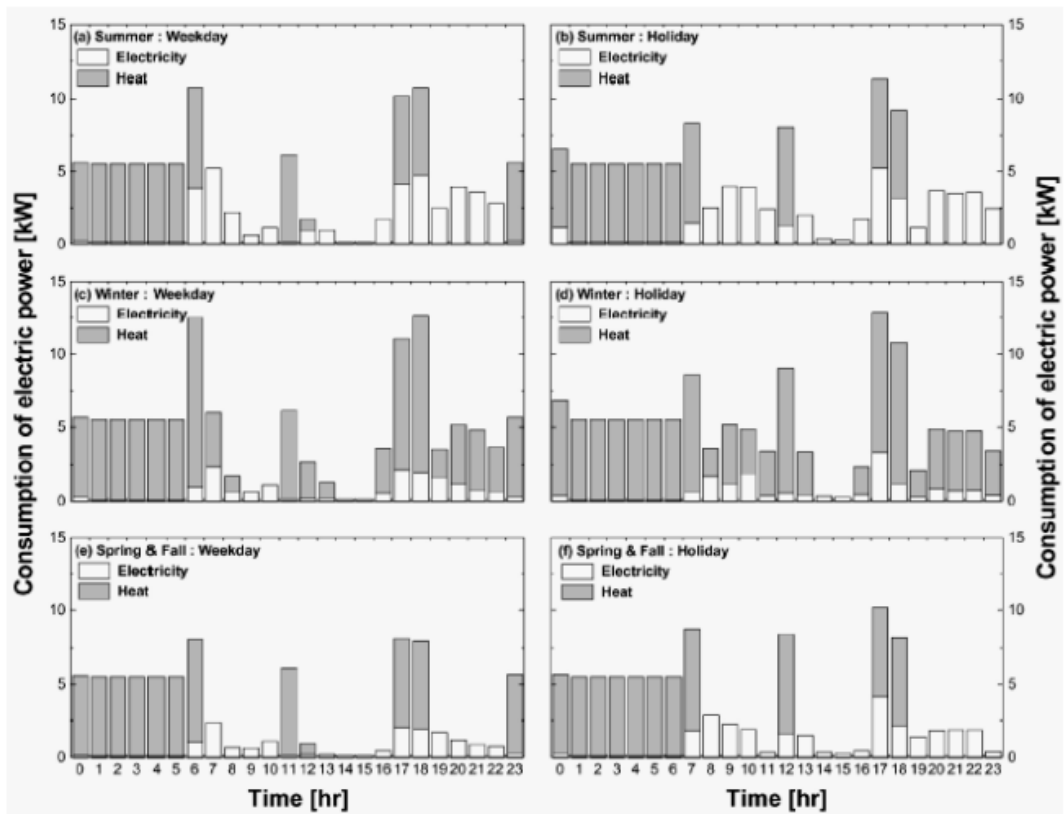
- Φωτισμός
- Γενικά σημεία.

Τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι ότι η μέση κατανάλωση ανα κατοικία είναι 4016 KWh το χρόνο (0.45 KW περίπου), το οποίο αντιστοιχεί σε 505 €. Ενώ έχουμε και ότι η μέση κατανάλωση ανα κάτοικο είναι 1165 KWh το χρόνο, το οποίο αντιστοιχεί σε 215 € [21].

Από παρόμοιες έρευνες βέβαια που έγιναν στο εξωτερικό παρατηρούμε ότι δεν έχουμε και τεράστιες διαφορές. Για παράδειγμα η μέση καταναλισκόμενη ηλεκτρική ισχύς σε μία κατοικία στην Καλιφόρνια των Η.Π.Α. είναι 0.5 KW ενώ 1 KW στην Οσάκα της Ιαπωνίας [23].



Σχήμα 2.19.: Το προφίλ του καταναλισκόμενου φορτίου για μία μεγάλη οικιστική περιοχή στην Καλιφόρνια των Η.Π.Α. Όπου σαν «Ja» δηλώνει των Ιανουάριο, σαν «Ap» τον Απρίλιο, «JI» τον Ιούλιο, και «Oc» τον Οκτώβριο. Σαν «WD» δηλώνει τις καθημερινές ενώ σαν «WE» το Σαββατοκύριακο. Τέλος το «PD» δηλώνει το μέγιστο φορτίο ημέρας [23].



Σχήμα 2.20.: Το προφίλ της κατανάλωσης ηλεκτρισμού για ένα τυπικό σπίτι Οσάκα της Ιαπωνίας [23].

2.6. Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ)

2.6.1. Γενικά

Ο συμβατικός τρόπος κάλυψης των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων ενός καταναλωτή ή μιας ομάδας καταναλωτών είναι η αγορά ηλεκτρισμού από το εθνικό δίκτυο και η καύση κάποιου καυσίμου σε λέβητα, για την παραγωγή θερμότητας, ΖΝΧ ή/και ατμού. Όμως, η μέση απόδοση των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα είναι περίπου 35%, που σημαίνει ότι περίπου τα 2/3 της ενέργειας του καυσίμου χάνεται ως θερμότητα στο περιβάλλον. Αυτό, σε συνδυασμό με την καύση πρωτογενούς καυσίμου (πετρέλαιο, αέριο, κα) για την παραγωγή θερμικής ενέργειας με αποδόσεις από 70 - 90%, δημιουργούν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα. Η συνολική κατανάλωση καυσίμων μειώνεται σημαντικά εάν εφαρμοσθεί η Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας-ΣΗΘ (στα Αγγλικά: Cogeneration (Combined Heat and Power, CHP)).

Η παραγόμενη θερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για τη θέρμανση του κτηρίου, την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης - ΖΝΧ όσο και για ψύξη, που επιτυγχάνονται με μηχανές απορρόφησης, που λειτουργούν με ατμό ή θερμό νερό. Η τεχνολογία αυτή καλείται Τρι-παραγωγή ή Trigeneration (Combined Cool, Heat and Power, CCHP). Σύμφωνα με την Κοινοτική Οδηγία 2004/8/ΕΚ, αλλά και τον Ν. 3734/09, η Σ.Η.Θ. ορίζεται ως:

«η ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής (ή/και μηχανικής) και χρήσιμης θερμικής/ψυκτικής ενέργειας από την ίδια αρχική ενέργεια, στο πλαίσιο μόνο μίας διεργασίας».

Μια τυπική σύγκριση, ως προς τον βαθμό απόδοσης της ΣΗΘ με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας παρουσιάζει το σχήμα 1.1. (α), (β), (γ).

Η ΣΗΘ έχει συνολική απόδοση έως 90%. Αυτό κυμαίνεται περίπου στο 30-40% περισσότερο από την ξεχωριστή παραγωγή των συμβατικών καυσίμων και έτσι προκύπτει μείωση της τάξης του 30-40% στην κατανάλωση πρωτογενών καυσίμων και στις εκπομπές CO₂. Η υψηλή αυτή αποδοτικότητα παρέχει μια οικονομικά ελκυστική τεχνολογία για τους ενεργειακούς καταναλωτές, με ταυτόχρονη ζήτηση τόσο για θερμότητα όσο και για ηλεκτρική ενέργεια.

2.6.2. Εγκαταστάσεις Σ.Η.Θ. στην Ελλάδα από το 1970 έως το 2010

Η ΣΗΘ πρωτοεμφανίστηκε στην Ευρώπη και στις Η.Π.Α. στα τέλη του 19^{ου} αιώνα. Κατά τις πρώτες δεκαετίες του 20^{ου} αιώνα, οι περισσότερες βιομηχανίες στις ΗΠΑ και την Ευρώπη είχαν δικές τους μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με ατμολέβητα-στρόβιλο και άνθρακα, ως καύσιμο, όπου πολλές από τις μονάδες αυτές ήταν συμπαραγωγικές. Στην Ευρώπη, μεγάλη ανάπτυξη της ΣΗΘ αναφέρεται στη Δανία, τη Φιλανδία, την Ολλανδία, που παρουσιάζουν υψηλή ποσοστιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΣΗΘ. Στις χώρες αυτές, εκτός των μονάδων ΣΗΘ σε μεγάλες βιομηχανίες και σε μεγάλους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την τηλεθέρμανση πόλεων, υπάρχουν σημαντικές εγκαταστάσεις ΣΗΘ στον τριτογενή (νοσοκομεία, ξενοδοχεία, αθλητικά κέντρα, κα), αλλά και στον οικιακό τομέα. Η ΣΗΘ στην Ελλάδα ξεκινά στις αρχές του 20^{ου} αιώνα (κεραμοποιεία Τσαλαπάτα, Βόλος, που λειτούργησε μέχρι και τα τέλη της δεκαετίας του 1970). Οι πρώτες σύγχρονες μονάδες ΣΗΘ εγκαταστάθηκαν σε μεγάλες ελληνικές βιομηχανίες στις αρχές της δεκαετίας του '70. Επίσης, ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες της ΔΕΗ

τροποποιήθηκαν κατάλληλα, ώστε να καλύψουν τις θερμικές ανάγκες αστικών περιοχών με δίκτυα τηλεθέρμανσης, όπως αυτά της Κοζάνης, της Πτολεμαΐδας, του Αμυνταίου και, τη δεκαετία του '90, αυτό της Μεγαλόπολης. Οι πρώτες Ελληνικές βιομηχανίες που εγκατέστησαν μονάδες ΣΗΘ ήταν η βιομηχανία ζάχαρης, χαρτοποιίας, χαλυβουργίας, καθώς και βιομηχανίες στον τομέα του πετρελαίου.

Την περίοδο 1970-1999 άλλαξε ουσιαστικά η κατάσταση των μονάδων ΣΗΘ στις ελληνικές βιομηχανίες με ποιοτική αλλά και ποσοτική βελτίωση τους. Από τα μέσα της δεκαετίας του 1990, με την άφιξη του φυσικού αερίου (ΦΑ) στην Ελλάδα, αναδείχθηκαν οι δυνατότητες που προσφέρει η ΣΗΘ με χρήση ΦΑ. Σήμερα, λειτουργούν μονάδες ΣΗΘ στη βιομηχανία, στον τριτογενή τομέα (κύρια σε ιδιωτικά νοσοκομεία, κλινικές και ξενοδοχεία κ.ά.) καθώς και σε πολυκατοικίες αλλά και σε μονοκατοικίες.

2.6.3. Πλεονεκτήματα Σ.Η.Θ.

Η Σ.Η.Θ. βελτιώνει την παροχή ενέργειας προς όλους τους καταναλωτές, ενώ ταυτόχρονα ωφελεί την Εθνική Οικονομία, αφού έχει:

- Αυξημένη απόδοση μετατροπής και χρήσης της Ενέργειας. Η ΣΗΘ είναι η πλέον αποτελεσματική και αποδοτική μορφή ηλεκτροπαραγωγής με την ταυτόχρονη παραγωγή θερμικής ενέργειας.
- Μικρότερες εκπομπές προς το περιβάλλον, ιδιαίτερα του CO₂, του σημαντικότερου αερίου στο οποίο οφείλεται η κλιματική αλλαγή.
- Σημαντική εξοικονόμηση οικονομικών πόρων, παρέχοντας πρόσθετη ανταγωνιστικότητα στη βιομηχανία και στις εμπορικές επιχειρήσεις, καθώς η ηλεκτρική ενέργεια και η θερμότητα παρέχονται σε προσιτές τιμές.
- Σημαντική ευκαιρία ώστε να προωθηθούν αποκεντρωμένες λύσεις ηλεκτροπαραγωγής, όπου οι σταθμοί ΣΗΘ σχεδιάζονται να ανταποκρίνονται στις ανάγκες των τοπικών καταναλωτών, παρέχοντας υψηλή απόδοση, αποφεύγοντας απώλειες μεταφοράς και αυξάνοντας την ευελιξία στη χρήση του συστήματος. Το πλεονέκτημα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, όταν το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται ως κύριο καύσιμο.
- Βελτιωμένη ασφάλεια παροχής, που μειώνει τις πιθανότητες οι καταναλωτές να μείνουν χωρίς ηλεκτρική ή/ και θερμική ενέργεια.
- Μειωμένη ανάγκη καυσίμων, σε σχέση με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, μειώνοντας την εξάρτηση από εισαγωγές.

- Αυξημένη απασχόληση, αφού η ανάπτυξη των συστημάτων ΣΗΘ δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας

2.7 Συστήματα (Σ.Η.Θ.)

2.7.1. Γενικά

Στα κτήρια χρησιμοποιούνται διάφορες μηχανές, ανάλογα με την κατηγορία του κτηρίου και τα διαθέσιμα καύσιμα για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Για να χαρακτηριστεί μια επένδυση βιώσιμη, λαμβάνονται υπόψη ως βασικά στοιχεία για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος θέρμανσης/ψύξης/ΗΕ προς εγκατάσταση, οι απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη, το κόστος αγοράς, εγκατάστασης και συντήρησης του συστήματος, καθώς και οι ώρες λειτουργίας του.

Οι συνηθέστερες μονάδες ΣΗΘ για κτήρια, είναι οι ακόλουθες:

- Μηχανή Otto (Αεριομηχανές)
- Μηχανή Diesel (Πετρελαιομηχανές)
- Αεριοστρόβιλος με λέβητα ανάκτησης θερμότητας
- Μικροστρόβιλος (microturbine)
- Μηχανή Stirling
- Κυψέλη καυσίμου
- Ατμοστρόβιλος απομάστευσης, σε ιδιαίτερες περιπτώσεις στον κτηριακό τομέα.

2.7.2. Κυψέλη Καυσίμου

Το σύστημα ΣΗΘ με κυψέλη καυσίμου λειτουργεί με τη χρήση υδρογόνου και οξυγόνου, τα οποία αντιδρούν μεταξύ τους, παρουσία ηλεκτρολύτη και παράγουν νερό, ενώ παράλληλα αναπτύσσεται ηλεκτρική τάση, η οποία προκαλεί ροή ηλεκτρονίων (ηλεκτρικό ρεύμα) στο εξωτερικό κύκλωμα (φορτίο). Δεδομένου ότι η αντίδραση είναι εξώθερμη, παράγεται θερμότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ωφέλιμα. Το επιθυμητό καύσιμο είναι καθαρό υδρογόνο που μπορεί όμως να παραχθεί και από κάποιο άλλο καύσιμο, φορέα υδρογόνου, μετά από κατάλληλη επεξεργασία, όπως η αμμωνία, το φυσικό αέριο, παράγωγα του πετρελαίου, το υγρό

προπάνιο και η βιομάζα. Καθαρό υδρογόνο μπορεί επίσης να παραχθεί με την ηλεκτρόλυση νερού, όταν αυτή επιτυγχάνεται με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως ηλιακή, αιολική και γεωθερμία. Σήμερα, το καταλληλότερο καύσιμο για τις κυψέλες καυσίμου είναι το φυσικό αέριο.

Τα πλεονεκτήματα των κυψελών καυσίμου είναι:

1. Αρθρωτή (modular) δομή για την επίτευξη μονάδων με επιθυμητή ισχύ.
2. Υψηλός βαθμός απόδοσης
3. Ευκολία αυτοματισμού
4. Χαμηλές εκπομπές ρύπων
5. Χαμηλή στάθμη θορύβου

Τα μειονεκτήματα είναι το υψηλό κόστος κατασκευής και η σχετικά μικρή διάρκεια ζωής. Οι κυψέλες καυσίμου κατασκευάζονται από 3 kWε και άνω και παρουσιάζουν:

1. Ηλεκτρικό βαθμό απόδοσης 20÷30%, θερμικό βαθμό απόδοσης 25÷35% και ολικό βαθμό απόδοσης συστήματος 45÷60%,
2. Ο λόγος C είναι 0,70÷1,0 και
3. Ο μέσος χρόνος ζωής είναι περίπου πέντε έτη.
4. Είναι φανερό ότι όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία λειτουργίας τόσο μεγαλύτερο είναι και το ωφέλιμο θερμικό φορτίο το οποίο μπορεί να ανακτηθεί από τον εναλλάκτη.
5. Κυψέλες καυσίμου χαμηλής θερμοκρασίας (<80oC) δεν ενδείκνυνται για Σ.Η.Θ..

2.7.3. Σύγκριση Συστημάτων ΣΗΘ

Στους πίνακες 2.07 και 2.08 παρατίθενται συγκριτικά στοιχεία για τα συστήματα Σ.Η.Θ. Στον πίνακα 2.07 παρουσιάζονται τα προτεινόμενα συστήματα Σ.Η.Θ. για ενδεικτικά είδη κτηρίων

Πίνακας 2.7: Συγκριτικός Πίνακας Συστημάτων Σ.Η.Θ. για κτήρια [31 όπου (*) είναι οι μεγάλης ισχύος μηχανές μπορούν να δώσουν και Α.Μ.Π., (**)οι αποδόσεις σήμερα των κυψελών καυσίμου φτάνουν έως 80%, Θ.Ν. το Θερμό Νερό, Α.Χ.Π. ο Ατμός Χαμηλής Πίεσης και Α.Μ.Π. = Ατμός Μέσης Πίεσης.

A/A	Βασικό Σύστημα ΣΗΘ	Ελάχιστη Ονομαστική Ηλεκτρική Ισχύς (kW)	Μέγιστη Ονομαστική Ηλεκτρική Ισχύς (kW)	Ηλεκτρικός Βαθμός Απόδοσης %	Θερμικός Βαθμός Απόδοσης %	Ολικός Βαθμός Απόδοσης %	Λόγος ηλεκτρικής/θερμική ενέργεια (C)	Ποιότητα Θερμότητας	Θερμοκρασία Εξόδου Καυσαερίων (°C)
1	Μηχανή ΟΤΤΟ	15	1300	32 +35	50 + 60	80 + 85	0,5 + 0,8	Θ.Ν Α.Χ.Π	400 + 450
2	Μηχανή DIESEL	100	20000	35 + 45	40 + 45	70 + 80	0,7 + 0,9	Θ.Ν Α.Χ.Π (*)	320 + 450
3	Αεριοστρόβιλος με λέβητα ανάκτησης θερμότητας	100	30000	25 + 35	40 + 50	70 + 80	0,25 + 0,8	Α.Χ.Π (*)	400 + 600
4	Μικροστρόβιλος	25	200	25 + 35	40 + 50	70 + 80	0,6 + 0,8	Θ.Ν Α.Χ.Π	200 + 300
5	Μηχανή STIRLING	3	100	35 + 45	50 + 60	80 + 85	0,5 + 0,8	Θ.Ν	400 + 500
6	Κυψέλη καυσίμου	3	συνήθως 30 αλλά και έως 120	20 + 30	25 + 35	45 + 60(**)	0,7 + 1	Θ.Ν	140 + 200
7	Ατμοστρόβιλος απομάκρυνσης	500	100000	25 + 30	40 + 60	60 + 80	0,1 + 0,3	Α.Χ.Π Α.Μ.Π	180 + 200

Πίνακας 2.8: Προτεινόμενα Συστήματα Σ.Η.Θ. για διάφορα είδη κτηρίων [31].

A/A	Είδος κτηρίου	Περιοχή ισχύος kW _e	Προτεινόμενη Μονάδα Συμπαράγωγής
1	Μονοκατοικίες	5 ÷ 50	Μηχανή ΟΤΤΟ, Μηχανή STIRLING Κυψέλη καυσίμου, Μικροστρόβιλος
2	Πολυκατοικίες	50 ÷ 250	Μηχανή ΟΤΤΟ, Μηχανή DIESEL Κυψέλη καυσίμου, Μικροστρόβιλος
3	Νοσοκομεία	500 ÷ 2000	Μηχανή ΟΤΤΟ, Μηχανή DIESEL, Αεριοστρόβιλος, Ατμοστρόβιλος (για μεγάλη ισχύ)
4	Ξενοδοχεία	200 ÷ 2000	Μηχανή ΟΤΤΟ, Μηχανή DIESEL, Αεριοστρόβιλος, Ατμοστρόβιλος (για μεγάλη ισχύ)
5	Κτήρια γραφείων	200 ÷ 500	Μηχανή ΟΤΤΟ, Μηχανή DIESEL
6	Αθλητικοί χώροι - πισίνες	100 ÷ 300	Μηχανή ΟΤΤΟ, Μηχανή DIESEL, Αεριοστρόβιλος
7	Εμπορικά κέντρα	200 ÷ 1000	Μηχανή ΟΤΤΟ, Μηχανή DIESEL Αεριοστρόβιλος
8	Εκπαιδευτήρια	200 ÷ 500	Μηχανή ΟΤΤΟ, Μηχανή DIESEL Αεριοστρόβιλος

2.8 Τροφοδότηση μονάδων Σ.Η.Θ. με αέρια καύσιμα

2.8.1 Εναλλακτικά καύσιμα

Τα εναλλακτικά καύσιμα σταθμών Σ.Η.Θ. είναι τα κάτωθι:

- φυσικό αέριο (Φ.Α.)
- υγραέριο
- βιοαέριο
- μίγμα φυσικού αερίου και βιοαερίου
- πετρέλαιο {μαζούτ / ελαφρύ (Diesel)}

Η εμπορική εφαρμογή της πολύ μικρής- και της μικρής- ΣΗΘ γίνεται ως επί το πλείστον με καύσιμο φυσικό αέριο ή υγραέριο

2.8.2 ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ Σ.Η.Θ. ΜΕ ΦΥΣΙΚΟ ΑΕΡΙΟ

Με βάση την εγκατεστημένη ισχύ των μονάδων Σ.Η.Θ., η σύνδεσή τους με το δίκτυο διανομής Φ.Α. μπορεί να γίνει είτε στο δίκτυο μέσης πίεσης (ονομαστική πίεση 19 bar με συνήθη πίεση τροφοδοσίας 1 ή 2 bar), είτε στο δίκτυο χαμηλής πίεσης (ονομαστική πίεση 4 bar ή 25 mbar) με συνήθη πίεση τροφοδοσίας 25 ή 300 mbar και 25 mbar αντίστοιχα. Στον πίνακα 2.09 συνοψίζονται οι δυνατότητες σύνδεσης.

Πίνακας 2.9: Πίεσεις Τροφοδοσίας μονάδων Σ.Η.Θ.

Δίκτυο Διανομής	Πίεση Παροχής	Τύπος Σταθμού Ρύθμισης και Μέτρησης Φ.Α.	Πίεση τροφοδοσίας εσωτερικής εγκατάστασης
Μέσης Πίεσης	19 bar	MR-IND	1 bar ή 2 bar
Χαμηλής Πίεσης	4 bar	MRS	300 mbar
Χαμηλής Πίεσης	4 bar	Μετρητής	25 mbar
Χαμηλής Πίεσης	25 mbar	Μετρητής	25 mbar

Για την τροφοδότηση της μονάδας Σ.Η.Θ. από το δίκτυο της μέσης πίεσης 19 bar απαιτείται η εγκατάσταση από το Διαχειριστή του Δικτύου Διανομής Φυσικού Αερίου ενός ρυθμιστικού σταθμού υποβιβασμού της πίεσης των 19 bar στην πίεση του εσωτερικού δικτύου του καταναλωτή (συνήθως 1 ή 2 bar). Σε ορισμένες περιπτώσεις, ανάλογα με το μήκος του εσωτερικού δικτύου και την πίεση λειτουργίας της μονάδας

Σ.Η.Θ., ενδέχεται να απαιτηθεί η εγκατάσταση και δεύτερης ρυθμιστικής διάταξης υποβιβασμού της πίεσης στο εσωτερικό δίκτυο.

Για την τροφοδότηση μονάδας Σ.Η.Θ. από το δίκτυο Χαμηλής πίεσης των 4 bar (σύνηθες αστικό δίκτυο), απαιτείται η εγκατάσταση ρυθμιστικού σταθμού υποβιβασμού της πίεσης από την πίεση του δικτύου Χαμηλής πίεσης στην πίεση τροφοδοσίας του εσωτερικού δικτύου, πριν το σταθμό Σ.Η.Θ..

Για την τροφοδότηση της μονάδας Σ.Η.Θ. από το δίκτυο Χαμηλής πίεσης των 25 mbar (π.χ. ιστορικό κέντρο Αθηνών) απαιτείται η εγκατάσταση μόνο μετρητικής διάταξης.

2.9 Σύνδεση συστημάτων Σ.Η.Θ. με τα δίκτυα διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας .

2.9.1. Γενικά στοιχεία

Η σύνδεση και λειτουργία των συστημάτων ΣΗΘ στα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως είναι οι ισχύουσες τιμές εμπορίας της ηλεκτρικής ενέργειας, τα λειτουργικά χαρακτηριστικά και οι τεχνικές απαιτήσεις της εγκατάστασης, τα επίπεδα ζήτησης του θερμικού φορτίου, η διαθεσιμότητα του καυσίμου και η ύπαρξη επαρκών εγκαταστάσεων για τη μεταφορά του κ.τ.λ. Η ικανοποίηση όλων αυτών των παραγόντων μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη σχετικών διαφοροποιήσεων για τη σύνδεση των συστημάτων ΣΗΘ σε διαφορετικά δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Όμως, σε κάθε περίπτωση η σύνδεση των συστημάτων ΣΗΘ που, βρίσκονται εγκατεστημένα σε κτηριακές εγκαταστάσεις, όπως και κάθε μονάδας Διασπαρμένης Παραγωγής στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να πραγματοποιείται έτσι ώστε να μην προκαλούνται ανεπίτρεπτες διαταραχές της παροχής ηλεκτρικής ισχύος των ήδη συνδεδεμένων Παραγωγών ή Καταναλωτών. Ειδικότερα, όταν συμβαίνουν διαταραχές της κανονικής λειτουργίας των συστημάτων ή/και του δικτύου, από διάφορα σφάλματα ή άλλα αίτια, θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι οι επιπτώσεις τους περιορίζονται στο ελάχιστο δυνατόν, ενώ δεν θα πρέπει να δημιουργούνται επικίνδυνες καταστάσεις για τον εξοπλισμό ή και την ασφάλεια προσώπων. Τα δίκτυα διανομής γενικά χαρακτηρίζονται από ροή ισχύος προς μία μόνο κατεύθυνση, αυτή

προς το μέρος της κατανάλωσης. Όμως, η σύνδεση των μονάδων διασπαρμένης παραγωγής και, ειδικά, των συστημάτων ΣΗΘ μπορεί να προκαλέσει καταστάσεις ροής ισχύος προς δύο κατευθύνσεις στους κλάδους του δικτύου. Επίσης, οι εγκαταστάσεις των συστημάτων ΣΗΘ μπορεί να παρέχουν ισχύ στο δίκτυο, ενώ σε άλλες χρονικές περιόδους μπορεί να τροφοδοτούνται από αυτό. Το θέμα αυτό αντιμετωπίζεται από τον Διαχειριστή Δικτύου, γιατί η έλλειψη των απαραίτητων τεχνικών κανόνων μπορεί να προκαλέσει καταστάσεις στις οποίες τα συστήματα ΣΗΘ μπορεί να εγχέουν ισχύ στο δίκτυο όταν συμβαίνουν βραχυκυκλώματα χωρίς αυτό να γίνεται αντιληπτό από τον Διαχειριστή. Επίσης, εάν δεν καθορισθεί ένα κοινό πλαίσιο ένταξης των συστημάτων ΣΗΘ στο δίκτυο, υπάρχει ο κίνδυνος σύνδεσής τους σε διάφορα σημεία του δικτύου (νόμιμα ή παράνομα) χωρίς κάτι τέτοιο να έχει γνωστοποιηθεί στον Διαχειριστή Δικτύου. Σε τέτοιες περιπτώσεις, σφάλματα των συστημάτων μπορεί να μη γίνονται αντιληπτά από τον Διαχειριστή Δικτύου ενώ υπάρχει σοβαρή πιθανότητα το προσωπικό που καλείται να τα αντιμετωπίσει να μην γνωρίζει την κατεύθυνση της ροής ισχύος στο δίκτυο. Οι καταστάσεις αυτές μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα στην ασφάλεια ανθρώπων και εξοπλισμού του δικτύου.

2.9.2. Λειτουργικές πρακτικές συστημάτων Σ.Η.Θ.

Θεωρητικά, υπάρχουν τέσσερις βασικοί τύποι στους οποίους διακρίνονται οι μονάδες παραγωγής των συστημάτων ΣΗΘ ηλεκτρισμού και θερμότητας / ψύξης ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους:

- Το σύστημα Σ.Η.Θ. λειτουργεί για να καλύπτει τις απαιτήσεις του ηλεκτρικού φορτίου βάσης και του αντίστοιχου θερμικού φορτίου της εγκατάστασης του καταναλωτή. Σε οποιεσδήποτε καταστάσεις που μπορεί να υπάρχουν για τη μη επαρκή ικανοποίηση των απαιτήσεων του ηλεκτρικού ή/και θερμικού φορτίου της εγκατάστασης, επιπρόσθετες ποσότητες ηλεκτρικής ισχύος μπορεί να παρέχονται από το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ενώ επιπρόσθετες ποσότητες θερμικής ισχύος μπορεί να παρέχονται από κατάλληλους λέβητες που ευρίσκονται σε κατάσταση αναμονής.
- Το σύστημα Σ.Η.Θ. λειτουργεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, επιπλέον των απαιτήσεων του συνολικού ηλεκτρικού φορτίου της εγκατάστασης του καταναλωτή, η οποία εξάγεται (πωλείται) προς το δίκτυο διανομής ενώ ολόκληρη η παραγόμενη θερμική ισχύς της χρησιμοποιείται για την

ικανοποίηση των απαιτήσεων του θερμικού φορτίου της εγκατάστασης του καταναλωτή. Εναλλακτικά, το σύστημα Σ.Η.Θ. λειτουργεί κύρια για την ικανοποίηση των απαιτήσεων του ηλεκτρικού φορτίου της εγκατάστασης, ενώ η επιπρόσθετη παραγόμενη θερμική ισχύς αποβάλλεται ανεκμετάλλευτη προς το περιβάλλον. Όμως, αυτή η λειτουργική πρακτική μειώνει σημαντικά το συνολικό βαθμό απόδοσης του συστήματος Σ.Η.Θ. και, γενικότερα, δεν πρέπει να εφαρμόζεται.

- Το σύστημα Σ.Η.Θ. λειτουργεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, με ή χωρίς εξαγωγή (πώληση) προς το δίκτυο διανομής, ενώ η παραγόμενη θερμική ισχύς χρησιμοποιείται για την ικανοποίηση των απαιτήσεων του θερμικού φορτίου της εγκατάστασης και η επιπρόσθετη ισχύς χρησιμοποιείται για την ικανοποίηση των θερμικών φορτίων άλλων καταναλωτών με τους οποίους υπάρχουν σχετικές συμβάσεις.
- Το σύστημα Σ.Η.Θ. λειτουργεί για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος η οποία εγχέεται ολοκληρωτικά στο δίκτυο διανομής, χωρίς να χρησιμοποιείται για την ικανοποίηση των απαιτήσεων του ηλεκτρικού φορτίου των εγκαταστάσεων των καταναλωτών. Η ηλεκτρική ισχύς που απαιτείται για την ικανοποίηση του ηλεκτρικού φορτίου της εγκατάστασης του καταναλωτή παρέχεται από το δίκτυο διανομής διαμέσου διαφορετικής σύνδεσης. Η παραγόμενη θερμική ισχύς του συστήματος Σ.Η.Θ. χρησιμοποιείται για την ικανοποίηση των απαιτήσεων του θερμικού φορτίου της εγκατάστασης του καταναλωτή, ενώ η επιπρόσθετη ισχύς χρησιμοποιείται για την ικανοποίηση των θερμικών φορτίων άλλων καταναλωτών. Αυτή η λειτουργική πρακτική χρησιμοποιείται όταν η τιμή πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος και ενέργειας προς το δίκτυο διανομής είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη τιμή αγοράς από αυτό. Στην Ελλάδα εφαρμόζεται αυτή η πρακτική ενώ αναμένεται να αποτελέσει τη βασική λειτουργική πρακτική σε πολλά μελλοντικά συστήματα Σ.Η.Θ..

2.9.3. Βασικά χαρακτηριστικά διατάξεων σύνδεσης

Ο καθορισμός της διαδικασίας σύνδεσης ενός συστήματος Σ.Η.Θ. στο δίκτυο διανομής, πρέπει να στηρίζεται στην αρχή ότι πραγματοποιείται με τον πιο οικονομικό τρόπο, χωρίς να παραβιάζονται τα όρια διαταραχών που θέτει ο Κώδικας Διαχείρισης Δικτύου. Γενικά, είναι προτιμότερο τα συστήματα Σ.Η.Θ. να συνδέονται όσο το δυνατό πλησιέστερα προς τα φορτία, έτσι ώστε να περιορίζονται οι ροές

ισχύος των κλάδων του δικτύου διανομής. Επιπλέον, πρέπει να αποφεύγονται λειτουργικές καταστάσεις εκτός των επιτρεπόμενων ορίων και να επιδιώκεται όσο το δυνατό μεγαλύτερη βελτίωση των τάσεων και μείωση των απωλειών ισχύος. Η επιλογή του Σ.Κ.Σ. θα αποφασίζεται μετά από το σχετικό έλεγχο και εάν ικανοποιούνται όλες οι απαιτούμενες προϋποθέσεις σύνδεσης στο δίκτυο διανομής. Επιπρόσθετα, μετά από την έναρξη της λειτουργίας του συστήματος Σ.Η.Θ. θα ελέγχεται ο βαθμός ικανοποίησης όλων των απαιτούμενων προϋποθέσεων. Όταν το Σ.Σ.Δ. διαφοροποιείται από το Σ.Κ.Σ., όπως συμβαίνει κατά τη σύνδεση του συστήματος ΣΗΘ μέσω αποκλειστικής γραμμής διανομής, μπορεί να γίνονται δεκτά ευρύτερα όρια από αυτά που ισχύουν για το Σ.Κ.Σ.. Σημειώνεται ότι εάν κατά τη λειτουργία του συστήματος Σ.Η.Θ. διαπιστωθούν αποκλίσεις και διαταραχές μεγαλύτερες από τα επιτρεπόμενα όρια, λόγω μη ακριβών στοιχείων που χορηγήθηκαν, ο ιδιοκτήτης του υποχρεούται στην άμεση λήψη διορθωτικών μέτρων, σύμφωνα με τις υποδείξεις του Διαχειριστή Δικτύου. Τα μέσα ζεύξης και προστασίας που χρησιμοποιούνται για να εξασφαλίζεται η ασφαλής σύνδεση των εγκαταστάσεων των συστημάτων Σ.Η.Θ. στο δίκτυο διανομής είναι τα ακόλουθα:

- Μετασχηματιστής Ισχύος: Για τη σύνδεση του συστήματος μικρής Σ.Η.Θ. στο δίκτυο Μέσης Τάσης απαιτείται να εγκατασταθούν ένας ή περισσότεροι μετασχηματιστές ισχύος με κατάλληλες τιμές φαινόμενης ισχύος έτσι ώστε να μετασχηματίζεται η τάση στο επίπεδο της Χαμηλής Τάσης.
- Συσκευή Αποσύνδεσης: Ένας χειροκίνητος διακόπτης που θα αποσυνδέει τη μονάδα Σ.Η.Θ. από το δίκτυο διανομής θα παρέχεται, θα εγκαθίσταται και θα συντηρείται από το Χρήστη. Εάν ο διακόπτης αυτός είναι εγκατεστημένος προς τη μεριά του δικτύου διανομής, η εγκατάστασή του θα πραγματοποιείται από το Διαχειριστή Δικτύου ενώ το αντίστοιχο κόστος θα το αναλαμβάνει ο Χρήστης. Ο Διαχειριστής Δικτύου διατηρεί το δικαίωμα να ενεργοποιεί το διακόπτη όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο για λόγους συντήρησης και επισκευής του εξοπλισμού του. Επίσης, η διαδικασία αποσύνδεσης μπορεί να πραγματοποιείται χωρίς να προηγείται ενημέρωση του Χρήστη σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης του δικτύου διανομής, όταν διαπιστώνεται ότι η λειτουργία της εγκατάστασης μπορεί να θέτει σε κίνδυνο τη λειτουργία του Δικτύου ή τους υπόλοιπους Χρήστες του και εφόσον αυτό κρίνεται απαραίτητο για να διασφαλιστεί η ασφάλεια του προσωπικού του Διαχειριστή Δικτύου.
- Αυτόματος Διακόπτης Γεννήτριας (Α.Δ.Γ.): Κάθε μονάδα Σ.Η.Θ. περιλαμβάνει έναν Α.Δ.Γ. με τον οποίο πραγματοποιείται ο έλεγχός της και επιτυγχάνεται η

προστασία της μέσω των κατάλληλων αισθητηρίων. Ο Α.Δ.Γ. βρίσκεται συνήθως κοντά στη μονάδα Σ.Η.Θ. και είναι συχνά της ίδιας τάσεως.

- **Αυτόματος Διακόπτης Διασύνδεσης (Α.Δ.Δ.):** Είναι το στοιχείο που επιτρέπει τη ζεύξη ή την απομόνωση των εγκαταστάσεων των συστημάτων Σ.Η.Θ. από το δίκτυο διανομής και απαιτείται σε περιπτώσεις που περιλαμβάνουν περισσότερες από μια μονάδες Σ.Η.Θ. σε απόσταση μεταξύ τους και, κυρίως, όταν προβλέπεται η δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας της εγκατάστασης. Ο ΑΔΔ ελέγχεται μέσω κατάλληλου εξοπλισμού που περιλαμβάνει ηλεκτρονόμους υπερεντάσεως των αυτόματων διακοπών οι οποίοι διαρρέονται από το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Οι ηλεκτρονόμοι αυτοί θα πρέπει να συνεργάζονται με τα προηγούμενα μέσα προστασίας του δικτύου διανομής που προκαλούν την οριστική διακοπή, όπως είναι για παράδειγμα οι ηλεκτρονόμοι χρονικής καθυστέρησης των διακοπών ισχύος στην αναχώρηση της γραμμής.
- **Ηλεκτρονόμοι Ορίων Τάσεως και Συχνότητας:** Οι προστασίες αυτές συμβάλλουν στην απομόνωση της εγκατάστασης του συστήματος Σ.Η.Θ. από το δίκτυο διανομής σε περιπτώσεις σφαλμάτων (βραχυκυκλωμάτων), διότι τα σφάλματα αυτά συνοδεύονται από σημαντικές αποκλίσεις των τάσεων από τις ονομαστικές τιμές τους. Απαιτούνται ηλεκτρονόμοι υπέρτασης, υπότασης, υπερσυχνότητας και υποσυχνότητας. Οι προστασίες των ορίων συχνότητας αφορούν κύρια την ανίχνευση της νησιδοποίησης (σε συνδυασμό με τον έλεγχο των ορίων τάσεως), διότι μετά από την αποσύνδεση από το δίκτυο διανομής μεταβάλλεται απότομα η ταχύτητα περιστροφής των μονάδων Σ.Η.Θ. και, επομένως, η συχνότητα της παραγόμενης τάσης. Μία επιπρόσθετη προστασία για την αποφυγή της νησιδοποίησης είναι η προστασία ομοπολικής τάσης. Σε συγκεκριμένες καταστάσεις λειτουργίας, που κύρια αφορούν συστήματα Σ.Η.Θ. μεγάλης ισχύος, μπορεί να είναι αναγκαία η εγκατάσταση προστασιών που θα εξασφαλίζουν πιο αποτελεσματικά την απομόνωση του συστήματος Σ.Η.Θ. σε γεγονότα μονίμων σφαλμάτων στο δίκτυο διανομής. Η εγκατάσταση των προστασιών αυτών θα αποφασίζεται από το Διαχειριστή Δικτύου σε συνεργασία με τον ιδιοκτήτη του συστήματος Σ.Η.Θ..
- **Ρυθμιστής Τάσης:** Μπορεί να απαιτείται ανάλογα με το σύστημα Σ.Η.Θ. που εγκαθίσταται και χρειάζεται για να διατηρεί την τάση εξόδου της αντίστοιχης μονάδας σε συγκεκριμένη τιμή.

- Γείωση: Η μέθοδος γείωσης που επιλέγεται για την εγκατάσταση του συστήματος Σ.Η.Θ. δεν αφορά την κατάσταση κανονικής λειτουργίας του δικτύου διανομής. Όμως, κατά τη διάρκεια σφαλμάτων στο δίκτυο, η γείωση έχει ξεχωριστή σημασία διότι αποτελεί ένα μέσο για την προστασία ανθρώπων και εξοπλισμού. Υπάρχουν διαφορετικές μέθοδοι γείωσης οι οποίες εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά κάθε συστήματος και μπορεί να περιλαμβάνουν την απευθείας γείωση χωρίς την ύπαρξη σύνθετης αντίστασης, τη γείωση μέσω ωμικής αντιστάσεως ή επαγωγικού πηνίου, τη χρησιμοποίηση πολλαπλών σημείων γείωσης κ.τ.λ.. Γενικά, σημειώνεται ότι η γείωση της εγκατάστασης Σ.Η.Θ. πρέπει να γίνει σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς και τους κανόνες του Διαχειριστή Δικτύου Διανομής. Η λειτουργία κάθε μονάδας Σ.Η.Θ. έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των ρευμάτων βραχυκύκλωσης στο δίκτυο και είναι πιθανό να απαιτείται η βελτίωση του συστήματος προστασίας και η αναβάθμιση των χρησιμοποιούμενων γραμμών διανομής έτσι ώστε να μην προκαλούνται υπερβάσεις των επιτρεπτών ορίων λειτουργίας. Οι διαδικασίες που απαιτούνται για την προστασία του συστήματος Σ.Η.Θ. και του δικτύου διανομής πρέπει να λαμβάνουν υπόψη την απομονωμένη και τη μη απομονωμένη λειτουργία του δικτύου. Τα ρεύματα βραχυκύκλωσης του δικτύου διανομής αποτελούν τον κύριο τρόπο ανίχνευσης των σφαλμάτων που συμβαίνουν σε αυτό και παραδοσιακές διατάξεις και μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την προστασία των συστημάτων Σ.Η.Θ.. Όμως, η συνεισφορά των βραχυκυκλωμάτων που συμβαίνουν στα συστήματα Σ.Η.Θ. είναι σημαντική και η προστασία του δικτύου διανομής από τα σφάλματα αυτά αποτελεί μία περισσότερο πολύπλοκη διαδικασία. Λόγω των λειτουργικών χαρακτηριστικών των συστημάτων ΣΗΘ, η συνεισφορά των ασύμμετρων βραχυκυκλωμάτων είναι περιορισμένη. Οι σύγχρονες γεννήτριες των συστημάτων Σ.Η.Θ. μικρής ισχύος θα πρέπει να είναι εξοπλισμένες με εξελιγμένες συσκευές διέγερσης έτσι ώστε οι τιμές του ρεύματος βραχυκύκλωσης να γίνονται αρκετά μεγαλύτερες από τις απαιτούμενες τιμές του συστήματος προστασίας. Επομένως, η ενεργοποίηση του συστήματος προστασίας και η απομόνωση του συστήματος Σ.Η.Θ. εξαρτάται από το ρεύμα βραχυκύκλωσης του δικτύου διανομής, ενώ πρέπει να εξασφαλίζεται ότι κατά τη διάρκεια των βραχυκυκλωμάτων η μονάδα Σ.Η.Θ. δε θα τροφοδοτεί το υπόλοιπο δίκτυο. Επίσης, κατά τη διαδικασία επαναφοράς τα επιμέρους τμήματα του δικτύου πρέπει να είναι συγχρονισμένα και, για το σκοπό αυτό, απαιτείται η εγκατάσταση κατάλληλου εξοπλισμού στα σημεία

επαναφοράς έτσι ώστε η διαφορά της τάσης στα δύο τμήματα του δικτύου να λαμβάνει τη μικρότερη δυνατή τιμή. Τέλος, σημειώνεται ότι συχνά απαιτείται η εγκατάσταση κατάλληλου εξοπλισμού αναγνώρισης των καταστάσεων νησιδοποίησης των τμημάτων του δικτύου διανομής από τα σημεία τροφοδότησης του. Στις καταστάσεις αυτές μπορεί να απαιτείται η ενεργοποίηση κατάλληλου εξοπλισμού ζεύξης που ευρίσκεται κανονικά σε κατάσταση ανοικτής λειτουργίας, έτσι ώστε να μπορούν να επανατροφοδοτηθούν τα αντίστοιχα φορτία σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα.

2.9.4. Σύνδεση συστημάτων Σ.Η.Θ. στη χαμηλή τάση

Στο δίκτυο ΧΤ συνδέονται γενικά εγκαταστάσεις συστημάτων ΣΗΘ των οποίων η μέγιστη παραγόμενη ισχύς δεν είναι μεγαλύτερη από 100 kWe ενώ η σύνδεση μονοφασικών μονάδων ΣΗΘ μπορεί να γίνεται μόνο όταν η ισχύς τους δεν ξεπερνά τα 5 kWe.

2.9.5 Σύνδεση συστημάτων Σ.Η.Θ. στη μέση τάση

Το βασικό κριτήριο για την επιλογή του τρόπου σύνδεσης στο δίκτυο διανομής Μ.Τ. αποτελεί το μέγεθος της εγκατάστασης του συστήματος Σ.Η.Θ. και οι υπάρχουσες συνθήκες του δικτύου της αντίστοιχης περιοχής. Αυτές οι εγκαταστάσεις είναι πάντοτε τριφασικές με ισχύ μεγαλύτερη από 100 kW. Ορισμένες σημαντικές παράμετροι είναι το εάν αφορά κατοικημένη περιοχή ή όχι, εάν υπάρχει η προοπτική σύνδεσης άλλων εγκαταστάσεων στο προσεχές μέλλον κ.τ.λ.. Η εξέταση για τον προσδιορισμό του Σ.Κ.Σ. θα πρέπει να αρχίζει από το πλησιέστερο προς το σύστημα Σ.Η.Θ. σημείο του δικτύου διανομής και βαθμιαία να εξετάζεται η δυνατότητα σύνδεσης σε σημεία πλησιέστερα προς τον υποσταθμό Υ.Τ./Μ.Τ., δηλαδή σε σημεία με υψηλότερη στάθμη βραχυκύκλωσης. Τα συστήματα Σ.Η.Θ. σε κτηριακές εγκαταστάσεις είναι μικρής σχετικά ισχύος. Επομένως, πρώτα θα εξετάζεται η δυνατότητα σύνδεσής τους σε υφιστάμενη γραμμή διανομής και εάν αυτή δε μπορεί να πραγματοποιηθεί μπορεί να συνδέονται με αποκλειστική γραμμή διανομής στους ζυγούς Μ.Τ. του πλησιέστερου υποσταθμού Υ.Τ./Μ.Τ.

2.10 Περιβαλλοντική διάσταση της Σ.Η.Θ.

Η Σ.Η.Θ. αποτελεί μια σημαντική τεχνολογία για τη μείωση των εκπομπών CO₂, την παράταση της εξάντλησης των πρωτογενών πηγών καυσίμων, την ενθάρρυνση της αποκεντρωμένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και την τήρηση των διεθνών δεσμεύσεων της Χώρας, που σχετίζονται με τις κλιματικές αλλαγές. Όπως σε όλες τις διαδικασίες καύσης υπάρχουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις, έτσι και στην περίπτωση της Σ.Η.Θ., μπορεί να προκληθεί τοπική αύξηση των εκπομπών NO_x και CO, σε σχέση με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Όμως σε εθνικό επίπεδο η χρήση συστημάτων Σ.Η.Θ. παράγει σημαντικά λιγότερους ρύπους από τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής αλλά και θερμικής ενέργειας. Οι κύριοι ρύποι που εκπέμπονται από τη χρήση συστημάτων Σ.Η.Θ. είναι παρόμοιοι με αυτούς που εκλύονται από την καύση όλων των υδρογονανθράκων:

1. διοξείδιο του άνθρακα CO₂
2. μονοξείδιο του άνθρακα CO
3. διοξείδιο του θείου SO₂
4. οξείδιο του αζώτου NO_x
5. άκαυστοι υδρογονάνθρακες C_nH_m

Οι ποσότητες με τις οποίες παράγεται ο κάθε ρύπος, εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη σύνθεση του καυσίμου και τα χαρακτηριστικά καύσης της τεχνολογίας Σ.Η.Θ. που χρησιμοποιείται. Οι εκπομπές CO₂ και SO₂ είναι ευθέως ανάλογες με την ποσότητα και τη σύνθεση του χρησιμοποιούμενου καυσίμου. Η υψηλή απόδοση της Σ.Η.Θ., καθώς και η ταχεία ανάπτυξη της χρήσης του φυσικού αερίου, οδηγεί σε σημαντική μείωση των εκπομπών των δύο ρύπων.

2.11. Θεσμικό πλαίσιο για τη Σ.Η.Θ. στην Ελλάδα.

Οι νόμοι και οι υπουργικές αποφάσεις, που αφορούν τη ΣΗΘ από τη δεκαετία του '90 έως σήμερα (2013) παρουσιάζονται περιληπτικά στον παρακάτω πίνακα. Το πλήρες σώμα των Νόμων και των ΥΑ δίνονται στον ιστότοπο του Ελληνικού Συνδέσμου Συμπααραγωγής Ηλεκτρισμού & Θερμότητας (Ε.Σ.Σ.Η.Θ.) και της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (Ρ.Α.Ε).

- **N.2244/1994** «Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις».

Ο **N.2244/94** ουσιαστικά καθόρισε την απελευθέρωση, εν μέρει, της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες παραγωγής ισχύος μέχρι 50 MWe, οι οποίες αξιοποιούν ΑΠΕ ή είναι μονάδες ΣΗΘ. Δινόταν επίσης η δυνατότητα ΣΗΘ με φυσικό αέριο. Για τους ανεξάρτητους παραγωγούς, ο **N.2244/94** προέβλεπε τη δυνατότητα ΣΗΘ, με μονάδες συνδυασμένου κύκλου με καύσιμο το Φ.Α. και με ισχύ το πολύ ίση με τη θερμική και ψυκτική ισχύ των επιχειρήσεων που εξυπηρετούνται. Για τους αυτοπαραγωγούς, επιτρεπόταν η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με παραγωγή θερμότητας / ψύξης με ισχύ σταθμού το πολύ ίση με τη θερμική και ψυκτική ισχύ των εγκαταστάσεων του αυτοπαραγωγού, εφόσον πρόκειται για ΣΗΘ από συμβατικά καύσιμα, και αντίστοιχα χωρίς περιορισμό ισχύος, εφόσον πρόκειται για ενεργειακή αξιοποίηση υποπαραγώνων βιομηχανικού κυκλώματος ή από ανάκτηση απορριπτόμενης θερμότητας. Στο νόμο επιδιώχθηκε η προώθηση της ΣΗΘ με την απόδοση κινήτρων και την προσπάθεια απλούστευσης των διαδικασιών και ρυθμίζονταν θέματα σχετικά με τη διάθεση της ηλεκτρικής ενέργειας και τις άδειες εγκατάστασης και λειτουργίας των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Η τιμή αγοράς της Η.Ε. οριζόταν βάσει του αντίστοιχου τιμολογίου της ΔΕΗ και προβλεπόταν ίση με το 60% του σκέλους ενέργειας. Στην περίπτωση της ανεξάρτητης ηλεκτροπαραγωγής με μονάδες ΣΗΘ καύσης ΦΑ, η τιμή αγοράς καθοριζόταν βάσει του τιμολογίου της ΔΕΗ και περιείχε σκέλος ενέργειας (70% του αντίστοιχου τιμολογίου της ΔΕΗ) και σκέλος ισχύος (70% του αντίστοιχου τιμολογίου της ΔΕΗ). Σχετικά με τις άδειες ο Νόμος προέβλεπε τη γνωμοδότηση της ΔΕΗ για την απορρόφηση της Η.Ε. και των προϋποθέσεων σύνδεσης στο Δίκτυο, διατάξεις του καταργήθηκαν με το **N.2773/99**.

- **N.2273/1999** «Για την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας». Με το Ν.2273/1999 ρυθμίζονταν και θέματα ΣΗΘ, σύμφωνα με το πνεύμα της Οδηγίας 96/92/ΕΚ, την οποία ο νόμος ενσωμάτωνε στο εθνικό θεσμικό πλαίσιο. Με τον νόμο προβλεπόταν η δυνατότητα να δίνεται προτεραιότητα από την κατανομή για τη συμπαραγόμενη Η.Ε. και καθορίζονταν τα ελάχιστα κριτήρια απόδοσης για μονάδες ΣΗΘ. Επίσης, ο νόμος, εισήγαγε νέες ρυθμίσεις σχετικά με την τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας προερχόμενης από ΑΠΕ ή ΣΗΘ.

- **N.3175/2003** «Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις». Ο **N.3175/2003** δημιούργησε τις προϋποθέσεις για την αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού αλλά και για τη διανομή της θερμικής ενέργειας μέσα από δίκτυα θερμότητας, περιγράφοντας τη διαδικασία διανομής θερμικής ενέργειας σε τρίτους και καθορίζοντας την αδειοδοτική διαδικασία για τη λειτουργία δικτύων διανομής θερμότητας και ειδικότερα αυτών που σχετίζονται με εγκαταστάσεις ΣΗΘ. Με την άδεια καθορίζονται ο χρόνος ισχύος της, η περιοχή κατασκευής του δικτύου θερμότητας, η τεχνολογία και οι όροι της διανομής θερμότητας στους καταναλωτές. Αν η θερμική ενέργεια παράγεται από εγκαταστάσεις ΣΗΘ, η Άδεια Διανομής Θερμικής Ενέργειας χορηγείται μαζί με την Άδεια Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας.
- **ΚΥΑ, ΥΠΑΝ-ΥΠΕΧΩΔΕ, 4 Νοεμβρίου 2004.** «Τροποποίηση και συμπλήρωση της αντιστοίχισης των δραστηριοτήτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τους βαθμούς όχλησης που αναφέρονται στην πολεοδομική νομοθεσία» Η ΚΥΑ αυτή τροποποιεί και συμπληρώνει την αντιστοίχιση των δραστηριοτήτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τους βαθμούς όχλησης που αναφέρονται στην πολεοδομική νομοθεσία. Η Κ.Υ.Α. έλυσε το χρόνιο πρόβλημα με την αδειοδότηση της Σ.Η.Θ. σε κτήρια, που προηγουμένα απαγορευόταν λόγω όχλησης.
- **Κοινοτική Οδηγία, 2004/8/EC** «Πρώθηση της συμπαραγωγής ενέργειας βάσει της ζήτησης για χρήσιμη θερμότητα στην εσωτερική αγορά ενέργειας και για την τροποποίηση της οδηγίας 92/42/ΕΟΚ», Η Κοινοτική Οδηγία 2004/8/EC δημιουργεί το πλαίσιο για την προώθηση συμπαραγωγής ενέργειας με βάση τη ζήτηση για χρήσιμη θερμότητα. Εισάγει την έννοια της Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Αποδοτικότητας, κατηγοριοποιώντας τα συστήματα ΣΗΘ ανάλογα με την ισχύ τους σε πολύ μικρή ΣΗΘ (έως 50 kWe), μικρή ΣΗΘ (έως 1 MWe) και ΣΗΘ (>1 MWe).
- **Κοινοτική Οδηγία 2005/32/EC.** «Οικολογικός σχεδιασμός προϊόντων που καταναλώνουν Ενέργεια» (Eco-design of energy-using products). Η Κοινοτική Οδηγία 2005/32/EC δημιουργεί το πλαίσιο για τον οικολογικό σχεδιασμό

προϊόντων που καταναλώνουν ενέργεια και αφορά τα συστήματα πολύ μικρής- και μικρής- ΣΗΘ.

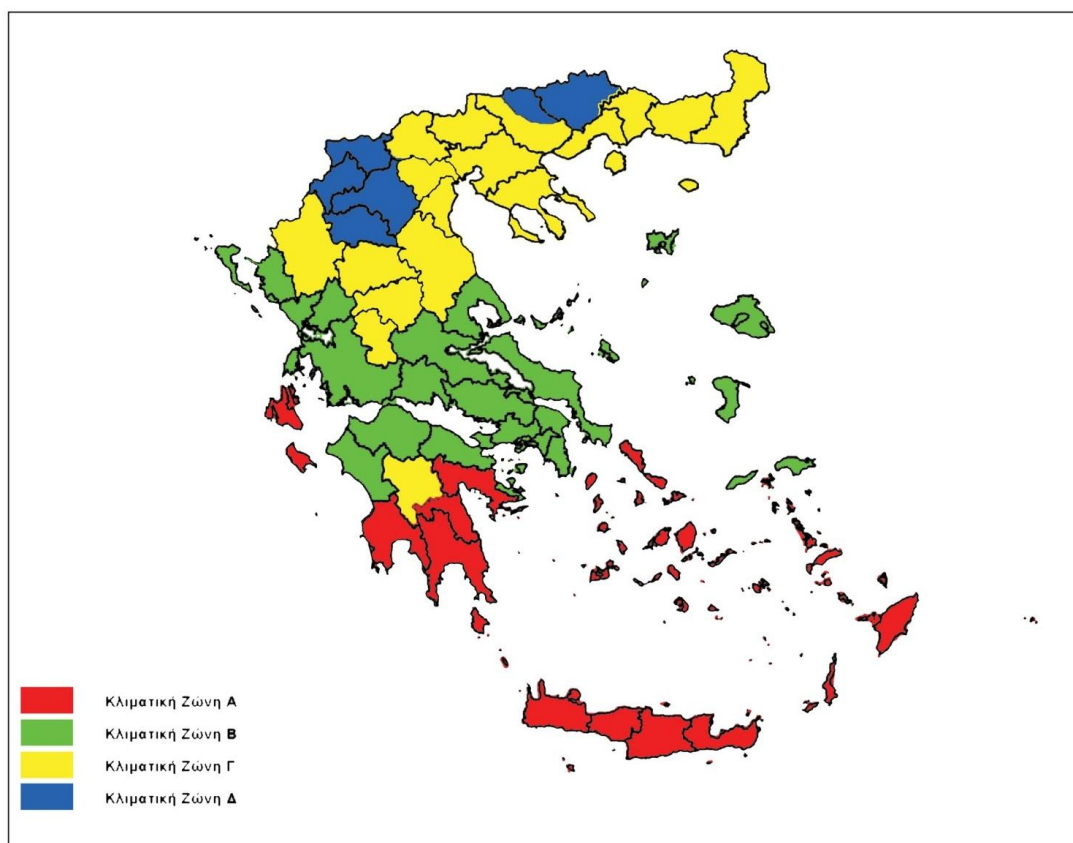
- **N. 3468/2006** «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) και Σ.Η.Θ. Υψηλής Απόδοσης (Σ.Η.Θ.Υ.Α.) και λοιπές διατάξεις» Ο Ν.3468/2006 εισήγαγε νέο πλαίσιο για τη χορήγηση άδειας, παραγωγής, εγκατάστασης και λειτουργίας των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Σ.Η.Θ. Υψηλής Αποδοτικότητας (Σ.Η.Θ.Υ.Α.). Ο νόμος αναφέρεται ρητά στη ΣΗΘ Υψηλής Αποδοτικότητας, όπως αυτή ορίζεται από την ΚΟ 2004/8/ΕΚ, απλοποιείται η αδειοδοτική διαδικασία για επενδύσεις Σ.Η.Θ.Υ.Α. και τίθενται αποκλειστικές προθεσμίες για την έκδοση των αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας για έργα Σ.Η.Θ.Υ.Α.. Θεσμοθετείται Κανονισμός Αδειών για την παραγωγή Η.Ε. από Σ.Η.Θ.Υ.Α. Καθορίζεται η τιμολόγηση της Η.Ε. που παράγεται από Σ.Η.Θ.Υ.Α. και απορροφάται από το Σύστημα ή το Δίκτυο, με σκοπό την απεξάρτηση από τα τιμολόγια της ΔΕΗ και τη διασφάλιση των επενδύσεων. Ο νόμος έθεσε νέες βάσεις για την αδειοδότηση έργων Σ.Η.Θ.Υ.Α., ιδιαίτερα στην έγκριση των περιβαλλοντικών μελετών, θέτει αυστηρότερα κριτήρια για την έγκριση των Π.Π.Ε./Μ.Π.Ε. και συντομότερο χρόνο για την έγκριση των περιβαλλοντικών όρων από τις αρμόδιες κρατικές υπηρεσίες.
- **N. 3734/09** «Πρωώθηση της συμπαραγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών ενέργειας, ρύθμιση ζητημάτων σχετικών με το υδροηλεκτρικό έργο Μεσοχώρας και άλλες διατάξεις» Ο Ν. 3734/09 ενσωματώνει πλήρως την Κοινοτική Οδηγία 2004/8/ΕΚ. Βασικές τομές του νόμου είναι η μέθοδος υπολογισμού της ηλεκτρικής ενέργειας από ΣΗΘ, ο υπολογισμός αποδοτικότητας της ΣΗΘ. Επίσης σημαντικό σημείο είναι η κατηγοριοποίηση των συστημάτων ΣΗΘΥΑ, ως προς το όριο του 1ΜWe(μικρή ΣΗΘ), εγκρίνοντας ή όχι άπαξ, διάφορους τύπους μηχανών διαφόρων κατασκευαστών, για την περιβαλλοντική τους συμπεριφορά. Έτσι, ο κάθε επενδυτής θα υποβάλλει μόνο το έγγραφο έγκρισης της μηχανής ΣΗΘΥΑ, σχετικά με την περιβαλλοντική έγκριση.
- **Υ.Α. ΦΕΚ τ. Β, Αρ. Φύλλου 1420 / 15. 6. 2009**,«Καθορισμός εναρμονισμένων τιμών αναφοράς των βαθμών απόδοσης για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας»

- **Υ.Α. ΦΕΚ τ. Β, Αρ. Φύλλου 1420 / 15.6.2009** «Καθορισμός λεπτομερειών της μεθόδου υπολογισμού της Η.Ε. από Σ.Η.Θ. και της αποδοτικότητας ΣΗΘ» Η Υπουργική Απόφαση (Υ.Α.), Α/Α 8, καθορίζει τις εναρμονισμένες τιμές αναφοράς των βαθμών απόδοσης για τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, τους απαιτούμενους διορθωτικούς συντελεστές για τις τιμές αυτές και η Υ.Α., Α/Α 9, καθορίζει αναλυτικά τον τρόπο υπολογισμού της Η.Ε. από ΣΗΘΥΑ με βάση τις κατευθυντήριες οδηγίες της Κ.Ο 2004/8. Ήδη, τον Δεκέμβριο 2011, η Γ.Δ. Ενέργειας της Ε.Ε. έχει εκδώσει νέες εναρμονισμένες τιμές, που δεν έχουν ακόμα ενσωματωθεί στο ελληνικό νομικό πλαίσιο έως την ημέρα έκδοσης της παρούσης ΤΟΤΕΕ.
- **N. 3851/2010.**«Επιτάχυνση της ανάπτυξης των ΑΠΕ για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις».Ο Ν. 3851/2010 ορίζει νέο τρόπο τιμολόγησης της συμπαραγόμενης Η.Ε., από σταθμούς ΣΗΘΥΑ έως 1 MW που κάνουν χρήση Φ.Α. Κύριο λόγο στην τιμολόγηση έχει η μέση μηνιαία τιμή Φ.Α. (ΜΤΦΑ), καθώς και η απόδοση ηλεκτρικής ενέργειας του συστήματος ΣΗΘ.
- **Απόφαση ΥΠΕΚΑ ,4 Οκτωβρίου 2011.** «Διαδικασία έκδοσης αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α.»Η Υπουργική Απόφαση καθορίζει, με αναλυτικό τρόπο, τη διαδικασία για την έκδοση αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Σ.Η.Θ.Υ.Α.
- **14 Ν. 4001/2011.** «Για τη λειτουργία ενεργειακών αγορών ηλεκτρισμού και ΦΑ για έρευνα, παραγωγή και δίκτυα μεταφοράς υδρογονανθράκων και άλλες ρυθμίσεις».Οι κώδικες Μεταφοράς και Διανομής Η.Ε., που έχουν εγκριθεί από τη Ρ.Α.Ε., είναι η βάση διασύνδεσης του συστήματος Σ.Η.Θ.Υ.Α. (και Σ.Η.Θ.) με το Δίκτυο. Στο Ν.4001/11, άρθρο 197, παράγραφο 2 σημειώνεται ότι «από 1.9.2011 δικαίωμα προτεραιότητας κατά την κατανομή του Φορτίου από τον αντίστοιχο Διαχειριστή έχουν όλες οι Μονάδες ΣΗΘΥΑ ανεξαρτήτως Εγκατεστημένης Ισχύος», που αίρει το όριο των 35 MWε που υπήρχε στους προηγούμενους νόμους [31].

3.Τεχνική μελέτη

3.1. Περιγραφή της Οικίας

Το οικιακό σύστημα παραγωγής ισχύος 10 Kw με κυψέλη καυσίμου τροφοδοτούμενη με Φυσικό Αέριο, πρόκειται να εγκατασταθεί σε ένα διαμέρισμα πολυκατοικίας εμβαδού 148.5 m^2 με θερμαινόμενη επιφάνεια 119.9 m^2 ,εικοσιπενταετίας.Το διαμέρισμα αυτό βρίσκεται εντός του αστικού ιστού της πόλης της Λάρισας (υψόμετρο 72 m).Τιμή Ζώνης κατω από 2100€/m² Όσον αφορά δε την κλιματική ζώνη, η πόλη της Λάρισας εντάσσεται στη Γ κλιματική Ζώνη.Το διαμέρισμα, λόγω παλαιότητας,αλλά και λόγω μη ορθής εφαρμογής της μελέτης θερμομόνωσης,αναμένεται να είναι αρκετά ενεργοβόρο.



Σχήμα 3.1: Απεικόνιση των 4 κλιματικών Ζωνών της Ελλάδας

3.2.Ενεργειακή Κατάσταση της οικίας

Για την αποτύπωση της ενεργειακής κατάστασης καθώς και για τον ακριβή υπολογισμό των θερμικών και δευτερευόντως των ηλεκτρικών αναγκών της οικίας διεξήχθη ενεργειακή επιθεώρηση με τη χρήση του λογισμικού ΤΕΕΚΕΝΑΚ έκδοση 1.29.1.19 τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάζονται παρακάτω:

Πίνακας 3.1: Τα αποτελέσματα του λογισμικού ΤΕΕΚΕΝΑΚ 1.29.1.19 για την υπό εξέταση οικία.

ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ Έκδοση 1.29.1.19 - Engine 1.7.6.19

17/6/2013

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ

Χρήση Διαμέρισμα

Συνολική επιφάνεια (m ²)	148.5	Αριθμός ορόφων	2
Θερμαινόμενη επιφάνεια (m ²)	119.9	Ύψος τυπικού ορόφου (m)	3.1
Ψυχόμενη επιφάνεια (m ²)	59.95	Ύψος ισογείου (m)	3.8
Συνολικός όγκος (m ³)	470.36		
Θερμαινόμενος όγκος (m ³)	371.69	Αριθμός θερμικών ζωνών	1
Ψυχόμενος όγκος (m ³)	185.845	Αριθμός μη θερμαινόμενων χώρων	1
Έκθεση κτιρίου *	0	Αριθμός ηλιακών χώρων	0

* -1: Μη επιλογή, 0: Εκθεμένο, 1: Ενδιάμεσο, 2: Προστατευμένο

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΖΩΝΗΣ

Χρήση Μονοκατοικία. πολυκατοικία

Συνολική επιφάνεια (m ²)	119.9	Αριθμός καμινάδων	1
Αν. θερμοχωρητικότητα (kJ/m ² K)	260	Αριθμός θυρίδων εξαερισμού	1
Διατάξεις ελέγχου, αυτοματισμών	3	Αριθμός ανεμιστήρων οροφής	0
Διείσδυση από κουφώματα (m ³ /h)	311	Κόστος ανεμιστήρων οροφής (€)	0

ΚΕΛΥΡΟΣ

Αδιαφανείς επιφάνειες

Τύπος	Πυλωτή	Τοίχος	Τοίχος	Τοίχος	Τοίχος	Τοίχος	Τοίχος	Τοίχος	Τοίχος	Τοίχος	Τοίχος	Τοίχος	Τοίχος	Τοίχος
Περιγραφή	Οροφή	Δάπεδο οικίας	Τοίχος 1	Τοίχος 5	Τοίχος 8	Τοίχος 10	Τοίχος 11	Τοίχος 12	Τοίχος 6α	Τοίχος 6β	Τοίχος 7	Τοίχος 9	οροφή οικίας	
Προσ/σμός (deg)	0	0	0	270	90	180	90	270	270	0	180	0		
Κλίση (deg)	180	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90		
Εμβαδόν (m ²)	119.9	8.08	11.8	16.61	8.7	2.79	20.17	8.68	3.1	1.52	35.55	119.9		
U (W/m ² K)	1.375	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.42	0.44	0.43	3.7		
R_se (m ² K/W)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04		
Απορροφητικότητα	0.9	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.9		
Συν. εκπομπής	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8		
F_hor_h (-)	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.3		
F_hor_c (-)	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.3		
F_ov_h (-)	0	0.644	0.644	0.777	0.798	0.344	1	0.744	0.595	0.434	1	1		
F_ov_c (-)	0	0.688	0.688	0.716	0.743	0.331	1	0.674	0.505	0.463	1	1		
F_fin_h (-)	0	1	1	1	0.76	1	0.874	0.638	1	1	1			
F_fin_c (-)	0	0.92	0.934	1	0.99	0.86	1	0.967	0.888	0.92	1	1		
Κόστος (€/m ²)														

Διαφανείς επιφάνειες

Τύπος	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα
Περιγραφή	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα
Προσ/σμός (deg)	0	0	270	270	90	90	0	180		
Κλίση (deg)	90	90	90	90	90	90	90	90		
Εμβαδόν (m ²)	3.08	2.2	3.36	2.2	1.96	3.08	0.6	2.2	1.96	
U (W/m ² K)	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.3	4.7	4.7	
g _w (-)	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.46	0.54	0.54
F _{hor_h} (-)	1	1	1	0.5	0.5	0.5	1	1	1	
F _{hor_c} (-)	0.85	0.85	0.85	0.52	0.52	0.52	1	0.85	1	
F _{ov_h} (-)	0.67	0.67	0.612	0.792	0.741	0.811	0.953	0.452	0.967	
F _{ov_c} (-)	0.71	0.71	0.659	0.735	0.671	0.759	0.943	0.491	0.944	
F _{fin_h} (-)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
F _{fin_c} (-)	0.92	0.92	0.94	1	1	0.99	1	0.92	1	
Κόστος (€/m ²)										

Σε επαφή με το έδαφος

Τύπος	
Περιγραφή	
Εμβαδόν (m ²)	
U (W/m ² K)	
Κ. Βάθος (m)	
Α. Βάθος (m)	
Περίμετρος (m)	
Κόστος (€/m ²)	

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

ΘΕΡΜΑΝΣΗ

Θέρμανση (Παραγωγή)

Τύπος	Λέβητας
Πηγή ενέργειας	Natural gas
Ισχύς (kW)	36
Βαθμός απόδοσης	0.924
COP (-)	1
Κόστος (€)	

Θέρμανση (Δίκτυο διανομής)

Τύπος	Δίκτυο διανομής θερμού μέσου Αεραγωγοί
Ισχύς (kW)	33.264
Χώρος διέλευσης	Εσωτερικοί ή έως και 20% σε εξωτερικούς
T _i (°C)	
T _r (°C)	
Βαθμός απόδοσης	1.0
Κόστος (€)	Δίκτυο διανομής θερμού μέσου

Θέρμανση (Τερματικές μονάδες)

Τύπος	Άμεσης απόδοσης σε εξωτερικό τοίχο
Βαθμός απόδοσης	0.931
Κόστος (€)	

Θέρμανση (Βοηθητικές μονάδες)

Τύπος	Κυκλοφορητές
Αριθμός (-)	1
Ισχύς (kW)	0.22

ΨΥΞΗ

Ψύξη (Παραγωγή)

Τύπος	Αερόψυκτη Α.Θ.
Πηγή ενέργειας	Electricity
Ισχύς (kW)	0
Βαθμός απόδοσης	1
Εν. αποδοτικότητα	3
Ισχύς (kW)	

Ψύξη (Δίκτυο διανομής)

Τύπος	Δίκτυο διανομής ψυχρού μέσου Αεραγωγοί
Ισχύς (kW)	0
Χώρος διέλευσης	
Βαθμός απόδοσης	1
Κόστος (€)	1

Ψύξη (Τερματικές μονάδες)

Τύπος
Βαθμός απόδοσης 0.95
Κόστος (€)

Ψύξη (Βοηθητικές μονάδες)

Τύπος
Αριθμός (-) 1
Ισχύς (kW) 0

ΥΓΡΑΝΣΗ

Υγρανση (Παραγωγή)

Τύπος
Πηγή ενέργειας
Ισχύς (kW)
Βαθμός απόδοσης
Κόστος (€)

Υγρανση (Δίκτυο διανομής)

Τύπος
Χώρος διέλευσης
Βαθμός απόδοσης
Κόστος (€)

Υγρανση (Σύστημα διοχέτευσης)

Τύπος
Βαθμός απόδοσης
Κόστος (€)

ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ

ΚΚΜ

Τύπος
Κόστος (€)

Τμήμα Θέρμανσης

Παροχή αέρα (m³/h)
Ti_h (°C)
R_h (-)
Q_r_h (-)

Τμήμα ψύξης

Παροχή αέρα (m³/h)
Ti_c (°C)
R_c (-)
Q_r_c (-)

Τμήμα ύγρανσης

H_r (-)
E_vent (kW s/m³)

ΖΕΣΤΟ ΝΕΡΟ ΧΡΗΣΗΣ

ZNX (Παραγωγή)

Τύπος Λέβητας Τοπικός ηλεκτρικός θερμοαντήρας
Πηγή ενέργειας Natural gas Electricity
Ισχύς (kW) 36.4
Βαθμός απόδοσης 0.924
Κόστος (€) 1

ZNX (Δίκτυο διανομής)

Τύπος Δίκτυο
Χώρος διέλευσης Εσωτερικοί ή έως και 20% σε εξωτερικούς
Βαθμός απόδοσης 1
Κόστος (€) False

ZNX (Σύστημα αποθήκευσης)

Τύπος Δίκτυο
Βαθμός απόδοσης 1
Κόστος (€) Εσωτερικοί ή έως και 20% σε εξωτερικούς

ΗΛΙΑΚΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ

Τύπος

Συν. α (-)

Συν. β (-)

Επιφάνεια (m²)

Προσ/σμός (deg)

Κλίση (deg)

F_s (-)

Κόστος (€)

ΦΩΤΙΣΜΟΣ

Ισχύς (kW)

,

Περιοχή ΦΦ (%)

,

Αυτ. ελέγχου ΦΦ

,

Αυτ. αν. κίνησης

,

Κόστος (€)

Πίνακας 3.2: Ενεργειακή κατάταξη της οικίας από το λογισμικό ΤΕΕΚΕΝΑΚ 1.29.1.19

Μηδενικής ενεργειακής

A+	E.A. < 0.33
A	0.33 Κ.Α. < E.A. <
B+	0.50 Κ.Α. < E.A. < 0.75
B	0.75 Κ.Α. < E.A. < 1.00
Γ	1.00 Κ.Α. < E.A. < 1.41 Κ.Α.
Δ	1.41 Κ.Α. < E.A. < 1.82 Κ.Α.
Ε	1.82 Κ.Α. < E.A. < 2.27 Κ.Α.
Ζ	2.27 Κ.Α. < E.A. < 2.73 Κ.Α.
Η	2.73 Κ.Α. < E.A.

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΤΑΞΗ **Η**
ΑΠΟΔΟΣΗ **2,8**

Ενεργειακά μη αποδοτικό

	ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ				ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΤΙΡΙΟΥ			
	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΨΥΞΗ	ΖΝΧ	ΦΩΤΙΣΜΟΣ	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΨΥΞΗ	ΖΝΧ	ΥΓΡΑΝΣΗ
	(kWh/m ²)				(kWh/m ²)			
ΙΑΝ	107.5	0.0	3.2	0.0	78.3	0.0	2.6	0.0
ΦΕΒ	82.2	0.0	2.9	0.0	59.6	0.0	2.3	0.0
ΜΑΡ	63.1	0.0	3.0	0.0	45.2	0.0	2.4	0.0
ΑΠΡ	27.9	0.0	2.6	0.0	19.1	0.0	2.1	0.0
ΜΑΙ	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0
ΙΟΥΝ	0.0	6.0	4.5	0.0	0.0	10.7	1.5	0.0
ΙΟΥΛ	0.0	13.1	4.2	0.0	0.0	23.4	1.4	0.0
ΑΥΓ	0.0	8.9	4.2	0.0	0.0	15.9	1.4	0.0
ΣΕΠ	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0
ΟΚΤ	8.4	0.0	2.4	0.0	5.8	0.0	1.8	0.0
ΝΟΕ	57.8	0.0	2.7	0.0	41.3	0.0	2.1	0.0
ΔΕΚ	98.2	0.0	3.1	0.0	71.3	0.0	2.5	0.0
ΣΥΝ	445.1	28.0	42.9	0.0	320.6	50.0	23.4	0.0

ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΚΤΙΡΙΟΥ				
	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΨΥΞΗ	ΖΝΧ	ΦΩΤΙΣΜΟΣ
	(kWh/m ²)			
ΙΑΝ	100.9	0.0	2.9	0.0
ΦΕΒ	77.0	0.0	2.6	0.0
ΜΑΡ	58.6	0.0	2.7	0.0
ΑΠΡ	25.2	0.0	2.3	0.0
ΜΑΙ	0.0	0.0	1.9	0.0
ΙΟΥΝ	0.0	2.1	1.6	0.0
ΙΟΥΛ	0.0	4.5	1.4	0.0
ΑΥΓ	0.0	3.1	1.4	0.0
ΣΕΠ	0.0	0.0	1.6	0.0
ΟΚΤ	7.6	0.0	2.1	0.0
ΝΟΕ	53.6	0.0	2.4	0.0
ΔΕΚ	92.0	0.0	2.8	0.0
ΣΥΝ	415.0	9.7	25.7	0.0

Παρατηρούμε ότι η οικία εντάσσεται στη χαμηλότερη ενεργειακή κατηγορία **Η**. Η κατάταξη της οικίας στη χαμηλότερη ενεργειακή κλάση ήταν αναμενόμενη, δεδομένης της παλαιότητας της, αφού τα παλαιότερα κτίσματα εμφανίζουν πλημμελή θερμομόνωση και γενικότερα αυξημένες ενεργειακές απαιτήσεις.

3.2.1.Θερμικές Ανάγκες

Με βάση τα αποτελέσματα της ενεργειακής επιθεώρησης υπολογίζονται οι απαιτήσεις σε θέρμανση του κτηρίου που είναι $415,00 \text{ kWh/m}^2$

$$415,00 \text{ kWh/m}^2 \times 119,9 \text{m}^2 = 49.758,5 \text{ kWh/έτος για τη θέρμανση}$$

Δεδομένου ότι το σχεδιαζόμενο σύστημα θα χρησιμοποιείται επικουρικά στο κεντρικό σύστημα θέρμανσης του διαμερίσματος (Ατομικός Λέβητας Φυσικού Αερίου ισχύος 36 KW με λειτουργικό βαθμό απόδοσης 92,40%, όπως υπολογίζεται από το φύλλο ελέγχου καυσαερίων) δεν χρειάζεται να λάβουμε υπόψη στους υπολογισμούς μας τις ανάγκες για Ζεστό Νερό Χρήσης αφού αυτές θα καλύπτονται από τα υπάρχοντα συστήματα. Το σχεδιαζόμενο σύστημα θα παρέχει θερμική ισχύ 4 KW στο σύστημα θέρμανσης καθ' όλη τη διάρκεια της λειτουργίας του.

Μόνο στην περίοδο που δε θα λειτουργεί το σύστημα θέρμανσης (Μάιος με Σεπτέμβριο) θα χρησιμοποιούμε την παραγόμενη από το σύστημα θερμότητα για να καλύψουμε το σύνολο των αναγκών σε Ζεστό Νερό Χρήσης για την περίοδο αυτή. Το υπόλοιπο από την παραγόμενη θερμότητα θα απορρίπτεται στο περιβάλλον τους μήνες αυτούς. Ενώ δεν θα συμβαίνει το ίδιο στους μήνες που το σύστημα θέρμανσης θα βρίσκεται σε λειτουργία αφού τα παραγόμενα θερμικά φορτία δεν αρκούν για να καλύψουν τις ανάγκες σε θέρμανση.

Συνεισφορά συστήματος Σ.Η.Θ. στη θέρμανση

Λειτουργία όλο το χρόνο 24h/24ωρο

$$4 \text{ kW θερμικά} \times 24 \text{ h} = 96 \text{ kWh/ ημέρα}$$

$$30 \text{ (μέρες)} \times 7 \text{ (μήνες λειτουργίας συστήματος θέρμανσης)} \times 96 = 20.160 \text{ kWh/έτος}$$

$20.160/49.758,5 = 0,405$ ή περίπου 40% θα είναι η συνολική ετήσια συνεισφορά του συστήματος στο κεντρικό σύστημα θέρμανσης της οικίας.

3.2.2. Ηλεκτρικές ανάγκες

Οι ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια της οικίας υπολογίστηκαν με βάση τις καταναλώσεις της των ετών 2011 και 2012 και με μικρές διακυμάνσεις είναι περίπου 1.150 kWh το τετράμηνο.

Αρα $1.150 \times 3 = 3.450$ kWh/έτος

Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας από τη λειτουργία του συστήματος

Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του μήνες Μάιο με Σεπτέμβριο είναι

$1,9+1,6+1,4+1,4+1,6=7,9$ kWh/m²

$7,9 \times 119,9=947,21$ kWh

3.3. Περιγραφή Διεργασίας-Διάγραμμα Ροής

Επιλέξαμε η παροχή του “καυσίμου” μας να είναι το Φυσικό Αέριο γιατί είναι μια σταθερή και σίγουρη παροχή πρωτογενούς ενέργειας, είναι φθηνότερη καθώς επίσης γιατί Θεσσαλία διαθέτει δίκτυο φυσικού αερίου. Το συγκεκριμένο είδος κυψέλης καυσίμου (SOFC) επιλέχθηκε διότι, αν κι εμφανίζει μικρότερη πυκνότητα παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τις PEM, στις ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας δουλεύει σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (≈ 1000 C⁰) καθιστώντας τη ιδανική για συμπαραγωγή θερμότητας, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση οικίας ή/και Ζ.Ν.Χ. Ο σχεδιασμός του συστήματος έγινε με προταρχικό στόχο την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών της οικίας και δευτερευόντως για την κάλυψη των θερμικών αναγκών (θέρμανση και Ζ.Ν.Χ.).

Η είσοδος του συστήματος είναι φυσικό αέριο και ατμοσφαιρικός αέρας και η έξοδος του είναι ηλεκτρική ισχύς (ρεύμα) και ζεστό νερό. Το φυσικό αέριο εισέρχεται στο σύστημα αφού πρώτα το συμπιέσουμε 20 KPa πάνω από την ατμοσφαιρική πίεση (θέση 2). Στη συνέχεια μέρος των προϊόντων της ανόδου της κυψέλης αναμιγνύεται με το φυσικό αέριο (θέση 3) για να επιτύχουμε αναλογία ατμού-μεθανίου ίση με 3, πριν οδηγηθεί το μείγμα στον αναμορφωτή. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη διεργασία της αναμόρφωσης είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του μείγματος, γι' αυτό το λόγο διέρχεται από τον πρώτο εναλλάκτη θερμότητας (θέση 4), όπου ανταλλάσει θερμότητα με το ρεύμα των προϊόντων της ανόδου (ανακυκλοφορία). Μετά τη διεργασία της αναμόρφωσης το μείγμα, που πλέον είναι πλούσιο σε

υδρογόνο, έχει χάσει μέρος της θερμότητάς του, με αποτέλεσμα να απαιτείται η διέλευσή του από δεύτερο εναλλάκτη θερμότητας πριν εισέρθει στην κυψέλη καυσίμου (θέση 6).

Τα προϊόντα της ανόδου χρησιμοποιούνται για να προθερμάνουν το αέριο μείγμα στους εναλλάκτες θερμότητας 1 και 2 (θέσεις 4 και 6) και ένα μέρος τους αφού διέλθει από συμπιεστή (θέση 12) εισέρχεται στη ροή του φυσικού αερίου για να το προθερμάνει και να ανεβάσει το λόγο ατμού-μεθανίου στο 3. Το υπόλοιπο μέρος των προϊόντων της ανόδου χρησιμοποιείται στον τρίτο εναλλάκτη θερμότητας για να προθερμάνει τον ατμοσφαιρικό αέρα (θέση 21) αφού πρώτα τον έχουμε συμπιέσει (θέση 20). Εν συνεχεία, προθερμαίνουμε ξανά τον ατμοσφαιρικό αέρα στον τέταρτο εναλλάκτη χρησιμοποιώντας τα προϊόντα της καθόδου της κυψέλης (θέση 22). Διέρχεται λοιπόν ο ατμοσφαιρικός αέρας μέσω της καθόδου της κυψέλης καυσίμου και αφού χρησιμοποιηθούν τα προϊόντα της για να τον προθερμάνουν, αποβάλλονται στο περιβάλλον.

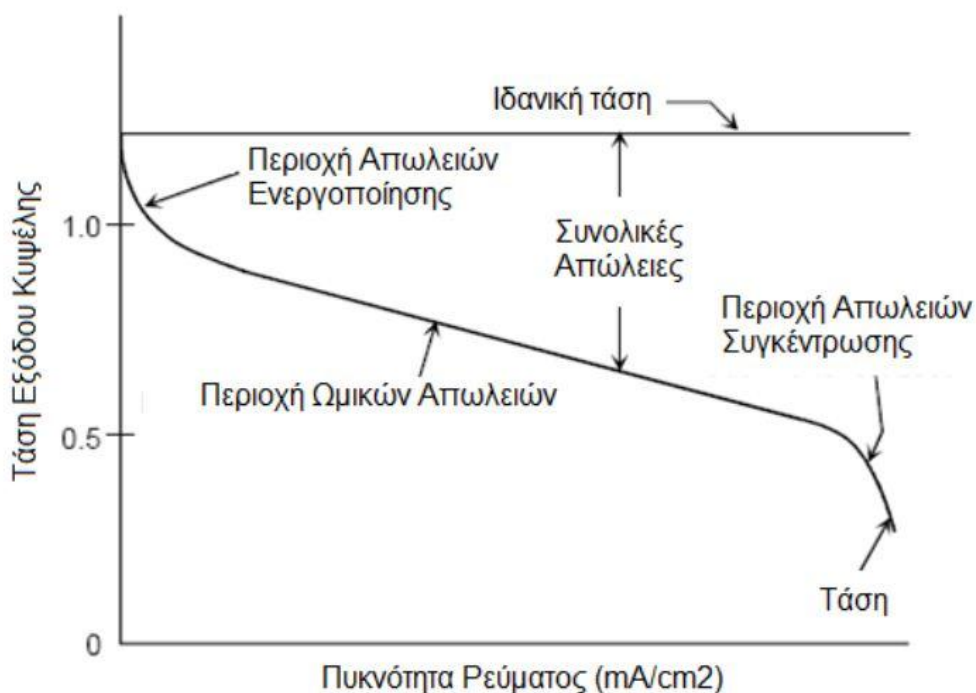
Το ποσοστό των προϊόντων της ανόδου που χρησιμοποιήθηκε για την προθέρμανση του ατμοσφαιρικού αέρα, μέσω ενός κλειστού συστήματος νερού μπορεί να μας δώσει την απαραίτητη ενέργεια που χρειαζόμαστε (θέρμανση) για να ζεστάνουμε μια οικία.

Το συνολικό διάγραμμα ροής της διεργασίας είναι:

υπερβούν τα αντιδρώντα. Οι απώλειες αυτές μεταφράζονται με μια πτώση τάσης στα άκρα της κυψέλης και εξαρτώνται από την ίδια την αντίδραση, από το υλικό, τη δομή του ηλεκτρολύτη, τις συγκεντρώσεις των αντιδρώντων και από την πυκνότητα του ρεύματος.

2. Ωμικές απώλειες: Προκαλούνται από την ιοντική αντίσταση του ηλεκτρολύτη και των ηλεκτροδίων, την αντίσταση των ηλεκτροδίων, των συλλεκτών ρεύματος, των εσωτερικών συνδέσμων και τις αντιστάσεις επαφής. Είναι ανάλογες με την πυκνότητα του ρεύματος και εξαρτώνται από τα υλικά που χρησιμοποιούνται, από το σχήμα της κυψέλης και από τη θερμοκρασία.
3. Απώλειες συγκέντρωσης: Οφείλονται στην περιορισμένη μεταφορά μάζας στο εσωτερικό της κυψέλης καυσίμου και εξαρτώνται από την πυκνότητα του ρεύματος, από τη συγκέντρωση των αντιδρώντων και από τη δομή των ηλεκτροδίων

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η καμπύλη τάσης-ρεύματος με την επίδραση των απωλειών.



Σχήμα 3.3: Η χαρακτηριστική V-I κυψέλης καυσίμου.

Οι απώλειες ενεργοποίησης μπορούν να υπολογιστούν από τον παρακάτω τύπο [32]:

$$n_{act} = \frac{R_g T_s}{nF \beta} \ln \frac{i}{i_0} \quad (3.2)$$

Όπου: R_g = παγκόσμια σταθερά των αερίων

T_s = θερμοκρασία κυψέλης

n = αριθμός ηλεκτρονίων

F = σταθερά Faraday

β = συντελεστής μεταφοράς ηλεκτρονίων (electronic transfer coefficient)

i = ένταση ρεύματος

i_0 = πυκνότητα ρεύματος ανταλλαγής (exchange current density)

Οι ωμικές απώλειες μπορούν να υπολογιστούν σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$\eta_{ohm} = R_{ohm} * i \quad (3.3)$$

όπου: $R = \rho * \delta / A$ (3.4)

με: ρ = ειδική αντίσταση

A = επιφάνεια

δ = πάχος

Οι απώλειες συγκέντρωσης μπορούν να υπολογιστούν με τη σειρά τους από τον ακόλουθο τύπο:

$$n_{con} = \frac{RT}{nF} \ln \left(1 - \frac{i}{i_L} \right) \quad (3.5)$$

Όπου: R = παγκόσμια σταθερά των αερίων

T = θερμοκρασία κυψέλης

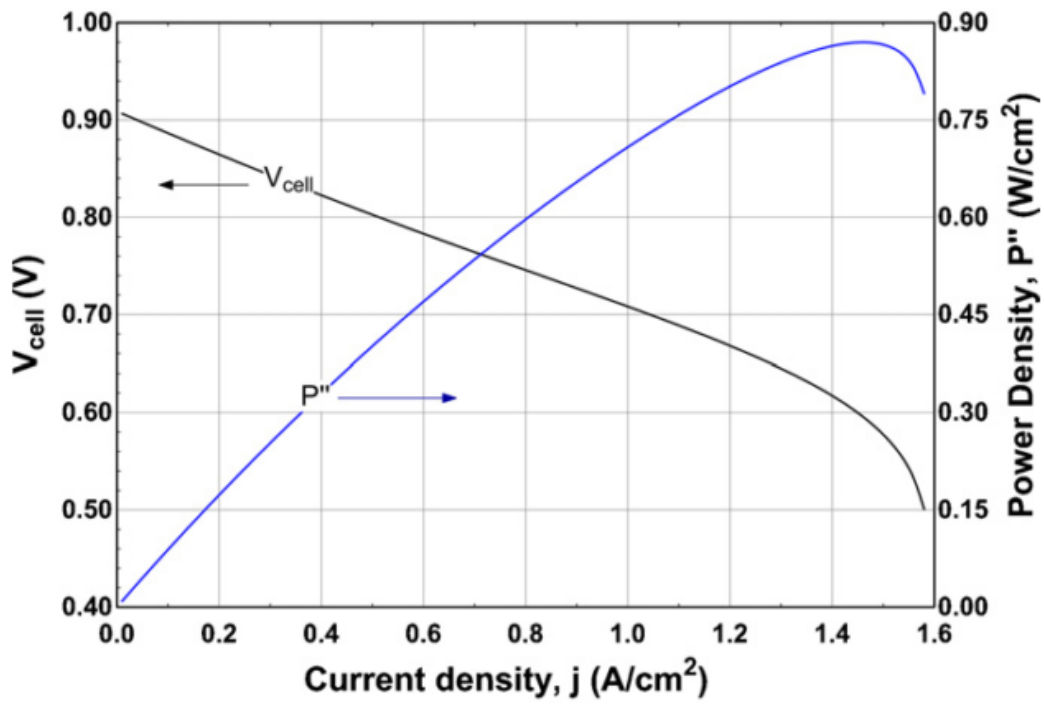
n = αριθμός ηλεκτρονίων

F = σταθερά Faraday

i = ένταση ρεύματος

i_L = ρεύμα περιορισμού (limiting current)

Χρησιμοποιώντας λοιπόν τους παραπάνω τύπους παίρνουμε την καμπύλη ισχύος της κυψέλης:



Σχήμα 3.4: Καμπύλη ισχύος κυψέλης.

Στη συγκεκριμένη μελέτη για δεδομένο συντελεστή χρήσης καυσίμου και ηλεκτρική απόδοση καταλήγουμε στις εξής παροχές:

Πίνακας 3.3: Παροχές

Εγκατεστημένη ισχύς (kw)		Παροχή (kg/sec)	LHV (kJ/mol)
12	1	0,000619195	240
Uf (%)	2	0,000619195	Ποκνότητα ρευματος (A/cm²)
85	3	0,000990712	1,2
n.el (%)	4	0,000990712	Τάση (V)
40	5	0,000990712	0,94
Ποσοστό μετατροπής (%)	6	0,000990712	Επιφάνεια κυψέλης (cm²)
95	7	0,001108359	625
Ποσοστό ανακυκλοφορίας (AR %)	8	0,001108359	Συνολική επιφάνεια (cm²)
60	9	0,001108359	10638,29787
	10	0,000443344	Αριθμός κελίων
	11	0,000665015	17,0212766
	12	0,000665015	
	13	0,000443344	
Θεωρητικό H₂ (kg/hr)	(kmol/hr)	(kg/sec)	
1,058823529	0,529411765	0,000294118	
Θεωρητική ποσότητα CH₄ (kg/hr)	(kg/sec)		
2,229102167	0,000619195		

4. Ενεργειακή Αναβάθμιση οικίας

Μετά την εγκατάσταση του παραπάνω περιγραφόμενου συστήματος έγινε εκ νέου ενεργειακή επιθεώρηση στην οικία,για να υπολογιστεί η επίδραση στην ενεργειακής της συμπεριφορά. Τα αποτελέσματα της ενεργειακής επιθεώρησης που έγινε και αυτή με τη χρήση του λογισμικού ΤΕΕΚΕΝΑΚ 1.29.1.19. παρουσιάζονται παρακάτω:

Πίνακας 4.1: Ενεργειακή επιθεώρηση μετά από την εγκατάσταση τους συγκεκριμένου συστήματος με το λογισμικό ΤΕΕΚΕΝΑΚ 1.29.1.19 .

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ

2

Χρήση Διαμέρισμα

Συνολική επιφάνεια (m ²)	148.5	Αριθμός ορόφων	2
Θερμαινόμενη επιφάνεια (m ²)	119.9	Ύψος τυπικού ορόφου (m)	3.1
Ψυχόμενη επιφάνεια (m ²)	59.95	Ύψος ισογείου (m)	3.8
Συνολικός όγκος (m ³)	470.36		
Θερμαινόμενος όγκος (m ³)	371.69	Αριθμός θερμικών ζωνών	1
Ψυχόμενος όγκος (m ³)	185.845	Αριθμός μη θερμαινόμενων χώρων	1
Έκθεση κτιρίου *	0	Αριθμός ηλιακών χώρων	0

* -1: Μη επιλογή, 0: Εκτεθειμένο, 1: Ενδιάμεσο, 2: Προστατευμένο

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΖΩΝΗΣ

1

Χρήση Μονοκατοικία. πολυκατοικία

Συνολική επιφάνεια (m ²)	119.9	Αριθμός καμινάδων	1
Αν. θερμοχωρητικότητα (kJ/m ² K)	260	Αριθμός θυρίδων εξαερισμού	1
Διατάξεις ελέγχου, αυτοματισμών	3	Αριθμός ανεμιστήρων οροφής	0
Διείσδυση από κουφώματα (m ³ /h)	311	Κόστος ανεμιστήρων οροφής (€)	0

ΚΕΛΥΦΟΣ

Αδιαφανείς επιφάνειες

Τύπος	Πυλωτή	Τοίχος	Τοίχος	Τοίχος	Τοίχος	Τοίχος	Τοίχος	Τοίχος	Τοίχος	Τοίχος	Τοίχος	Τοίχος	Τοίχος	Τοίχος	Τοίχος
Περιγραφή	Οροφή	Δάπεδο οικίας	Τοίχος 1	Τοίχος 5	Τοίχος 8	Τοίχος 10	Τοίχος 11	Τοίχος 12	Τοίχος	Τοίχος	Τοίχος	Τοίχος	Τοίχος	Τοίχος	Τοίχος
Προσ/σμός (deg)	6α	Τοίχος 68	Τοίχος 7	Τοίχος 9	οροφή οικίας	0	0	0	270	90	180	90	270	270	0
Κλίση (deg)	180	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	0
Εμβαδόν (m ²)	119.9	8.08	11.8	16.61	8.7	2.79	20.17	8.68	3.1	1.52	35.55	119.9			
U (W/m ² K)	1.375	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.42	0.44	0.43	3.7			
R_se (m ² K/W)	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Απορροφητικότητα	0.9	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.9			
Συν. εκπομπής	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8			
F_hor_h (-)	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.3			
F_hor_c (-)	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.3			
F_ov_h (-)	0	0.644	0.644	0.777	0.798	0.344	1	0.744	0.595	0.434	1	1			
F_ov_c (-)	0	0.688	0.688	0.716	0.743	0.331	1	0.674	0.505	0.463	1	1			
F_fin_h (-)	0	1	1	1	0.76	1	0.874	0.638	1	1	1	1			
F_fin_c (-)	0	0.92	0.934	1	0.99	0.86	1	0.967	0.888	0.92	1	1			
Κόστος (€/m ²)															

Διαφανείς επιφάνειες

Τύπος	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα
Περιγραφή	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα	Ανοιγόμενο κούφωμα
Προσ/σμός (deg)	0	0	0	270	270	90	90	0	180						
Κλίση (deg)	90	90	90	90	90	90	90	90	90						
Εμβαδόν (m ²)	3.08	2.2	3.36	2.2	1.96	3.08	0.6	2.2	1.96						
U (W/m ² K)	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.3	4.7	4.7						
g_w (-)	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.46	0.54	0.54					
F_hor_h (-)	1	1	1	0.5	0.5	0.5	1	1	1						
F_hor_c (-)	0.85	0.85	0.85	0.52	0.52	0.52	1	0.85	1						
F_ov_h (-)	0.67	0.67	0.612	0.792	0.741	0.811	0.953	0.452	0.967						
F_ov_c (-)	0.71	0.71	0.659	0.735	0.671	0.759	0.943	0.491	0.944						
F_fin_h (-)	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
F_fin_c (-)	0.92	0.92	0.94	1	1	0.99	1	0.92	1						
Κόστος (€/m ²)															

Σε επαφή με το έδαφος

Τύπος
Περιγραφή
Εμβαδόν (m²)
U (W/m²K)
Κ. Βάθος (m)
Α. Βάθος (m)
Περίμετρος (m)
Κόστος (€/m²)

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

ΘΕΡΜΑΝΣΗ

Θέρμανση (Παραγωγή)

Τύπος	Λέβητας ΣΗΘ
Πηγή ενέργειας	Natural gas ΣΗΘ2
Ισχύς (kW)	36.4
Βαθμός απόδοσης	0.924 1.0
COP (-)	1 1.0
Κόστος (€)	

Θέρμανση (Δίκτυο διανομής)

Τύπος	Δίκτυο διανομής θερμού μέσου Αεραγωγοί
Ισχύς (kW)	33.264
Χώρος διέλευσης	Εσωτερικοί ή έως και 20% σε εξωτερικούς
T _i (°C)	
T _r (°C)	
Βαθμός απόδοσης	1.0
Κόστος (€)	Δίκτυο διανομής θερμού μέσου

Θέρμανση (Τερματικές μονάδες)

Τύπος	Άμεσης απόδοσης σε εξωτερικό τοίχο
Βαθμός απόδοσης	0.931
Κόστος (€)	

Θέρμανση (Βοηθητικές μονάδες)

Τύπος	Κυκλοφορητές
Αριθμός (-)	1
Ισχύς (kW)	0.22

ΨΥΞΗ

Ψύξη (Παραγωγή)

Τύπος	Αερόψυκτη Α.Θ.
Πηγή ενέργειας	Electricity
Ισχύς (kW)	0
Βαθμός απόδοσης	1
Εν. αποδοτικότητα	3
Ισχύς (kW)	

Ψύξη (Δίκτυο διανομής)

Τύπος	Δίκτυο διανομής ψυχρού μέσου Αεραγωγοί
Ισχύς (kW)	0
Χώρος διέλευσης	
Βαθμός απόδοσης	1
Κόστος (€)	1

Ψύξη (Τερματικές μονάδες)

Τύπος	
Βαθμός απόδοσης	0.95
Κόστος (€)	

Ψύξη (Βοηθητικές μονάδες)

Τύπος	
Αριθμός (-)	1
Ισχύς (kW)	0

ΥΓΡΑΝΣΗ

Υγρανση (Παραγωγή)

Τύπος
Πηγή ενέργειας
Ισχύς (kW)
Βαθμός απόδοσης
Κόστος (€)

Υγρανση (Δίκτυο διανομής)

Τύπος
Χώρος διέλευσης
Βαθμός απόδοσης
Κόστος (€)

Υγρανση (Σύστημα διοχέτευσης)

Τύπος
Βαθμός απόδοσης
Κόστος (€)

ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΗ ΜΟΝΑΔΑ

ΚΚΜ

Τύπος
Κόστος (€)

Τμήμα θέρμανσης

Παροχή αέρα (m³/h)
T_{i_h} (°C)
R_h (-)
Q_{r_h} (-)

Τμήμα ψύξης

Παροχή αέρα (m³/h)
T_{i_c} (°C)
R_c (-)
Q_{r_c} (-)

Τμήμα ύγρανσης

H_r (-)
E_{vent} (kW s/m³)

ΖΕΣΤΟ ΝΕΡΟ ΧΡΗΣΗΣ

ΖΝΧ (Παραγωγή)

Τύπος	Λέβητας ΣΗΘ
Πηγή ενέργειας	Natural gas ΣΗΘ2
Ισχύς (kW)	36.4
Βαθμός απόδοσης	0.924 0.95
Κόστος (€)	

ΖΝΧ (Δίκτυο διανομής)

Τύπος	Δίκτυο
Χώρος διέλευσης	Εσωτερικοί ή έως και 20% σε εξωτερικούς
Βαθμός απόδοσης	1
Κόστος (€)	False

ΖΝΧ (Σύστημα αποθήκευσης)

Τύπος	Δίκτυο
Βαθμός απόδοσης	1
Κόστος (€)	Εσωτερικοί ή έως και 20% σε εξωτερικούς

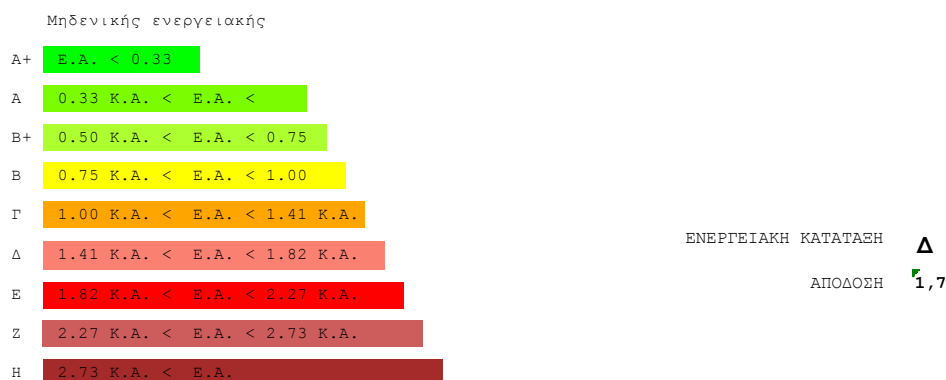
ΗΛΙΑΚΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ

Τύπος
Συν. α (-)
Συν. β (-)
Επιφάνεια (m²)
Προσ/σμός (deg)
Κλίση (deg)
F_s (-)
Κόστος (€)

ΦΩΤΙΣΜΟΣ

Ισχύς (kW)	,
Περιοχή ΦΦ (%)	,
Αυτ. ελέγχου ΦΦ	,
Αυτ. αν. κίνησης	,
Κόστος (€)	

Πίνακας 4.2: Ενεργειακή κατάταξη της οικίας μετά από την εγκατάσταση τους συγκεκριμένου συστήματος με το λογισμικό ΤΕΕΚΕΝΑΚ 1.29.1.19 .



Ενεργειακά μη αποδοτικό

	ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ				ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΤΙΡΙΟΥ			
	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΨΥΞΗ	ΖΝΧ	ΦΩΤΙΣΜΟΣ	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΨΥΞΗ	ΖΝΧ	ΥΓΡΑΝΣΗ
	(kWh/m ²)				(kWh/m ²)			
ΙΑΝ	65.5	0.0	3.2	0.0	78.3	0.0	2.6	0.0
ΦΕΒ	50.2	0.0	2.9	0.0	59.6	0.0	2.3	0.0
ΜΑΡ	38.8	0.0	3.0	0.0	45.2	0.0	2.4	0.0
ΑΠΡ	17.7	0.0	2.6	0.0	19.1	0.0	2.1	0.0
ΜΑΙ	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0
ΙΟΥΝ	0.0	6.0	0.1	0.0	0.0	10.7	1.5	0.0
ΙΟΥΛ	0.0	13.1	0.1	0.0	0.0	23.4	1.4	0.0
ΑΥΓ	0.0	8.9	0.1	0.0	0.0	15.9	1.4	0.0
ΣΕΠ	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0
ΟΚΤ	5.3	0.0	2.4	0.0	5.8	0.0	1.8	0.0
ΝΟΕ	35.6	0.0	2.7	0.0	41.3	0.0	2.1	0.0
ΔΕΚ	59.9	0.0	3.1	0.0	71.3	0.0	2.5	0.0
ΣΥΝ	272.9	28.0	20.7	0.0	320.6	50.0	23.4	0.0

	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ ΚΤΙΡΙΟΥ			
	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΨΥΞΗ	ΖΝΧ	ΦΩΤΙΣΜΟΣ
	(kWh/m ²)			
ΙΑΝ	97.9	0.0	2.9	0.0
ΦΕΒ	74.7	0.0	2.6	0.0
ΜΑΡ	56.9	0.0	2.7	0.0
ΑΠΡ	24.5	0.0	2.3	0.0
ΜΑΙ	0.0	0.0	2.0	0.0
ΙΟΥΝ	0.0	2.1	1.6	0.0
ΙΟΥΛ	0.0	4.5	1.5	0.0
ΑΥΓ	0.0	3.1	1.5	0.0
ΣΕΠ	0.0	0.0	1.6	0.0
ΟΚΤ	7.4	0.0	2.1	0.0
ΝΟΕ	52.0	0.0	2.4	0.0
ΔΕΚ	89.3	0.0	2.8	0.0
ΣΥΝ	402.6	9.7	26.1	0.0

Παρατηρούμε ότι η οικία αναβαθμίζεται ενεργειακά και εντάσσεται πλέον στην κατηγορία Δ. Το αποτέλεσμα ήταν αναμενόμενο, αφού η επίδραση ενός συστήματος Σ.Η.Θ. στην ενεργειακή συμπεριφορά των κτηρίων είναι ιδιαίτερα ευεργετική, μειώνοντας την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας.

5.ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

5.1. Παρουσίαση του προγράμματος “εξοικονόμηση κατ’ οίκον”

Πρόκειται για συγχρηματοδοτούμενο Πρόγραμμα που απευθύνεται σε ιδιοκτήτες κτηρίων που διαθέτουν οικοδομική άδεια ή άλλο νομιμοποιητικό έγγραφο, βρίσκονται σε περιοχές με τιμή ζώνης μικρότερη ή ίση των 2.100 €/ τ.μ., χρησιμοποιούνται ως κατοικία, οι ιδιοκτήτες των οποίων πληρούν συγκεκριμένα εισοδηματικά κριτήρια και είναι χαμηλής ενεργειακής κατηγορίας.

Το Πρόγραμμα παρέχει κίνητρα στους ωφελούμενους να πραγματοποιήσουν τις πιο σημαντικές παρεμβάσεις για να βελτιώσουν την ενεργειακή απόδοση του σπιτιού τους και ταυτόχρονα συμβάλλει στην επίτευξη των ενεργειακών και περιβαλλοντικών στόχων της χώρας, εξασφαλίζοντας με την ολοκλήρωσή του, εξοικονόμηση ενέργειας έως 1 δισ. κιλοβατώρες (kWh) ετησίως.

Συγκεκριμένα το Πρόγραμμα «Εξοικονόμηση κατ’ Οίκον» προβλέπει την επιδότηση παρεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας σε κτήρια που διαθέτουν οικοδομική άδεια ή άλλο νομιμοποιητικό έγγραφο, σε όλη τη χώρα, που:

1. Βρίσκονται σε περιοχές με τιμή ζώνης¹ χαμηλότερη ή ίση των 2.100 €/ τ.μ., όπως αυτή έχει διαμορφωθεί πριν τις 31.12.2009, φέρει οικοδομική άδεια. Στην περίπτωση που ο ιδιοκτήτης του κτηρίου δε διαθέτει οικοδομική άδεια, θα πρέπει να προσκομισθεί σχετικό νομιμοποιητικό έγγραφο, από το οποίο να προκύπτει ότι το κτήριο υφίσταται νόμιμα². Για τις περιπτώσεις που η οικοδομική άδεια απωλέσθη ή τα σχετικά αρχεία βάσει των οποίων μπορεί να εκδοθεί το ως άνω νομιμοποιητικό έγγραφο δεν είναι άμεσα διαθέσιμα, η εν λόγω άδεια και το νομιμοποιητικό έγγραφο δύνανται να προσκομιστούν στο χρηματοπιστωτικό οργανισμό πριν την υπογραφή της δανειακής σύμβασης.
2. Έχουν καταταχθεί βάσει του Πιστοποιητικού Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) σε κατηγορία χαμηλότερη ή ίση της Δ.
3. Δεν έχουν κριθεί κατεδαφιστέα

Δικαίωμα συμμετοχής στο Πρόγραμμα έχουν **μόνο φυσικά πρόσωπα** που:

1. έχουν δικαίωμα κυριότητας (πλήρους ή ψιλής) ή επικαρπίας σε επιλέξιμη κατοικία
2. έχουν δικαίωμα κυριότητας (πλήρους ή ψιλής) ή επικαρπίας σε επιλέξιμη κατοικία
3. πληρούν τα εισοδηματικά κριτήρια των παρακάτω κατηγοριών A1, A2 ή B.

Το Πρόγραμμα απευθύνεται σε πολίτες/ωφελούμενους, οι οποίοι, εισοδηματικά, εντάσσονται σε τρεις κατηγορίες, με διακριτά κίνητρα ανά κατηγορία. Συγκεκριμένα:

1. Ωφελούμενοι – Κίνητρα Κατηγορίας A1: οι Ωφελούμενοι των οποίων το ατομικό δηλωθέν εισόδημα δεν ξεπερνά τις 12.000 € ή το οικογενειακό δηλωθέν εισόδημα δεν ξεπερνά τις 20.000 €. Για την κατηγορία αυτή, τα κίνητρα περιλαμβάνουν δάνειο ύψους 30% με επιδότηση επιτοκίου 100% και επιχορήγηση ύψους 70%, επί του τελικού επιλέξιμου προϋπολογισμού όπως αυτός θα προκύπτει μετά τη διενέργεια της δεύτερης ενεργειακής επιθεώρησης, με απευθείας πληρωμή των αναδόχων/ προμηθευτών σε τραπεζικό λογαριασμό τους από την τράπεζα.
2. Ωφελούμενοι – Κίνητρα Κατηγορίας A2: Οι ωφελούμενοι των οποίων το ατομικό δηλωθέν εισόδημα είναι μεγαλύτερο των 12.000 € και δεν ξεπερνά τις 40.000€ ή το οικογενειακό δηλωθέν εισόδημα είναι μεγαλύτερο των 20.000 € και δεν ξεπερνά τις 60.000€. Για την κατηγορία αυτή, τα κίνητρα περιλαμβάνουν δάνειο ύψους 65% με επιδότηση επιτοκίου 100% και επιχορήγηση ύψους 35%, επί του τελικού επιλέξιμου προϋπολογισμού όπως αυτός θα προκύπτει μετά τη διενέργεια της δεύτερης ενεργειακής επιθεώρησης, με απευθείας πληρωμή των αναδόχων/ προμηθευτών σε τραπεζικό λογαριασμό τους από την τράπεζα.
3. Ωφελούμενοι – Κίνητρα Κατηγορίας B: Οι ωφελούμενοι των οποίων το ατομικό δηλωθέν εισόδημα είναι μεγαλύτερο των 40.000 € και δεν ξεπερνά τις 60.000 € ή το οικογενειακό δηλωθέν εισόδημα είναι μεγαλύτερο των 60.000€ και δεν ξεπερνά τις 80.000€. Για την κατηγορία αυτή, τα κίνητρα περιλαμβάνουν δάνειο ύψους 85% με επιδότηση επιτοκίου 100% και επιχορήγηση ύψους 15%, επί του τελικού επιλέξιμου προϋπολογισμού όπως αυτός θα προκύπτει μετά τη διενέργεια της δεύτερης ενεργειακής επιθεώρησης, με απευθείας πληρωμή των αναδόχων/ προμηθευτών σε τραπεζικό λογαριασμό τους από την τράπεζα.

Ο επιλέξιμος προϋπολογισμός ανά αίτηση Ωφελούμενου δεν μπορεί να υπερβαίνει τις 15.000 € συμπεριλαμβανομένου του ΦΠΑ (επιλέξιμος προϋπολογισμός παρεμβάσεων).

Η πρόταση (συνδυασμός παρεμβάσεων) για ενεργειακή αναβάθμιση, που υποβάλλεται με την αίτηση, θα πρέπει να καλύπτει την ακόλουθη απαίτηση που αποτελεί **τον ελάχιστο ενεργειακό στόχο του Προγράμματος**: αναβάθμιση κατά μια τουλάχιστον ενεργειακή κατηγορία ή εναλλακτικά η ετησία εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας να είναι μεγαλύτερη από το 30% της κατανάλωσης του κτηρίου αναφοράς (kWh/m²).

Οι εργασίες για να είναι επιλέξιμες από το Πρόγραμμα, θα πρέπει να προκύπτουν βάσει των συστάσεων του Ενεργειακού Επιθεωρητή και θα αφορούν αποκλειστικά τις ακόλουθες τρεις κατηγορίες επιλέξιμων παρεμβάσεων.

1. Αντικατάσταση κουφωμάτων (πλαίσια / υαλοπίνακες) και τοποθέτηση συστημάτων σκίασης. Η παρέμβαση αφορά κατά βάση αλλά όχι αποκλειστικά σε θερμομονωτικά/ θερμο-διακοπτόμενα κουφώματα με διπλούς υαλοπίνακες (κουφώματα αλουμινίου, ξύλου, συνθετικά pvc κλπ). Επιλέξιμη είναι και η αλλαγή μόνο του υαλοπίνακα με την προϋπόθεση ότι επιτυγχάνεται ενεργειακή αναβάθμιση. Επιλέξιμη, επίσης, είναι η αντικατάσταση εξώπορτας σε μονοκατοικία και κουφωμάτων κλιμακοστασίου και φωταγωγού σε πολυκατοικία. Δεν συμπεριλαμβάνονται όμως «ανοίγματα» προς εσωτερικούς χώρους του κτηρίου θερμαινόμενους ή μη (π.χ. πόρτα διαμερίσματος). Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνεται και η τοποθέτηση εξωτερικών σκιάστρων και κινητών προστατευτικών εξωφύλλων στα ανοίγματα (παντζούρια, ρολά).
2. Τοποθέτηση θερμομόνωσης στο κέλυφος του κτηρίου συμπεριλαμβανομένου του δώματος / στέγης και της πιλοτής. Στην κατηγορία αυτή είναι επιλέξιμη και η τοποθέτηση εσωτερικής θερμομόνωσης όταν η τοποθέτηση εξωτερικής θερμομόνωσης είναι τεχνικά αδύνατη ή δεν επιτρέπεται από την κείμενη νομοθεσία (π.χ. διατηρητέα κτήρια, παραδοσιακοί οικισμοί).
3. Αναβάθμιση του συστήματος θέρμανσης και παροχής ζεστού νερού χρήσης.

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνεται:

1. Η εγκατάσταση νέου ή αντικατάσταση συστήματος καυστήρα ή/και λέβητα με καινούριο σύστημα πετρελαίου ή φυσικού αερίου (κεντρικό ή ατομικό) ή σύστημα που λειτουργεί κυρίως με την αξιοποίηση ανανεώσιμης πηγής

ενέργειας, Α.Π.Ε., (π.χ. καυστήρας βιομάζας, αντλίες θερμότητας, ηλιοθερμικά συστήματα, κλπ.) ή **σύστημα συμπαγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής απόδοσης (Σ.Η.Θ.Υ.Α.)**. Η εγκατάσταση / αντικατάσταση αφορά στον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό του λεβητοστασίου στο σύνολό του και του δικτύου διανομής (αυτοματισμοί, κυκλοφορητές, καμινάδα, αντικατάσταση ή μόνωση σωληνώσεων, κλπ.). Δεν είναι επιλέξιμες οι δαπάνες για δεξαμενή πετρελαίου και τερματικές μονάδες απόδοσης θερμότητας (σώματα καλοριφέρ, ενδοδαπέδιο σύστημα, κλπ).

2. Η τοποθέτηση διατάξεων αυτομάτου ελέγχου της λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης, όπως χρονοδιακόπτες, αυτοματισμούς αντιστάθμισης ή/και υδραυλικής ισορροπίας για τη ρύθμιση των μερικών φορτίων (τρίοδη ή τετράοδη ηλεκτροβάννα, ρυθμιστές στροφών κυκλοφορητών, κλπ), θερμοστάτες χώρων, θερμοστατικές κεφαλές θερμαντικών σωμάτων, κλπ., συμπεριλαμβανομένων συστημάτων θερμοδομέτρησης για την κατανομή δαπανών θέρμανσης.
3. Η τοποθέτηση ηλιακών συστημάτων για την παροχή ζεστού νερού χρήσης (συλλέκτης, δοχείο αποθήκευσης νερού, βάση στήριξης, σωληνώσεις, κλπ).

Οι κατηγορίες παρεμβάσεων, οι υποκατηγορίες τους και τα ανώτατα όρια επιλέξιμων δαπανών, βάσει και των ενεργειακών χαρακτηριστικών, ανά κατηγορία δαπάνης (1Α έως 3Ε) φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 5.1: Κατηγορίες και ανώτατα όρια δαπανών του προγράμματος Εξοικονόμηση κατ οίκον [33]

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗΣ	ΑΝΩΤΑΤΑ ΟΡΙΑ ΕΠΙΛΕΞΙΜΩΝ ΔΑΠΑΝΩΝ ΑΝΑ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΔΑΠΑΝΗΣ
1. Αντικατάσταση κουφωμάτων και συστημάτων σκίασης	1.Α. Συρόμενα ή επάλληλα 1.Β. Αναγόμενα 1.Γ. Μόνο υαλοπίνακες 1.Δ. Εξωτερικά συστήματα σκίασης και εξώφυλλα	1.Α. Για συρόμενα ή επάλληλα με υαλοπίνακα (χωρίς παντζούρια / ρολά): 250 €/m ² 1.Β. Για αναγόμενα με υαλοπίνακα (χωρίς παντζούρια / ρολά): 280 €/m ² 1.Γ. Μόνο Υαλοπίνακες: 75 €/m ² 1.Δ. Εξωτερικά συστήματα σκίασης και εξώφυλλα: Έως 2.500 € ανά ιδιοκτησία
2. Τοποθέτηση θερμομόνωσης στο κέλυφος του κτηρίου συμπεριλαμβανομένου του δώματος / στέγης και της πιλοτής	2.Α. Εξωτερική θερμομόνωση δώματος 2.Β. Εξωτερική θερμομόνωση λοιπού κελύφους & πιλοτής 2.Γ. Εσωτερική θερμομόνωση	2.Α. Για δώμα: 40 €/m ² 2.Β. Για εξωτερική θερμομόνωση λοιπού κελύφους & πιλοτή: 50 €/m ² 2.Γ. Για εσωτερική θερμομόνωση: 25 €/m ²
3. Αναβάθμιση συστήματος θέρμανσης και συστήματος παροχής ζεστού νερού χρήσης	3.Α. Κεντρικό σύστημα θέρμανσης 3.Β. Ατομικός (επιτοίχιος) καυστήρας - λέβητας 3.Γ. Διατάξεις αυτομάτου ελέγχου της λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης 3.Δ. Σύστημα με κύρια χρήση Α.Π.Ε. ή ΣΗΘΥΑ 3.Ε. Ηλιακά συστήματα για παροχή ζεστού νερού χρήσης	3.Α. Κεντρικό σύστημα θέρμανσης i) για P < 70 kW: 6.000 € ii) για 70 ≤ P < 150 kW: 8.000 € iii) για P ≥ 150 kW: 11.000 € 3.Β. Ατομικός (επιτοίχιος) καυστήρας - λέβητας: έως 5.000 € 3.Γ. Διατάξεις αυτομάτου ελέγχου της λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης: έως 600 € ανά διαμέρισμα και έως 7.000 € συνολικά για την πολυκατοικία 3.Δ. Σύστημα με κύρια χρήση Α.Π.Ε. ή ΣΗΘΥΑ: έως 15.000 € 3.Ε. Ηλιακά συστήματα για παροχή ζεστού νερού χρήσης: έως 1.300 € ανά διαμέρισμα


U: ο συντελεστής θερμοπερατότητας, P: θερμική ισχύς καυστήρα / λέβητα κεντρικού συστήματος θέρμανσης.

Με την εγκατάσταση του συστήματος η οικία αναβαθμίζεται ενεργειακά και ανήκει πλέον στην κατηγορία **A**. Ικανοποιείται δηλαδή η απαίτηση του προγράμματος και κατά συνέπεια μπορεί να γίνει η είσπραξη των κινήτρων που παρέχονται (επιδότηση έως και 70%).

5.2. Διάρκεια Ζωής Συστήματος και χρόνος λειτουργίας

Όπως έχει αναφερθεί, στα μειονεκτήματα των συστημάτων κυψελών καυσίμου στερεού οξειδίου, συγκαταλέγεται και ο σχετικά μειωμένος χρόνος ζωής αυτών των συστημάτων, εξαιτίας των αυξημένων θερμοκρασιών που αναπτύσσουν, ο οποίος ανέρχεται στις 40,000 ώρες συνεχούς λειτουργίας, δηλαδή στα 5 χρόνια. Η οικονομική μελέτη για την παρούσα εγκατάσταση έγινε για δεκαετή διάρκεια ζωής-λειτουργίας, με 24ωρη συνεχόμενη λειτουργία καθώς και αντικατάσταση των κυψελών καυσίμου στα 5 έτη.

Πίνακας 5.2: Τιμές Φ.Α. [36]

		ΤΙΜΕΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ					
		ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΧΡΗΣΗΣ:					
		T1 (Μαγείρεμα / Ζεστό νερό)					
		T2 (Αυτόνομη / Ανεξάρτητη θέρμανση)					
		T3 (Επαγγελματική χρήση/ Κεντρική θέρμανση) - χωρίς πάγια χρέωση					
		T3C (Συμπαραγωγή) - χωρίς πάγια χρέωση					
		T3D (Κλιματισμός) - χωρίς πάγια χρέωση					
ΤΙΜΕΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟ ΤΕΛΟΣ		T1	T2	T3	T3C	T3D	ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ
		€/Kwh	€/Kwh	€/Kwh	€/Kwh	€/Kwh	kwh/Nm3
2012	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	0,070260089	0,058991476	0,060620673	0,057589639	0,060620673	11,2103
	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	0,068896400	0,057627787	0,059256984	0,056294135	0,059256984	11,2171
	ΜΑΡΤΙΟΣ	0,068509717	0,057241104	0,058870301	0,055926786	0,058870301	11,2121
	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	0,069229769	0,057961156	0,059590353	0,056610835	0,059590353	11,2184
	ΜΑΙΟΣ	0,067827094	0,056558481	0,058187678	0,049459526	0,049459526	11,2316
	ΙΟΥΝΙΟΣ	0,068444810	0,057176197	0,058805394	0,049984585	0,049984585	11,2590
	ΙΟΥΛΙΟΣ	0,073424357	0,062155744	0,063784941	0,054217200	0,054217200	11,2912
	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0,074011659	0,062743046	0,064372243	0,054716407	0,054716407	11,3050
	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0,073704834	0,062436221	0,064065418	0,054455605	0,054455605	11,2740
	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	0,070485989	0,059217376	0,060846573	0,057804244	0,060846573	11,2693
	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	0,071505785	0,060237172	0,061866369	0,058773051	0,061866369	11,2793
	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	0,070238963	0,05897035	0,060599547	0,05756957	0,060599547	11,2556
	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	0,070199735	0,058705749	0,060367530	0,057349154	0,060367530	11,2495
	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	0,069279522	0,057785536	0,059447317	0,056474951	0,059447317	11,2461
	ΜΑΡΤΙΟΣ	0,069219001	0,057725015	0,059386796	0,056417456	0,059386796	11,2533
	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	0,047697531	0,036203545	0,037865326	0,03597206	0,037865326	11,2674
	ΜΑΙΟΣ	0,068937581	0,057443595	0,059105376	0,05023957	0,050239570	11,2847

Στις τιμές δεν συμπεριλαμβάνεται ΦΠΑ 13%, Ειδικός Φόρος Κατανάλωσης και Ειδικό Τέλος.

- Σύμφωνα με το Ν.3986/2011, η ΕΠΑ υποχρεούται να συνεισπράττει με τους λογαριασμούς αερίου τη χρέωση για τον Ειδικό Φόρο Κατανάλωσης και να την αποδίδει στο Κράτος. Ο Ειδικός Φόρος Κατανάλωσης ανέρχεται σε 1,5 €/Gigajoule ή 0,0054 €/kwh (1 Gigajoule = 277,7778 kwh), υπόκειται σε ΦΠΑ και εφαρμόζεται επί της κατανάλωσης αερίου (αναλογικό τέλος) από 01/09/11 και μετά.
- Σύμφωνα με το Ν.2093/92, άρθρο 9 (παρ.5,6,7), η ΕΠΑ υποχρεούται να συνεισπράττει με τους λογαριασμούς αερίου την χρέωση για το Ειδικό Τέλος (5%) και να την αποδίδει στο Κράτος. Το Ειδικό τέλος (5%) εφαρμόζεται επί

των υπαγομένων σε ΕΦΚ χρεώσεων προσαυξημένων με τον Ειδικό Φόρο Κατανάλωσης (αναλογικό τέλος + ΕΦΚ) και δεν υπόκειται σε ΦΠΑ [36].

5.3. Έσοδα από πώληση παραγόμενου Ρεύματος

5.3.1. Τιμολόγηση

Ακολουθεί ο Νόμος 3851 / 2010 – ΦΕΚ Α 85 / 04.06.2010, σύμφωνα με τον οποίο γίνεται η τιμολόγηση της ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α

Άρθρο 5

Ορθολογικοποίηση της τιμολόγησης ενέργειας που παράγεται από σταθμούς Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α.

- Η παρ. 2 του άρθρου 12 του ν. 3468/2006, όπως ισχύει, αντικαθίσταται ως εξής: «2. Η σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από σταθμούς Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α. ισχύει για είκοσι (20) έτη και μπορεί να παρατείνεται, σύμφωνα με τους όρους της άδειας αυτής, μετά από έγγραφη συμφωνία των μερών, εφόσον ισχύει η σχετική άδεια παραγωγής. Ειδικά η σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ηλιοθερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής ισχύει για είκοσι πέντε (25) έτη και μπορεί να παρατείνεται σύμφωνα με όσα ορίζονται στο προηγούμενο εδάφιο.»
- Η παρ. 1 του άρθρου 13 του ν. 3468/2006, όπως ισχύει, αντικαθίσταται ως εξής: «1. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από Παραγωγό ή Αυτοπαραγωγό μέσω σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α. ή μέσω Υβριδικού Σταθμού και απορροφάται από το Σύστημα ή το Δίκτυο, σύμφωνα με τις διατάξεις των άρθρων 9, 10 και 12, τιμολογείται, σε μηνιαία βάση, κατά τα ακόλουθα:
 1. Η τιμολόγηση γίνεται με βάση την τιμή, σε ευρώ ανά μεγαβατώρα (MWh), της ηλεκτρικής ενέργειας που απορροφάται από το Σύστημα ή το Δίκτυο, συμπεριλαμβανομένου και του Δικτύου Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών.
 2. Η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας κατά την προηγούμενη περίπτωση, εκτός από την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από φωτοβολταϊκούς σταθμούς για τους οποίους έχουν οριστεί ξεχωριστές

τιμές από τον ν. 3734/2009 (ΦΕΚ 8 Α΄), όπως ισχύει, γίνεται με βάση τα στοιχεία του ακόλουθου πίνακα

Πίνακας 5.3: Τιμές σταθμών Σ.Η.Θ.Υ.Α. που κάνουν χρήση φυσικού αερίου

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από:	Τιμή Ενέργειας (€/MWh)	
	Διασυνδεδεμένο Σύστημα	Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά
(α) Αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με χερσαίες εγκαταστάσεις ισχύος μεγαλύτερης των 50kW	87,85	99,45
(β) Αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με εγκαταστάσεις ισχύος μικρότερης ή ίσης των 50kW	250	
(γ) Φωτοβολταϊκά έως 10kW _{peak} στον οικιακό τομέα και σε μικρές επιχειρήσεις (σύμφωνα με το ειδικό πρόγραμμα σε κτιριακές εγκαταστάσεις – ΚΥΑ 12323/ΓΓ 175/4.6.2009, Β΄ 1079)	550	
(δ) Υδραυλική ενέργεια που αξιοποιείται με μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ έως δεκαπέντε (15) MW _e	87,85	
(ε) Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από ηλιοθερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής	264,85	
(στ) Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από ηλιοθερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με σύστημα αποθήκευσης, το οποίο εξασφαλίζει τουλάχιστον 2 ώρες λειτουργίας στο ονομαστικό φορτίο	284,85	
(ζ) Γεωθερμική ενέργεια χαμηλής θερμοκρασίας κατά την παρ. 1στ του άρθρου 2 του νόμου	150	

(η) Γεωθερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας κατά την παρ. 1στ του άρθρου 2 του νόμου 3175/2003 (Α' 207)	99,45
(θ) Βιομάζα που αξιοποιείται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ ≤ 1 MW (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	200
(ι) Βιομάζα που αξιοποιείται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ >1 MW και ≤ 5 MW (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	175

(ια) Βιομάζα που αξιοποιείται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ >5 MW (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	150	
(ιβ) Αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και βιοαέρια από βιομάζα (συμπεριλαμβανομένου και του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αποβλήτων), με εγκατεστημένη ισχύ ≤ 2 MW	120	
(ιγ) Αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και βιοαέρια από βιομάζα (συμπεριλαμβανομένου και του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αποβλήτων), με εγκατεστημένη ισχύ >2 MW	99,45	
(ιδ) Βιοαέριο που προέρχεται από βιομάζα (κτηνοτροφικά και αγροτοβιομηχανικά οργανικά υπολείμματα και απόβλητα) με εγκατεστημένη ισχύ ≤ 3 MW	220	
(ιε) Βιοαέριο που προέρχεται από βιομάζα (κτηνοτροφικά και αγροτοβιομηχανικά οργανικά υπολείμματα και απόβλητα) με εγκατεστημένη ισχύ > 3 MW	200	
(ιστ) Σ.Η.Θ.Υ.Α.	87,85xΣΡ	99,45xΣΡ
(ιζ) Λοιπές Α.Π.Ε. (συμπεριλαμβανομένων και των σταθμών ενεργειακής αξιοποίησης του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων που πληρούν	87,85	99,45

Οι τιμές της περίπτωσης (ιστ) του ανωτέρω πίνακα που αφορούν σε σταθμούς Σ.Η.Θ.Υ.Α. που κάνουν χρήση φυσικού αερίου προσαυξάνονται κατά ποσό ίσο με την τιμή επί το συντελεστή ρήτρας φυσικού αερίου ο οποίος ορίζεται ως εξής:

$$\Sigma P = 1 + (M.T.\Phi.A. - 26) / (100 \times n_{el}) \quad (5.1)$$

Όπου: **M.T.Φ.Α.:** η ανά τρίμηνο μέση μοναδιαία τιμή πώλησης φυσικού αερίου για συμπαραγωγή σε €/MWh ανωτέρας θερμογόνου δύναμης (Α.Θ.Δ.) στους χρήστες Φ.Α. στην Ελλάδα, εξαιρουμένων των πελατών ηλεκτροπαραγωγής. Η τιμή αυτή ορίζεται με μέριμνα της Δ.Ε.Π.Α. Α.Ε. και κοινοποιείται ανά τρίμηνο στον Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε.

n_{el} : ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης της διάταξης Σ.Η.Θ.Υ.Α. επί ανωτέρας θερμογόνου δύναμης (Α.Θ.Δ.) φυσικού αερίου, η οποία ορίζεται σε 0,33 για μονάδες Σ.Η.Θ.Υ.Α. ≤ 1 MWe, και σε 0,35 για μονάδες Σ.Η.Θ.Υ.Α. > 1 MWe. Η τιμή του ΣP δεν μπορεί να είναι μικρότερη της μονάδας.

Δεδομένα για Μάιο 2013

Μάιος 2013: 58,07972246 €/MWh

$$\Sigma P = 1 + (58,07972246 - 26) / (100 \times 0.5) = 1,641594449$$

$$\Sigma P \times 87,85 = 144,2140724 \text{ €/MWh} \times 87,6 \text{ MWh/έτος} = 12.644 \text{ €/έτος}$$

Είσπραξη κινήτρων προγράμματος "εξοικονόμηση κατ οίκον"

Έστω, ότι η επένδυση για την παρούσα εγκατάσταση υπάγεται στην Α1 κατηγορία κινήτρων, δηλαδή επιδότηση 70%. Άρα από το ανώτατο όριο 15,000 € έχουμε σαν επιδότηση $0,7 \times 15.000 = 10.500$ € και 4.500 € σαν άτοκο δάνειο μέχρι το τέλος του 2015.

Επίσης επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας από την πλήρη κάλυψη τους μήνες Μάιο με Σεπτέμβριο των αναγκών σε ΖΝΧ και σαν συνέπεια τη μη χρήση του τοπικού ηλεκτρικού θερμαντήρα της οικίας) [37].

Πίνακας 5.3: Οικιακό τιμολόγιο [38].

- Οικιακό - Χωρίς Χρονοχρέωση (Τιμολόγιο Γ1)

Ανταγωνιστικές Χρεώσεις (με ισχύ από την 1.1.2013)

Κλιμάκια (στο σύνολο της κατανάλωσης)	Χρέωση Ενέργειας (€ / kWh)	Χρέωση Παγίου Μονοφασικής παροχής (€ /τετράμηνο)	Χρέωση Παγίου Τριφασικής παροχής (€ /τετράμηνο)
ΑΠΟ 0 – 800 kWh	0,07793	1,52	4,80
ΑΠΟ 801 – 2000 kWh	0,09460	1,52	4,80
> 2000 kWh	0,10252	1,52	4,80

Ελάχιστη Χρέωση μονοφασικού (€/τετράμηνο) : 5,30

Ελάχιστη Χρέωση τριφασικού (€/τετράμηνο) : 8,58

Ρυθμιζόμενες Χρεώσεις (με ισχύ από την 1.2.2013)

Η εξοικονόμηση υπολογίστηκε στο τμήμα 1 της τεχνικής μελέτης σε 947,21 kWh

Άρα έχουμε $947,21 \times 0,09460 = 89,606066 \text{ €}$

Ενδεικτικά, τα καθαρά έσοδα από την πώληση του ηλεκτρικού ρεύματος θα φορολογηθούν με ένα συντελεστή της τάξης του 20%, συνεπώς τα κέρδη θα είναι:

Καθαρά Έσοδα = ετήσια έσοδα – κόστος αγοράς Φ.Α.

$$= 12.644 - (\text{παροχή} \times \text{ώρες λειτουργίας} \times \text{τιμή Φ.Α.})$$

$$= 12.644 - (20\text{kW} \times 8.760\text{h/year} \times 0,057\text{€/kWh})$$

$$= 2.658 \text{ €}$$

Κέρδος = καθαρά έσοδα – 20% x καθαρά έσοδα

$$= 2.658 - 0,2 \times 2.658$$

$$= 2.216 \text{ €}$$

Όπου: ώρες λειτουργίας = 24h/day x 365days/year

Τιμή Φ.Α = μέση τιμή κατά το έτος 2012

Επιπρόσθετα, με το σύστημα συμπαραγωγής εξοικονομούμε το 40% της απαιτούμενης θερμικής ενέργειας. Δηλαδή:

Απαιτούμενες kWh = Συνολικές kWh / β.α.τ. x β.α.λ.

$$= 20.160 / 0.931 \times 0.924$$

$$= 23.436 \text{ kWh/έτος}$$

Και: $23.436 \times \text{τιμή } \Phi.A. = 23.436 \times 0,0544 = 1.275 \text{ €/έτος}$

Όπου: β.α.τ. = βαθμός απόδοσης τερματικών

β.α.λ. = βαθμός απόδοσης λέβητα

Το κόστος αγοράς του εξοπλισμού αναμένεται να είναι της τάξης των 35.000 €, ενώ επιπρόσθετα εκτιμώνται κάποια άμεσα και έμμεσα κόστη της τάξης των 10.080 €. Άρα αναμένεται το συνολικό κόστος εγκατάστασης να ανέλθει στις 45.080 € [35].

Πιο αναλυτικά, σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 5.4: Το άμεσο κόστος των συντελεστών που απαρτίζουν το σύστημα. [38].

	C_0^a	S_0	S	Units	n	IF^b	IC
SOFC and inverter ^c	0.53	1	1145	k\$ kW ⁻¹	-	1.42	858
Reformer ^d	204	1125	334	kg H ₂ day ⁻¹	0.7	1.1	96
WGS reactor ^d	169	1500	282	kg H ₂ day ⁻¹	0.7	1.1	58
EHS unit ^e	2.23	1	27	k\$ kW ⁻¹	-	1.42	85
Heat exchangers ^f	-	-	-	-	-	-	675
Blowers and pumps ^f	-	-	-	-	-	-	215
Burner ^f	-	-	-	-	-	-	248
H ₂ compressor ^g	23	1	10	kg H ₂ h ⁻¹	-	2.47	155
Total installed costs ^h							2390
Total direct costs ⁱ							2677

Το συνολικό άμεσο κόστος αναμένεται να είναι 23,43 k\$ σε τιμές του 2009(δεν υπολογίζεται εξοπλισμός που αναγράφεται στον παραπάνω πίνακα και δεν χρησιμοποιείται στην παρούσα εγκατάσταση). Λαμβάνοντας, όμως, υπόψη την αύξηση του κόστους της εγκατάστασης ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ όσο μικρότερη είναι η μονάδα, τον πληθωρισμό, την αξία του χρήματος καθώς και την ισοτιμία του δολαρίου έναντι του ευρώ, κρίνεται σκόπιμο το ποσό αυτό να πολλαπλασιαστεί με έναν συντελεστή μεγέθους 1,2, καταλήγοντας το άμεσο κόστος να ανέλθει περίπου στα 28.000 €. Το κόστος αυτό προσαυξάνεται κατά περίπου 7.000 € (με βάση τον παραπάνω πίνακα) εξαιτίας της αντικατάστασης των κυψελών καυσίμου στο τέλος της πρώτης πενταετίας της λειτουργίας της εγκατάστασης. Άρα, το συνολικό κόστος εγκατάστασης ανέρχεται στα 35.000 €

Επιπρόσθετα, υπάρχουν και κάποια έμμεσα κόστη τα οποία σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα και έχοντας λάβει υπόψη τις παραδοχές που κάναμε για να υπολογίσουμε το άμεσο κόστος, ανέρχονται στα 10,080 €. Για τον υπολογισμό του ποσού αυτού δεν συμπεριλήφθηκε σχέδιο έκτακτης ανάγκης (όπως αναφέρεται στον παρακάτω πίνακα), γιατί πρόκειται για οικιακή εγκατάσταση.

Πίνακας 5.5: Το έμμεσο κόστος των συντελεστών που απαρτίζουν το σύστημα. [38]

	% of TDC	k\$
Engineering and design	13	348
Site prep and construction	14	375
Legal and contractors fees	9	241
Project contingency	15	402
Total indirect costs	51	1365

Τελικά το συνολικό κόστος της εγκατάστασης αναμένεται να φτάσει τα:

$$28.000+7.000+10,080 = 45,080 \text{ €}$$

Με τη χορήγηση, όμως, των κινήτρων του προγράμματος “έξοικονόμηση κατ οίκον” το ποσό που θα χρειαστεί να καταβάλουμε είναι: $45,080 - 10,500 = 34,580 \text{ €}$

Το κόστος αυτό προσαυξάνεται κατά περίπου 300 €/έτος για τη συντήρηση των συστημάτων.

Άρα το συνολικό κόστος συντήρησης ανέρχεται στα $300 \text{ €/έτος} \times 10 = 3.000 \text{ €}$

Με δεδομένα λοιπόν κέρδη και χωρίς να υπολογίσουμε μελλοντική αξία χρήματος και πληθωρισμό, η απόσβεση της επένδυσης αναμένεται να γίνει σε:

$$(34.580 + 3.000) / (2.216 + 1.275 + 89,60) \approx 10 \text{ έτη}$$

6.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η τεχνολογία των κυψελών καυσίμου είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία με υψηλές αποδόσεις σε συστήματα συμπαραγωγής, που θα δώσει καινούρια έννοια στην ηλεκτροπαραγωγή. Οι κυψέλες καυσίμου συνδιάζουν πληθώρα πλεονεκτημάτων και εκτιμάται ότι θα αντικαταστήσουν τις συμβατικές μεθόδους θέρμανσης και ηλεκτροπαραγωγής. Στην παρούσα εργασία έγινε μια μελέτη ενός οικιακού συστήματος κυψέλης καυσίμου τύπου SOFC για συμπαραγωγή. Τα αποτελέσματα είναι ενθαρυντικά, αλλά θα χρειαστεί περαιτέρω μελέτη των κυψελών καυσίμου (παραμένει μια καινούρια τεχνολογία) για να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν ευρέως.

Από την εγκατάσταση αυτή μπορέσαμε να εξοικονομήσουμε περίπου το 40% των θερμικών αναγκών της οικίας. Το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται θα πωλείται μέσω του δικτύου στη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, ενώ η απόσβεση της επένδυσης επέρχεται σε περίπου 10 έτη. Το γεγονός ότι η απόσβεση της επένδυσης γίνεται στο όριο λειτουργίας της, δεν αφήνει περιθώρια ως προς τη βιωσιμότητά της. Παρόλα αυτά, η περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας των κυψελών καυσίμου, που θα επιφέρουν και μείωση του κόστους τους, μπορεί να δώσει σε τέτοιου είδους οικιακές εγκαταστάσεις τη βιωσιμότητα που χρειάζονται ώστε να αρχίσουν να εγκαθίστανται.

Το κύριο πρόβλημα ωστόσο της ηλεκτροπαραγωγής σε συστήματα συμπαραγωγής, είναι η ασυμφωνία της παραγωγής με τη ζήτηση, ωθώντας έτσι το σύστημα να λειτουργεί 24 ώρες την ημέρα, λόγω της αργής απόκρισής του, μειώνοντας κατά συνέπεια τη διάρκεια ζωής του. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να βελτιωθεί, τόσο με μια καλύτερη διαχείριση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μέσα από την οικία, κατ' το οποίο μας οδηγεί στην αποθήκευση της σε συσσωρευτές (αύξηση του κόστους επένδυσης), όσο και με γενικότερο κεντρικό σχεδιασμό και χωροθέτηση των απαιτούμενων για κάθε περιοχή οικιακών μονάδων συμπαραγωγής.

Βιβλιογραφία:

1. Φυσικό Αέριο Αττικής Α.Ε. ,Εταιρεία παροχής αερίου Αττικής
<http://www.aerioattikis.gr>
2. Δημόσια Επιχείρηση Αερίου Α.Ε. (ΔΕΠΑ), <http://www.depa.gr/>
3. Μαρία Φούντη, Γιώργος Βουρλιωτάκης, «Οικονομία και Τεχνολογία Υδρογόνου», Σημειώσεις Μαθήματος «Θεωρία Καύσης και Συστήματα Καύσης», Εργαστήριο Ετερογενών Μειγμάτων και Συστημάτων Καύσης, Ε.Μ.Π.
4. Wikipedia Φυσικό Αέριο, http://el.wikipedia.org/wiki/Φυσικό_αέριο
5. Wikipedia Υδρογόνο, <http://el.wikipedia.org/wiki/Υδρογόνο>
6. Argonne National Laboratory, Center for Energy, Environmental, and Economic Systems Analysis, "Assessing Current, Near-term, and Longterm U.S. Hydrogen Markets", διαθέσιμο στο διαδίκτυο στη διεύθυνση: http://www.dis.anl.gov/ceeesa/programs/hydrogen_markets.html
7. ΕΚΠΑΑ, Νοέμβριος 2003, «Ενέργεια, περιβάλλον και επιχειρηματικότητα - Προτάσεις για τον ενεργειακό τομέα στον ελληνικό χώρο», διαθέσιμο στο διαδίκτυο στη διεύθυνση: www.envirohelp.net/greece/processes/documents/Energy_Environment.pdf
8. hy2.gr, «Πλεονεκτήματα έναντι συμβατικών πηγών ενέργειας», διαθέσιμο στο διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.hy2.gr/reference.php?item=11>
9. hy2.gr, «Μειονεκτήματα έναντι συμβατικών πηγών ενέργειας», διαθέσιμο στο διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.hy2.gr/reference.php?item=12>
10. Wikipedia, «Κυψέλη καυσίμου», διαθέσιμο στο διαδίκτυο στη διεύθυνση: http://el.wikipedia.org/wiki/Κυψέλη_καυσίμου
11. <http://www.home.agilent.com/agilent/application.jspx?nid=-33837.0.00&lc=eng&cc=GR>
12. Wikipedia, "Fuel cell – History" , διαθέσιμο στο διαδίκτυο στη διεύθυνση: http://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_cell
13. Β.Στεργίουπουλος και Π.Τσιακάρας, «ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ & ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ», ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2007.
14. Rocky Mountain Institute, "Types of Fuel cells – Alkaline Fuel Cell (AFC)", διαθέσιμο στο διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.rmi.org/sitepages/pid201.php>
15. Wikipedia, "Alkaline fuel cell", διαθέσιμο στο διαδίκτυο στη διεύθυνση: http://en.wikipedia.org/wiki/Alkaline_fuel_cell

16. hy2.gr, «Κυψέλη καυσίμου φωσφορικού οξέος (PAFC)», διαθέσιμο στο διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.hy2.gr/reference.php?item=203>
17. http://en.wikipedia.org/wiki/File:Fcell_diagram_pafc.gif
18. hy2.gr, «Κυψέλη καυσίμου τηγμένου άνθρακα (MCFC)», διαθέσιμο στο διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.hy2.gr/reference.php?item=205>]
19. hy2.gr, «Κυψέλη καυσίμου στερεού οξειδίου (SOFC)», διαθέσιμο στο διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.hy2.gr/reference.php?item=206>]
20. NUVERA FUEL CELLS, "HOW A FUEL PROCESSOR WORKS", διαθέσιμο στο διαδίκτυο στη διεύθυνση: http://www.nuvera.com/company/processors_work.php
21. hy2.gr, «Ρόλος αναμορφωτών», διαθέσιμο στο διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.hy2.gr/reference.php?item=214>
22. hy2.gr, «Ενδόθερμη αναμόρφωση ατμού», διαθέσιμο στο διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.hy2.gr/reference.php?item=215>
23. hy2.gr, «Εξώθερμη μερική οξείδωση», διαθέσιμο στο διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.hy2.gr/reference.php?item=216>
24. hy2.gr, «Αυτοθερμική αναμόρφωση», διαθέσιμο στο διαδίκτυο στη διεύθυνση: <http://www.hy2.gr/reference.php?item=217>
25. Γιώργος Μαργογιαννάκης, « Residential Monitoring to Decrease Energy Use and Carbon Emissions in Europe (REDOMESE)», τμήμα ανάλυσης ενεργειακής πολιτικής, ΚΑΠΕ, www.isr.uc.pt/~remodece
26. Graham Weaver, «World Fuel Cells: An Industry Profile with Market Prospects to 2010» ,Weaver Associates [2002].
27. David Tsay, « Feasibiliti study of fuel cell residential energy stations», California, June 2003.
28. «Ενέργεια και Κτίριο», Matheos Santamouris
29. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕ ΦΥΤΕΜΕΝΗ ΟΡΟΦΗ Μαρία Γ. Μηλιάδη
30. Δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας – Υπολογιστικές Μέθοδοι ενεργειακών επιθεωρήσεων στα κτίρια», Αθηνά Γαγλία
31. Τεχνική Οδηγία 20701-05/2010 του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας
32. S. Campanari, P. Lora, Journal of Power Sources 132 (2004) 113–126
33. <http://exoikonomisi.ypeka.gr>
34. Νόμος 3851 / 2010 – ΦΕΚ Α 85 / 04.06.2010
35. W.L. Becker, R.J. Brauna, M. Penev, M. Melaina, Journal of Power Sources, 200 (2012) 34– 44

36. <http://www.epathessalia.gr>

37. <http://www.hachp.gr/>

38. Πηγή σχήματος www.dei.gr