



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΤΜΟΠΑΡΑΓΩΓΩΝ & ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΛΥΣΙΔΩΝ
ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ**

ΒΑΖΑΚΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Δρ. ΕΜΜ. Κ. ΚΑΚΑΡΑΣ, Αναπλ. Καθηγητής
Ε.Μ.Π.**

Αθήνα Οκτώβριος 2007

Περιεχόμενα

	Πρόλογος	1
1	Στόχοι και πολιτικές για το Υδρογόνο	2
2.	Κύριες τεχνολογίες Υδρογόνου	9
2.1	Αεριοποίηση Άνθρακα- Coal Gasification	9
2.2	Αναμόρφωση Μεθανίου με Ατμό- Steam Methane Reforming	10
2.3	Βιομάζα	11
2.4	Δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα	13
2.5	Ηλεκτρόλυση	14
2.6	Αποθήκευση – Μεταφορά	16
2.6.1	Υγροποίηση	16
2.6.2	Συμπύεση Αερίου	17
2.6.3	Αγωγοί Αερίου	17
2.7	Κυψέλες Καυσίμου-Fuel Cells	19
3.	Τεχνο-οικονομικά στοιχεία τεχνολογιών Υδρογόνου	22
3.1	Κύρια χαρακτηριστικά τεχνολογιών υδρογόνου	22
3.1.1	Αεριοποίηση Άνθρακα – Coal Gasification	22
3.1.2	Αναμόρφωση Μεθανίου με Ατμό – Steam Methane Reforming	26
3.1.3	Βιομάζα Αεριοποίηση – Πυρόλυση	28
3.1.4	Ανεμογεννήτριες – Ηλεκτρόλυση	31
3.1.5	Αποθήκευση – Μεταφορά	36
3.1.6	Κυψέλες Καυσίμου	39
3.2	Αλυσίδες Παραγωγής	42
3.3	Περιγραφή της βάσης δεδομένων και των μεταβλητών	46
4.	Μεθοδολογία	48
5.	Αποτελέσματα – Συμπεράσματα	52
5.1	Νότιο Αιγαίο	52
5.2	Θεσσαλία	56
5.3	Ανατολική Μακεδονία - Θράκη	62
5.4	Συμπεράσματα	69
	Παράρτημα I	
	Παράρτημα II	
	Βιβλιογραφία	

Πρόλογος

Σκοπός της Διπλωματικής εργασίας

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη της μεθοδολογίας αξιολόγησης ενεργειακών αλυσίδων υδρογόνου, για διερεύνηση των βέλτιστων λύσεων διείσδυσης του υδρογόνου στον τομέα της ενέργειας και των μεταφορών. Για την ανάπτυξη της μεθοδολογίας: Πρώτον μελετήθηκαν οι υφιστάμενες τεχνολογίες παραγωγής υδρογόνου, μεταφοράς – αποθήκευσης και κατανάλωσης ώστε να καταρτιστούν οι ενεργειακές αλυσίδες. Η μελέτη αυτή περιλαμβάνει τους βαθμούς απόδοσης, το κόστος και την εκπομπή CO₂ της κάθε τεχνολογίας. Δεύτερον συνδυάζοντας τις τεχνολογικές λύσεις συντάχθηκαν οι αλυσίδες παραγωγής. Τρίτον εκτιμήθηκαν οι μελλοντικές ενεργειακές ανάγκες κάθε γεωγραφικής περιοχής της Ελλάδας για το έτος 2020 αναφορικά με την ηλεκτρική ενέργεια οικιακής χρήσεως και την κατανάλωση στις μεταφορές. Τέλος αναπτύχθηκε λογισμικό σε περιβάλλον Visual Basic του προγράμματος Excel Microsoft.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον Δρ. Εμμ. Κ. Κακαρά, Αναπληρωτή Καθηγητή για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας και την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Διονύση Γιαννακόπουλο, Μηχανολόγο Μηχανικό Ε.Μ.Π. για την συνεχή και πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε καθ'όλη την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσης διπλωματικής εργασίας.

1. Στόχοι και πολιτικές για το Υδρογόνο

1.1 Στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, επιθυμεί να προχωρήσει σε μείωση των εκπομπών ρύπων και να απεξαρτηθεί από τα περιορισμένα ορυκτά καύσιμα. Η τεχνολογία του υδρογόνου και οι κυψέλες καυσίμου είναι ίσως η καταλληλότερη λύση. Τα πλεονεκτήματα του υδρογόνου ως ενεργειακού φορέα έναντι άλλων φιλικών προς το περιβάλλον λύσεων είναι, η πολυ-χρηστικότητα του στην κατανάλωση, η δυνατότητα αποθήκευσης και η δυνατότητα να παραχθεί από διαφορετικές πρωτογενείς πηγές.

Σε αυτό το σχέδιο, όπου το υδρογόνο θα λειτουργήσει ως ενεργειακός φορέας, θα πρέπει να εξασφαλισθεί η συνεχής παροχή ενέργειας. Παράλληλα παρουσιάζεται δυνατότητα ενδυνάμωσης της οικονομίας της Ε.Ε. σε παγκόσμιο επίπεδο ειδικότερα έναντι των ΗΠΑ και της Ιαπωνίας οι οποίες κατέχουν υψηλό τεχνολογικό επίπεδο στην αναδυόμενη τεχνολογία του υδρογόνου και των κυψελών καυσίμου. Επίσης σημαντικός είναι και ο αριθμός των νέων θέσεων εργασίας που δύναται να δημιουργηθούν στα κράτη μέλη.

Η είσοδος της τεχνολογίας του υδρογόνου και των κυψελών καυσίμου στην Ευρώπη γίνεται σε δύο στάδια. Πρώτο και σημαντικότερο είναι η ανάπτυξη της τεχνολογίας σε τέτοιο επίπεδο ώστε να είναι οικονομικά βιώσιμη και ανταγωνιστική, παράγοντας λιγότερο CO₂ και η σταδιακή διείσδυση του υδρογόνου στην αγορά. Δεύτερον, οι πολίτες της Ευρωπαϊκής Ένωσης θα πρέπει να ενημερωθούν για τη νέα τεχνολογία και τα προτερήματα της ώστε να την αποδεχθούν και να την στηρίξουν.

Ο στόχος είναι το έτος 2050 να υπάρχει μια οικονομία υδρογόνου η οποία να βασίζεται κυρίως σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Το υδρογόνο ως καύσιμο για οχήματα, είτε ως καύσιμο για σταθερές εφαρμογές από οικονομικής πλευράς, δεν μπορεί να ανταγωνιστεί την βενζίνη και τα ορυκτά καύσιμα. Τα οικονομικά στοιχεία της τεχνολογίας του υδρογόνου θα βελτιωθούν σημαντικά αν στο κόστος παραγωγής συμπεριληφθεί και το περιβαλλοντικό κόστος. Επομένως, για την ενίσχυση των οικονομικών στοιχείων απαιτείται πολιτική βούληση για την θέσπιση περιβαλλοντικών μέτρων που θα ευνοούν την τεχνολογία του υδρογόνου και θα την καθιστούν ελκυστική. Αν δεν υποστηριχθεί θα αφηθεί στους νόμους της αγοράς οι οποίοι στοχεύουν σε μεσοπρόθεσμα και βραχυπρόθεσμα οικονομικά οφέλη. Η θέση της τεχνολογίας υδρογόνου θα αναβαθμιστεί καθώς η συμβατική τεχνολογία εξαντλεί την δυναμική της αναφορικά με τη μείωση των ρύπων.

Ως ενδιάμεσος σταθμός στην επίτευξη των στόχων της διείσδυσης του υδρογόνου έχει ορισθεί το έτος 2020. Για το έτος αυτό στόχος είναι η εισαγωγή του υδρογόνου σε μια βιώσιμη αγορά για σταθερές και κινητές εφαρμογές. Έως ότου αυτοί οι στόχοι επιτευχθούν, είναι απαραίτητη η αξιολόγηση κάθε ενέργειας ώστε να αποκτάται γνώση. Η γνώση αυτή θα οδηγήσει στην βελτίωση της τεχνολογίας και του τρόπου διείσδυσης.

Συμβολή εμπλεκόμενων τομέων στην ανάπτυξη της κοινωνίας του Υδρογόνου

Η επίτευξη του στόχου απαιτεί καταρχάς από τις κυβερνήσεις των κρατών μελών και από τις βιομηχανίες που ασχολούνται με την τεχνολογία αυτή, δέσμευση να υπάρξει χρηματοδότηση των προγραμμάτων έρευνας και ανάπτυξης. Η στήριξη από το δημόσιο τομέα θα συμβάλει σημαντικά στην ανάπτυξη των πρώιμων αγορών καθώς θα ενεργοποιήσει τις εταιρείες για εξέλιξη και επενδύσεις. Παράλληλα, θα βοηθήσει στην ευαισθητοποίηση και ενημέρωση του κοινού. Εντούτοις, η απουσία πολιτικής βούλησης και υποστήριξης αποτελεί εμπόδιο στην διείσδυση του υδρογόνου ως ενεργειακού φορέα, καθώς δεν θα αναπτύσσεται η τεχνολογία και θα απορριφθεί από το κοινό.

Οι εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην ανάπτυξη και κατασκευή τεχνολογικών εφαρμογών υδρογόνου σε μερικά χρόνια από σήμερα θα πρέπει να λάβουν αποφάσεις για τις επενδύσεις τους. Οι αποφάσεις αυτές θα επηρεαστούν σε μεγάλο βαθμό από τη στήριξη του δημόσιου τομέα και από την αποτελεσματικότητα της. Εφόσον η Ευρωπαϊκή Ένωση δεν αναλάβει πρωτοβουλίες και δεν δημιουργήσει συνθήκες κατάλληλες για ανάπτυξη της τεχνολογίας, οι εταιρείες και το ανθρώπινο δυναμικό θα μετακινηθούν σε χώρες με καταλληλότερο κλίμα για ανάπτυξη όπως οι ΗΠΑ και η Ιαπωνία.

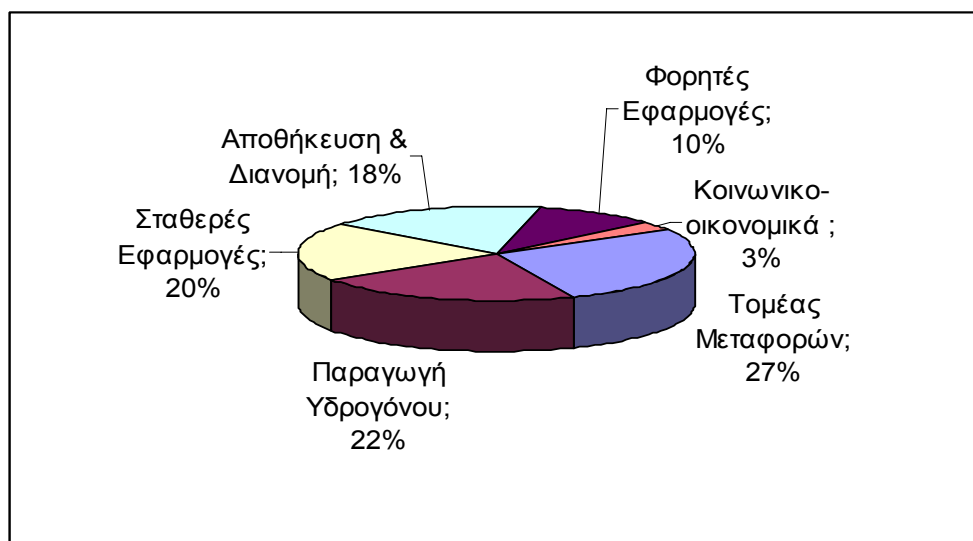
Η συμμετοχή του δημόσιου τομέα μπορεί να επιμεριστεί στα διάφορα επίπεδα διοίκησης. Για παράδειγμα οι τοπικές αρχές (δήμοι – νομαρχίες) μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην δημιουργία υποδομών και ένταξη πιλοτικών προγραμμάτων στην τοπική κοινωνία, κατανοώντας τις τοπικές ανάγκες και προβλήματα. Επίσης, για την επίτευξη του στόχου, οι τοπικές αρχές μπορούν να συμβάλουν στην χρηματοδότηση των προγραμμάτων σε συνεργασία με τοπικούς φορείς (πχ. Ιδρύματα). Για να αποφευχθούν αναπαραγωγές πανομοιότυπων προγραμμάτων και δημιουργία κενών στην έρευνα από ελλιπή χρηματοδότηση απαιτείται συντονισμός όλων των παραγόντων για την αύξηση αποτελεσματικότητας και αποδοτικότητας.

Η επιτυχής εφαρμογή είναι δυνατή μόνο όταν η μετάβαση στην νέα τεχνολογία αγγίζει τις πραγματικές ανάγκες της εκάστοτε κοινωνίας βελτιώνοντας τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ζωής. Στην αρχική φάση διείσδυσης είναι επιθυμητή η συνεργασία του δημόσιου τομέα με τον ιδιωτικό με τον πρώτο να κατέχει πρωτεύοντα ρόλο. Καθώς θα πλησιάζει η εισαγωγή του υδρογόνου στην αγορά, η σχέση του δημόσιου- ιδιωτικού τομέα θα αλλάξει χαρακτηριστικά, με τον ιδιωτικό τομέα να συμβάλει περισσότερο από τον δημόσιο. Οι κυβερνήσεις των χωρών μελών αλλά και των τοπικών περιοχών μπορούν να δώσουν κίνητρα για ανάπτυξη και διείσδυση της τεχνολογίας μέσω φοροαπαλλαγών και άλλων νομοθετικών μέτρων.

Λόγω του μεγέθους και των επιμέρους δράσεων αυτού του φιλόδοξου προγράμματος απαιτούνται μεγάλου μεγέθους επενδύσεις από τον δημόσιο και τον ιδιωτικό τομέα. Δοθέντος ότι τα υφιστάμενα όργανα της Ε.Ε. είναι ανεπαρκή για τον συντονισμό και την διαχείριση των προγραμμάτων έρευνας και ανάπτυξης προτείνεται ένα νέο εργαλείο. Για παράδειγμα το «Joint Technology Initiative» (JTI) ως πιθανό εργαλείο μπορεί να διαδραματίσει ρόλο συντονιστεί και αξιολογητή σε όλα τα προγράμματα της Ε.Ε. . Το JTI μπορεί να θεωρηθεί σαν μια συνεργασία μεγάλης κλίμακας μεταξύ του δημόσιου και του ιδιωτικού τομέα.

Στο σχέδιο 1.1 παρουσιάζεται η κατανομή του προϋπολογισμού για την ανάπτυξη της τεχνολογίας του υδρογόνου. Σε καθένα ένα από τα παρακάτω πεδία συντελείται ένας

πραιτέρω διαχωρισμός του προϋπολογισμού για βασική έρευνα και ανάπτυξη νέων τεχνολογικών λύσεων. Παράλληλα ερευνείται η βελτίωση των υφιστάμενων τεχνολογιών ώστε να αποτελέσουν βιώσιμη λύση.



Σχήμα 1.1 Κατανομή προϋπολογισμού για την ανάπτυξη τεχνολογιών υδρογόνου στην ΕΕ.

Διείσδυση της τεχνολογίας υδρογόνου

Οι ενεργειακές αλυσίδες που θα επιλεγούν σήμερα θα έχουν επίδραση πέρα από το 2030, λόγω της διάρκειας ζωής (20 έτη) των κυρίως εξαρτημάτων μιας εγκατάστασης όπως οι ηλεκτρολύτες, οι αναμορφωτές και οι σταθμοί ανεφοδιασμού. Μέχρι το 2020 αναμένεται η εισαγωγή στην αγορά φορητών ενεργειακών μονάδων που θα αντικαταστήσουν τις μπαταρίες σε συσκευές όπως φορητούς υπολογιστές κ.α. . Οι φορητές εφαρμογές αναμένεται να συμβάλουν περισσότερο στην ενημέρωση του κοινού και την αποδοχή της νέας τεχνολογίας και όχι στην εμπορική διείσδυση του υδρογόνου. Μέσω εφαρμογής πιλοτικών προγραμμάτων θα γίνεται η ανάπτυξη της τεχνολογίας και η σταδιακή εισαγωγή της στην αγορά. Τα προγράμματα αυτά μπορούν να αφορούν είτε σταθερές εφαρμογές, είτε τον τομέα των μεταφορών.

Πιλοτικά προγράμματα

Η επιτυχία των εφαρμογών επίδειξης σε μεγάλη κλίμακα θα καθορίσει την εδραίωση, την κινητοποίηση της πρώιμης αγοράς και τον ρυθμό διείσδυσης στην τεχνολογία του υδρογόνου. Για το λόγο αυτό πρέπει να καθοριστούν ακριβή κριτήρια για αυτές τις εφαρμογές. Η επιλογή γεωγραφικής τοποθεσίας και οι πρωτογενείς μορφές ενέργειας που απαιτούνται για την παραγωγή και διάθεση υδρογόνου αποτελούν ένα από τα κριτήρια.

Μέσα από τα πιλοτικά προγράμματα εκτός από την ανατροφοδότηση για την βελτίωση της τεχνολογίας πρέπει να δημιουργηθούν οι κατάλληλες τυποποιήσεις και κανονισμοί. Οι κανονισμοί πρέπει να στοχεύουν στην ασφάλεια, στην αξιοπιστία και στις περιβαλλοντικές απαιτήσεις.

Τα Ευρωπαϊκά προγράμματα για το υδρογόνο είναι το HySociety (non technical barriers), EIH_P (κώδικες και τυποποίηση) και AccertH₂ (αποδοχή των λεωφορείων υδρογόνου από τους πολίτες). Η πρόσφατη δημοσίευση των αποτελεσμάτων του HyNet αναφέρεται στα

πρώτα βήματα προς τη μετάβαση στην τεχνολογία του υδρογόνου και τις προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν.

Παραγωγή

Η παραγωγή του υδρογόνου το 2020 πιστεύεται ότι θα στηριχθεί σε τεχνολογίες οι οποίες δεν παράγουν CO₂ όπως, ανανεώσιμες πηγές (άνεμος), πυρηνική ενέργεια και τεχνολογίες ορυκτών καυσίμων με δέσμευση του CO₂. Οι υπάρχουσες τεχνολογίες προσφέρουν την δυνατότητα παραγωγής σε κεντρικές μονάδες παραγωγής μακριά από την κατανάλωση και αποκεντρωμένα κοντά στον τελικό καταναλωτή. Δεν είναι δυνατόν σήμερα να καθοριστεί ποιες τεχνολογίες θα επικρατήσουν το 2020 διότι υπάρχουν τεχνικά και οικονομικά προβλήματα που επιζητούν λύση.

Η πυρηνική ενέργεια και τα ορυκτά καύσιμα ως πρωτογενείς μορφές ενέργειας είναι κατάλληλα για κεντρική παραγωγή, ενώ οι ανανεώσιμες πηγές είναι πιο κατάλληλες για αποκεντρωμένη παραγωγή λόγω της δυσκολίας στην μεταφορά. Παράδειγμα αυτού είναι η μη αποδοτική μεταφορά της βιομάζας και της θερμικής ηλιακής ενέργειας. Το φυσικό αέριο είναι κατάλληλο και για τις δύο επιλογές, στην αποκεντρωμένη παραγωγή όμως, δεν είναι οικονομικά βιώσιμο. Η πυρηνική ενέργεια στον κύκλο ζωής της παράγει μικρές ποσότητες CO₂. Βέβαια υπάρχουν κίνδυνοι από ραδιενεργά απόβλητα. Για το λόγο αυτό είναι πολιτική απόφαση το εάν θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας. Οι καλύτερες λύσεις μακροπρόθεσμα θα καθοριστούν από τους κανόνες της αγοράς.

Με την αποκεντρωμένη παραγωγή αποφεύγεται η μεταφορά του υδρογόνου και δύναται να χρησιμοποιηθούν τοπικές πηγές ενέργειας. Βέβαια απαιτείται χαμηλό κόστος παραγωγής και υψηλός βαθμός ασφάλειας ώστε να μπορεί να το χρησιμοποιεί προσωπικό δίχως ιδιαίτερη κατάρτιση. Με την κεντρική παραγωγή το μείζον ζήτημα πέραν του βαθμού απόδοσης, κόστους και παραγωγής CO₂ είναι η διανομή και η διάθεση προς κατανάλωση. Ανάμεσα στην κεντρική και αποκεντρωμένη παραγωγή του υδρογόνου πέρα από τις τεχνικές διαφορές, υπάρχουν εντελώς διαφορετικές απαιτήσεις υποδομής.

Η παραγωγή του υδρογόνου είναι μια πολύπλοκη διαδικασία και απαιτούνται εγκαταστάσεις με πολλά εξαρτήματα εκ των οποίων τα περισσότερα βρίσκονται σε υψηλό επίπεδο τεχνικής.

Οι μέθοδοι παραγωγής υδρογόνου σήμερα είναι :

- Αεριοποίηση άνθρακα – βιομάζα
- Αναμόρφωση φυσικού αερίου
- Ηλεκτρόλυση νερού
- Θερμο -χημική διεργασία
- Φωτοηλεκτρόλυση
- Βιοφωτόλυση και φωτοζύμωση
- Πυρόλυση φυσικού αερίου, βαρέων καυσίμων πετρελαίου ή βιομάζας

Από τις παραπάνω μεθόδους παραγωγής η αεριοποίηση, η αναμόρφωση και η ηλεκτρόλυση είναι ήδη ανεπτυγμένες σήμερα και δύναται να βελτιωθούν περαιτέρω στο μέλλον. Η ηλεκτρόλυση μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας ως αρχική πηγή ενέργειας ηλεκτρισμό από πυρηνική ενέργεια και από ανεμογεννήτριες. Η έρευνα για τις υπόλοιπες μεθόδους πρέπει να συνεχιστεί.

Όλες οι μέθοδοι παραγωγής υδρογόνου πρέπει να μελετηθούν σύμφωνα με το κύκλο ζωής τους και να περιλαμβάνεται ο βαθμός απόδοσης της αλυσίδας και το κόστος. Κάθε μελέτη παραγωγής θα πρέπει να περιλαμβάνει τα δυνατά και αδύναμα σημεία καθώς επίσης τις ευκαιρίες και τις απειλές (SWOT) της κάθε περιοχής στην οποία θα εφαρμοστεί.

Διανομή - Αποθήκευση

Το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί σε αέρια μορφή υπό πίεση και σε υγρή και να διανεμηθεί μέσω αγωγών (αέρια μορφή μόνο), οδικής μεταφοράς και μεταφοράς μέσω θαλάσσης. Υπάρχουν επίσης μέθοδοι αποθήκευσης οι οποίες βρίσκονται στο επίπεδο της βασικής έρευνας αυτές είναι: ενεργοί νάνο-πόροι άνθρακα, μεταλλικά υβρίδια με διάκενα, σύνθετα μεταλλικά υβρίδια και χημικά υβρίδια.

Η εμπειρία από υπάρχοντα προγράμματα εφαρμογής όπως το CUTE και το ECTOS δείχνει ότι απαιτείται περαιτέρω ανάπτυξη στις τεχνολογίες ανεφοδιασμού ώστε να εξασφαλισθεί η χρήση του υδρογόνου ως καύσιμο στο εμπόριο. Στα πρώτα στάδια εφαρμογής για την μεταφορά του καυσίμου, η πιο συμφέρουσα λύση είναι το υγροποιημένο υδρογόνο και τα υφιστάμενα δίκτυα υδρογόνου και φυσικού αερίου. Η αποθήκευση είναι δυνατή υπό την μορφή πεπιεσμένου αερίου σε δεξαμενές. Είναι απαραίτητο να αυξηθεί η συγκέντρωση ενέργειας στις δεξαμενές ούτως ώστε να είναι πιο αποδοτική η μεταφορά του και να πολλαπλασιαστεί η ακτίνα δράσης των οχημάτων υδρογόνου. Ενδεικτικά ένα όχημα για να έχει ακτίνα δράσης 500 με 600km χρειάζεται 5 kg υδρογόνου. Επίσης είναι αναγκαία η χρηματοδότηση ερευνών οι οποίες θα έχουν στόχο την κατανόηση σε ατομικό και μοριακό επίπεδο της συμπεριφοράς του υδρογόνου στην διαδικασία της αποθήκευσης.

Κατανάλωση - Κυψέλες καυσίμου

Το υδρογόνο μπορεί να καταναλωθεί σε κυψέλες καυσίμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Επίσης μπορεί να τροφοδοτήσει μηχανές εσωτερικής καύσης και θερμικές στροβιλομηχανές. Η καύση του υδρογόνου σε MEK και σε θερμικές στροβιλομηχανές μπορεί να βοηθήσει βραχυπρόθεσμα στην αρχική φάση διείσδυσης του υδρογόνου στην αγορά. Οι εφαρμογές των κυψελών καυσίμου ποικίλουν, από φορητές συσκευές, φορητούς υπολογιστές, κινητά τηλέφωνα, μικρής ισχύος γεννήτριες (μέχρι 5kW), γεννήτριες μεγάλης ισχύος έως και εφαρμογές στον τομέα των μεταφορών ως βοηθητική πηγή ενέργειας.

Το κόστος των κυψελών καυσίμου σε μια εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αντιστοιχεί στο 30-50% του συνόλου. Το υπόλοιπο, αντιστοιχεί στα περιφερειακά συστήματα όπως είναι βαλβίδες, ανεμιστήρες συμπιεστές ρυθμιστές ενέργειας κ.α.. Σε πολλές περιπτώσεις τα εξαρτήματα αυτά κατασκευάζονται κατά παραγγελία για συγκεκριμένες εγκαταστάσεις αυξάνοντας το κόστος. Είναι επομένως απαραίτητη η έρευνα για την παραγωγή τυποποιημένων εξαρτημάτων. Η κωδικοποίηση και η τυποποίηση είναι ένα αναδυόμενο πεδίο έρευνας στο οποίο η Ε.Ε. υστερεί έναντι των Η.Π.Α. .

1.2 Στόχοι και προσέγγιση ΗΠΑ

Οι ΗΠΑ όπως και η Ε.Ε. επιθυμεί να μειώσει την εξάρτηση της από τα εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα. Η μείωση αυτή μπορεί να επιτευχθεί με την τεχνολογία του υδρογόνου. Τα πεδία της έρευνας και ανάπτυξης τεχνολογίας παραγωγής και κατανάλωσης του υδρογόνου που έχουν θεσπίσει οι ΗΠΑ δεν διαφέρουν από αυτά της Ε.Ε. Η διαφορά έγκειται στον βαθμό

συμβολής του δημόσιου τομέα κατά την είσοδο του υδρογόνου στην αγορά και στον χρονικό προγραμματισμό των εφαρμογών.

Δεδομένου ότι είναι αβέβαιο εάν θα ξεπεραστούν τα τεχνικά εμπόδια, η θέση της κυβέρνησης των ΗΠΑ είναι ότι απαιτείται καταρχήν έρευνα και ανάπτυξη της τεχνολογίας ώστε να φτάσει στο επιθυμητό επίπεδο απόδοσης και κόστους. Στόχος είναι η επίτευξη της «τεχνολογικής ετοιμότητας» στην παραγωγή υδρογόνου, τη διανομή – αποθήκευση του και των κυψελών καυσίμου. Εφόσον δημιουργηθούν οι κατάλληλες συνθήκες, οι κατασκευαστές οχημάτων και οι εταιρείες παραγωγής ενέργειας θα έχουν την ευκαιρία να αναπτύξουν την αγορά οχημάτων με κυψέλες καυσίμου και την υποδομή που αυτή χρειάζεται.

Δημόσιος τομέας

Η επίτευξη της εμπορικής διείσδυσης του υδρογόνου ως ενεργειακού φορέα απαιτεί χρόνο. Παράλληλα χρειάζεται συνεργασία μεταξύ του δημόσιου και του ιδιωτικού τομέα. Ήδη η κυβέρνηση των ΗΠΑ και ιδιωτικοί οργανισμοί ερευνούν και εξελίσσουν την τεχνολογία του υδρογόνου ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις της κατανάλωσης και να εξασφαλίσουν την ασφάλεια δημιουργώντας συνθήκες ανάπτυξης της αγοράς. Η ενημέρωση του κοινού η θέσπιση κανόνων και η τυποποίηση συμπεριλαμβάνονται στην έρευνα ώστε να ξεπεραστούν θεσμικοί φραγμοί. Η προσέγγιση αυτή έχει στόχο την μείωση του κόστους και την αύξηση του βαθμού απόδοσης ώστε να καταστεί δυνατή η εμπορική χρήση του υδρογόνου.

Στον προγραμματισμό του Υπουργείου Ενέργειας τίθεται χρονικά πρώτα η εμπορική ανάπτυξη των οχημάτων κυψελών καυσίμων και εν συνεχεία οι σταθερές εφαρμογές. Για τις ΗΠΑ η απόφαση για την εμπορευματοποίηση επαφίεται εξολοκλήρου τον ιδιωτικό τομέα. Οι κατασκευαστές οχημάτων μπορούν να αποφασίσουν να εισάγουν στην αγορά οχήματα τεχνολογίας κυψελών καυσίμου σε διαφορετική περίοδο από αυτήν που το Υπουργείο Ενέργειας προτείνει. Η συμβολή του δημόσιου τομέα κατά την διείσδυση του υδρογόνου, εφόσον πιστοποιηθούν οι αποδόσεις και η αντοχή της τεχνολογίας, θα είναι η αγορά οχημάτων κυψελών καυσίμου και τεχνολογίας ανεφοδιασμού.

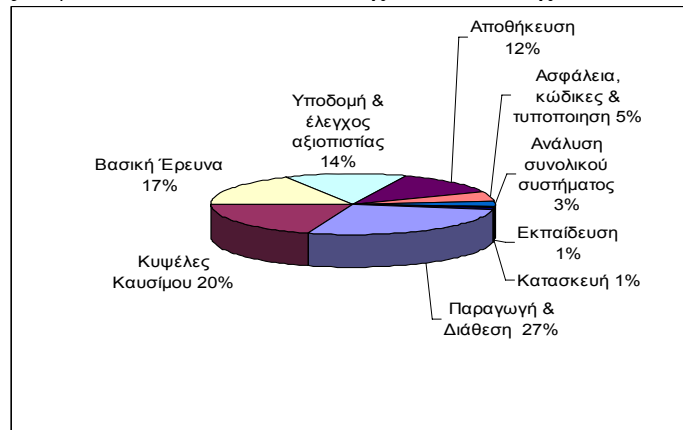
Περιβάλλον

Η ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα είναι θέμα εθνικής σημασίας. Έχει εκτιμηθεί ότι το 50% των πολιτών ζουν σε περιοχές όπου τα επίπεδα ενός ή περισσότερων ρύπων είναι τόσο υψηλά ώστε να επηρεάζουν την δημόσια υγεία και το περιβάλλον. Τα οχήματα ιδιωτικής χρήσης και τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συμβάλουν σημαντικά στην ρύπανση αυτή. Ως λύση για τα αυτά τα περιβαλλοντικά θέματα προτείνεται το υδρογόνο το οποίο θα παράγεται από τεχνολογίες χωρίς την εκπομπή CO₂.

Ανάλυση συστήματος διαχείρισης

Η ανάλυση του συστήματος διαχείρισης, υποβοηθούμενη από διάφορα υπολογιστικά μοντέλα, θα χρησιμοποιηθεί στο πρόγραμμα ώστε να θεσπιστούν στόχοι και προτεραιότητες και να επιλεγθούν οι καλύτερες τεχνολογίες. Η ανάλυση θα αποτιμήσει τις απαιτήσεις και θα εκτιμήσει την συνεισφορά και την αλληλεπίδραση των επιμέρους παραγόντων που συμμετέχουν στην έρευνα και ανάπτυξη. Η ενοποίηση του συστήματος θα εξασφαλίσει την συγκέντρωση όλων των απαιτούμενων στοιχείων ώστε να παρακολουθείται η πρόοδος των προγραμμάτων. Παράλληλα η διεξαγωγή ανεξάρτητων ερευνών θα βοηθήσει στην λήψη πολλαπλών προγραμματικών αποφάσεων.

Στο σχήμα 1.2 παρουσιάζονται οι τομείς χρηματοδότησης. Οι τομείς αυτοί είναι αναγκαστικά έχουν ισχυρή σχέση αλληλεξάρτησης ώστε οι μεταβολές στον ένα να επηρεάζουν τον άλλον. Μια ενοποιημένη συνολική προσέγγιση του προγράμματος έρευνας και ανάπτυξης θα εξασφαλίσει ότι οι κοινοί στόχοι θα επιτευχθούν.



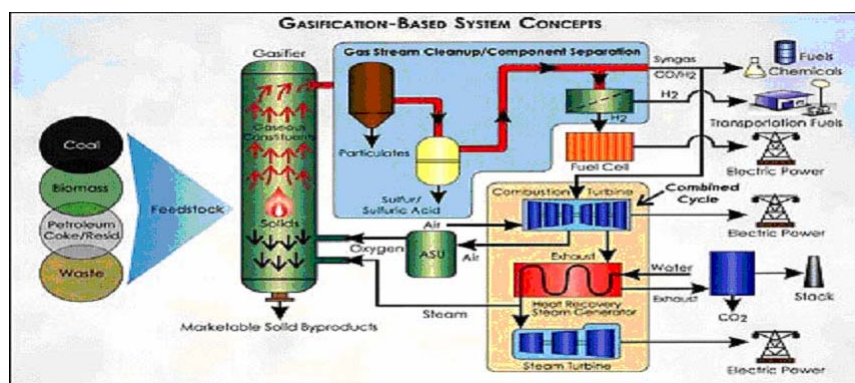
Σχήμα 1.2 Τομείς χρηματοδότησης της έρευνας για τις τεχνολογίες υδρογόνου

2. Περιγραφή των υπαρχουσών τεχνολογιών και δυνατότητες χρήσης στο άμεσο μέλλον για την διείσδυση του υδρογόνου.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τεχνολογίες για την παραγωγή υδρογόνου, την δέσμευση του διοξειδίου του Άνθρακα CO₂, την μεταφορά και αποθήκευση καθώς και για την κατανάλωση του υδρογόνου σε κυψέλες καυσίμου. Οι τεχνολογίες αυτές είτε εφαρμόζονται ήδη είτε βρίσκονται στα τελευταία στάδια της έρευνας. Δεν έχουν συμπεριληφθεί τεχνολογίες οι οποίες είναι σε εργαστηριακό επίπεδο διότι η παρούσα μελέτη εξετάζει την διείσδυση του υδρογόνου στην παραγωγή ενέργειας για το άμεσο μέλλον και οι τεχνολογίες που βρίσκονται σε αυτό το επίπεδο είναι άγνωστο αν θα είναι τεχνο-οικονομικά αποδεκτές.

2.1 Αεριοποίηση Άνθρακα- Coal Gasification

Η κεντρική μονάδα του συστήματος αποτελείται από τον αεριοποιητή, ο οποίος μετατρέπει τους στερεούς υδρογονάνθρακες σε αέρια φάση, με πρόσδοση θερμότητας και εφαρμογή πίεσης παρουσία ατμού. Η διαδικασία περιλαμβάνει «μερική οξείδωση» του αρχικού καυσίμου, η οποία παρέχει την απαραίτητη θερμότητα για να πραγματοποιηθούν οι αντιδράσεις ώστε η μεγαλύτερη ποσότητα του άνθρακα να μετατραπεί σε συνθετικό αέριο (syngas). Το συνθετικό αέριο είναι κυρίως υδρογόνο (H₂) και μονοξείδιο του άνθρακα (CO). Η αναλογία υδρογόνου και μονοξειδίου του άνθρακα στο παραγόμενο αέριο εξαρτάται από το είδος του υδρογονάνθρακα με το οποίο τροφοδοτείται το σύστημα και από τις συνθήκες που επικρατούν στον αεριοποιητή.



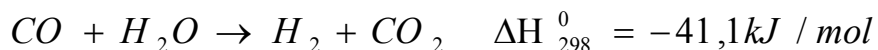
Σχήμα 2.1 Μονάδα αεριοποίησης

Η διαδικασία της Αεριοποίησης περιλαμβάνει την ανάμιξη του κονιοποιημένου Λιθάνθρακα ή Λιγνίτη με το οξειδωτικό μέσο (Αέρα ή οξυγόνο και ατμό). Το μίγμα εισέρχεται στον Αεριοποιητή και θερμαίνεται στους 1000-1500 °C. Οι υδρογονάνθρακες αντιδρούν σύμφωνα με την αντίδραση :

$$C_xH_yO + (1-y) H_2O \rightarrow (x/2 + 1-y) H_2 + CO \quad (1)$$

όπου παράγεται συνθετικό αέριο. Οι διαφορές μεταξύ τεχνολογιών Αεριοποίησης του Άνθρακα εστιάζονται στον τρόπο τροφοδοσίας – προετοιμασίας του μίγματος, στην αποβολή της τέφρας και στη σχετική διάταξη των τμημάτων της παραγωγικής διαδικασίας.

Για την παραγωγή καθαρού υδρογόνου, το αέριο επεξεργάζεται σε αντιδραστήρες αναμόρφωσης (Water Gas Shift Reactors). Κατά την καταλυτική αντίδραση CO και ατμός αντιδρούν προς παραγωγή H₂ και CO₂. Η αντίδραση είναι :



Στην επεξεργασία του άνθρακα το WGSR πραγματοποιείται σε δύο στάδια. Το πρώτο σε υψηλή θερμοκρασία και το δεύτερο σε χαμηλή. Στο στάδιο της χαμηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται ως καταλύτης το Cu/ZnO/Al₂O₃ σε θερμοκρασία 200-250 °C. Στο στάδιο υψηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται Fe₂O₃-Cr₂O₃ σε θερμοκρασία 320-450°C. Το κύριο μειονέκτημα των καταλυτών είναι η ευαισθησία σε ακαθαρσίες όπως Θείο S και ακαθαρσίες Cl (μεταλλικών οξειδίων). Υπάρχουν και άλλοι καταλύτες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών, όπως το Co/Al₂O₃, οι οποίοι είναι πιο ανθεκτικοί σε ακαθαρσίες. [01]

2.2 Αναμόρφωση Μεθανίου με Ατμό- Steam Methane Reforming

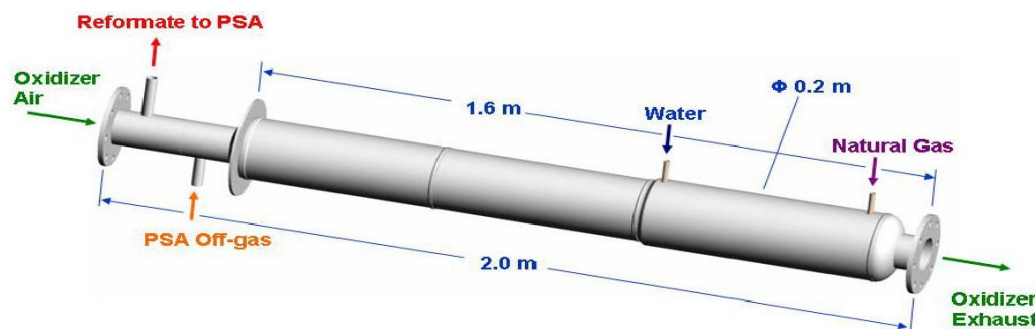
Η τεχνολογία της παραγωγής υδρογόνου με αναμόρφωση μεθανίου χρησιμοποιείται στα διωλιστήρια και στη χημική βιομηχανία περισσότερο από δύο δεκαετίες. Λόγω της μακροχρόνιας εφαρμογής της διαφορετικές τεχνολογικές λύσεις είναι σε λειτουργία· διαφοροποιούμενες ανάλογα με την παλαιότητα και τις αναβαθμίσεις του τεχνολογικού εξοπλισμού των μονάδων. Σε παλαιές εγκαταστάσεις λειτουργούν Αναμορφωτές Μεθανίου με Ατμό όπου οι υδρογονάνθρακες του μεθανίου μετατρέπονται σε συνθετικό αέριο. Ακολούθως, το μίγμα μεταφέρεται στους αναμορφωτές υψηλής (high temperature shift converters - HTSC) και χαμηλής θερμοκρασίας (low temperature shift converters - LTSC) για τη μέγιστη παραγωγή υδρογόνου.

Παρότι πλούσιο σε υδρογόνο, το αέριο που προκύπτει απαιτείται να καθαριστεί από το CO₂ με θερμό ανθρακικό κάλιο ή με διάλυμα Αλκαλοαμινών (MEA solution). Τέλος, το υπόλοιπο CO και CO₂ μετατρέπεται πάλι σε μεθάνιο και νερό. Το τελικό προϊόν έχει καθαρότητα περίπου 95% με 97% υδρογόνου.



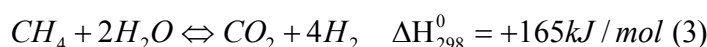
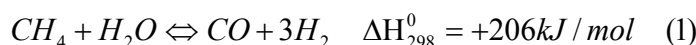
Εικόνα 2.1 Εγκατάσταση αναμόρφωσης Φυσικού αερίου

Οι νεότερες τεχνολογικές επιλογές διαφοροποιούνται ως προς την μεθοδολογία απομάκρυνσης του CO₂. Πλέον χρησιμοποιείται η PSA (Pressure Swing Adsorption) που επιτυγχάνει παραγωγή υδρογόνου υψηλής καθαρότητας (99.99%), χωρίς την χρήση LTSC, καθώς δύναται να απορροφά τις ακαθαρσίες. Επίσης, έχουν γίνει και αρκετές βελτιώσεις στο σχεδιασμό, οι οποίες επιτρέπουν μεγαλύτερες αποδόσεις και χαμηλότερο κόστος.



Σχήμα 2.2 Μονάδα Pressure Swing Adsorption

Η αναμόρφωση του Μεθανίου (Φυσικού Αερίου) γίνεται σύμφωνα με τρεις αμφίδρομες



αντιδράσεις εκ των οποίων οι δύο είναι ενδόθερμες και η άλλη εξώθερμη :

Το CO₂ παράγεται και από την (2) και από την (3). Λόγω των ενδόθερμων αντιδράσεων, η Αναμόρφωση Μεθανίου ευνοείται από υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, επειδή η αντίδραση συνοδεύεται από αύξηση του όγκου μπορεί να πραγματοποιηθεί σε χαμηλή πίεση. Η αύξηση της παραγωγής υδρογόνου απαιτεί αύξηση της ποσότητας του ατμού συνεπώς θα είναι αναγκαία περισσότερη ενέργεια. Στην πράξη, η αναλογία ατμού - Μεθανίου είναι $P(H_2O)/P(CH_4)=3$.

Η διαδικασία περιλαμβάνει δύο στάδια:

- 1ο Στους 800-1000°C και πίεση 30-40 bar, λαμβάνει χώρα η αναμόρφωση με τις αντιδράσεις (1) και (3)
- 2ο (shift section) σε χαμηλότερη θερμοκρασία (συνήθως 200-400 °C) για την αύξηση της μετατροπής του υδρογόνου από την αντίδραση (2) .

Υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής σε μεγάλες εγκαταστάσεις (Large Scale) αλλά και σε μικρές (small Scale) στις οποίες όμως η απόδοση είναι μικρότερη [02].

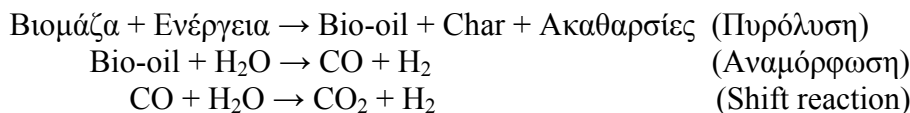
2.3 Βιομάζα

Οι τεχνολογίες της παραγωγής υδρογόνου από τη Βιομάζα είναι η **αεριοποίηση** και η **πυρόλυση**.

Η απευθείας **Αεριοποίηση** της Βιομάζας είναι παρόμοια διαδικασία με την αεριοποίηση των στέρεων καυσίμων. Η επεξεργασία της βιομάζας πραγματοποιείται σε υψηλή θερμοκρασία, με αεριοποιητή ατμού προσδίδοντας οξυγόνο ή ατμοσφαιρικό αέρα ώστε να παραχθεί συνθετικό αέριο. Το αέριο αυτό μπορεί να περιέχει πίσσα και ατμό. Τα υπολείμματα άνθρακα και η τέφρα παραμένουν στον αεριοποιητή. Όπως και στην αεριοποίηση του

άνθρακα, μετά τον αεριοποιητή ακολουθεί η αναμόρφωση (Shift reaction) και τέλος ο καθαρισμός του H₂.

Η **πυρόλυση** είναι η θερμική διάσπαση που πραγματοποιείται απουσία οξυγόνου και σε θερμοκρασία 450-550 °C. Το παράγωγο της πυρόλυσης είναι σε υγρή φάση (bio-oil), το οποίο αποτελείται από οξυγονούχες οργανικές ουσίες και νερό. Η αναμόρφωση του bio-oil πραγματοποιείται με ατμό χρησιμοποιώντας καταλύτη με βάση το Νικέλιο στους 750 – 850 °C, ακολουθούμενη από την αντίδραση μετατροπής του CO σε CO₂. Οι αντιδράσεις που περιγράφουν την επεξεργασία της βιομάζας είναι :



Η πυρόλυση περιορίζεται από έναν μέγιστο ρυθμό παραγωγής που είναι 8.6g H₂ / 100g bio-oil

Η τεχνολογία της αεριοποίησης της βιομάζας βρίσκεται σε προ-βιομηχανικό στάδιο. Υπάρχουν ακόμα σημαντικά στοιχεία εξέλιξης της τεχνολογίας (όπως η απομάκρυνση της πίσσας η οποία παράγεται και περιέχεται στο αέριο) έτσι ώστε η τεχνολογία να καταστήσει δυνατή την παραγωγή υδρογόνου υψηλής καθαρότητας σε εμπορικό επίπεδο. Η πίσσα μπορεί να καταστρέψει μηχανικά μέρη αν χρησιμοποιηθεί το παραγόμενο αέριο για απευθείας παραγωγή ενέργειας σε αεριοστροβίλους ή να απενεργοποιήσει τους καταλύτες αν χρησιμοποιηθεί στις τεχνολογίες αξιοποίησης του υδρογόνου. [03] Η απομάκρυνση της πίσσας μπορεί πραγματοποιείται με διάφορες μεθόδους καθαρισμού. Σε μεγάλη κλίμακα η διαδικασία αυτή παρουσιάζει πολλές τεχνικές δυσκολίες. Οι ερευνητικές δραστηριότητες εστιάζουν στον τρόπο καθαρισμού του παραγόμενου αερίου, ώστε να αποφευχθεί η καταστροφή μερών της εγκατάστασης παραγωγής. Για τον καθαρισμό του αερίου από τα σωματίδια μετά από τον αεριοποιητή μπορεί να χρησιμοποιηθεί κυκλώνας.

Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται υφιστάμενες εφαρμογές που χρησιμοποιούν ως πρωτογενή πηγή ενέργειας την βιομάζα [04]

Πίνακας 2.1 : Υφιστάμενες εφαρμογές παραγωγής υδρογόνου με αξιοποίηση βιομάζας

Εφαρμογή	Μέγεθος εγκατάστασης	Τοποθεσία
BIOSYN, Inc. gasification Process	10 t/h βιομάζας Επιδεικτική εφαρμογή	St-Juste de Bretennieres, Quebec, Canada.
Fast Internal Circulation Fluidized Bed Process	2 MW electrical Επιδεικτική εφαρμογή	Gussing, Burgenland
FERCO Silva Gas process	200 t/day βιομάζας	power plant in Burlington, Vermont
MTCI process	20 t/day βιομάζας Ανάπτυξη τεχνολογίας	Baltimore, MD
RENUGAS process	12 t/day βιομάζας Ανάπτυξη τεχνολογίας	Chicago
Chemrec Process	20 t/day ξηρής στερεάς ύλης 3 MWth πιλοτική μονάδα με στόχο την αύξηση κλίμακας μεγέθους σε 300 t/day	Pitea, Sweden
SVZ Schwarze Pumpe Μετατροπή αεριοποιητών άνθρακα σε βιομάζας	Τρεις μονάδες 14, 35 και 15 t/h τροποποιημένων αεριοποιητών άνθρακα	Germany

2.4 Δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα

Στις τεχνολογίες που παρουσιάστηκαν παραπάνω για την παραγωγή υδρογόνου παράγεται και CO₂. Για να καταστεί το υδρογόνο ως περιβαλλοντικά αποδεκτός ενεργειακός φορέας, είναι απαραίτητη η δέσμευση του CO₂ κατά την παραγωγή του. Η δέσμευση του CO₂ είναι μια διαδικασία η οποία περιλαμβάνει: 1) την απομόνωση του CO₂ από τα καυσαέρια 2) την μεταφορά του 3) την μόνιμη αποθήκευση του. Η εφαρμογή των τεχνολογιών δέσμευσης παρουσιάζουν επιστημονικές και τεχνολογικές προκλήσεις άλλα και οικονομικό κόστος. Οι υπάρχουσες τεχνολογίες χρειάζεται να τροποποιηθούν και ακόμα να αναπτυχθούν νέες. Απαιτείται να αναπτυχθεί δίκτυο διανομής και να εξασφαλισθούν οικονομικές και βιώσιμες λύσεις για την αποθήκευση.

Υπάρχουν πολλές διαθέσιμες τεχνολογίες σήμερα που είναι ικανές να διαχωρίσουν το CO₂ από αέρια. Οι τεχνολογίες αυτές, δεν έχουν ακόμα εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα. Η εφαρμογή της κάθε τεχνολογίας εξαρτάται από την σύνθεσή, την θερμοκρασία, την πίεση και την συγκέντρωση του αερίου μίγματος που περιέχει το CO₂ καθώς και από το ποσοστό CO₂ που αφαιρείται. Το κύριο μειονέκτημα που παρουσιάζουν αυτές οι τεχνολογίες είναι οι μεγάλες απαιτήσεις σε ενέργεια που επηρεάζοντας την απόδοση της εγκατάστασης αυξάνουν και το κόστος παραγωγής ενέργειας. Εκτιμάται ότι η εξέλιξη στον τομέα των μεμβρανών που κατασκευάζονται για την απορρόφηση αερίων θα μπορέσει να προσφέρει αξιόπιστες λύσεις με σημαντικό πλεονέκτημα για την δέσμευση του CO₂.

Η μεταφορά του CO₂ δεν παρουσιάζει τεχνολογικά εμπόδια. Σήμερα μπορεί να μεταφερθεί μέσω χαλύβδινων αγωγών σε υψηλές πιέσεις (100-200 bar). Για το μέλλον ως εναλλακτική λύση έχει προταθεί η μεταφορά με δεξαμενόπλοια για αποθήκευση σε ωκεανούς μακριά από το σημείο παραγωγής.

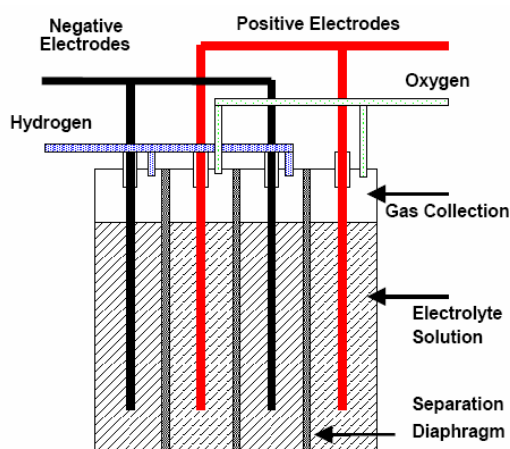
Για την μείωση του κόστους της δέσμευσης του CO₂ υπάρχει η επιλογή της χρησιμοποίησης του σε διάφορες εφαρμογές. Η πιο προσοδοφόρα λύση φαίνεται να είναι η χρησιμοποίηση του για την άντληση πετρελαίου. Η έγχυση CO₂ στις γεωτρήσεις μπορεί να αυξήσει την παραγωγή πετρελαίου και ταυτόχρονα να είναι αυτός ο χώρος αποθήκευσης του. Βέβαια αυτή η διαδικασία είναι οριακά οικονομικά αποδεκτή με τις σημερινές τιμές του πετρελαίου. Μια εναλλακτική λύση χρήσης είναι η εναπόθεση του CO₂ στα ορυχεία άνθρακα στα οποία δεν είναι εφικτή περαιτέρω εξόρυξη. Παγκοσμίως, υπάρχουν μόνο δύο τέτοιες εγκαταστάσεις μια για επίδειξη και μια ως πλότος, οι δύο εγκαταστάσεις βρίσκονται στη βόρειο Αμερική. Η Ευρωπαϊκή Ένωση χρηματοδοτεί το πρώτο πρόγραμμα αυτού του είδους στην Πολωνία. Η δυναμικότητα της Ευρώπης σε αυτή την τεχνολογία είναι περιορισμένη.

Το ποσό του CO₂ που μπορεί να αξιοποιηθεί είναι πολύ μικρό σε σύγκριση με τις ποσότητες που παράγονται. Επομένως, είναι απαραίτητο να αποθηκευτεί μόνιμα, με ασφάλεια, χαμηλό κόστος και με τέτοιο τρόπο ώστε να εναρμονίζεται με το περιβάλλον, τις διεθνείς και τις κρατικές νομοθεσίες. Οι κύριες επιλογές είναι η υπόγεια αποθήκευση σε γεωλογικούς σχηματισμούς και στον ωκεανό. Εντούτοις, υπάρχει αναγκαιότητα πλήρους προσδιορισμού των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μιας τέτοιας ενέργειας για το οικοσύστημα και τις ενδεχόμενες καταστροφικές συνέπειες στην θαλάσσια ζωή από την αύξηση της οξύτητας του νερού λόγω του CO₂.

2.5 Ηλεκτρόλυση

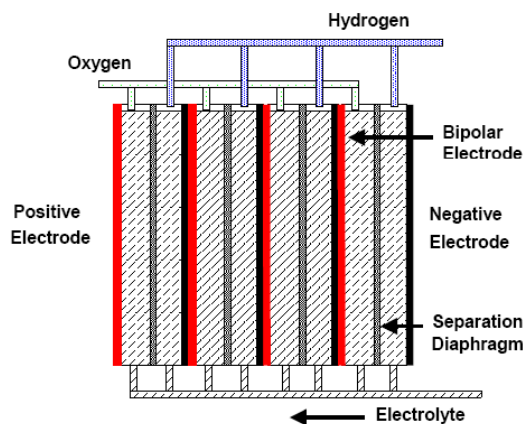
Η ηλεκτρόλυση είναι η διαδικασία κατά την οποία ηλεκτρικό ρεύμα διασπά τα μόρια του νερού H_2O σε H_2 και O_2 . Υπάρχουν τρεις τύποι βιομηχανικών ηλεκτρολυτών που βρίσκονται σε παραγωγή σήμερα.

Δύο λειτουργούν με υδατικό διάλυμα υδροξειδίου του καλίου (KOH) το οποίο χρησιμοποιείται λόγω της μεγάλης αγωγιμότητάς του. Οι μονάδες αυτές μπορεί να είναι μονοπολικές ή διπολικές. Ο μονοπολικός ηλεκτρολύτης είναι δεξαμενή που έχει παράλληλα συνδεδεμένα ηλεκτρόδια (σχήμα 2.3). Μια μεμβράνη τοποθετείται ανάμεσα στην άνοδο και τη κάθοδο, διαχωρίζοντας το οξυγόνο από το υδρογόνο κατά την παραγωγή των αερίων και επιτρέποντας την διέλευση ιόντων.



Σχήμα 2.3 Μονοπολικός Ηλεκτρολύτης

Οι διπολικοί ηλεκτρολύτες είναι δυνατόν να παρομοιαστούν με φίλτρα πίεσης (σχήμα 2.4) τα οποία αποτελούνται από κελιά συνδεδεμένα σε σειρά. Στη μία πλευρά παράγεται υδρογόνο ενώ στην άλλη οξυγόνο. Όπως και προηγουμένως και σε αυτή την εφαρμογή μια μεμβράνη διαχωρίζει την άνοδο από την κάθοδο.



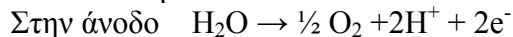
Σχήμα 2.4 Διπολικός Ηλεκτρολύτης

Ο τρίτος τύπος ηλεκτρολύτη ονομάζεται Solid Polymer Electrolyte (SPE) electrolyzer. Αυτό το σύστημα αναφέρεται και ως PEM Proton Exchange Membrane. Σε αυτήν την τεχνολογία

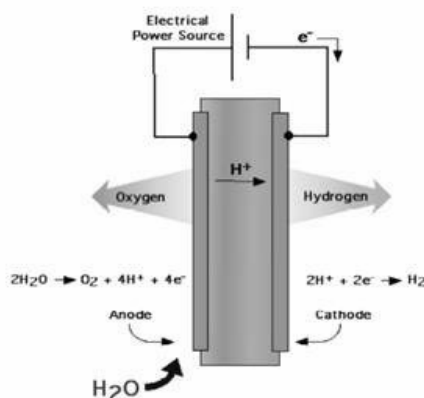
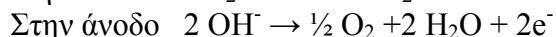
ο ηλεκτρολύτης αποτελείται από μια στερεή αγωγίμη μεμβράνη ιόντων σε υδατικό αλκαλικό διάλυμα όπως στους αλκαλικούς ηλεκτρολύτες. Η μεμβράνη επιτρέπει στα ιόντα του υδρογόνου H^+ να μεταφερθούν από την άνοδο στη κάθοδο όπου δημιουργείται το υδρογόνο. Οι κυριότεροι κατασκευαστές σήμερα είναι οι Norsk Hydro, Stuart, Teledyne και η Avalence.

Ανεξαρτήτως της τεχνολογίας, η διαδικασία της ηλεκτρόλυσης είναι η ίδια : $H_2O \rightarrow \frac{1}{2} O_2 + H_2$

Όμως σε κάθε ηλεκτρόδιο υπάρχει διαφορά μεταξύ PEM και αλκαλικών συστημάτων. Στο PEM οι αντιδράσεις στα ηλεκτρόδια είναι :

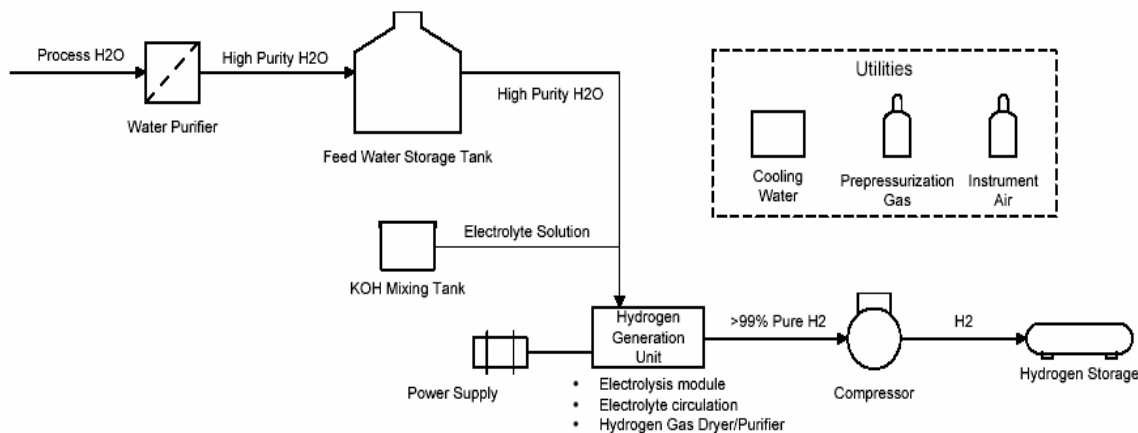


Σε αλκαλικό σύστημα οι αντιδράσεις είναι :



Σχήμα 2.5 Ηλεκτρολύτης PEM

Στο σχήμα 2.6 παρουσιάζεται ένα τυπικό διάγραμμα για την παραγωγή υδρογόνου από Ηλεκτρόλυση. Ο κάθε ηλεκτρολύτης έχει διαφορετικές απαιτήσεις όσον αφορά την καθαρότητα του νερού. Μερικές μονάδες έχουν δικό τους σύστημα καθαρισμού νερού ενώ άλλες χρειάζονται εξωτερική μονάδα απιονισμού ή μονάδα αντίστροφης όσμωσης. Οι εταιρίες παρέχουν ολοκληρωμένα συστήματα τα οποία τοποθετούνται ανά τεμάχιο (module) για λόγους οικονομίας χώρου και απλότητας. Σε μερικές μονάδες περιλαμβάνεται συμπίεση του υδρογόνου στα 30 bar.

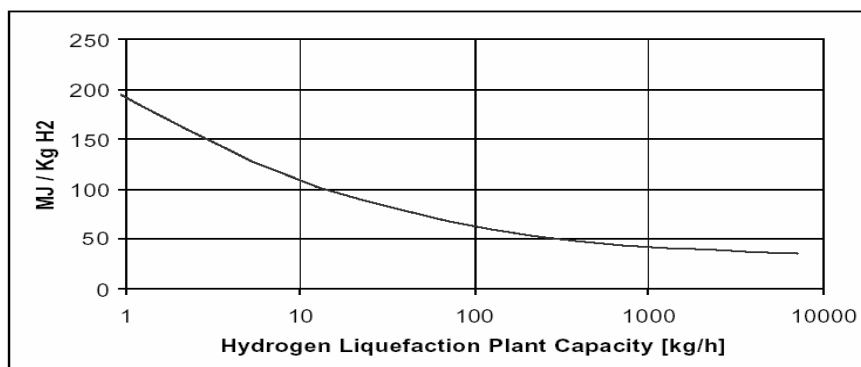


Σχήμα 2.6 Εγκατάσταση Ηλεκτρόλυσης

2.6 Αποθήκευση – Μεταφορά

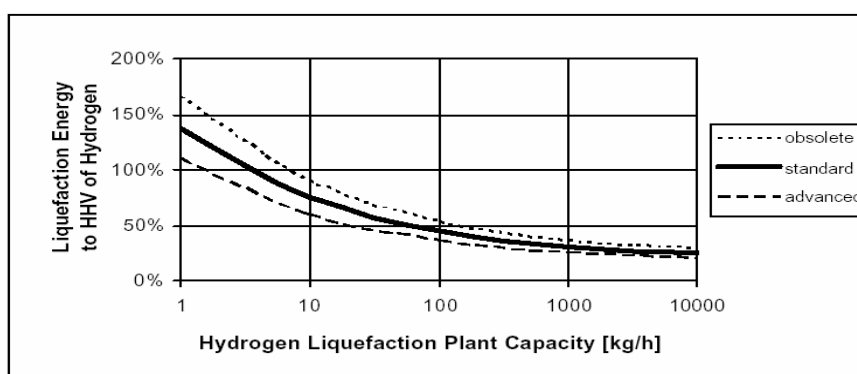
2.6.1 Υγροποίηση

Η πυκνότητα της ενέργειας του υδρογόνου μπορεί να βελτιωθεί αποθηκεύοντας το σε υγρή μορφή. Τα προβλήματα που αντιμετωπίζει η τεχνολογία είναι το χαμηλό σημείο βρασμού του υδρογόνου, η απαιτούμενη ενέργεια για την υγροποίηση, ο όγκος των δεξαμενών, το βάρος τους και το κόστος. Η ενέργεια που απαιτείται για την υγροποίηση είναι αρκετά υψηλή, 30% της θερμογόνου ικανότητας του υδρογόνου για κάθε kg που υγροποιείται. Επίσης, το σημείο βρασμού, που είναι η αιτία οι δεξαμενές να έχουν απώλειες, πρέπει να ελαχιστοποιηθεί ή να εκμηδενιστεί για λόγους οικονομίας απόδοσης. Στις δεξαμενές είναι απαραίτητη η στεγανοποίηση μειώνοντας έτσι την βαρομετρική και ογκομετρική χωρητικότητα. Στο διάγραμμα 2.1 παρουσιάζεται η ενέργεια που απαιτείται κατά την υγροποίηση ανάλογα με το μέγεθος της εγκατάστασης. Τα στοιχεία έχουν ληφθεί από υφιστάμενες εγκαταστάσεις υγροποίησης. [05].



Διάγραμμα 2.1 Ενέργεια υγροποίησης υδρογόνου

Στο διάγραμμα 2.2 παρουσιάζεται η ενέργεια που απαιτείται σε σύγκριση με την ανώτερη θερμογόνου ικανότητα του υδρογόνου σε συνάρτηση με την ικανότητα παραγωγής της εγκατάστασης [06].



Διάγραμμα 2.2 Απαιτούμενη Ενέργεια εγκατάστασης υγροποίησης

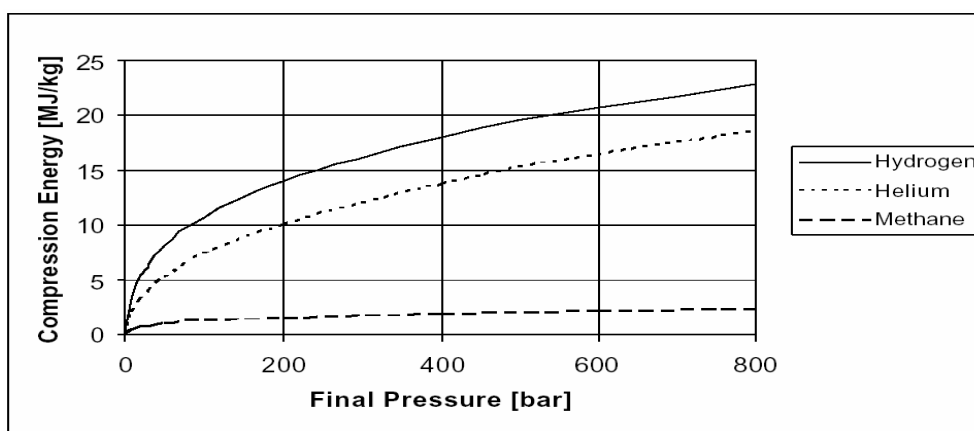
2.6.2 Συμπύεση αερίου

Το έργο που απαιτείται για την συμπύεση εξαρτάται από την θερμοδυναμική διαδικασία της συμπύεσης και περιγράφεται από την αδιαβατική εξίσωση :

$$W = [\gamma / (\gamma - 1)] p_0 V_0 [(p_1/p_0)^{(\gamma-1)/\gamma} - 1]$$

Όπου W [J/kg] Ειδικό έργο συμπύεσης
 p_0 [Pa] Αρχική πίεση
 p_1 [Pa] Τελική πίεση
 V_0 [m³/kg] Αρχικός ειδικός όγκος
 γ Αδιαβατική σταθερά αερίου

Το έργο της συμπύεσης εξαρτάται από τη φύση του αερίου. Στο διάγραμμα 2.3 παρουσιάζεται η ενέργεια συμπύεσης για το Ήλιο, το Υδρογόνο και το Μεθάνιο. [06]



Διάγραμμα 2.3 Έργο Συμπύεσης Αερίων

Το υδρογόνο σε σύγκριση με τα άλλα δύο αέρια απαιτεί περισσότερη ενέργεια για τη συμπύεση του. Το συμπιεσμένο υδρογόνο μπορεί να αποθηκεύεται σε φιάλες από ατσάλι για τη μεταφορά του. Αυτές οι φιάλες είναι δυνατόν είτε να φυλάσσονται σε εγκαταστάσεις για επί τόπου χρήση και παραγωγή ενέργειας είτε να μεταφέρονται με φορτηγά για διανομή. Ακόμα το συμπιεσμένο αέριο μπορεί να μεταφέρεται στο τελικό αποδέκτη μέσω αγωγού.

2.6.3 Αγωγοί μεταφοράς υδρογόνου

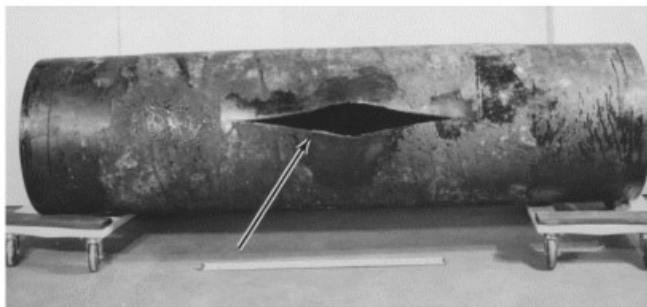
Αγωγοί μεταφοράς αερίων, όπως του φυσικού αερίου, και η αντίστοιχη τεχνολογία υπάρχουν εδώ και αρκετά χρόνια. Ήδη λειτουργούν δίκτυα όπου διακινείται υδρογόνο μέσω αγωγών. Μια βιώσιμη λύση για το μέλλον, είναι η χρησιμοποίηση των αγωγών φυσικού αερίου για την μεταφορά μίγματος φυσικού αερίου και υδρογόνου. Ο διαχωρισμός του υδρογόνου από το μεθάνιο μέσω μιας μεμβράνης ή προσρόφησης είναι απαραίτητος για τον τελικό καταναλωτή. Κάτι τέτοιο απαιτεί περαιτέρω έρευνα που θα καθορίσει την τυποποίηση, την μορφή του μίγματος κλπ.

Τα προβλήματα που προκύπτουν κατά την εφαρμογή της τεχνολογίας μεταφοράς υδρογόνου είναι τα εξής :

- Η στεγανοποίηση των βαλβίδων, των φλαντζών και των σωλήνων ούτως ώστε να μην διαφεύγει το υδρογόνο.

- Η ανίχνευση διαρροών του υδρογόνου καθώς λόγω της καθαρότητας που απαιτείται δεν είναι δυνατό να μουν αρωματικά όπως στο φυσικό αέριο.
- Πολλά υλικά που μπορεί να χρησιμοποιηθούν, όπως κράματα ατσαλιού, είναι επιρρεπή στην ευθραυστότητα που προκαλείται από το υδρογόνο.

Στην εικόνα 2.2 παρουσιάζεται αγωγός ο οποίος υπέστη ρήγμα λόγω της ευθραυστότητας που προκλήθηκε από το υδρογόνο. [05]



Εικόνα 2.2 Θραύση αγωγού υδρογόνου

Πίνακας 2.2 : Αγωγοί υδρογόνου σε λειτουργία (πηγή: Ogden, J.) [05]

Company	Location	Operation years	Pressure (psi)	Length (miles)	Flow rate (million SCF/day)	Pipe diameter (in)	H ₂ purity (%)
Air Products and Chemicals	La Porte, TX	Since 1970s	50-80	125	40	4-12	99.5
	Plaquemine, LA	-	-	175	30	-	-
Praxair	Texas City – Bayport – Port Arthur, TX	Since 1970s	-	-	100	8	-
	Carney's Point, NJ	-	-	-	6	-	-
	Whiting, IN	-	-	-	5	-	-
Air Liquide	Since mid-1980s	France; Belgium	1470	250	17	4	99.995
ICI	Teeside, England	Since 1970s	750	10	20	-	95
Chemische Werk Huls, Ag	Ruhr Valley, Germany	Since 1938	360	140	100	4-12	95

Μεταφορά – Διανομή

Η μεταφορά του υδρογόνου μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω φορτηγών που μεταφέρουν υγροποιημένο υδρογόνο ή συμπιεσμένο σε αέρια φάση και μέσω αγωγών που ήδη αναφέρθηκε. Για τη διείσδυση του υδρογόνου στην αγορά, τουλάχιστον στην αρχική φάση διαμόρφωσης της και κατόπιν σε συγκεκριμένες εφαρμογές, τα φορτηγά είναι η πιο ενδεδειγμένη λύση. Το μειονέκτημα του συμπιεσμένου υδρογόνου, έναντι του υγροποιημένου, είναι η μεταφορά συγκριτικά λιγότερης ποσότητας ενέργειας.

2.7 Κυψέλες Καυσίμου - FUEL CELLS

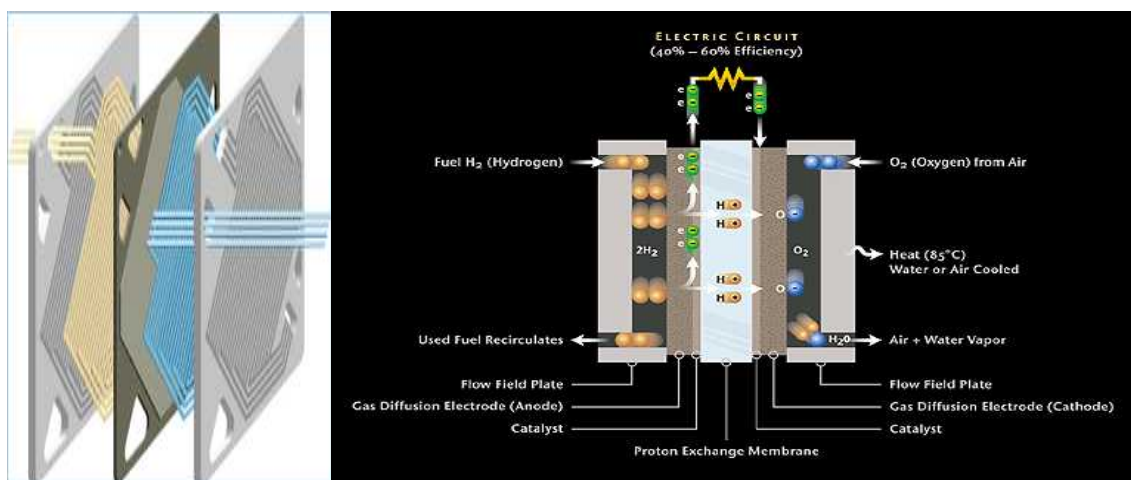
Σήμερα υπάρχουν πολλές διαθέσιμες τεχνολογίες για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Οι κυριότεροι τύποι κυψελών που υπάρχουν σήμερα είναι polymer exchange membrane χαμηλής θερμοκρασίας (PEMFC), Solid oxide fuel cell (SOFC) και molten carbonate fuel cell (MCFC) υψηλής θερμοκρασίας.

Κυψέλες καυσίμου με τεχνολογία PEM έχουν ήδη εγκατασταθεί για στατικές εφαρμογές [07]. Το εύρος ισχύος κυμαίνεται από 1 – 250 kWe. Επίσης, δύναται να χρησιμοποιηθούν για συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού σε κτιριακές εφαρμογές. Εσωτερική αναμόρφωση και ηλεκτροχημική μετατροπή του μονοξειδίου του άνθρακα είναι δυνατή μόνο στα υψηλής θερμοκρασίας SOFC και στα MCFC διαφοροποιώντας τα έτσι από τις κυψέλες καυσίμων χαμηλής θερμοκρασίας. Δεν είναι απαραίτητος ο εκτεταμένος καθαρισμός από CO πριν από την άνοδο, όπως στην περίπτωση του PEM. Με την χρησιμοποίηση της παραγόμενης θερμότητας από τις κυψέλες καυσίμων δεν χρειάζεται περαιτέρω καύση για τις ανάγκες σε θερμότητα της αναμόρφωσης εσωτερικά της κυψέλης. Κατά αυτό τον τρόπο τα MCFCs και τα SOFCs έχουν την δυνατότητα να παρουσιάσουν τις μεγαλύτερες δυνατές αποδόσεις .

Λειτουργία Κυψελών Καυσίμου

PEMFC

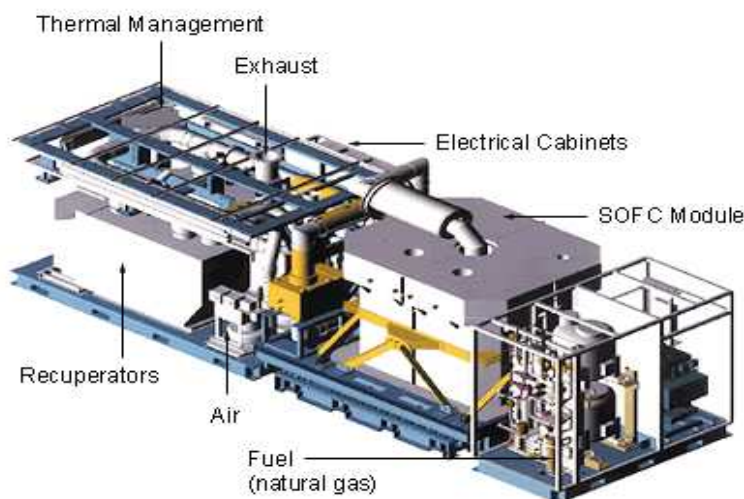
Το κυρίως σύστημα της κυψέλης καυσίμου της Ballard είναι η μεμβράνη (membrane electrode assembly) η οποία είναι τοποθετημένη ανάμεσα στα δύο ρεύματα (υδρογόνου και οξυγόνου). Η μεμβράνη αυτή αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια την άνοδο και τη κάθοδο. Αυτά είναι καλυμμένα από τη μία τους μεριά με ένα λεπτό στρώμα καταλύτη και διαχωρίζονται από μία άλλη μεμβράνη την proton exchange membrane (PEM). Το υδρογόνο οδηγείται στην άνοδο και το οξυγόνο (από τον αέρα) στην κάθοδο. Το υδρογόνο στο στρώμα του καταλύτη διαχωρίζεται σε πρωτόνια και ηλεκτρόνια. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που παράγονται στην άνοδο δημιουργούν εκμεταλλεύσιμο ηλεκτρικό ρεύμα, ενώ στην κάθοδο παράγεται οξυγόνο από τον αέρα. Ηλεκτρόνια από το κύκλωμα και πρωτόνια παράγουν νερό και θερμότητα. Για τη κατασκευή κυψελών καυσίμου συγκεκριμένης ισχύος προστίθενται κυψέλες καυσίμου που δημιουργούν μια στιβάδα.



Σχήμα 2.7 Κυψέλη Καυσίμου PEM

SOFC

Η κυψέλη καυσίμου της Siemens είναι κατασκευασμένη από ηλεκτρολύτη και δύο στρώματα από ηλεκτρόδια σε ένα κυλινδρικό σχέδιο. Ο σχεδιασμός του επιτρέπει τη θερμική διαστολή και την απουσία στεγανοποίησης. Ο αέρας περνά από το εσωτερικό της κυψέλης ενώ το καύσιμό από το εξωτερικό της. Σε υψηλές θερμοκρασίες, το οξυγόνο του αέρα ιονίζεται και τα ιόντα διαρρέουν τον ηλεκτρολύτη και ενώνονται με το καύσιμο στο εσωτερικό της κυψέλης. Αυτή είναι μια ηλεκτροχημική αντίδραση με αποτέλεσμα την απελευθέρωση ηλεκτρονίων. Με κατάλληλες συνδέσεις τα ηλεκτρόνια μπορούν να διαρρέυσουν από εξωτερικό κύκλωμα, ως ηλεκτρικό ρεύμα. Κατά την εκκίνηση, δεν χρειάζεται εσωτερική πηγή θερμότητας.



Σχήμα 2.8 Απεικόνιση εγκατάστασης SOFC

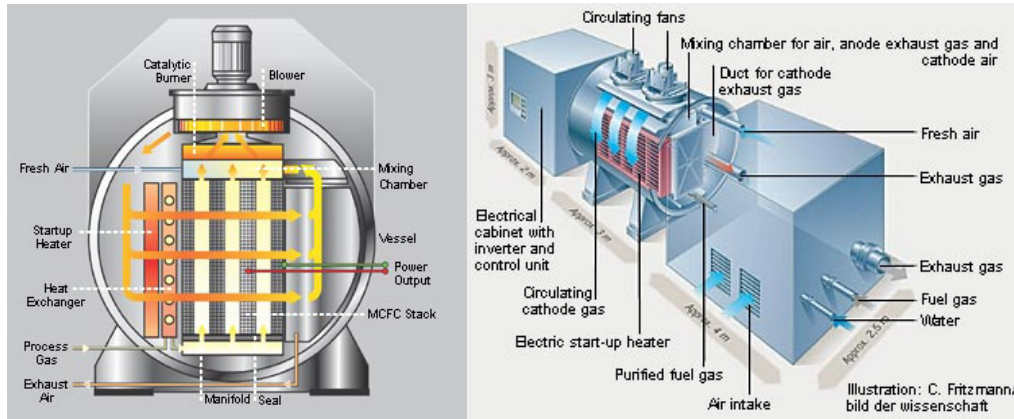


Εικόνα 2.3 Η μεγαλύτερη ατμοσφαιρική κυψέλη καυσίμου που έχει κατασκευαστεί τεχνολογίας SOFC ισχύος 250 kW CHP (Combined Heat Power)

MCFC

Το εισερχόμενο αέριο καύσιμο τροφοδοτείται από το κάθετο κανάλι της ανόδου, μέσω μιας συσκευής διανομής. Η οριζόντια κυψέλη καυσίμου είναι στεγανοποιημένη στο κάτω τμήμα της, λόγω της βαρύτητας. Σε θερμοκρασίες της τάξης των 650°C, το φυσικό αέριο και ο

ατμός (ως μέσο αναμόρφωσης) διαχωρίζουν το H_2 που χρειάζεται η άνοδος. Το υπόλοιπο αέριο εξέρχεται από το πάνω τμήμα της ανόδου και αναμειγνύεται με αέρα. Ακολούθως, οξειδώνεται με τη βοήθεια καταλύτη. Το μίγμα που προκύπτει περιέχει CO_2 και O_2 τα οποία είναι απαραίτητα για την κάθοδο. Ανεμιστήρας κυκλοφορεί τα αέρια μίγματα διάμεσου των οριζόντιων σωληνώσεων της καθόδου. Ο αέρας που εξέρχεται από την κάθοδο είναι διαθέσιμος για θερμική εκμετάλλευση.



Σχήμα 2.4 Κυψέλη καυσίμου MCFC

3. Τεχνο-οικονομικά στοιχεία τεχνολογιών Υδρογόνου

Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι η επισκόπηση των τεχνο-οικονομικών στοιχείων των τεχνολογιών υδρογόνου για την αξιολόγηση ενεργειακών αλυσίδων. Έπειτα από συγκριτική μελέτη της βιβλιογραφίας θα επιλεγεί ο συνολικός βαθμός απόδοσης, το κόστος και οι εκπομπές CO₂ της κάθε αλυσίδας και τα αποτελέσματα θα παρουσιαστούν στο κεφ. 3.2 .

3.1 Κύρια χαρακτηριστικά τεχνολογιών υδρογόνου

3.1.1.Αεριοποίηση Άνθρακα – Coal Gasification

Επιλογή για την Αεριοποίηση του Άνθρακα:

Ο βαθμός απόδοσης για την αεριοποίηση του άνθρακα που έχει επιλεγεί, είναι 60% με δέσμευση του CO₂. Όπως αναλύθηκε παραπάνω, χωρίς την δέσμευση του CO₂ μειώνεται το πλεονέκτημα της βιώσιμης περιβαλλοντικά λύσης για το υδρογόνο. Επίσης, θεωρείται ότι κόστος για την παραγωγή του υδρογόνου οφείλεται κατά 25-30% στην τιμή του καυσίμου [08]. Η παραγωγή CO₂ ανέρχεται στα 0,095 kg/kWh H₂ (με δέσμευση του CO₂) και κόστος 0,0432€/kWh H₂. Το κόστος προέκυψε από την αρχική τιμή του καυσίμου (Λιγνίτης) 1,2€/GJ.

Στην εργασία, [09] η οποία συντάχθηκε για την U.S. DOE NETL, εξετάζονται 10 περιπτώσεις παραγωγής υδρογόνου από άνθρακα. Τρεις από αυτές δεν περιέχουν δέσμευση του άνθρακα.

- **Περίπτωση 1:** Αναφέρεται σε αεριοποιητή της Texaco, με συμβατική αφαίρεση και pressure swing adsorption. Η δυναμικότητα της μονάδας είναι της τάξης των 3,000 τόνων ανά μέρα και παράγεται υδρογόνο 131 MMSFCD (million standard cubic feet per day, δηλ. εκατομμύρια κανονικά κυβικά πόδια ανά ημέρα).
- **Περίπτωση 2:** Είναι παρόμοια με την 1 με την διαφοροποίηση ότι το διοξείδιο του άνθρακα έχει αφαιρεθεί πριν οδηγηθεί στην μονάδα PSA. Ακολούθως, έχει υποθεθεί ότι έχει συμπυκνωθεί και συμπιεστεί. Το κόστος αυτής της διεργασίας είναι 10\$ ανά τόνο άνθρακα.
- **Περίπτωση 3:** Η διάταξη αυτή χρησιμοποιεί προηγμένο αεριοποιητή E-gas και καθαρισμό με ζεστό αέριο, σε συνδυασμό με κεραμική μεμβράνη η οποία λειτουργεί στους 600 βαθμούς Centigrade και είναι ικανή να διαχωρίζει το υδρογόνο από το syngas. Αν γίνει η παραδοχή ότι το κόστος της κεραμικής μεμβράνης είναι ίσο με το κόστος ενός συστήματος PSA, το υδρογόνο υπολογίζεται στα \$5.89/MMBtu.
- **Περίπτωση 4** χρησιμοποιούνται δύο διαδρομές με παροχή άνθρακα 6000 τόνων/ημέρα. Στη μια διαδρομή παράγεται syngas για να τροφοδοτήσει την μονάδα PSA ενώ στην άλλη διαδρομή παράγεται syngas για να τροφοδοτήσει το συνδυασμένο κύκλο του εργοστασίου παραγωγής ενέργειας.
- **Περίπτωση 5** είναι παρόμοια με την περίπτωση 4, μόνο που όλο το syngas μετατρέπεται σε υδρογόνο. Μετά την ψύξη και την μετατροπή το διοξείδιο του άνθρακα αφαιρείται και δεσμεύεται.
- **Περίπτωση 6** είναι παρόμοια με την περίπτωση 3 εκτός του ότι χρησιμοποιούνται δύο διαδρομές τροφοδοσίας για την παραγωγή syngas στους 600 βαθμούς C στην κεραμική μεμβράνη.

Πίνακας 3.1 Περιπτώσεις παραγωγής υδρογόνου από άνθρακα 1-6

Περίπτωση :	1	2	3	4	5	6
Δέσμευση CO ₂	OXI	NAI (87%)	NAI (100%)	OXI	NAI (95%)	NAI (100%)
H ₂ MMSCFD	131	119	158	149	153	153
Coal T/D(AR)	3000	3000	3000	6000	6000	6000
Απόδοση % (HHV)	63,7	59	75,5	62,4	56,5	59
XS Power MW	20,4	26,9	25	475	358	416
Power Value (MILS/kWh)	35,6	53,6	53,6	35,6	53,6	53,6
Capital \$ MM	367	417	425	910	950	950
RSP of Hydrogen \$/MMBTU	6,83	8,18	5,89	5,42	5,64	3,98

Παραδοχές:

1. Το κόστος του άνθρακα είναι 29\$/τόνο και η εγκατάσταση λειτουργεί στο 85% της δυναμικότητας της
2. Για τις περιπτώσεις που υπάρχει δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα έχει υποτεθεί κόστος 10\$/τόνο άνθρακα και περιλαμβάνει την δέσμευση του διοξειδίου και την συμπίεση του στα 200 bar.

Οι περιπτώσεις 7 , 8 , 9 , 10 εξετάζουν την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος στην εγκατάσταση του εργοστασίου με Solid oxide fuel cell (SOFC).

Πίνακας 3.2 Περιπτώσεις παραγωγής υδρογόνου από άνθρακα 7-10

Περίπτωση:	7	8	9	10
Δέσμευση CO ₂	OXI	NAI (98%)	NAI (90%)	NAI (95%)
H ₂ MMSCFD	0	0	149	150
Coal T/D(AR)	3000	3000	6000	6000
Απόδοση % (HHV)	65,7	61,3	64,5	65,2
XS Power MW	567	529	509	519
Power Value (MILS/kWh)	33,7	41,0	53,6	53,6
Capital \$ MM	628	717	1,037	1,019
RSP of Hydrogen \$/MMBTU	N/A	N/A	2,79	2,40

Συμπερασματικά, το υδρογόνο μπορεί να παραχθεί με την υπάρχουσα τεχνολογία αεριοποίησης του άνθρακα, με βαθμό απόδοσης 64%. Με βάση την ανώτερη θερμογόνο δύναμη, το κόστος παραγωγής κυμαίνεται από \$6,50/MMBtu μέχρι τα \$7,00/MMBtu.

Στην εργασία [08] συγκρίνονται το υδρογόνο και το μεθάνιο ως ενεργειακοί φορείς στο επίπεδο της οικονομίας, ασφάλειας, απόδοσης και καυσαερίων προς το περιβάλλον. Το συμπέρασμα αυτής της μελέτης είναι ότι:

- Και τα δύο καύσιμα είναι πιο ασφαλή από το πετρέλαιο

- Σε μερικές περιπτώσεις, με την υπάρχουσα τεχνολογία το υδρογόνο παρουσιάζει μεγαλύτερο ρίσκο από το μεθάνιο.
- Γενικότερα, δεν υπάρχουν κάποια σαφή οφέλη στο να επιλεγεί ένα από τα δύο.

Η απόδοση εξόρυξης του άνθρακα υπολογίζεται στο 75% και η απόδοση αεριοποίησης στο 63% , ενώ δεν αναφέρεται δέσμευση CO₂. Επίσης, γίνεται αναφορά στην κατανομή κόστους παραγωγής υδρογόνου ανά πρωτογενή πηγή και συγκεκριμένα για την αεριοποίηση του άνθρακα, της βιομάζας, της αναμόρφωσης φυσικού αερίου και της ηλεκτρόλυσης (πίνακας 3.3).

Πίνακας 3.3 Κατανομή κόστους παραγωγής υδρογόνου ανά πρωτογενή πηγή

	Άνθρακας - Βιομάζα	Φυσικό Αέριο	Ηλεκτρόλυση
Κόστος Καυσίμου	25-30%	60%	70-80%
Λειτουργία - Συντήρηση		10%	5%
Κόστος κεφαλαίου		30%	15-20%

Σύμφωνα με την αναφορά [10] η αεριοποίηση του άνθρακα είναι μια ώριμη και διαδεδομένη τεχνολογία στην πετροχημική βιομηχανία για την παραγωγή υδρογόνου και χρησιμοποιείται για την διάσπαση υδρογονανθράκων. Γενικά κόστη και πληροφορίες όσον αφορά τις αποδόσεις τέτοιων εγκαταστάσεων, δεν υπάρχουν στη διαθέσιμη βιβλιογραφία κυρίως λόγω του ότι οι περισσότερες εγκαταστάσεις κατασκευάζονται για τις ανάγκες της κάθε πετροχημικής βιομηχανίας, δυσκολεύοντας έτσι οποιαδήποτε προσπάθεια για ακριβή καθορισμό του κόστους παραγωγής του υδρογόνου. Η εγκατάσταση που εξετάζεται είναι δυναμικότητας 5εκ.Nm³/ημέρα. Η ποσότητα αυτή είναι διπλάσια από την ποσότητα που θα παρήγαγε οποιαδήποτε εγκατάσταση μονού ρεύματος αναμόρφωσης, χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνολογία που έχει κατασκευαστεί έως σήμερα.

Οι παραδοχές που γίνονται για τους υπολογισμούς είναι οι εξής :

- Δεδομένου ότι, το CO₂ έχει ήδη διαχωριστεί κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, η δέσμευση του δεν απαιτεί μεγάλες αλλαγές στο σύστημα της δέσμευσης και της συμπίεσης. Το κόστος ενός τέτοιου συμπιεστή κυμαίνεται μεταξύ 10 - 30 εκατ. €. Σε αυτή την ανάλυση έχει υπολογιστεί η μεγαλύτερη τιμή. Το συνολικό κεφάλαιο επένδυσης, διαιρεμένο με την συνολική ετήσια παραγωγή του υδρογόνου για την εγκατάσταση της δέσμευσης που χρησιμοποιήθηκε, είναι €12/GJ για αναμόρφωση μεθανίου και €32/GJ για την αεριοποίηση του άνθρακα.
- Η μείωση της ενεργειακής απόδοσης λόγω της δέσμευσης αντιστοιχεί σε 6%.
- Το CO₂ μεταφέρεται για 100 km και αποθηκεύεται.

Πρέπει επίσης να επισημανθεί ότι μπορεί να εμφανιστούν μελέτες που να υπολογίζουν χαμηλότερο κόστος επένδυσης, όπως για παράδειγμα η συμπαραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού.

Πίνακας 3.4 Παράμετροι εγκατάστασης

	Τιμές
Μέγεθος Εγκατάστασης	5 εκ. Nm ³ /ημέρα (425.000kg)
Συντελεστής Φόρτισης	90%
Discount rate	10%
Κόστος Λειτουργίας & Συντήρησης	6% του κεφαλαίου επένδυσης
Κόστος καυσίμου	€3,35/GJ για το Φυσικό Αέριο €1,55/GJ για τον Άνθρακα
Κόστη μεταφοράς και αποθήκευσης CO ₂	Μεταφορά : 1€ /τόνο που έχει μεταφερθεί Αποθήκευση : 2€/τόνο που έχει αποθηκευτεί

Πίνακας 3.5 Τύπος Εγκατάστασης

	Συνολικό κεφάλαιο/ Παραγωγή Υδρογόνου (€/GJ)	Ετήσια Απόδοση (%)
Αναμόρφωση Φ.Α	10	75.0
Αναμόρφωση Φ.Α με δέσμευση CO ₂	12	70.5
Αεριοποίηση Άνθρακα	30	50.0
Αεριοποίηση Άνθρακα με δέσμευση CO ₂	32	47.0

Πίνακας 3.6 Κόστος παραγωγής Υδρογόνου :

	Αναμόρφωση Χωρίς δέσμευση	Φ.Α. με δέσμευση	Αεριοποίηση Χωρίς δέσμευση	Άνθρακα με δέσμευση
Κόστος Επένδυσης (€/GJ)	1.00	1.20	3.00	3.20
Κόστος καυσίμου (€/GJ)	4.47	4.75	3.10	3.30
Κόστος Λειτουργίας & Συντήρησης (€/GJ)	0.60	0.72	1.80	1.92
Κόστος Δέσμευσης CO ₂ (€/GJ)	-	0.24	-	0.71
Σύνολο(€/GJ)	6.07	6.92	7.90	9.13
MC (€/τόνο)		11.99		5.55
Αύξηση Κατανάλωσης (%)		6.4		6.4
Καυσαέρια CO ₂ (kg/GJ)	84.9	9.0	247.8	26.4

Επίσης, έχει γίνει η παραδοχή ότι το φυσικό αέριο περιέχει καθαρό μεθάνιο και ο άνθρακας 86%C. Η ενέργεια του μεθανίου και του άνθρακα, μετατράπηκε σε μάζα, χρησιμοποιώντας την κατώτερα θερμογόνο δύναμη (43,2 και 25,5 MJ/kg αντίστοιχα). Η ανάλυση κόστους παρουσιάζεται παρακάτω.

Πίνακας 3.7 Κόστος δέσμευσης

	Αναμόρφωση δέσμευση (%)	Φ.Α. με	Αεριοποίηση δέσμευση (%)	Άνθρακα με δέσμευση (%)
Κόστος Επένδυσης (€/GJ)	17			35
Κόστος καυσίμου (€/GJ)	69			36
Κόστος Λειτουργίας & Συντήρησης (€/GJ)	10			21
Κόστος Δέσμευσης CO ₂ (€/GJ)	3			8
Σύνολο(€/GJ)	100			100

Τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας είναι:

- Η δέσμευση του CO₂ αυξάνεται κατά 14% για την τεχνολογία της αναμόρφωσης του μεθανίου και 16% για την αεριοποίηση του άνθρακα .
- Η παραγωγή υδρογόνου με αναμόρφωση είναι πιο οικονομική διαδικασία από την αεριοποίηση άνθρακα
- Το κόστος μεταφοράς και αποθήκευσης του CO₂ δεν είναι πιθανόν να έχει σημαντική συνεισφορά στο συνολικό κόστος
- Στην αναμόρφωση Φ.Α. στο συνολικό κόστος παραγωγής σημαντικότερο ρόλο έχει το κόστος καυσίμου, ενώ στην αεριοποίηση του άνθρακα το κόστος επένδυσης και το κόστος καυσίμου έχουν την ίδια σχεδόν συνεισφορά.

Στον πίνακα 3.8 παρουσιάζονται συνολικά, οι τιμές των βαθμών απόδοσης από τις διάφορες εργασίες. Στις εργασίες [11] και [08] οι αποδόσεις δεν αναλύονται απλά αναφέρονται.

Πίνακας 3.8 Βαθμοί Απόδοσης

Τεχνολογία	Αποδόσεις (%)	Αναφορές
Αεριοποίηση Άνθρακα με Δέσμευση CO ₂	49	10
Αεριοποίηση Άνθρακα	60 ή 70	8
Αεριοποίηση Άνθρακα	60	12
Texaco quench gasification PSA CO ₂ capture	59	26

3.1.2.Αναμόρφωση Μεθανίου με Ατμό – Steam Methane Reforming

Επιλογή για την Αναμόρφωση του Φυσικού Αερίου με Ατμό

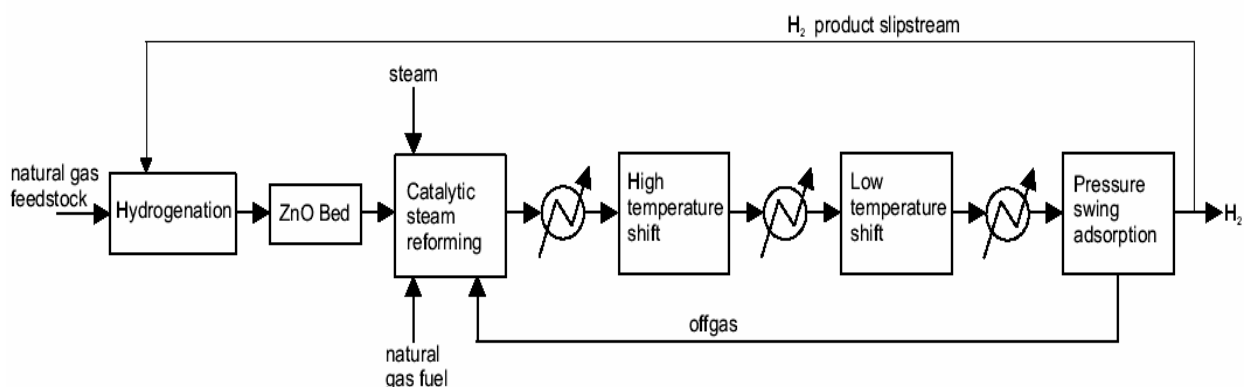
Ο βαθμός απόδοσης που επιλέγεται για την μετατροπή του φυσικού αερίου σε υδρογόνο, είναι 72% στην κεντρική παραγωγή και 68% στην αποκεντρωμένη. Στην κεντρική παραγωγή θεωρείται ότι υπάρχει δέσμευση του CO₂ ενώ στην αποκεντρωμένη δεν είναι δυνατή. Οι εκπομπές καυσαερίων χωρίς δέσμευση είναι 0,306 kgCO₂/kWh H₂ και με δέσμευση 0,032 kgCO₂/kWh H₂. Όπως στην περίπτωση του άνθρακα, έτσι και σ' αυτήν της αναμόρφωσης μεθανίου, η δέσμευση του CO₂ κρίνεται απαραίτητη για τους περιβαλλοντικούς λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω. Το κόστος παραγωγής υδρογόνου που προκύπτει είναι 0,063079€/kWh H₂ για κεντρική παραγωγή και 0,066789€/kWh H₂ για αποκεντρωμένη. Αυτό προκύπτει από υπολογισμούς, οι οποίοι βασίστηκαν σε σημερινές τιμές του φυσικού αερίου και στην ανάλυση κόστους της εργασίας [10].

Στην εργασία [12] αυτή αναφέρεται ότι η αναμόρφωση του Φυσικού Αερίου με ατμό είναι η πιο κοινή τεχνολογία για την παραγωγή υδρογόνου. Ο κύριος στόχος αυτής της εργασίας είναι να αναλύσει συνολικά και να παρουσιάσει ποσοτικά, τα περιβαλλοντικά θέματα κατά την παραγωγή υδρογόνου. Η ικανότητα παραγωγής της μονάδας που εξετάζεται είναι 1,5 εκ. Nm³/ημέρα. (127500kg H₂). Το μέγεθος αυτό χαρακτηρίζεται ως τυπικό και απαντάται σε μεγάλα διυλιστήρια. Όλες οι πρωτογενής μορφές ενέργειας, εκπομπές καυσαερίων και ροές ενέργειας έχουν καταγραφεί έτσι ώστε να υπάρχει μια γενική εικόνα του συστήματος, όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η αναμόρφωση Μεθανίου με ατμό, είναι μια ώριμη τεχνολογία και με αυτήν παράγεται το περισσότερο υδρογόνο σήμερα. Αυτή η εργασία παρουσιάζει μια ακριβή εικόνα για ένα τυπικό εργοστάσιο παραγωγής υδρογόνου, αλλά με την εξαίρεση ότι, το σχέδιο του συστήματος δεν περιλαμβάνει αντιδραστήρα χαμηλής θερμοκρασίας (LTS reactor). Παλαιότερη ανάλυση και κοινή πρακτική στην παραγωγή υδρογόνου έχει δείξει ότι η

προσθήκη LTS reactor είναι οικονομική λόγω του μικρού επιπρόσθετου ποσού υδρογόνου που παράγεται. Επίσης, γίνεται ανάλυση ευαισθησίας η οποία μεταξύ άλλων εξετάζει την εγκατάσταση ή μη LTS.

Πριν από την αναμόρφωση του μεθανίου, το φυσικό αέριο προεπεξεργάζεται σε σύστημα υδρογόνωσης, για να μετατραπούν όσες ενώσεις Θείου υπάρχουν σε H₂S . Μια μικρή ποσότητα υδρογόνου η οποία ανακυκλώνεται, χρησιμοποιείται για αυτήν την διεργασία. Το H₂S απομακρύνεται σε κλίνη με ZnO. Στο επόμενο στάδιο το φυσικό αέριο και ατμός υπό πίεση 2.6 MPa τροφοδοτούνται στον αναμορφωτή. Κατά την διαδικασία της αναμόρφωσης παράγεται ατμός πίεσης 4,8 MPa, ο οποίος θεωρείται ότι εξάγεται και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από μια άλλη διεργασία στην ίδια εγκατάσταση ή από κάποιον άλλο καταναλωτή. Ο απαιτούμενος ηλεκτρισμός για την λειτουργία των αντλιών και των συμπιεστών προμηθεύεται από το δίκτυο. Στο σχήμα 3.1 διάγραμμα με τα στοιχεία της εγκατάστασης και στον πίνακα 3.9 παρουσιάζονται οι βαθμοί απόδοσης.



Σχήμα 3.1 Εγκατάσταση αναμόρφωσης Φυσικού Αερίου

Πίνακας 3.9 Εγκατάσταση Αναμόρφωσης Φυσικού Αερίου

Παράμετροι	Στοιχεία
Μέγεθος Εγκατάστασης	1,5 εκ. Nm ³ /ημέρα
Καθαρότητα υδρογόνου	>99,95 mol% H ₂
Συντελεστής Φόρτισης	90%
Κατανάλωση Φυσικού Αερίου στο 100% Σ.Φ.	392 Mg/ημέρα (τροφοδοσία) 43Mg/ημέρα (καύσιμο)
Απαιτούμενος Ατμός 2,6 MPa στο 100% Σ.Φ.	1,293 Mg/ημέρα
Παραγωγή ατμού 4,8 MPa στο 100% Σ.Φ.	1,858 Mg/ημέρα
Ηλεκτρικό Ρεύμα στο 100% Σ.Φ.	153,311/MJ/ημέρα
Ενεργειακή απόδοση (Ανώτερη Θερμογόνος Ικανότητα)	89%

Η απόδοση καθορίζεται από την συνολική ενέργεια που παράγεται από το υδρογόνο, διαιρεμένη με την συνολική ενέργεια που χρειάστηκε η εγκατάσταση.

$$\text{Ενέργεια H}_2 + 4,8 \text{ MPa ενέργεια ατμού} / \text{Ενέργεια Φυσικού Αερίου} + \text{Ηλεκτρικό Ρεύμα} + 2,6 \text{ MPa ατμός}$$

Αν ο ατμός δεν είχε συμπεριληφθεί τότε ο βαθμός απόδοσης θα μειωνόταν στο 79,2%. Επίσης, αν δεν βρεθεί καταναλωτής για τον παραγόμενο ατμό τότε η απόδοση μειώνεται περισσότερο και φτάνει στο 69,1%. Βέβαια, υπάρχει η δυνατότητα εφόσον δεν βρεθεί καταναλωτής, ο πλεονάζων ατμός να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

Στην εργασία [13] η απόδοση για την Αναμόρφωση Μεθανίου είναι 76%, ενώ στην εργασία [02] αναφέρεται ότι η διαδικασία της αναμόρφωσης μπορεί να γίνει τοπικά σε μικρούς σταθμούς, ώστε να αποφευχθεί η διακίνηση υδρογόνου αλλά και σε μεγάλους κεντρικούς σταθμούς. Για τους μικρούς σταθμούς, ο βαθμός απόδοσης θα είναι μικρότερος καθώς είναι δύσκολη η εκμετάλλευση της παραγόμενης θερμότητας. Έτσι προκύπτουν δύο σειρές βαθμών απόδοσης, μία για αποκεντρωμένη και μία για κεντρική παραγωγή. Οι βαθμοί απόδοσης αποκεντρωμένης παραγωγής, κυμαίνονται μεταξύ 65-73% ενώ για την κεντρική μεταξύ 73-78%. Ο μέσος όρος είναι 67,5% και 72,3% αντίστοιχα. Και στις δύο εργασίες δεν αναφέρεται η δέσμευση του CO₂.

Στον πίνακα 3.10 παρουσιάζονται συνοπτικά, τα στοιχεία που έχουν βρεθεί από τις εργασίες όσον αφορά την Αναμόρφωση Μεθανίου με ατμό.

Πίνακας 3.10 Βαθμός απόδοσης Αναμόρφωσης Μεθανίου με ατμό.

Τεχνολογία	Πηγή (Εργασία αναφοράς)	Απόδοση (%)
SMR Χωρίς Δέσμευση	13	76
SMR Χωρίς Δέσμευση	10	75
SMR Με Δέσμευση	10	71
SMR τοπική	2	68
SMR κεντρική	2	72
SMR	11	<74
SMR	8	86

Στον πίνακα 3.11 παρουσιάζονται από τις εργασίες [10] και [08] οι αναλύσεις όσον αφορά το κόστος παραγωγής του υδρογόνου. Παρατηρείται, ότι υπάρχει απόκλιση μεταξύ τους στο κόστος καυσίμου και στο κόστος του κεφαλαίου, ενώ το κόστος συντήρησης και λειτουργίας είναι το ίδιο. Δεν αναφέρεται στην εργασία [08] η δέσμευση του CO₂. Οπότε οι υπολογισμοί για την ανάλυση ευαισθησίας θα είναι πιο ασφαλείς με τις τιμές που προκύπτουν από την αναφορά [10].

Πίνακας 3.11 Σύγκριση Κόστους ανά βιβλιογραφική πηγή

Σύγκριση Κόστους		
Αναφορά	12	10
Feedstock	60 %	69%
Capital	30%	17%
O & M	10%	10%
CO2 αποθήκευση		3%

3.1.3 Βιομάζα Αεριοποίηση – Πυρόλυση

Επιλογές για την τεχνολογία της Βιομάζας

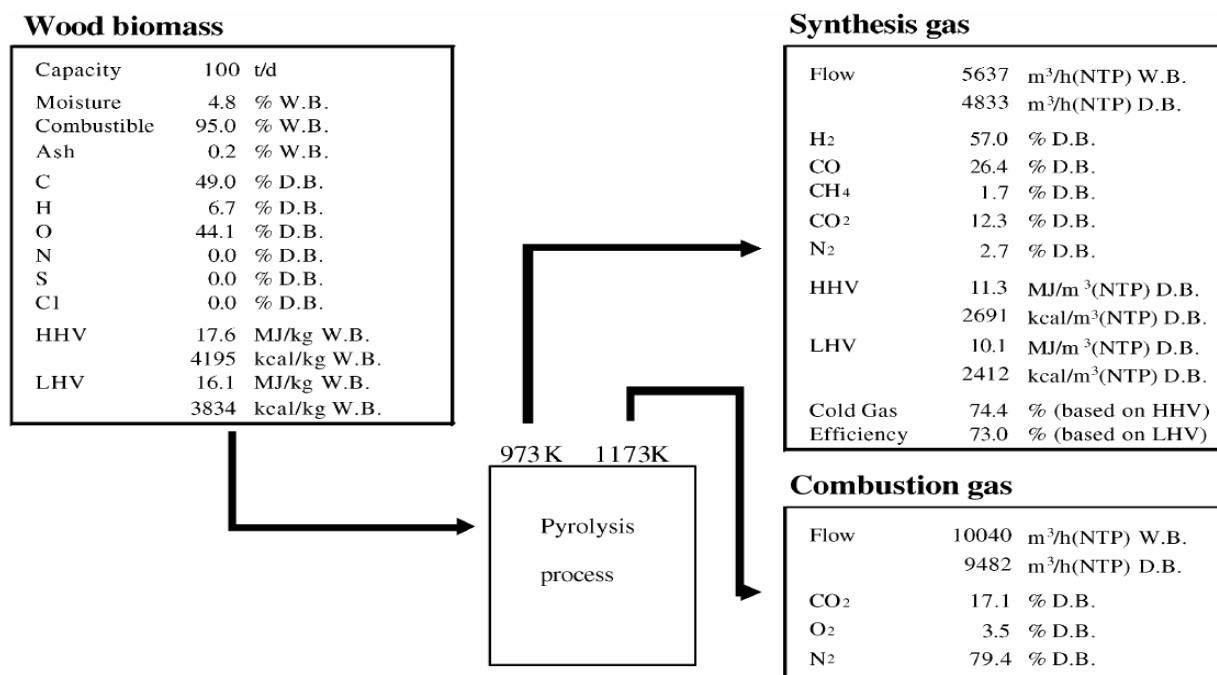
Η επιλογή για την τιμή της απόδοσης είναι 61% [08] και η τεχνολογία που έχει επιλεγεί είναι η αεριοποίηση. Αυτό δικαιολογείται επειδή η αεριοποίηση είναι πιο διαδεδομένη τεχνολογία από την πυρόλυση και μπορεί να εφαρμοστεί στο άμεσο μέλλον σε μεγάλη κλίμακα. Από την ανάλυση ευαισθησίας του κόστους εργασίας [08] προκύπτει ότι το κόστος καυσίμου συμβάλει κατά 25-30% στο συνολικό κόστος. Η παραγωγή CO₂ θεωρείται

μηδενική. Το κόστος από υπολογισμούς εκτιμάται σε 0,10464€/kWh H₂ (κόστος καυσίμου 0,15€/kg).

Η απόδοση της τεχνολογίας της πυρόλυσης είναι 56% [14]. Αυτή είναι μια πρόβλεψη βασισμένη σε εργαστηριακά προγράμματα, ακόμα δεν έχει διαπιστωθεί σε μεγάλη κλίμακα. Η άμεση αεριοποίηση της βιομάζας παρουσιάζει ένα εύρος μεταξύ 40-50% (πρόβλεψη για αστικά απόβλητα). Η θερμική απόδοση σε εγκατάσταση επίδειξης 2MW με την τεχνολογία Fast Internal Circulation Fluidized Bed (FICIB) είναι της τάξης του 56%. Η αεριοποίηση ή η πυρόλυση της Βιομάζας δεν μπορούν να θεωρηθούν από οικονομικής πλευράς ανταγωνιστικές με την αεριοποίηση του άνθρακα. Η Βιομάζα μπορεί να είναι ανταγωνιστική μόνο τις περιοχές όπου δεν υπάρχει υποδομή για Φυσικό Αέριο ή διαθέσιμος άνθρακας. Όσον αφορά το περιβαλλοντικό τομέα, η Βιομάζα έχει το προτέρημα ότι είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Έτσι θα μπορεί να προσφέρει μελλοντικά στην οικονομία του υδρογόνου. Ένας παράγοντας που περιορίζει την χρήση της είναι η μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων βιομάζας για την παραγωγή μικρών ποσοτήτων υδρογόνου.

Με την πυρόλυση παράγεται το υγρό βιοκαύσιμο (bio-oil), εν αντιθέσει με την αεριοποίηση, που παράγεται αέριο καύσιμο. Καθώς το υγρό βιοκαύσιμο έχει μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα μπορεί να μεταφερθεί πιο εύκολα. Επιπλέον πρέπει να ληφθεί υπόψη και η δέσμευση και η αποθήκευση του CO₂, διότι παράγεται και στις δύο τεχνολογίες. Βέβαια υπάρχει και η άποψη ότι για την βιομάζα δεν χρειάζεται δέσμευση γιατί η βιομάζα θα οξειδώνεται φυσικά και θα απελευθερώνει με την πάροδο του χρόνου CO₂ στην ατμόσφαιρα. Κάτι που είναι τμήμα του φυσικού κύκλου του CO₂, δέσμευση κατά την ανάπτυξη και απελευθέρωση κατά την αποσύνθεση.

Στην εργασία [15] εξετάζεται η τεχνολογία της πυρόλυσης. Η πυρόλυση της βιομάζας για την παραγωγή υδρογόνου, θα συμβάλει σημαντικά στην μείωση των εκπομπών CO₂. Μελετήθηκαν δύο διαφορετικά συστήματα μετατροπής. Πρώτον παραγωγή υδρογόνου και δεύτερον αέριο καύσης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Έχει υποτεθεί ότι 100τόνοι/ημέρα Βιομάζας από ξύλο θα είναι η ύλη με την οποία θα τροφοδοτείται το σύστημα. Η σύνθεση του καυσίμου παρουσιάζεται στον σχήμα 3.2. Η ενέργεια που περιέχει είναι 17.6MJ/kg. Επειδή η υγρασία της βιομάζας διαφέρει σημαντικά έχει υποτεθεί προξήρανση και το επίπεδο υγρασίας είναι 4,8%. Η κατάσταση λειτουργίας στο κλίβανο της πυρόλυσης είναι: η ατμοσφαιρική πίεση, η θερμοκρασία του θαλάμου αεριοποίησης καθορίστηκε στους 900K και η θερμοκρασία διάσπασης της πίσσας στους 1100K. Η σύνθεση του συνθετικού αερίου που παράγεται παρουσιάζεται στο σχήμα 3.2. Η ποσότητα του είναι 5600 m³/h υπό κανονικές συνθήκες και τα κύρια στοιχεία που περιέχει είναι H₂, CO και CO₂. Ο λόγος H₂/CO του syngas είναι περίπου 2,15, και είναι μεγαλύτερος από το τυπικό 1,00 της συμβατικής μερικής οξείδωσης της αεριοποίησης.



Σχήμα 3.2 Πυρόλυση βιομάζας

Το υδρογόνο που παράγεται, αφού πρώτα έχει οδηγηθεί σε μονάδα PSA, είναι καθαρότητας 99,99%. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και η ανάκτηση θερμότητας παρουσιάζουν βαθμό απόδοσης 38%.

Σύγκριση των αποτελεσμάτων και των προϊόντων

Η ποσότητα υδρογόνου που παράγεται υπολογίζεται στα 2740 m³/h ή 65700 m³ / ημέρα από 100 τόνους/ημέρα παραγωγής Βιομάζας από ξύλο. Ο βαθμός απόδοσης αυτού του συστήματος είναι 47,9% (Ανώτερη Θερμογόνος Ικανότητα του H₂). Ο βαθμός απόδοσης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι 31,4% (Ανώτερη Θερμογόνος Ικανότητα) και υπολογίστηκε, ως ο λόγος της ενέργειας που δίνεται στο σύστημα μέσω της βιομάζας και της ενέργειας που το σύστημα παράγει. Πρέπει να σημειωθεί ότι το κάθε σύστημα μπορεί να ανακυκλώνει την θερμότητα και να παράγει ηλεκτρική ενέργεια, δίχως να καθιστά απαραίτητη επιπλέον ενέργεια από εξωτερικές πηγές. Συμπερασματικά, οι παραπάνω βαθμοί απόδοσης μετατροπής της ενέργειας είναι ίσοι με τον καθαρό βαθμό απόδοσης μετατροπής, που ορίζεται ως ο λόγος μεταξύ της συνολικής θερμότητας που εισέρχεται στο σύστημα και της θερμογόνου ικανότητας του προϊόντος.

Οικονομική Ανάλυση

Το κόστος που απαιτείται για τη κατασκευή της εγκατάστασης είναι 5,0 εκ. € και η διάρκεια απόσβεσης είναι 9 χρόνια. Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης παρουσιάζονται στο πίνακα 3.12:

Πίνακας 3.12

Αντικείμενο	Κατάσταση	Σημείωση
Δυναμικότητα	Βιομάζα 100 τ/ημ. CHG 64,800 ³ /d (NTP)	2740m ³ /h x 24h/d
Κεφάλαιο	5.00 εκ JPY	Απόσβεση 9 χρόνια
Απαραίτητα	JPY 2,800/τ-βιομάζα	
Λειτουργία	JPY 0.2 εκ/έτος	JPY 10εκ. /άτομο έτος X 20 άτομα
Συντήρηση	3.0% του κεφαλαίου	
Επιτόκιο	3.0% του κεφαλαίου	
Λοιπά Έξοδα	1.0% του κεφαλαίου	

Στον πίνακα 3.13 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα άλλων ερευνών και συγκρίνονται με τις τιμές που προκύπτουν από αυτή την εργασία.

Πίνακας 3.13

Μελέτη	\$/kg	\$/kWh	Έτος
1 Ogden	2,76	0,067	1999
2 Richards	3,7	0,094	2002
3 Georgi	10	0,254	2002
4 WE-NET	5,56	0,141	2001
5 Ref [15]	4,28	0,108	2002

3.1.4 Ανεμογεννήτριες – Ηλεκτρόλυση

Οι ανεμογεννήτριες και η ηλεκτρόλυση παρουσιάζονται μαζί διότι αποτελούν ενιαία λύση παραγωγής υδρογόνου.

Επιλογές για τις ανεμογεννήτριες και την ηλεκτρόλυση

Ο βαθμός απόδοσης που επιλέχθηκε για την παραγωγή ηλεκτρισμού από τις ανεμογεννήτριες είναι 100%, διότι δεν υπάρχει αρχική ποσότητα ενέργειας η οποία να καταναλώνεται. Η τιμή του ηλεκτρισμού που παράγεται έχει υπολογιστεί σε παρακάτω κεφάλαιο βάση του αιολικού δυναμικού κάθε γεωγραφικής περιοχής της Ελλάδας. Το κόστος της παραγωγής υδρογόνου από ηλεκτρόλυση εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό (80%) από το κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος, την απόδοση του συστήματος και το κόστος της επένδυσης.

Στην εργασία [16] παρουσιάζεται συνολικά ένα υβριδικό σύστημα το οποίο συνδυάζει ανεμογεννήτρια και σύστημα ηλεκτρόλυσης. Ο πλεονάζων ηλεκτρισμός οδηγείται στην ηλεκτρόλυση. Το υδρογόνο αποθηκεύεται σε συμπιεσμένη μορφή ή υγροποιείται και καταναλώνεται σε κυψέλες καυσίμου, για παροχή ηλεκτρισμού στο δίκτυο, με εφαρμογή στο νησί της Καρπάθου.

Ανεμογεννήτρια

Η ανεμογεννήτρια είναι οριζόντιου άξονα με ελεγχόμενο βήμα. Δεδομένου ότι υπάρχει μικρή ζήτηση στο συγκεκριμένο νησί μια ανεμογεννήτρια μικρού ή μεσαίου μεγέθους θεωρείται πιο κατάλληλη πχ. 800kW. Για να παραμείνει το μέγεθος της ΑΓ ως επιλέξιμη παράμετρος θεωρείται μια χαρακτηριστική αδιάστατη καμπύλη ισχύς για τυπική ΑΓ

ελεγχόμενου βήματος, με ταχύτητα ανέμου εκκίνησης 3 m/s, ονομαστική ταχύτητα 12m/s και ταχύτητα παύσης λειτουργίας 25m/s. Ο ηλεκτρολύτης είναι αλκαλικού διαλύματος.

Για την αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων H₂ η συμπίεση αερίου και η υγροποίηση είναι οι πιο κατάλληλες μέθοδοι. Το υγροποιημένο H₂ έχει πλεονέκτημα όσον αφορά το χώρο που καταλαμβάνει και την ασφάλεια, ενώ η συμπίεση είναι λιγότερο πολύπλοκη. Η ενέργεια που χρειάζεται η υγροποίηση είναι 12,5-15 kWh/kg H₂ και χώρο αποθήκευσης ≈15 l/kg H₂ και το κόστος περίπου είναι ≈250-700 €/kg εξαρτώμενο από το μέγεθος της εγκατάστασης. Στην συμπίεση ένας παράγοντας που περιορίζει την πίεση είναι η αντοχή των υλικών. Συνθετικά υλικά εμφανίζονται ως η τεχνική λύση φτάνοντας πιέσεις της τάξης των 700 bar σε κλάσματα του βάρους των αντίστοιχων χαλύβδινων δοχείων. Μια τέτοια μελέτη έχει γίνει από το US Department of Energy με πίεση 480bar σε πολυμερή συνθετικά δοχεία. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, απαιτούνται 2,6-3,6 kWh/kg H₂ και ο απαιτούμενος χώρος είναι ≈40 l/kg H₂. Το κόστος υποθέτοντας μαζική παραγωγή είναι ≈30 €/ kg H₂. Ενώ η τιμή για τα χαλύβδινα δοχεία είναι 560€/kg H₂. Σε αυτή τη μελέτη εξετάζονται και οι δύο επιλογές ανάλογα με το μέγεθος της εφαρμογής.

Οι βαθμοί απόδοσης των κυψελών καυσίμου μέχρι 100kW με τεχνολογία PEMFC μπορούν να φτάσουν μέχρι και 50%. Για εφαρμογές από 100-250kW ή μεγαλύτερες, οι βαθμοί απόδοσης με τεχνολογία SOFC, είναι της τάξης του 60% στην παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Ακόμα τα MCFC μπορούν να φτάσουν ηλεκτρικές αποδόσεις έως 85%. Αυτή η εργασία εξετάζει εφαρμογές, η ισχύς των οποίων είναι μεγαλύτερη των 250kW.

Οι τιμές των κυψελών καυσίμου είναι δύσκολο να καθοριστούν σήμερα. Μπορεί όμως να εκτιμηθεί μια αισιόδοξη τιμή στα 3000 €/kW ανεξάρτητα του μεγέθους. Αυτό το κόστος στο μέλλον αναμένεται να μειωθεί στα 1500 €/kW για μικρά PEMFC και στα 1000 €/kW για μεγαλύτερα SOFC· λόγω οικονομίας κλίμακας.

Κατά την εξομοίωση ορίζεται το επίπεδο υβριδικής λειτουργίας ως λόγος : $\sigma = \text{ΑΓ}_{\text{ΑΜΕΣΟ}}/\text{FC}$. Το ΑΓ_{ΑΜΕΣΟ} αναφέρεται στην ονομαστική ισχύ μιας υποθετικής ΑΓ η οποία παράγει το ίδιο ποσό ενέργειας το χρόνο διοχετεύοντας το στο δίκτυο. Το FC αναφέρεται στην συνεχή ισχύ που παράγεται από τις κυψέλες καυσίμου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Η ανάλυση έχει περιοριστεί σε δύο τιμές του σ την 0 και τη 2 καθώς μεγαλύτερες τιμές περιορίζουν τα οφέλη από το υβριδικό σύστημα.

Οι συνολικοί βαθμοί απόδοσης του συστήματος παρουσιάζονται στον πίνακα 3.14

Πίνακας 3.14

Ισχύς Ανεμογεννήτριας (kW)	250		600		1250			
Λόγος Υβριδισμού	0	2	0	2	0	0	2	2
Τύπος FC	PEMFC	PEMFC	MCFC	MCFC	SOFC _{CHP}	SOFC _{CHP}	MCFC	MCFC
Αποθήκευση H ₂	cH ₂	cH ₂	cH ₂	cH ₂	cH ₂	IH ₂	cH ₂	IH ₂
Μέγεθος ηλεκτρόλυσης	250	250	600	440	1250	1250	800	800
Ολικός βαθμός απόδοσης	38%	52%	48%	64%	72%	68%	64%	62%

Ως βαθμός απόδοσης αναφέρεται, το ποσό της ενέργειας που λαμβάνεται δια του ποσού της ενέργειας που αποδίδεται [17]. Αυτός ο τρόπος υπολογισμού είναι σημαντικός για τεχνολογίες ορυκτών καυσίμων, όπως Άνθρακα και Φυσικό Αέριο. Όμως, αυτός ο τρόπος υπολογισμού διαφοροποιείται στην περίπτωση των ανεμογεννητριών. Οι ανεμογεννήτριες σχεδιάζονται ώστε να πετυχαίνουν καλύτερη οικονομοτεχνική απόδοση και ισχύει ο βαθμός

φόρτισης (apacity factor), ο οποίος ορίζεται ως Capacity factor = Παραγωγή Ηλεκτρικού ρεύματος σε μια περίοδο [kWh]/Εγκατεστημένη Ισχύς [kW] x ώρες της περιόδου

Απόδοση, ορίζεται η αεροδυναμική απόδοση των πτερυγίων της γεννήτριας και του ρότορα. Αυτό είναι ένα μέτρο για το ποσό της ενέργειας που παράγεται από την κινητική ενέργεια του ανέμου μέσω των πτερυγίων. Υπάρχει ένα θεωρητικό όριο που ονομάζεται Betz limit της τάξης του 59,3%. Η αεροδυναμική απόδοση του ρότορα κυμαίνεται ανάλογα με την ταχύτητα του αέρα, είναι περίπου της τάξης του 80% του μέγιστου δυνατού φορτίου, (50% σε απόλυτα μεγέθη) για ταχύτητες ανέμου κάτω από αυτές που έχουν εκτιμηθεί. [17] Επομένως η απόδοση της ανεμογεννήτριας μπορεί ληφθεί ως 100%.

Ηλεκτρόλυση

Στην εργασία [18] εξετάζεται σύστημα ανεμογεννήτριας και εγκατάσταση ηλεκτρόλυσης για την παραγωγή υδρογόνου. Η ενέργεια προέρχεται εξολοκλήρου από την ανεμογεννήτρια η οποία είναι συνδεδεμένη με ανορθωτή συνεχούς (DC) ρεύματος. Ένας μετασχηματιστής DC-DC ελέγχει την ροή της ενέργειας προς τον ηλεκτρολύτη, ο οποίος παράγει H₂ και O₂ από νερό. Στη μελέτη αυτή χρησιμοποιείται ηλεκτρολύτης αλκαλικού διαλύματος. Σημειώνεται, ότι οι ηλεκτρολύτες με PEM (Proton Exchange Membranes) μπορούν να ανταποκριθούν πιο εύκολα στις διακυμάνσεις που παρουσιάζει η ισχύς της ανεμογεννήτριας. Το υδρογόνο συμπιέζεται και φυλάσσεται σε δοχεία υπό πίεση μεταξύ 150 και 400 bars. Στο σύστημα συμπεριλαμβάνεται και μπαταρία που χρησιμοποιείται για την προσωρινή αποθήκευση ενέργειας. Κατά την μελέτη αυτή, ο βαθμός απόδοσης της ανεμογεννήτριας λαμβάνεται το 100% και η απόδοση του συστήματος του ηλεκτρικού συσσωρευτή 70%.

Από την μελέτη μοντέλων παραγωγής πέντε μεγάλων κατασκευαστών ηλεκτρολυτών, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά τους και μια οικονομική ανάλυση για την λειτουργία τους. [19]

Μεθοδολογία Ανάλυσης

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ηλεκτρολυτών που παρουσιάζονται σε αυτή την εργασία έχουν βρεθεί από έρευνα στο διαδίκτυο και από αντιπροσώπους των εταιρειών. Τα στοιχεία αυτά είναι αντιπροσωπευτικά για τα συστήματα που ήταν διαθέσιμα το Δεκέμβριο του 2003. Για το σκοπό της ανάλυσης τα συστήματα ηλεκτρόλυσης έχουν χωριστεί σε πέντε κατηγορίες σύμφωνα με το μέγεθος τους. Οι κατηγορίες είναι: οικιακός, μικρού οικισμού, οικισμού, μικρός Σταθμός και Σταθμός. Ο όρος Σταθμός αναφέρεται σε σταθμό ανεφοδιασμού οχημάτων. Ο αριθμός των οχημάτων που εξυπηρετούνται και η ποσότητα υδρογόνου που παράγεται για κάθε κατηγορία παρουσιάζονται παρακάτω:

- Οικιακό μέγεθος, θα εξυπηρετεί τις ανάγκες σε καύσιμα για 1-5 οχήματα με παραγωγή υδρογόνου 20-1000 kg H₂/έτος
- Μέγεθος Μικρού οικισμού, θα εξυπηρετεί τις ανάγκες σε καύσιμα για 5-50 οχήματα με παραγωγή υδρογόνου 1,000-10,000 kg H₂/έτος
- Μέγεθος Οικισμού, θα εξυπηρετεί τις ανάγκες σε καύσιμα για 50-150 οχήματα με παραγωγή υδρογόνου 10,000-30,000 kg H₂/έτος
- Μέγεθος μικρός Σταθμός που μπορεί να είναι μια αντλία σε έναν υπάρχον σταθμό θα εξυπηρετεί τις ανάγκες σε καύσιμα σε 150-500 οχήματα με παραγωγή υδρογόνου 30,000-100,000 kg H₂/έτος
- Μέγεθος Σταθμός θα εξυπηρετεί τις ανάγκες σε καύσιμα σε περισσότερα από 500 οχήματα με παραγωγή υδρογόνου μεγαλύτερη από 100,000 kg H₂/έτος

Ο αριθμός των οχημάτων καθορίστηκε υπολογίζοντας ότι ένα όχημα χρειάζεται 200 kg H₂ ανά έτος. Υποθέτοντας ότι ένα αυτοκίνητο διανύει 19.000 χιλιόμετρα (km) το έτος με 100km/kgH₂.

Σήμερα μόνο η Norsk Hydro κατασκευάζει ηλεκτρολύτες τέτοιου μεγέθους οι οποίοι να μπορούν να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες ενός Σταθμού. Οι αλκαλικοί ηλεκτρολύτες που κατασκευάζονται από τις εταιρείες Teledyne και Stuart βρίσκονται στο μέγεθος του Μικρού Σταθμού, Οικισμού και Μικρού Οικισμού. Ενώ ο μικρός μονοπολικός ηλεκτρολύτης της Avalence επί του παρόντος είναι του μεγέθους Οικιακός και Μικρού Οικισμού. Σε αντίθεση με τους Proton Exchange Membrane ηλεκτρολύτες που κατασκευάζονται από την Proton μεγέθους Οικιακοί και Μικρού Οικισμού.

Το μεγάλο κόστος των PEM περιορίζει την βιωσιμότητα τους στην αγορά μεγάλης παραγωγής υδρογόνου. Ενώ οι αλκαλικές μονάδες με το χαμηλό κόστος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή διαφορετικού εύρους εγκαταστάσεων. Επιπλέον οι κατηγορίες δημιουργήθηκαν για να επιτρέψουν, στα στοιχεία από τα κόστη να γενικευθούν σε κάθε μέγεθος. Η οικονομική ανάλυση έχει βασιστεί πάνω σε τρία διακριτά συστήματα για τα οποία είναι διαθέσιμα οικονομικά στοιχεία σε κάθε κατηγορία. Τα τρία συστήματα αντιπροσωπεύουν ένα μικρό οικισμό (~20kg/ημέρα) μικρός Σταθμός (~100kg/ημέρα) και Σταθμός (~1000kg/ημέρα). Δεν παρουσιάζεται πιο μοντέλο και κατασκευαστής εξετάζεται καθώς είχε συμφωνηθεί ότι συγκεκριμένα στοιχεία που αφορούν το κόστος δεν θα δημοσιοποιηθούν.

Οι απαιτήσεις σε ενέργεια παρουσιάζονται στον πίνακα 3.15. Πρέπει να σημειωθεί ότι μόνο η Stuart και η Norsk Hydro έδωσαν την πραγματική ενέργεια που απαιτείται για την ηλεκτρόλυση. Η Stuart έδωσε ακόμα στοιχεία για την συνολική απαίτηση του συστήματος, ενώ για την Norsk Hydro η συνολική ενέργεια υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την απαιτούμενη ενέργεια του συστήματος και το ρυθμό παραγωγής υδρογόνου. Η απαιτούμενη ενέργεια για την Avalence υπολογίστηκε με τον ίδιο τρόπο. Οι Proton και Teledyne έδωσαν στοιχεία για την απαιτούμενη ενέργεια, βάση της συνολικής παραγωγής του υδρογόνου. Τα συστήματα της Norsk Hydro είναι τα μόνα που συμπεριλαμβάνουν συμπίεση μέχρι τα 33 bar. Οι βαθμοί απόδοσης μετατροπής παρουσιάζονται στο πίνακα 3.16

Πίνακας 3.15 Ενεργειακό ισοζύγιο συστήματος ηλεκτρόλυσης

Ενεργειακό Ισοζύγιο	Απαιτούμενη Ενέργεια Συστήματος		Απαιτούμενη Ενέργεια Ηλεκτρολύτη	Παραγωγή Υδρογόνου Nm ³ /hr	Ισχύς Συστήματος
	kWh/Nm ³	kWh/kg	kWh/Nm ³		
Avalance Hydrifiller 175	5	55,6		5	25
Proton HOGEN 380	6,3	70,1		10	63
Teledyne EC-750	5,6	62,3		42	235,2
Stuart IMET 1000, 6 cell stack 1000cm ³	4,8	53,5	4,2	60	360
Norsk Atmospheric type No.5040 (5150AmpDC)	4,8	53,5	4,3	485	2330

Πίνακας 3.16 Απόδοση μετατροπής μονάδας ηλεκτρόλυσης

Απόδοση Μετατροπής	Αντιδραστήριο kg/hr	Προϊόν H2 kg/hr	Προϊόν O2 kg/hr	Βαθμός Απόδοσης %
Avalance Hydrifiller 175	4,5	0,45	3,6	89
Proton HOGEN 380	8,4	0,9	7,1	95
Teledyne EC-750	42	3,8	30	80
Stuart IMET 1000, 6 cell stack 1000cm ³	60	5,4	43	80
Norsk Atmospheric type No.5040 (5150AmpDC)	485	434	347	80

Βαθμοί Απόδοσης

Ο βαθμός απόδοσης της ηλεκτρόλυσης καθορίζεται σύμφωνα με την Ανώτερη Θερμογόνο Ικανότητα του υδρογόνου διαιρεμένη με την ενέργεια που απαιτείται για την ηλεκτρόλυση ενός κιλού υδρογόνου που παράγεται. Η λήψη της ΑΘΙ δικαιολογείται καθώς για τους σκοπούς της ηλεκτρόλυσης σε αυτήν την εργασία χρησιμοποιείται νερό και όχι ατμός. Η ΑΘΙ είναι 39kWh/kgH₂. Για να υπολογιστεί βαθμός απόδοσης της ηλεκτρόλυσης η θεωρητική ενέργεια που απαιτείται πρέπει να διαιρεθεί με την πραγματική ενέργεια που χρειάστηκε από την μονάδα.

Πίνακας 3.17 Χαρακτηριστικά συστήματος μονάδας ηλεκτρόλυσης

Κατασκευαστής / Μοντέλο	Ενέργεια Συστήματος kWh/kg	ΑΘΙ H2 kWh/kg	Απόδοση Συστήματος %	Παραγόμενη Πίεση psig	Bar
Avalance Hydrifiller 175	55,6	39	70	Μέχρι 10000	686
Proton HOGEN 380	70,1	39	56	200	14
Teledyne EC-750	62,3	39	63	115	8
Stuart IMET 1000, 6 cell stack 1000cm ³	53,4	39	73	360	25
Norsk Atmospheric type No.5040 (5150AmpDC)	53,5	39	73	435	30

Οικονομική Ανάλυση

Από την οικονομική ανάλυση μπορούν να βγουν ασφαλή συμπεράσματα ως προς την ανάλυση ευαισθησίας. Δηλαδή το πως κατανέμεται το κόστος της παραγωγής του υδρογόνου στα επιμέρους στοιχεία της διαδικασίας. Παρακάτω παρουσιάζονται πίνακες που δίνουν, τιμές με δολάρια \$ του 2000, τα επιμέρους κόστη για την παραγωγή 1 kg H₂. Ο πρώτος πίνακας έχει υπολογιστεί βάση της τιμής του βιομηχανικού ρεύματος ενώ ο δεύτερος βάση της τιμής του εμπορικού ρεύματος. Οι τιμές σε \$ μπορεί να μην μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα αλλά το ποσοστό που προκύπτει για κάθε κόστος μπορεί να αποτελέσει μια βάση για υποθετικούς υπολογισμούς.

Πίνακας 3.18 Τιμή Βιομηχανικού ηλεκτρικού ρεύματος \$4,8c/kWh

σε \$/kg του 2000	Μικρός οικισμός	%	Μικρός Σταθμός	%	Σταθμός	%
Κόστος Επένδυσης	12,239	38	2,25	17	0,69	11
Ηλεκτρικό ρεύμα	10,09	32	7,81	57	4,9	80
Λειτουργία & Συντήρηση	9,432	30	3,41	25	0,444	7
Σύνολο	31,80		13,61		6,13	

Πίνακας 3.19 Τιμή Εμπορικού ρεύματος

σε \$/kg του 2000	Μικρός οικισμός	%	Μικρός Σταθμός	%	Σταθμός	%
Κόστος Επένδυσης	11,2	33	1,97	13	0,61	8
Ηλεκτρικό ρεύμα	14,03	41	10,4	67	6,65	86
Λειτουργία & Συντήρηση	8,63	25	2,97	19	0,39	5
Σύνολο	33,94		15,46		7,71	

Παρατηρείται ότι όσο αυξάνει η τιμή του ρεύματος τόσο αυξάνει και το ποσοστό του στο τελικό κόστος. Επίσης όσο αυξάνεται ο όγκος παραγωγής τόσο το κόστος εξαρτάται από το κόστος του ηλεκτρισμού.

Στην εργασία [08] γίνεται αναφορά για την ανάλυση κόστους όπου σχεδόν συμπίπτει με τις τιμές από την [19] στο μέγεθος «Σταθμός» πίνακας 3.20.

Πίνακας 3.20 Ανάλυση κόστους μονάδας ηλεκτρόλυσης

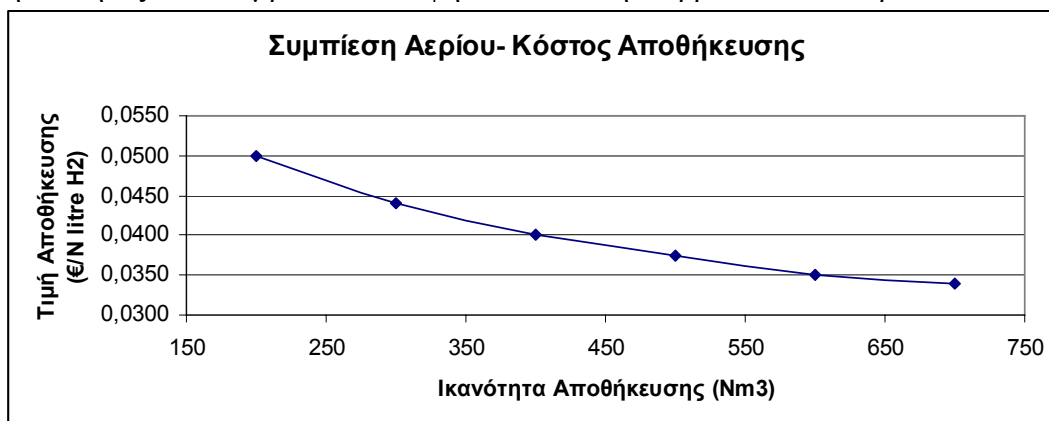
	Από	έως
Ηλεκτρικό ρεύμα	70%	80%
Κόστος Επένδυσης	15%	20%
Λειτουργία & Συντήρηση		5%

3.1.5 Αποθήκευση - Μεταφορά

Επιλογές για την Αποθήκευση - Μεταφορά

Για τον υπολογισμό της συμπίεσης αερίου χρησιμοποιήθηκε ο τύπος : $W = RT \ln(p_1/p_0)$ όπου W το έργο που απαιτείται R σταθερά του αερίου T θερμοκρασία και p_1 , p_0 η τελική και η αρχική πίεση αντίστοιχα. Επίσης θεωρείται ισοθερμική απόδοση συμπίεσης 70% και απόδοση ηλεκτρικού κινητήρα 50%. Στις αλυσίδες παραγωγής δεν υπάρχει η μεταφορά συμπιεσμένου αερίου καθώς λόγω της μικρής ενεργειακής του πυκνότητας καθίσταται ασύμφορο σε σύγκριση με την μεταφορά υγροποιημένου υδρογόνου. Για την υγροποίηση λαμβάνεται απόδοση 62% από την εργασία [16], για την μεταφορά του υγροποιημένου υδρογόνου 95% [20] (θεωρώντας μεταφορά σε απόσταση 300Km με βαθμό απόδοσης 97%). Επίσης δεν είναι δυνατόν να δοθεί τιμή στο κόστος αποθήκευσης διότι δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία. Το κόστος μεταφοράς υγροποιημένου υδρογόνου μετά από υπολογισμούς, οι οποίοι στηρίχθηκαν στην αναφορά [21], προκύπτει 0,091€/kWh_{H₂}. Η παραγωγή CO₂ για το υγροποιημένο υδρογόνο υπολογίστηκε από την εκπομπή ρύπων των φορτηγών. Η τιμή που προκύπτει είναι 0,234kgCO₂/kWh H₂. Για την μεταφορά μέσω αγωγών η παραγωγή CO₂ εκτιμήθηκε από την κατανάλωση ηλεκτρισμού των αντλιών (0,0034kgCO₂/kWh H₂). Στην εργασία [22] παρουσιάζεται ένα διάγραμμα με άξονες την Χωρητικότητα Αποθήκευσης σε (€/Nlitre H₂) και την ειδική τιμή Αποθήκευσης σε (Nm³). Οι τιμές προέρχονται από διάφορους κατασκευαστές και για διάφορες πιέσεις

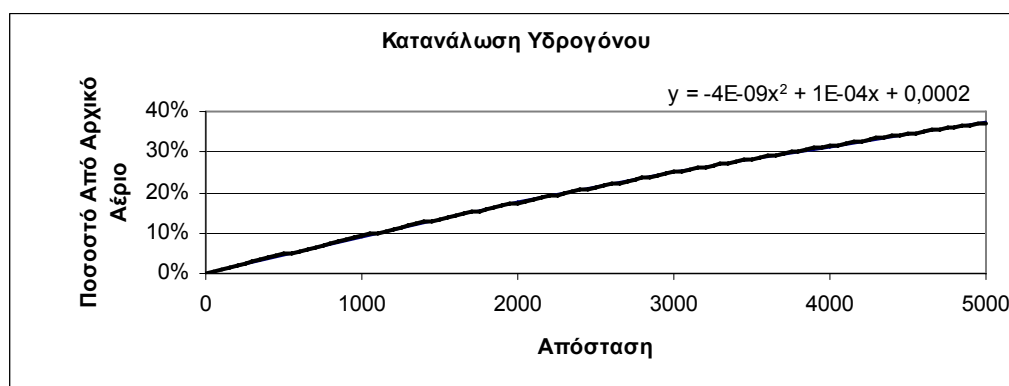
(200,350,205,440 bar). Από το διάγραμμα 3.1 προκύπτει μια χαρακτηριστική καμπύλη που παρουσιάζεται παρακάτω και αντιπροσωπεύει την τιμή της αποθήκευσης ανά λίτρο ανάλογα της χωρητικότητας. Δεν λαμβάνεται υπόψη σε πια πίεση θα βρίσκεται το αέριο.



Διάγραμμα 3.1 Συμπύεση αερίου – κόστος αποθήκευσης

Στην μελέτη [20] γίνεται σύγκριση μεταξύ τριών αλυσίδων παραγωγής. Η πρώτη είναι αργό πετρέλαιο που μεταφέρεται με δεξαμενόπλοια, διυλίζεται μεταφέρεται με φορτηγά στους σταθμούς ανεφοδιασμού και καταναλώνεται από αυτοκίνητα. Η δεύτερη αφορά την παραγωγή υδρογόνου από ηλεκτρόλυση όπου ο ηλεκτρισμός προέρχεται από υδροηλεκτρικό εργοστάσιο, μεταφορά δια θαλάσσης, μεταφορά με φορτηγά και τελική κατανάλωση σε αυτοκίνητα με μηχανή εσωτερικής καύσης. Η τρίτη αφορά την παραγωγή Μεθανόλης μέσω νέων τεχνολογιών μη άμεσα εφαρμόσιμων. Σύμφωνα με την μελέτη η μέση απόδοση μεταφοράς του υγροποιημένου υδρογόνου καθορίζεται κυρίως από τις απώλειες. Όταν εφοδιάζονται τα κινητά δοχεία 5% του υγροποιημένου υδρογόνου αεριοποιείται και πρέπει να υγροποιηθεί ξανά. Έτσι για την μεταφορά θεωρείται απόδοση της τάξης του 95%.

Στην μελέτη [06] εξετάζεται η μεταφορά του υδρογόνου μέσω αγωγών. Η αποτίμηση της απαιτούμενης ενέργειας πρέπει να βασιστεί σε μια γενική σύγκριση με τους αγωγούς φυσικού αερίου που λειτουργούν σήμερα. Η σύγκριση γίνεται για ίσες ποσότητες μεταφερόμενης ενέργειας που φθάνουν στον καταναλωτή από τον ίδιο αγωγό είτε στην μορφή του υδρογόνου είτε ως φυσικό αέριο. Όμως πρέπει να επισημανθεί ότι οι υπάρχοντες αγωγοί φυσικού αερίου δεν μπορούν χωρίς περαιτέρω διερεύνησης των συνθηκών λειτουργίας, να μεταφέρουν υδρογόνο, λόγω διαρροών, διάχυσης ευθραυστότητα των υλικών κλπ. Από το διάγραμμα 3.2 είναι δυνατός ο υπολογισμός ενεργειακής απόδοσης ανάλογα της απόστασης. Ο υπολογισμός γίνεται βάση της ΑΘΙ.



Διάγραμμα 3.2 Ενεργειακή απόδοση ανάλογα της απόστασης μεταφοράς

Πίνακας 3.21 Βαθμοί απόδοσης για διάφορες αποστάσεις

Απόσταση Km	Απόδοση %
500	95
400	96
300	97
200	98
100	99

Η παρουσίαση [21] αναφέρει ότι η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι μεταξύ 12.5 και 15kWh/kg για την υδροποίηση του υδρογόνου.

Στην μελέτη [02] αναφέρεται ότι κατά την υδροποίηση του υδρογόνου απαιτούνται 40-50 MJ_e ηλεκτρικού ρεύματος ανά kg H₂. Καταλήγοντας σε βαθμό απόδοσης 55-67% σε βάση της ΚΘΙ. Η διανομή υδροποιημένου υδρογόνου απαιτεί ψύξη και συμπίεση, στεγανοποίηση και συστήματα ανάκτησης για να αποφευχθούν διαρροές και απώλειες λόγω βρασμού του υδρογόνου. Σύμφωνα με την μελέτη Wang(1999) η διανομή του υδροποιημένου υδρογόνου παρουσιάζει απόδοση της τάξης του 95%. Στην μελέτη αυτή υπολογίζεται ότι η κατανάλωση καυσίμου για την μεταφορά συνοδεύεται από εκπομπή CO₂ και έτσι ο βαθμός απόδοσης διαμορφώνεται στο 93-96%. Υπολογίζοντας και τις απώλειες 5-15% η απόδοση καταλήγει να είναι στο 78-90%. Η συμπίεση είναι λιγότερο απαιτητική από άποψη ενέργειας. Χρειάζεται περίπου 7-14 MJ_e ηλεκτρικού ρεύματος για την συμπίεση 1 kg H₂ σε πίεση 350 bar, που αντιστοιχεί σε ενεργειακή απόδοση 88-94%. Η διανομή του αερίου μπορεί να γίνει μέσω αγωγών όπου θα είναι αναγκαίοι συμπιεστές. Η ενέργεια που θα καταναλωθεί εξαρτάται από την απόσταση που πρέπει να διανύσει το αέριο. Ο βαθμός απόδοσης κυμαίνεται μεταξύ 90% και 97% υποθέτοντας λιγότερες απώλειες από την περίπτωση του υδροποιημένου υδρογόνου. Τα στοιχεία της μελέτης παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 3.22:

Πίνακας 3.22 Βαθμός απόδοσης μεταφοράς υδρογόνου

	Χειρότερη	Πιθανή	Καλύτερη
Υδροποίηση *	35%	48%	67%
Συμπίεση	77%	84%	88%
Διανομή Υγρ. H₂	78%	83%	90%
Διανομή Συμπ. H₂	80%	86%	94%

* Έχει συμπεριληφθεί και η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος

Στην εργασία [16] γίνεται αναφορά για την απαιτούμενη ενέργεια κατά την υδροποίηση και κατά την συμπίεση αερίου στα 480 bar. Για να υπολογιστεί ο βαθμός απόδοσης χρησιμοποιείται η ΑΘΙ. Για την υδροποίηση ο βαθμός απόδοσης είναι 62% με κόστος 700€/kg H₂ ή 17,75€/kWh H₂ ενώ για την συμπίεση αερίου από 10 στα 480 bar ο βαθμός απόδοσης είναι 91% με κόστος 330€/kg H₂ σε δοχεία από συνθετικά υλικά όταν φτάσουν στη μαζική παραγωγή. Οι σημερινές τιμές σε συμβατικά δοχεία από χάλυβα είναι στα 560€/kg H₂ ή 14,20€/kWh H₂.

3.1.6 Κυψέλες Καυσίμου

Επιλογές στοιχείων για τις κυψέλες καυσίμου

Για τις ενεργειακές αλυσίδες επιλέχθηκαν τέσσερις περιπτώσεις οι οποίες χρησιμοποιούν κυψέλη καυσίμου PEM. Η επιλογή έγινε βάση των ιδιοτήτων που παρουσιάζει η τεχνολογία αυτή για την εφαρμογή στις μεταφορές και μικρής ισχύος εγκαταστάσεις μέχρι 250kW. Η πρώτη περίπτωση περιλαμβάνει κυψέλη PEM από 10-75kW μόνο ηλεκτρική παραγωγή, η δεύτερη περιλαμβάνει συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Η τρίτη και τέταρτη περίπτωση είναι ίδιας τεχνολογίας με εύρος ισχύος 250-1000kW όπου στην τέταρτη συμπεριλαμβάνεται συμπαραγωγή. Οι βαθμοί απόδοσης είναι με τη σειρά 28%, 80%, 35%, 85%. Το κόστος κυψελών καυσίμου δεν λαμβάνεται υπόψη.

Η μελέτη [23] εξετάζει την σημασία των απαιτήσεων της μείωσης της ενεργειακής ζήτησης και την αναδόμηση του συστήματος, για την μελλοντική προοπτική των κυψελών καυσίμου στις στατικές εφαρμογές για την Γερμανία. Σε αυτή την εργασία ο στόχος δεν είναι να κατασκευαστεί καινούργιο σενάριο αλλά να επαναξιολογηθούν υπάρχοντα σενάρια με περισσότερη λεπτομέρεια όσον αφορά τις εφαρμογές των κυψελών καυσίμου.

Καθορίστηκε ομάδα από 25 αναφορές συμπεριλαμβανομένου και ενός μεγάλου εύρος κτιρίων και κατοικιών (παθητικά σπίτια, σπίτια χαμηλής κατανάλωσης, ένα οικογενειακό σπίτι και σύμπλεγμα κατοικιών) με διαφορετικές ενεργειακές ανάγκες. Επίσης εξετάστηκαν κτίρια όπως σχολεία νοσοκομεία και ξενοδοχεία, τοπικά δίκτυα θέρμανσης με διαφορετική δομή του κάθε καταναλωτή καθώς επίσης και εφαρμογές στην αυτοκινητοβιομηχανία και στην βιομηχανία χημικών. Για κάθε μια από αυτές τις περιπτώσεις έχουν καθοριστεί λεπτομερή μοτίβα όσον αφορά την ζήτηση σε θερμότητα και ηλεκτρισμού χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα λογισμικού για συμπαραγωγή (BHKW-Plan, 2003).

Τα δεδομένα της ζήτησης έχουν συγκριθεί με τα τεχνικά χαρακτηριστικά από ένα μεγάλο εύρος κυψελών καυσίμου τα οποία βρίσκονται στο στάδιο της εξέλιξης. Σε αυτά συμπεριλαμβάνονται: 1kW_{el} SOFC της εταιρείας Sulzer Hexis για οικιακή χρήση, 2-5 kW PEM, 250kW_{el} PEM της εταιρείας Ballard, 300kW_{el}, 1MW_{el} MCFC (mtu hot module) καθώς επίσης κυλινδρικό SOFC 250kW_{el} της Siemens Westinghouse και υβριδικά συστήματα με στροβιλομηχανές. Η διάρκεια ζωής του συστήματος των κυψελών έχει υποτεθεί ότι είναι τα 15 χρόνια που περιλαμβάνει αλλαγή κάθε 5 χρόνια της κυψέλης. Για κάθε εφαρμογή αναγνωρίστηκε το πιο κατάλληλο σύστημα κυψελών και τα σχετικά στοιχεία της απόδοσης, του λόγου ηλεκτρική προς θερμική ισχύ και οι ώρες σε πλήρη φόρτιση χρησιμοποιήθηκαν για τους υπολογισμούς. Στους πίνακες 3.23 και 3.24 παρουσιάζονται οι πίνακες με τους βαθμούς απόδοσης των κυψελών καυσίμου, το «Μελλοντικά» αναφέρεται στο έτος 2030.

Πίνακας 3.23 Βαθμός απόδοσης Κυψελών Καυσίμου

	PEMFC	PEMFC	SOFC	SOFC	SOFC*
Ηλεκτρική Ισχύς (kW)	5	250	1	250-1000	250-1000
Σήμερα	28%	35%	28%	47%	52%
Μελλοντικά	32%	42%	32%	49%	54%
Σήμερα CHP	80%	76%	80	80%	80%
Μελλοντικά CHP	90%	84%	90%	85%	85%

* με συμπίεση

Πίνακας 3.24 Βαθμός απόδοσης Κυψελών Καυσίμου

	SOFC + GT	PAFC	MCFC	MCFC + ST
Ηλεκτρική Ισχύς (kW)	250-1000	200	250-1000	250-1000
Σήμερα	58%	37%	50%	55%
Μελλοντικά	60%	37%	52%	56%
Σήμερα CHP	80%	87%	86%	90%
Μελλοντικά CHP	85%	87%	86%	90%

Σύμφωνα με τα στοιχεία των πινάκων παρατηρείται ακόμα ότι όσο αυξάνει η ισχύς των κυψελών τόσο αυξάνει και βαθμός απόδοσης. Επίσης σε αυτή τη μελέτη η μελλοντική αύξηση του βαθμού απόδοσης είναι μικρή με μέγιστη αλλαγή 7% στα PEM των 250kW. Στη μελέτη αυτή αναφέρεται ακόμα ότι στο σενάριο που εξετάζεται θεωρείται ότι κατά το έτος 2050 το μερίδιο των κυψελών καυσίμου στην παραγωγή θερμότητας για την βιομηχανία θα φτάσει το 50%. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει το κόστος τους να κυμαίνεται μεταξύ 800-1200€/kW_{el}, όπως οραματίζονται οι κατασκευαστές κυψελών καυσίμου σήμερα.

Στην μελέτη [24] αναφέρεται ότι υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες κυψελών καυσίμου οι οποίες βρίσκονται σε διαφορετικά στάδια εξέλιξης η κάθε μια. Από τον τρόπο λειτουργίας μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες :

- Υψηλής θερμοκρασίας, όπου ο υψηλός βαθμός θερμοκρασίας κάνει την θερμότητα που παράγεται άμεσα διαθέσιμη σε συνδυασμένους κύκλους παραγωγής.
- Χαμηλής θερμοκρασίας, όπου η απλότητα της λειτουργίας και η διάρκεια ζωής τις κάνουν πιο αποδοτικές.

Υπάρχει διαφορά μεταξύ των τεχνολογιών όσον αφορά την ωριμότητα, τη θερμοκρασία λειτουργίας, και τέλος τη συνολική απόδοση και την απόδοση της συμπαραγωγής. Παρόλα αυτά, όλες οι τεχνολογίες κυψελών καυσίμου έχουν τα απαραίτητα χαρακτηριστικά για στατικές εφαρμογές οι οποίες θα είναι συνδεδεμένες με το δίκτυο. Το κόστος (έτος σύνταξης της μελέτης 1998) για τις κυψέλες καυσίμου είναι υψηλό αλλά η ανάλυση του κόστους των υποσυστημάτων έχει δείξει ότι τα κόστη θα μειωθούν μέσω της τεχνολογικής ανάπτυξης και της αύξησης του όγκου παραγωγής. Στον πίνακα 3.25 παρουσιάζονται οι βαθμοί απόδοσης.

Πίνακας 3.25 Βαθμός απόδοσης Κυψελών Καυσίμου

Αποδόσεις	PEM	SOFC tub	SOFC planar	PAFC	MCFC	High temperature FC integrated cycles
Από	32%	43%	43%	36%	43%	55%
Έως	40%	55%	55%	45%	55%	65%
Εμπορική Διαθεσιμότητα	Πριν το 1999	Άρχισε το 1993	Πριν το 1999	Πριν το 1999	Πριν το 2000	Πριν το 2000

Συγκρίνοντας τις τιμές από τις δύο εργασίες [24] και [23] διαπιστώνεται ότι υπάρχει μικρή απόκλιση. Οι τιμές της [24] είναι υψηλότερες από αυτές της [23] ενώ θα περίμενε κανείς το αντίθετο καθώς η πρώτη εργασία είναι του έτους 1998 και η δεύτερη του έτους 2004. Είναι λοιπόν πιο ασφαλές για τον υπολογισμό των αποδόσεων των αλυσίδων παραγωγής να

χρησιμοποιηθούν τα στοιχεία της εργασίας [23] διότι είναι πιο πρόσφατα και οι τιμές των αποδόσεων παρουσιάζονται να είναι χαμηλότερες.

Η εργασία [07] διαπραγματεύεται την απόδοση της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας με κυψέλες καυσίμου σε σύγκριση με συμβατικά συστήματα συμπαραγωγής. Στον πίνακα 3.26 παρουσιάζονται στοιχεία για τον βαθμό απόδοσης, της κυψέλης καυσίμου της κάθε εταιρείας, το κόστος και το επίπεδο της τεχνολογίας.

Πίνακας 3.26 Χαρακτηριστικά Κυψελών Καυσίμου

	PEFC (BPS) a	PAFC (ONSI) b	MCFC (MTU hot- module)c	SOFC (SWPC)d
Ηλεκτρική Ισχύς	250 kWe	200 kWe	280 kWe	100 kWe
Ηλεκτρική Απόδοση	0,34	0,38	0,48	0,47
Επίπεδο Τεχνολογίας	Επίδειξη	Εμπορική	Επίδειξη	Επίδειξη
Ειδικό Κόστος €/kWe	10000	5000	8000	20000
Συμβατική Μονάδα >	για 1000 μέχρι 500 €/kWe από <100-1000kWe			

a. BPS: Ballard Power Systems BEWAG Berlin 250 kWe, Φυσικό Αέριο, Σύστημα συμπαραγωγής

b. ONSI: 200kWe PAFC, Φυσικό Αέριο, σύστημα συμπαραγωγής

c. MTU: Hot modules stadtwerte Bielefeld, RWE: 250kWe MCFC, Φυσικό Αέριο

d. SWPC: 100kWe Siemens Westinghouse Power Corporation tubular SOFC, συμπαραγωγή

Σύμφωνα με τη μελέτη οι κυψέλες καυσίμου για συμπαραγωγή δεν είναι ακόμα ανταγωνιστικές με τα συμβατικά συστήματα συμπαραγωγής. Παρόλα αυτά οι κυψέλες καυσίμου μπορεί να γίνουν ανταγωνιστικές εφόσον δεχθούν βελτιώσεις στο κόστος και στη διάρκεια ζωής.

Στην εργασία [22] γίνεται αναφορά ότι το κόστος των PEMFC ενδεικτικά κυμαίνεται από 6,000 με 10,000 €/kW. Οι κατασκευαστές αλκαλικών κυψελών καυσίμου έχουν στόχο τη μείωση του κόστους στα 200€/kW στα επόμενα 3-5 χρόνια, ενώ οι κατασκευαστές SOFC έχουν στόχο τα 150-200€/kW. Αλλά είναι αβέβαιο το κατά πόσο αυτές οι προσδοκίες στην τιμή, διάρκεια ζωής και λειτουργικότητα θα επιτευχθούν στο μέλλον.

3.2 Αλυσίδες Παραγωγής

Στον πίνακα 3.27 παρουσιάζονται όλες οι αλυσίδες. Για κάθε μια από τις τεχνολογικές επιλογές εκτιμήθηκε ο ολικός βαθμός απόδοσης, η ολική εκπομπή CO₂ (kg CO₂ / kWh παραγόμενου H₂) και το κόστος (€/kWh παραγόμενου H₂)

Πίνακας 3.27 Αλυσίδες παραγωγής Υδρογόνου

A/A	Πρωτογενής Ενέργεια	Μεταφορά διακίνηση	Κατανάλωση	Ολικός Β.Α.	Β.Α. παραγωγής H ₂	CO ₂ kg/kWh H ₂	€/kWh H ₂
A01	SMR central	Υγροποίηση - Μεταφορά	PEM 10-75kW	11,68%	41,72%	0,2664	0,154289056
A02	SMR central	Υγροποίηση - Μεταφορά	PEM 250-1000kW	14,60%	41,72%	0,2664	0,154289056
A03	SMR central	Συμπίεση pipeline 30bar	PEM 10-75kW	18,77%	67,03%	0,0358	0,071203704
A04	SMR central	Συμπίεση pipeline 30bar	PEM 250-1000kW	23,46%	67,03%	0,0358	0,071203704
A05	SMR De-central	Υγροποίηση - Μεταφορά	PEM 10-75kW	11,03%	39,41%	0,5400	0,157999568
A06	SMR De-central	Υγροποίηση - Μεταφορά	PEM 250-1000kW	13,79%	39,41%	0,5400	0,157999568
A07	SMR De-central	Συμπίεση pipeline 30bar	PEM 10-75kW	17,73%	63,31%	0,3094	0,074914216
A08	SMR De-central	Συμπίεση pipeline 30bar	PEM 250-1000kW	22,16%	63,31%	0,3094	0,074914216
A09	wind central	Υγροποίηση - Μεταφορά	PEM 10-75kW	11,84%	42,30%	0,2340	0,091210353
A10	wind central	Υγροποίηση - Μεταφορά	PEM 250-1000kW	14,81%	42,30%	0,2340	0,091210353
A11	wind central	Συμπίεση pipeline 30bar	PEM 10-75kW	19,03%	67,96%	0,003432	0,008125
A12	wind central	Συμπίεση pipeline 30bar	PEM 250-1000kW	23,79%	67,96%	0,003432	0,008125
A13	wind de-central	Υγροποίηση - Μεταφορά	PEM 10-75kW	11,84%	42,30%	0,23398	0,091210353
A14	wind de-central	Υγροποίηση - Μεταφορά	PEM 250-1000kW	14,81%	42,30%	0,23398	0,091210353
A15	wind de-central	Συμπίεση pipeline 30bar	PEM 10-75kW	19,03%	67,96%	0,003432	0,008125
A16	wind de-central	Συμπίεση pipeline 30bar	PEM 250-1000kW	23,79%	67,96%	0,003432	0,008125
A17	Biomass	Υγροποίηση - Μεταφορά	PEM 10-75kW	9,90%	35,35%	0,23398	0,200292535
A18	Biomass	Υγροποίηση - Μεταφορά	PEM 250-1000kW	12,37%	35,35%	0,23398	0,200292535
A19	Biomass	Συμπίεση pipeline 30bar	PEM 10-75kW	15,90%	56,79%	0,003432	0,117207183
A20	Biomass	Συμπίεση pipeline 30bar	PEM 250-1000kW	19,88%	56,79%	0,003432	0,117207183

Πίνακας 3.27 Αλυσίδες παραγωγής Υδρογόνου (συνέχεια)

A/A	Πρωτογενής Ενέργεια	Μεταφορά διακίνηση	Κατανάλωση	Ολικός B.A.	B.A. παραγωγής H ₂	CO ₂ kg/kWh H ₂	€/kWh H ₂
A21	COAL	Υγροποίηση - Μεταφορά	PEM 10-75kW	9,74%	34,77%	0,329012	0,123607761
A22	COAL	Υγροποίηση - Μεταφορά	PEM 250-1000kW	12,17%	34,77%	0,329012	0,123607761
A23	COAL	Συμπίεση pipeline 30bar	PEM 10-75kW	15,64%	55,86%	0,098464	0,040522408
A24	COAL	Συμπίεση pipeline 30bar	PEM 250-1000kW	19,55%	55,86%	0,098464	0,040522408
B01	SMR central	Υγροποίηση - Μεταφορά	PEM 10-75kW CHP	33,38%	41,72%	0,266377	0,154289056
B02	SMR central	Υγροποίηση - Μεταφορά	PEM 250-1000kW CHP	35,47%	41,72%	0,266377	0,154289056
B03	SMR central	Συμπίεση pipeline 30bar	PEM 10-75kW CHP	53,63%	67,03%	0,035829	0,071203704
B04	SMR central	Συμπίεση pipeline 30bar	PEM 250-1000kW CHP	56,98%	67,03%	0,035829	0,071203704
B05	SMR De-central	Υγροποίηση - Μεταφορά	PEM 10-75kW CHP	31,52%	39,41%	0,53998	0,157999568
B06	SMR De-central	Υγροποίηση - Μεταφορά	PEM 250-1000kW CHP	33,50%	39,41%	0,53998	0,157999568
B07	SMR De-central	Συμπίεση pipeline 30bar	PEM 10-75kW CHP	50,65%	63,31%	0,309432	0,074914216
B08	SMR De-central	Συμπίεση pipeline 30bar	PEM 250-1000kW CHP	53,81%	63,31%	0,309432	0,074914216
B09	wind central	Υγροποίηση - Μεταφορά	PEM 10-75kW CHP	33,84%	42,30%	0,23398	0,091210353
B10	wind central	Υγροποίηση - Μεταφορά	PEM 250-1000kW CHP	35,96%	42,30%	0,23398	0,091210353
B11	wind central	Συμπίεση pipeline 30bar	PEM 10-75kW CHP	54,37%	67,96%	0,003432	0,008125
B12	wind central	Συμπίεση pipeline 30bar	PEM 250-1000kW CHP	57,77%	67,96%	0,003432	0,008125
B13	wind de-central	Υγροποίηση - Μεταφορά	PEM 10-75kW CHP	33,84%	42,30%	0,23398	0,091210353
B14	wind de-central	Υγροποίηση - Μεταφορά	PEM 250-1000kW CHP	35,96%	42,30%	0,23398	0,091210353
B15	wind de-central	Συμπίεση pipeline 30bar	PEM 10-75kW CHP	54,37%	67,96%	0,003432	0,008125
B16	wind de-central	Συμπίεση pipeline 30bar	PEM 250-1000kW CHP	57,77%	67,96%	0,003432	0,008125
B17	Biomass	Υγροποίηση - Μεταφορά	PEM 10-75kW CHP	28,28%	35,35%	0,23398	0,200292535
B18	Biomass	Υγροποίηση - Μεταφορά	PEM 250-1000kW CHP	30,05%	35,35%	0,23398	0,200292535
B19	Biomass	Συμπίεση pipeline 30bar	PEM 10-75kW CHP	45,43%	56,79%	0,003432	0,117207183
B20	Biomass	Συμπίεση pipeline 30bar	PEM 250-1000kW CHP	48,27%	56,79%	0,003432	0,117207183

Πίνακας 3.27 Αλυσίδες παραγωγής Υδρογόνου (συνέχεια)

A/A	Πρωτογενής Ενέργεια	Μεταφορά διακίνηση	Κατανάλωση	Ολικός B.A.	B.A. παραγωγής H ₂	CO ₂ kg/kWh H ₂	€/kWh H ₂
B21	COAL	Υγροποίηση - Μεταφορά	PEM 10-75kW CHP	27,82%	34,77%	0,329012	0,123607761
B22	COAL	Υγροποίηση - Μεταφορά	PEM 250-1000kW CHP	29,55%	34,77%	0,329012	0,123607761
B23	COAL	Συμπίεση pipeline 30bar	PEM 10-75kW CHP	44,69%	55,86%	0,098464	0,040522408
B24	COAL	Συμπίεση pipeline 30bar	PEM 250-1000kW CHP	47,48%	55,86%	0,098464	0,040522408
Π01	Πετρέλαιο	Μεταφορά Πετρελαίου	Καύση σε αυτοκίνητο	22,58%	90,31%	0,12354	0,107134179
Π02	Πετρέλαιο	Μεταφορά Πετρελαίου	Καύση σε μεγάλη IC	45,15%	90,31%	0,10446	0
Π03	Πετρέλαιο	Μεταφορά Πετρελαίου	Καύση σε Λέβητα	76,76%	90,31%	0,01619	0

Κατηγοριοποίηση ανά τεχνολογία

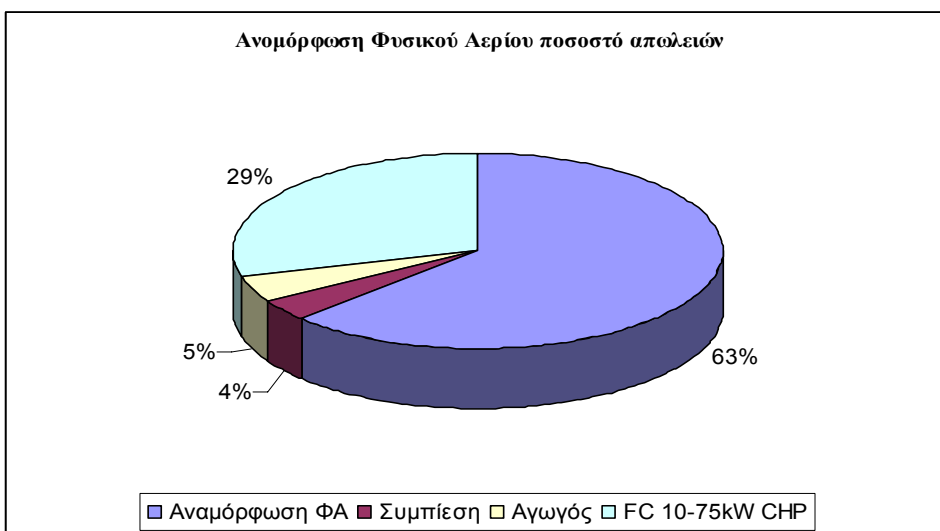
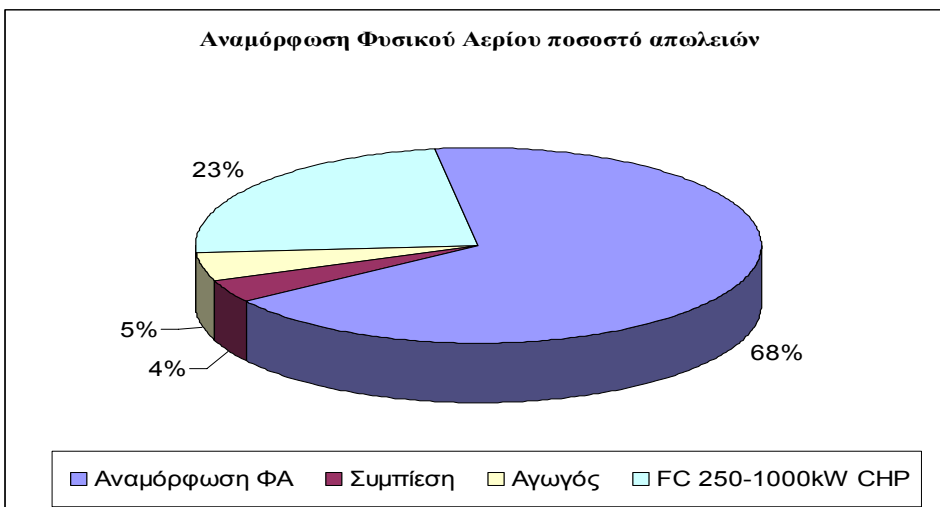
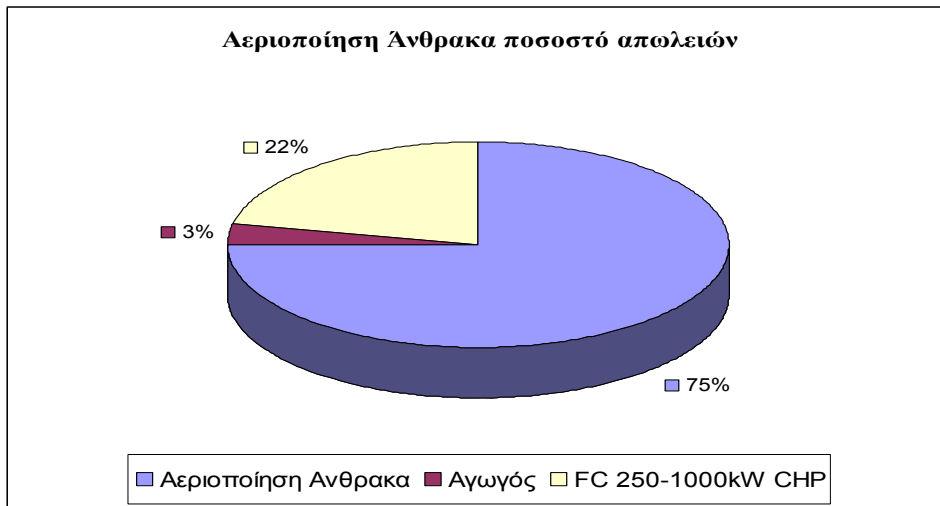
Φυσικό Αέριο : Οι βαθμοί απόδοσης του φυσικού αερίου κυμαίνονται από 11,71% έως 57,13%. Οι αλυσίδες που περιλαμβάνουν μεταφορά του υδρογόνου μέσω αγωγών είναι στην κορυφή των αποδόσεων ενώ ακολουθούν η υγροποίηση - μεταφορά με φορτηγά. Ο βαθμός απόδοσης της κυψέλης καυσίμου είναι πολύ σημαντικός καθώς υπάρχει πολύ μεγάλη διαφορά μεταξύ αλυσίδων με ΣΗΘ και αλυσίδων χωρίς ΣΗΘ.

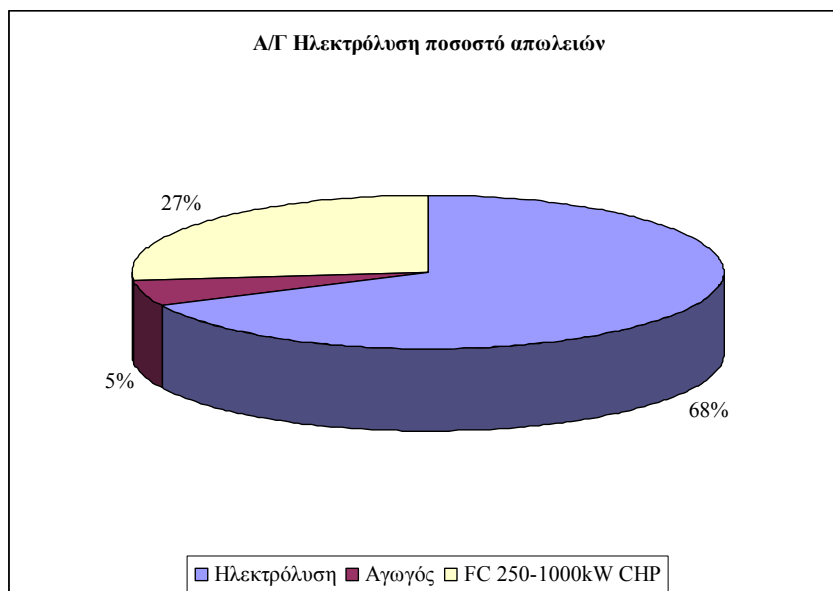
Αεριοποίηση Άνθρακα : Οι βαθμοί απόδοσης για την αεριοποίηση του άνθρακα είναι μεταξύ 9,89% και 49,48% . Όπως και στη αναμόρφωση του φυσικού αερίου έτσι και στην τεχνολογία του άνθρακα οι αλυσίδες που περιλαμβάνουν κυψέλες καυσίμου με ΣΗΘ καθώς και μεταφορά με αγωγούς καθίστανται πιο αποδοτικές.

Αεριοποίηση Βιομάζας : Όπως και στη αεριοποίηση του Άνθρακα η σειρά των αλυσίδων είναι η ίδια. Οι βαθμοί απόδοσης κυμαίνονται μεταξύ 10,06% και 47,99%

Τεχνολογία Ανεμογεννήτρια-Ηλεκτρόλυση: Για κεντρική παραγωγή οι βαθμοί απόδοσης κυμαίνονται από 12,04% έως 60,20% και για τοπική από 12,04% έως 59,69%

Παρακάτω δίνεται η συμμετοχή κάθε μέρους της παραγωγικής διαδικασίας της αλυσίδας όσον αφορά τις απώλειες.





Παρουσιάζεται ότι κατά την αεριοποίηση του Άνθρακα το 75% των απωλειών οφείλεται στη μετατροπή του Άνθρακα σε υδρογόνο. Στην αναμόρφωση Φυσικού Αερίου παρατηρείται πτώση του ποσοστού συμμετοχής του αρχικού καυσίμου.

3.3 Περιγραφή της βάσης δεδομένων και των μεταβλητών

Για τον υπολογισμό των ολικών βαθμών απόδοσης και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το υπολογιστικό φύλλο του προγράμματος EXCEL. Τα στοιχεία έχουν αντληθεί από τη διαθέσιμη βιβλιογραφία που είναι δημοσιευμένη στο διαδίκτυο. Τα στοιχεία από κάθε τεχνολογία που χρησιμοποιούνται στις αλυσίδες έχουν συγκεντρωθεί και καταχωρηθεί σε ξεχωριστό φύλλο του EXCEL η κάθε μια. Τα φύλλα εργασίας που περιέχουν αυτά τα στοιχεία είναι τα «Coal Gasification», «SMR», «Biomass», «Wind Turbines», «Αποθήκευση-Μεταφορά», «fuel cells» και τέλος το φύλλο καταχώρησης της βιβλιογραφίας. Η καταχώρηση των στοιχείων γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ευδιάκριτο από ποιά εργασία είναι η κάθε τιμή. Έτσι είναι δυνατή η σύγκριση των τυχόν παρεκκλίσεων στις τιμές που προκύπτουν από τις διάφορες εργασίες που έχουν βρεθεί. Στο τέλος κάθε φύλλου υπάρχει διαρρύθμιση έτσι ώστε να επιλεγεί ο βαθμός απόδοσης για

κάθε τεχνολογία. Εφόσον υπάρχει καταγράφεται και η κατανομή κόστους όπου αναλύεται το κόστος παραγωγής σε ποσοστά του κάθε μέρους της παραγωγικής διαδικασίας. Η ανάλυση κόστους περιλαμβάνει το ποσοστό της τιμής του καυσίμου, το κόστος της επένδυσης, συντήρησης και λειτουργίας. Έτσι θα είναι δυνατός ο υπολογισμός κάποιας υποθετικής τιμής παραγωγής του υδρογόνου βάση της τρέχουσας τιμής του καυσίμου.

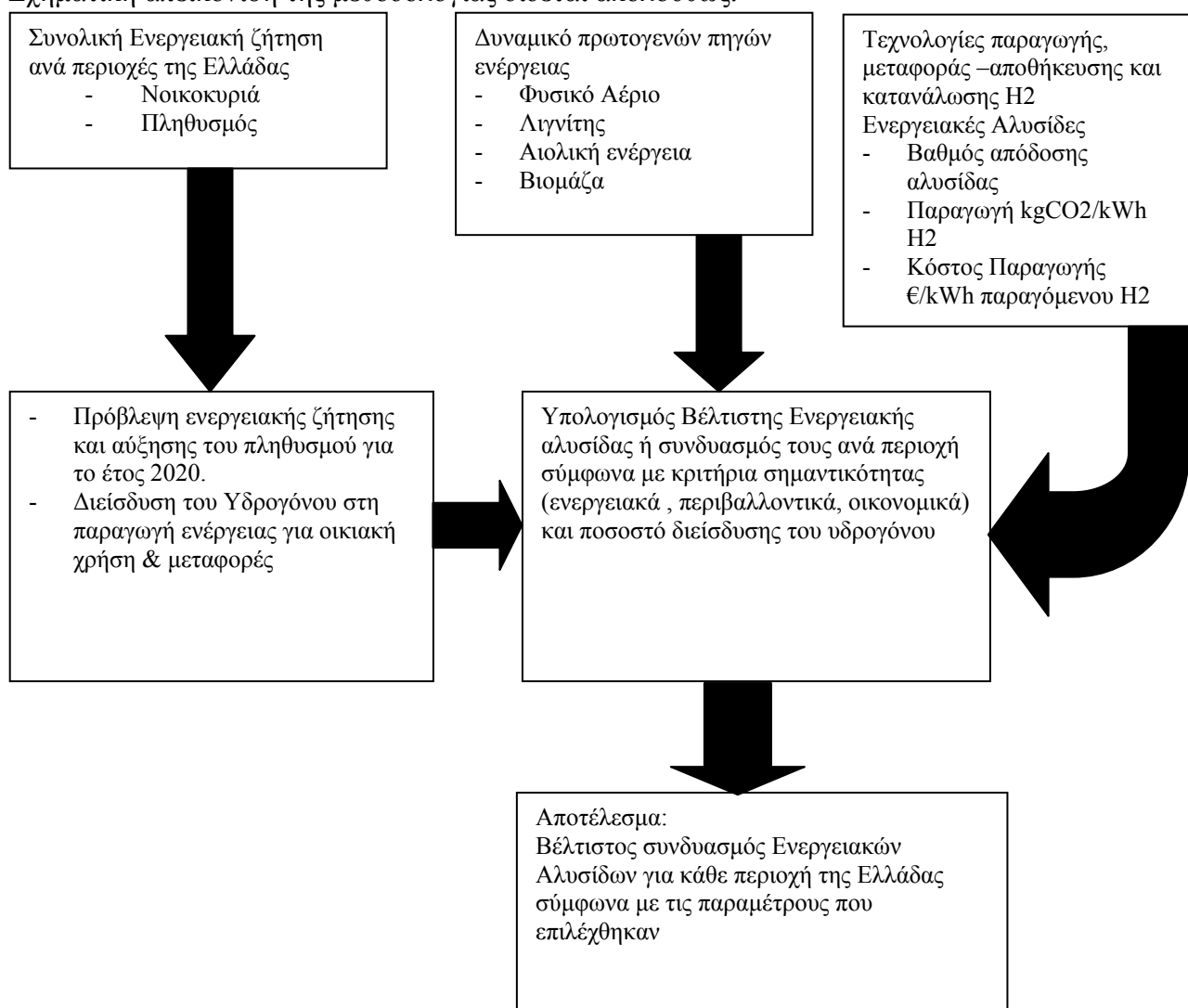
Στο φύλλο «Αλυσίδες Παραγωγής» έχει δημιουργηθεί ένας πίνακας στον οποίο είναι συγκεντρωμένες οι τιμές των βαθμών απόδοσης, της παραγωγή CO₂ και το κόστος της κάθε τεχνολογίας. Ο προγραμματισμός πάνω στο φύλλο επιτρέπει την οποιαδήποτε αλλαγή στις τιμές καταχωρώντας τες αυτόματα στις αλυσίδες που βρίσκονται κάτω από τον πίνακα.

Πίνακας στοιχείων	B.A παραγωγής υδρογόνου	Παραγωγή CO ₂ kg	€/kWh H ₂
SMR central	0,72	0,032397408	0,06308
SMR De-central	0,68	0,306	0,06679
wind central	0,73	0	
wind de-central	0,73	0	
Biomass	0,61	0	0,10464
COAL	0,6	0,095032397	0,0432
Πετρέλαιο	0,97	0,01619	
Μεταφορά διακίνηση			
Υγροποίηση - Μεταφορά	0,5795	0,23398	0,09121
Συμπίεση pipeline 30bar	0,931	0,003432	0,008125
Μεταφορά Πετρελαίου	0,931		
Κατανάλωση			
PEM 10-75kW	0,28		
PEM 250-1000kW	0,35		
PEM 10-75kW CHP	0,8		
PEM 250-1000kW CHP	0,85		
Καύση σε αυτοκίνητο	0,25	0,10735	0,107134
Καύση σε μεγάλη IC	0,5	0,08827	
Καύση σε Λέβητα	0,85		

4. Μεθοδολογία Αξιολόγησης Ενεργειακών Αλυσίδων Υδρογόνου

Σκοπός του κεφαλαίου είναι η διερεύνηση της διεύθυνσης του υδρογόνου για την κάλυψη αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας για οικιακή χρήση καθώς και για τις ενεργειακές ανάγκες στον τομέα των μεταφορών. Η εργασία επικεντρώνει στην ανάπτυξη μεθοδολογίας υπολογισμών της αξιοποίησης διαθέσιμων (τοπικά και συνολικά) πρωτογενών μορφών ενέργειας που θα χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή υδρογόνου, των διαθέσιμων τεχνολογικών επιλογών, λαμβάνοντας υπόψη τεχνικά, λειτουργικά και περιβαλλοντικά στοιχεία, καθώς επίσης και της απαίτησης κάλυψης ενεργειακών αναγκών από την εφαρμογή τεχνολογιών υδρογόνου και κελιών καυσίμου ανά τομέα εφαρμογής. Στόχος είναι ο προσδιορισμός της βέλτιστης ενεργειακής αλυσίδας για την παραγωγή υδρογόνου λαμβάνοντας υπόψη κριτήρια όπως η ενεργειακή-περιβαλλοντική απόδοση καθώς και το κόστος.

Σχηματική απεικόνιση της μεθοδολογίας δίδεται ακολούθως.



Συνολική κατανάλωση ενέργειας.

Για την εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών ανά κατηγορία δραστηριότητας πραγματοποιήθηκε συλλογή διαθέσιμων στοιχείων από εθνικές και διεθνείς πηγές που αφορούσαν :

- Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (έτη 2000 έως 2005) ανά κατηγορία
 - Οικιακή χρήση
 - Εμπορική χρήση
 - Βιομηχανική χρήση
 - Γεωργική χρήση
 - Δημόσιες & Δημοτικές Αρχές
 - Φωτισμός οδών
- Πλήθος νοικοκυριών
- Πληθυσμιακή κατανομή ανά περιοχή
- Εκτιμώμενη αύξηση κατανάλωσης ενέργειας και του πληθυσμού (για το έτος 2020)
- Κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές (ΙΧ και λεωφορεία) για το έτος 2020

Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία, την EUROSTAT και την ΔΕΗ Α.Ε.. Οι προβλέψεις που αφορούν την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για το 2020 βασίστηκαν σε στοιχεία της ΔΕΗ για την κατανάλωση ρεύματος ανά νομό, από το 2000 έως το 2005 [25] και σε στοιχεία από την Ευρωπαϊκή στατιστική υπηρεσία για το ρυθμό αύξησης της κατανάλωσης [26]. Από τα στοιχεία της ΔΕΗ προέκυψε ρυθμός αύξησης της κατανάλωσης για την πενταετία 2000-2005 για τις επιμέρους χρήσεις του ρεύματος :

Πίνακας 4.1 Πρόβλεψη ηλεκτρικής ενέργειας

(σε GWH)	Ποσοστό αύξησης (%)	2010	2015	2020
Οικιακή χρήση	18,78%	20.044,09	23.808,37	22.906,46
Εμπορική χρήση	35,67%	18.673,96	25.334,97	27.841,29
Βιομηχανική χρήση	2,26%	14.080,93	14.399,16	11.926,91
Γεωργική χρήση	0,77%	2.954,67	2.977,42	2.430,29
Δημόσιες & Δημοτικές Αρχές	24,39%	2.398,84	2.983,92	3.006,48
Φωτισμός οδών	15,85%	888,54	1.029,37	965,95

Από τον μεσοσταθμικό μέσο όρο των ετών 2000 και 2010 για το σύνολο της κατανάλωσης υπολογίζεται ετήσια αύξηση 3,75% , η οποία είναι σε συμφωνία με την έκθεση της Ευρωπαϊκής Στατιστικής Υπηρεσίας για την Ελλάδα που αναφέρει αντίστοιχη τιμή 3,70% . Κατά τον αντίστοιχο υπολογισμό για την δεκαετία 2010-2020 χρησιμοποιήθηκαν οι προβλέψεις της EUROSTAT, οι οποίες λαμβάνουν αύξηση της τάξης του 1,70%.

Πρωτογενής Ενέργεια

Για την εκτίμηση της διαθεσιμότητας πρωτογενούς ενέργειας έχουν ληφθεί υπόψη τόσο τα ορυκτά καύσιμα (Φυσικό Αέριο, Λιγνίτης) όσο και οι Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (αιολικό δυναμικό, βιομάζα).

- Τοπολογία αγωγού φυσικού αερίου και διαθεσιμότητα ανά περιοχή

- Δυνατότητες μελλοντικής επέκτασης δικτύου ή χρήσης LNG
- Αιολικό δυναμικό ανά περιοχή
- Δυναμικό βιομάζας ανά περιοχή

Για την εξέταση των δυνατοτήτων χρήσης του αιολικού δυναμικού, η προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε στηρίζεται σε τεchnο-οικονομική ανάλυση του εκτιμώμενου δυναμικού συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου και του εκτιμώμενου αντίστοιχου κόστους παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας [27]. Για κάθε μια από τις διαθέσιμες περιοχές, συσχετίστηκε η δυνατότητα ετήσιας παραγωγής ενέργειας και το κόστος και δημιουργήθηκε αντίστοιχη εξίσωση που εκφράζει την δυνατότητα ένταξης του αιολικού δυναμικού στο ενεργειακό σύστημα παραγωγής υδρογόνου.

Πίνακας 4.2 Εξισώσεις κόστους Αιολικών ανά περιοχή

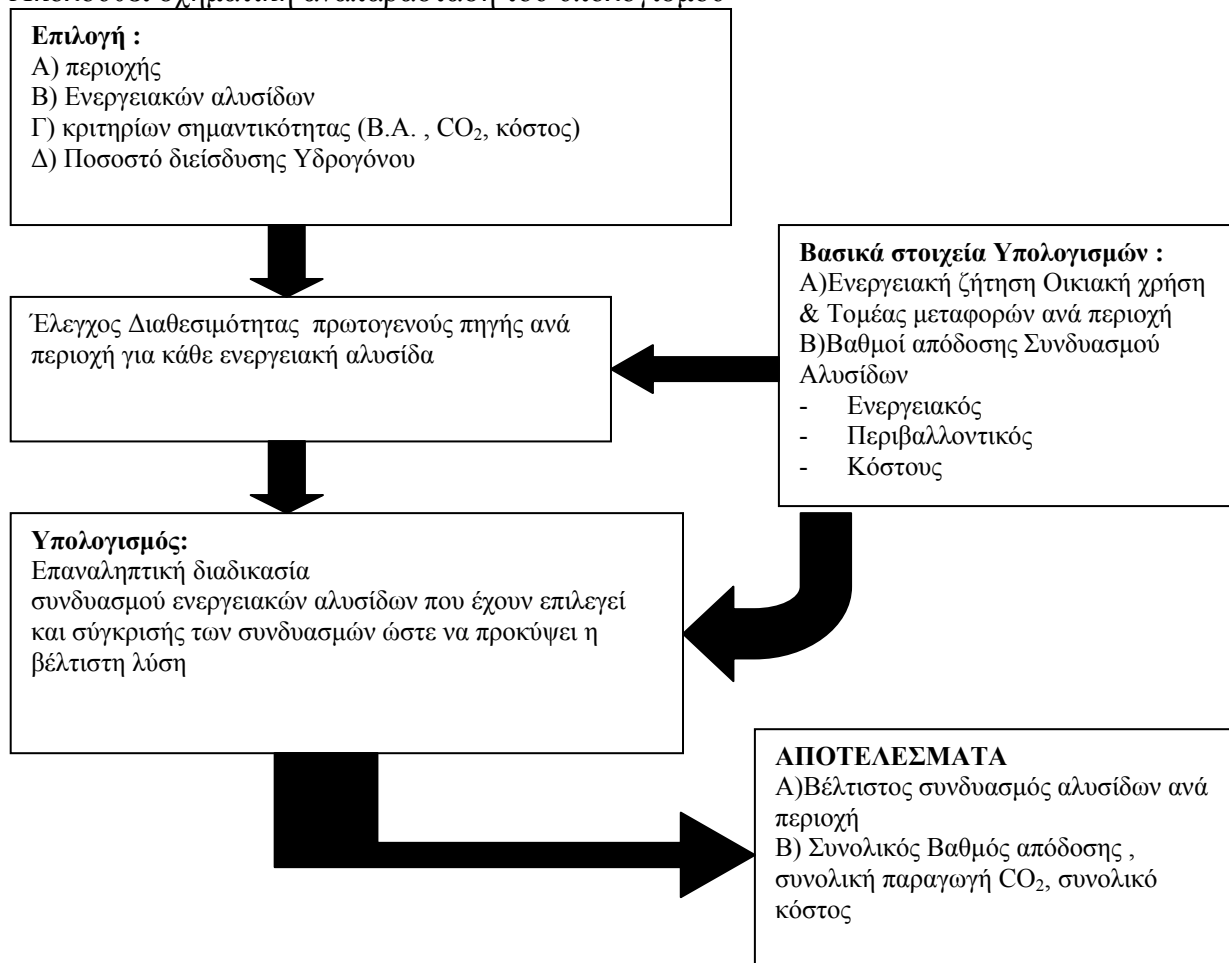
Περιοχή	Εξίσωση	Απόκλιση R ²
Ανατολική Μακεδονία Θράκη	$y = -4E-11x^2 + 2E-06x + 0,0338$	0,9784
Κεντρική Μακεδονία	$y = -3E-18x^4 + 8E-14x^3 - 1E-09x^2 + 7E-06x + 0,031$	0,9959
Δυτική Μακεδονία	$y = 4E-07x + 0,0311$	0,9653
Θεσσαλία	$y = 7E-16x^4 - 5E-12x^3 + 6E-09x^2 + 1E-05x + 0,039$	1,0000
Ήπειρος	$y = 7E-16x^4 + 5E-13x^3 - 9E-09x^2 + 2E-05x + 0,0282$	0,9997
Εύβοια	$y = 1E-18x^4 - 2E-14x^3 + 2E-10x^2 - 4E-08x + 0,0277$	0,9995
Στερεά Ελλάδα	$y = -3E-18x^4 + 9E-14x^3 - 1E-09x^2 + 6E-06x + 0,0331$	0,9947
Πελοπόννησος	$y = 2E-14x^3 - 3E-10x^2 + 4E-06x + 0,0298$	0,9960
Αττική	$y = 1E-12x^3 - 5E-09x^2 + 1E-05x + 0,0273$	1,0000
Ιόνια Νησιά	$y = -1E-15x^4 + 6E-12x^3 - 1E-08x^2 + 1E-05x + 0,0291$	0,9991
Βόρειο Αιγαίο	$y = -2E-18x^4 + 7E-14x^3 - 7E-10x^2 + 4E-06x + 0,029$	0,9942
Νότιο Αιγαίο	$y = 2E-06x + 0,0262$	0,9985
Κρήτη	$y = -7E-18x^4 + 6E-14x^3 + 2E-10x^2 - 7E-07x + 0,0298$	0,9994
Κόστος παραγωγής Υδρογόνου από Ηλεκτρόλυση	$y = 1,7091x$	

Υπολογιστικό εργαλείο - Αλγόριθμος αξιολόγησης ενεργειακών αλυσίδων και συνδυασμός αυτών συναρτήσει τεχνολογίας, δυναμικού και ζήτησης.

Για την αξιολόγηση χρησιμοποιήθηκε υπολογιστικό φύλλο από το πρόγραμμα EXCEL, στο οποίο προσαρμόστηκε κώδικας VISUAL BASIC for Applications ώστε να είναι δυνατές οι επαναληπτικές διαδικασίες. Η επαναληπτική διαδικασία απαιτείται για την δημιουργία συνδυασμών ενεργειακών αλυσίδων. Στο φύλλο EXCEL γίνεται η ανάλυση των στοιχείων των προβλέψεων της ενεργειακής ζήτησης για το έτος 2020, του δυναμικού των πρωτογενών πηγών ενέργειας και των βαθμών απόδοσης των ενεργειακών αλυσίδων λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές κόστους και την παραγωγή CO₂.

Η βέλτιστη λύση υπολογίζεται με την επιλογή κριτηρίων σημαντικότητας για κάθε τύπο βαθμού απόδοσης (Ενεργειακού, Περιβαλλοντικού και Κόστους)

Ακολουθεί σχηματική αναπαράσταση του υπολογισμού



Επεξεργασία των αποτελεσμάτων

Μέσω του προγράμματος είναι δυνατή η αυτόματη επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων (βαθμός απόδοσης , παραγωγή CO₂, κόστος κ.α) της κάθε σειράς υπολογισμού σύμφωνα με το ποσοστό διείσδυσης ονομάζεται οριζόντια επεξεργασία και η επεξεργασία των αποτελεσμάτων διαφορετικών σειρών υπολογισμού ίδιου ποσοστού διείσδυσης ονομάζεται κάθετη επεξεργασία. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει την συγκέντρωση των στοιχείων από τα αποτελέσματα σε νέο υπολογιστικό φύλλο υπό τη μορφή πίνακα και η απεικόνιση τους σε διαγράμματα. Οι άξονες των διαγραμμάτων στην περίπτωση της οριζόντιας επεξεργασίας είναι το ποσοστό διείσδυσης στον άξονα X και των αποτελεσμάτων στον άξονα Y. Ενώ στην κάθετη επεξεργασία στον άξονα X είναι τα σενάρια που επιλέχθηκαν και στον άξονα Y τα αποτελέσματα.

5. Αποτελέσματα- Συμπεράσματα

Οι περιοχές που επιλέχθηκαν είναι το Νότιο Αιγαίο, η Θεσσαλία και η Ανατολική Μακεδονία-Θράκη. Το Νότιο Αιγαίο επιλέχθηκε λόγω του αιολικού δυναμικού του και της πιθανότητας να αναπτυχθεί σε νησί πιλοτικό πρόγραμμα με Ανεμογεννήτριες και εγκαταστάσεις ηλεκτρόλυσης – κυψελών καυσίμου. Οι περιοχές της Ανατολικής Μακεδονίας – Θράκης και της Θεσσαλίας επιλέχθηκαν διότι διαθέτουν όλες τις πρωτογενής μορφές ενέργειας. Ένας ακόμη λόγος επιλογής της Θεσσαλίας είναι τα δύο μεγάλα αστικά κέντρα ο Βόλος και η Λάρισα. Τα σενάρια που επιλέχθηκαν για την κάθε περιοχή παρουσιάζονται στον πίνακα 5.1. Το βήμα σε όλα τα σενάρια ήταν το 10 και η διείσδυση ήταν από 10 έως 40%. Τα κριτήρια σημαντικότητας επιλέχθηκαν έτσι ώστε να καλυφθεί το εύρος μεταξύ της καλύτερης ενεργειακής λύσης με βάση το βαθμό απόδοσης και της οικονομικότερης.

Πίνακας 5.1 Ανάλυση σεναρίων

Σενάρια	Κριτήρια Σημαντικότητας		
	Βαθμός Απόδοσης	Παραγωγή CO ₂	Κόστος
A: Ενεργειακό A	80%	10%	10%
B: Ενεργειακό B	80%	0%	20%
Γ: Ενεργειακό/Περιβαλλοντικό	50%	40%	10%
Δ: Ενεργειακό/Οικονομικό	50%	10%	40%
E: Περιβαλλοντικό	20%	60%	20%
ΣΤ: Οικονομικό	20%	20%	60%

Οι αλυσίδες επιλέχθηκαν με γνώμονα τον συνολικό βαθμό απόδοσης ο οποίος επηρεάζεται από τον τελικό καταναλωτή και την μεταφορά του υδρογόνου. Για τις αλυσίδες με κεντρική παραγωγή όπου θεωρείται αναγκαία η μεταφορά του καυσίμου σε μεγάλη απόσταση επιλέγεται μεταφορά υγροποιημένου υδρογόνου. Η μεταφορά κρίνεται απαραίτητη για την τροφοδοσία σταθμών ανεφοδιασμού αυτοκινήτων ή καταναλωτών στα αστικά κέντρα. Ο πίνακας 5.7 παρουσιάζει συνολικά όλους τους συνδυασμούς λύσεων.

5.1 Νότιο Αιγαίο

Η περιοχή αυτή ως πρωτογενής μορφές ενέργειας διαθέτει αιολικό δυναμικό και βιομάζα. Επομένως οι ενεργειακές αλυσίδες θα είναι οι A10,A12,A18 και A20.

- A10: κεντρική παραγωγή από ηλεκτρόλυση με ανεμογεννήτριες και μεταφορά υγροποιημένου H₂ με κατανάλωση σε κυψέλες καυσίμου ισχύς 250-1000kW
- A12: κεντρική παραγωγή από ηλεκτρόλυση με ανεμογεννήτριες και μεταφορά μέσω αγωγών συμπιεσμένου αερίου H₂ με κατανάλωση σε κυψέλες καυσίμου ισχύς 250-1000kW
- A18: Παραγωγή κεντρικά από βιομάζα και μεταφορά με υγροποιημένο H₂ και κατανάλωση σε κυψέλες καυσίμου ισχύς 250-1000kW
- A20: Παραγωγή κεντρικά από βιομάζα και μεταφορά μέσω αγωγών συμπιεσμένου αερίου H₂ και κατανάλωση σε κυψέλες καυσίμου ισχύς 250-1000kW

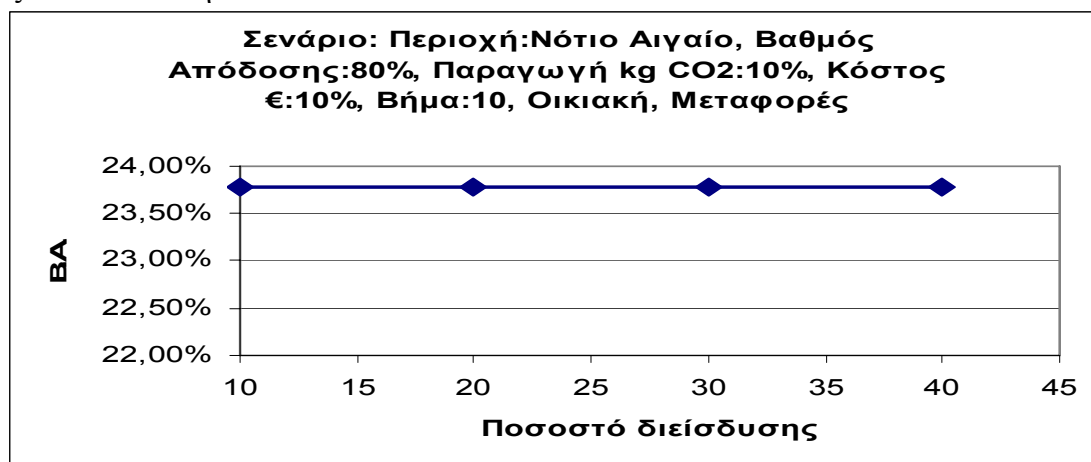
Οι ενεργειακές αλυσίδες στις οποίες κατέληξε το πρόγραμμα είναι για τα σενάρια 1 έως 5 η A12 με συμμετοχή 100%. Στο σενάριο 6 η λύση είναι η A10 με ποσοστό συμμετοχής 10% και η A12 με 90%. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων κατά τον οριζόντιο άξονα για τα σενάρια 1, 3 και 6 δείχνει ότι δεν παρουσιάζεται μεταβολή στο συνδυασμό των ενεργειακών αλυσίδων που επιλέγει το πρόγραμμα όταν αυξάνεται το ποσοστό διείσδυσης. Συνεπώς ο βαθμός απόδοσης παραμένει σταθερός. Η παραγωγή CO₂ και το κόστος αυξάνονται γραμμικά λόγω της μεγαλύτερης ποσότητας H₂ που απαιτείται.

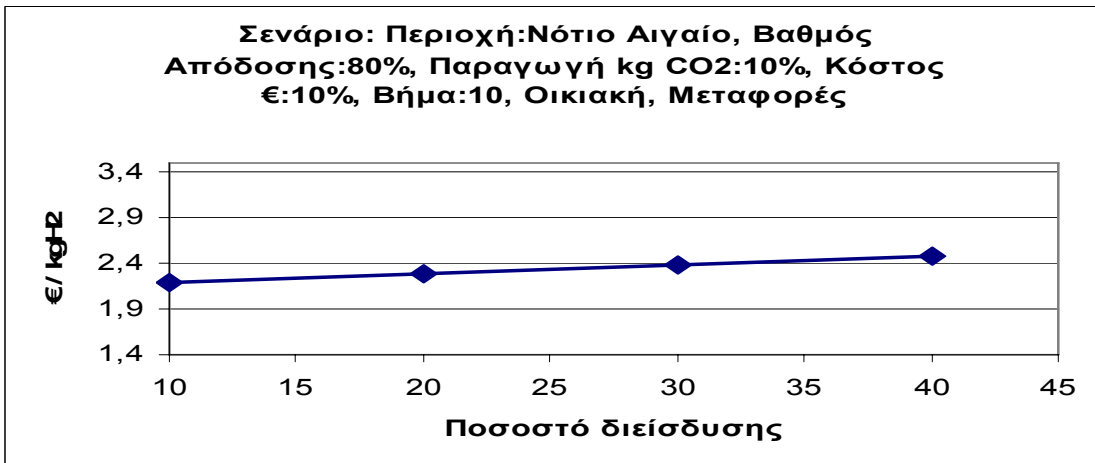
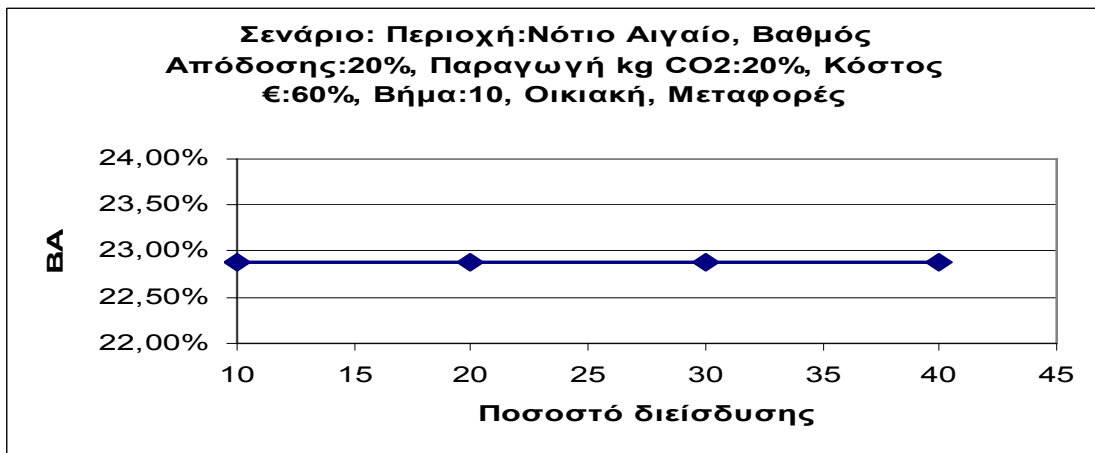
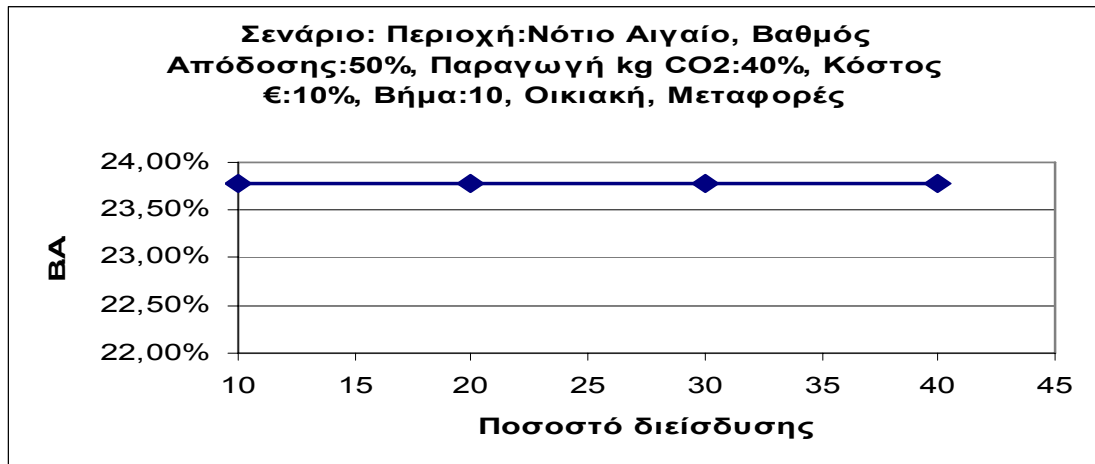
Ενδιαφέρον παρουσιάζει η κάθετη ανάλυση (πίνακας 5.1 όπου συγκρίνονται όλα τα σενάρια που αφορούν την περιοχή. Από αυτή την ανάλυση προκύπτει όταν επιδιώκεται η πιο οικονομική λύση τότε το περιβαλλοντικό κόστος αυξάνεται.

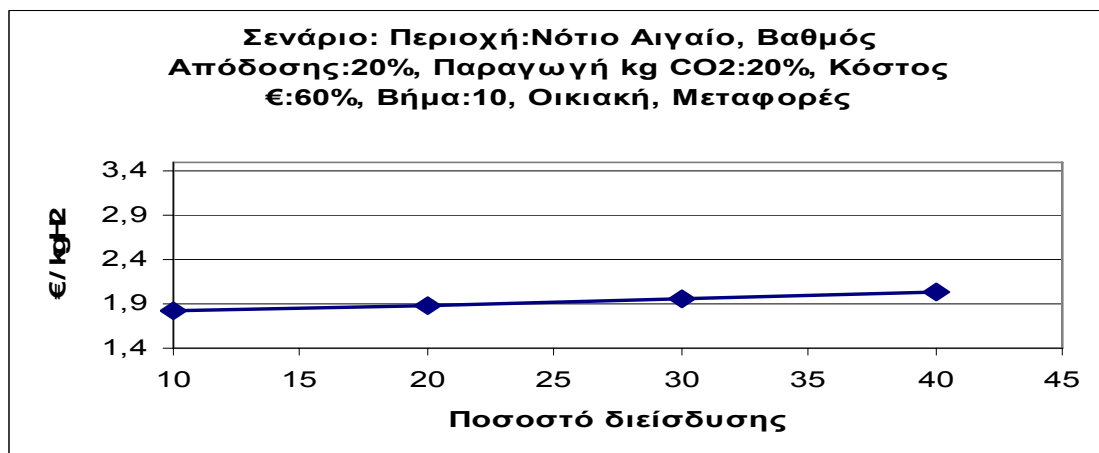
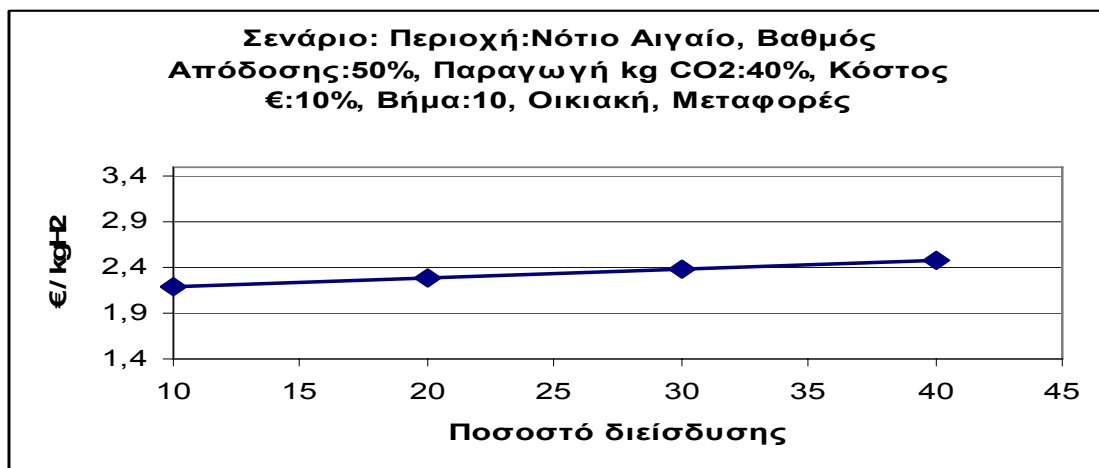
Πίνακας 5.1 Σενάρια 1 έως 6 – Κάθετη ανάλυση

Σενάρια	Κριτήρια Σημαντικότητας			Αποτελέσματα			
	Βαθμός Απόδοσης	Παραγωγή CO ₂	Κόστος	Βαθμός Απόδοσης	Παραγωγή CO ₂ tn CO ₂	kgCO ₂ / kgH ₂	Κόστος €/kgH ₂
1	0,8	0,1	0,1	23,78%	1.717	0,135	2,18
2	0,8	0,0	0,2	23,78%	1.717	0,135	2,18
3	0,5	0,4	0,1	23,78%	1.717	0,135	2,18
4	0,5	0,1	0,4	23,78%	1.717	0,135	2,18
5	0,2	0,6	0,2	23,78%	1.717	0,135	2,18
6	0,2	0,2	0,6	22,89%	13.253	1,044	1,82

Οριζόντια ανάλυση:

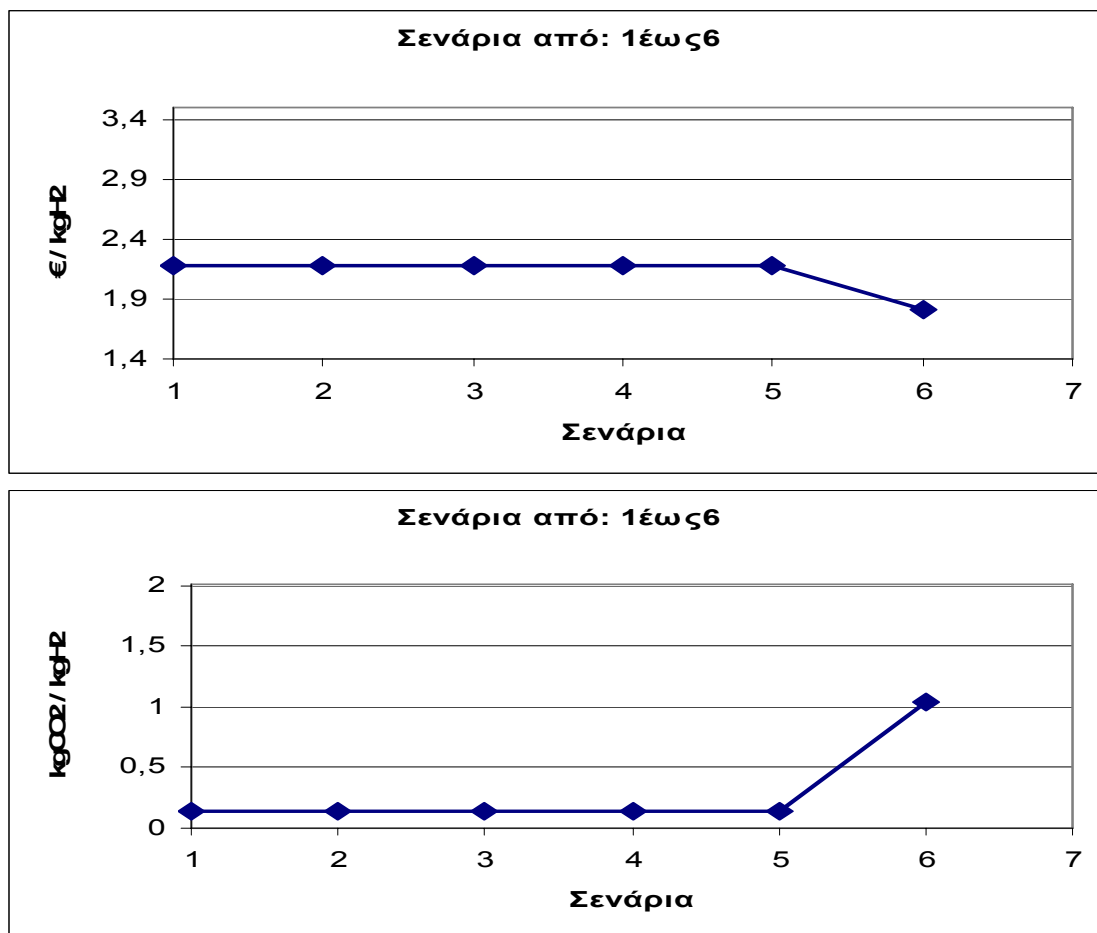






Κάθετη ανάλυση για ποσοστό διείσδυσης 10%





5.2 Θεσσαλία

Η περιοχή αυτή επιλέχθηκε καθώς διαθέτει όλες τις πρωτογενείς μορφές ενέργειας που εξετάζονται για την παραγωγή υδρογόνου. Οι συμπεριληφθείς αλυσίδες παραγωγής κατά την ανάλυση αντιπροσωπεύουν όλες τις πρωτογενείς πηγές και τις λύσεις για την μεταφορά του υδρογόνου. Οι αλυσίδες είναι:

- A04: Κεντρική Αναμόρφωση Φυσικού Αερίου μεταφορά μέσω αγωγών συμπιεσμένου αερίου και κατανάλωση σε κυψέλες καυσίμου ισχύος 250-1000kW
- A08: Αποκεντρωμένη Αναμόρφωση Φυσικού Αερίου μεταφορά μέσω αγωγών συμπιεσμένου αερίου και κατανάλωση σε κυψέλες καυσίμου ισχύος 250-1000kW
- A10: Κεντρική παραγωγή από ηλεκτρόλυση με ανεμογεννήτριες και μεταφορά υγροποιημένου H₂ με κατανάλωση σε κυψέλες καυσίμου ισχύος 250-1000kW
- A12: Κεντρική παραγωγή από ηλεκτρόλυση με ανεμογεννήτριες και μεταφορά μέσω αγωγών συμπιεσμένου αερίου H₂ με κατανάλωση σε κυψέλες καυσίμου ισχύος 250-1000kW
- A20: Παραγωγή κεντρικά από βιομάζα και μεταφορά μέσω αγωγών συμπιεσμένου αερίου H₂ και κατανάλωση σε κυψέλες καυσίμου ισχύος 250-1000kW
- A22: Κεντρική παραγωγή από Λιγνίτη και μεταφορά υγροποιημένου H₂ με κατανάλωση σε κυψέλες καυσίμου ισχύος 250-1000kW
- A24: και μεταφορά μέσω αγωγών συμπιεσμένου αερίου H₂ και κατανάλωση σε κυψέλες καυσίμου ισχύος 250-1000kW

Τα σενάρια που επεξεργάστηκε το πρόγραμμα αριθμούν από το 7 έως το 12.

Σε όλες τις σειρές υπολογισμών παρατηρείται ότι καθώς αυξάνει το ποσοστό διείσδυσης το πρόγραμμα επιλέγει διαφορετικές αλυσίδες. Αυτό οφείλεται στην ανεπάρκεια των πρωτογενών πηγών. Παράλληλα παρατηρείται ότι υπάρχει ευαισθησία στο πρόγραμμα καθώς με την αλλαγή σεναρίου (από το Α στο Β) δίνεται διαφορετική λύση για ποσοστό από 10% έως 20%. Ενώ λόγω της έλλειψης των πηγών ενέργειας από 30% έως 40% τα αποτελέσματα παραμένουν τα ίδια. Η διαφορά στα κριτήρια σημαντικότητας κατά 10% στην παραγωγή CO₂ για την 7^η σειρά και 0% για την 8^η έχει επίπτωση στον βαθμό απόδοσης, στην παραγωγή CO₂ και στο κόστος.

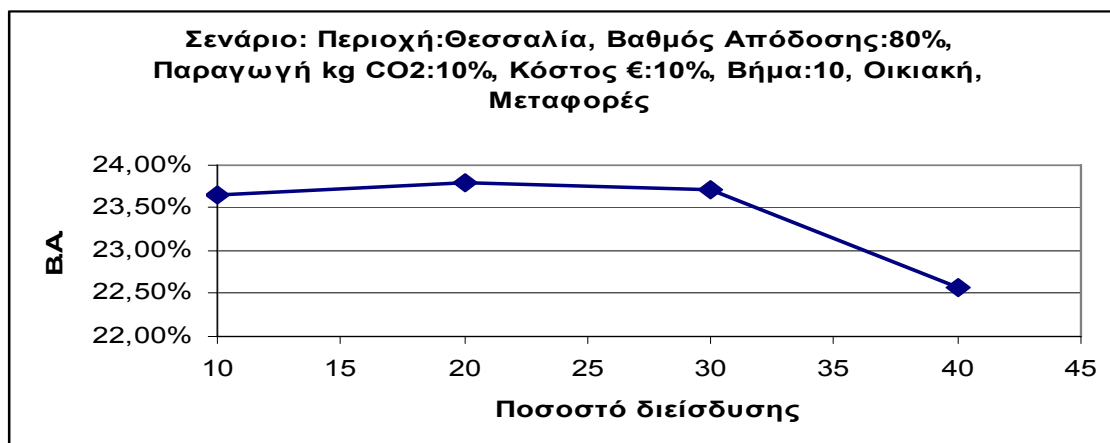
Πίνακας 5.2 Επιλογή αλυσίδων παραγωγής υδρογόνου για διαφορετικό ποσοστό διείσδυσης υδρογόνου (σενάριο Α)

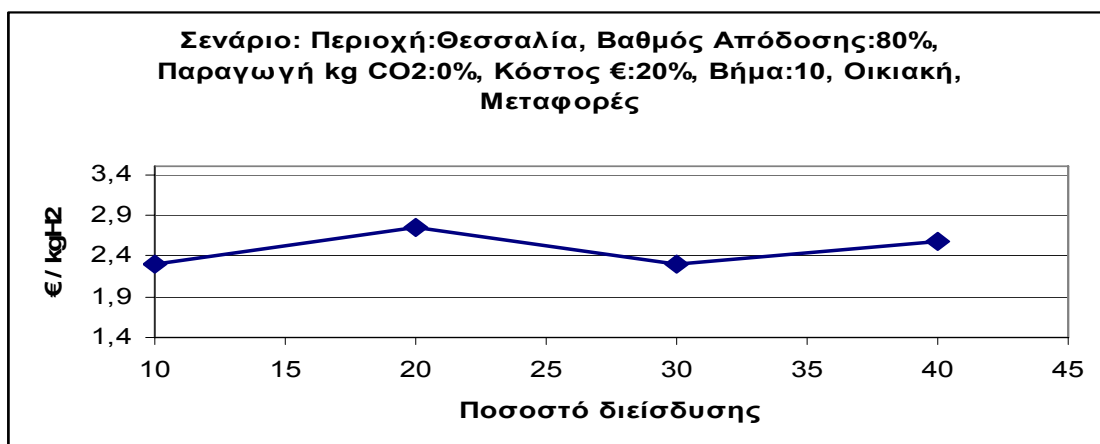
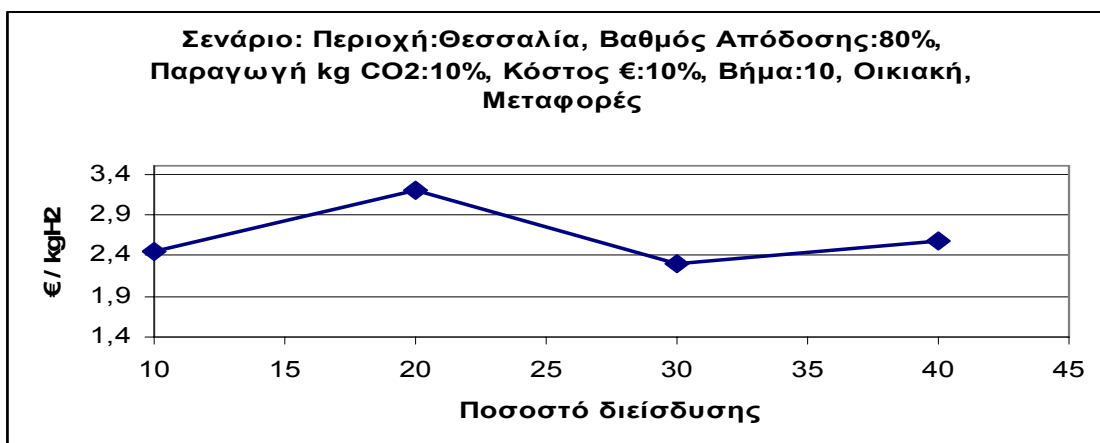
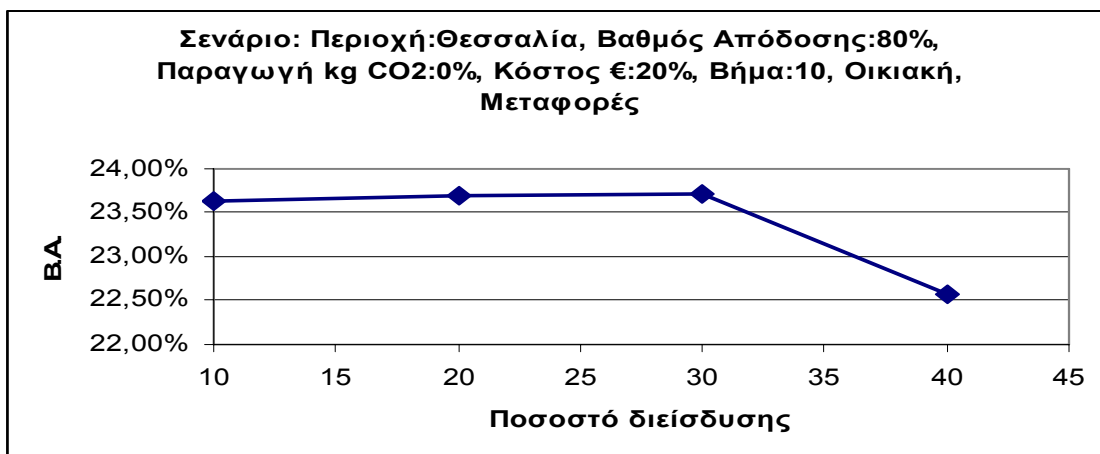
Διείσδυση	Αποτελέσματα 7 ^{ης} σειράς σενάριο Α		
10%	A04: 40%	A12:60%	
20%	A04:0%	A12:100%	
30%	A04:20%	A12:80%	
40%	A04:10%	A12:60%	A20:30%

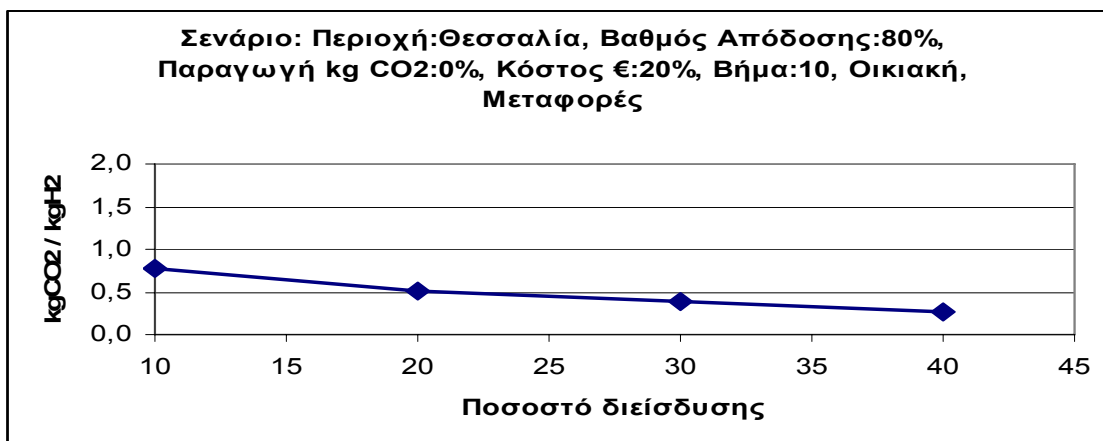
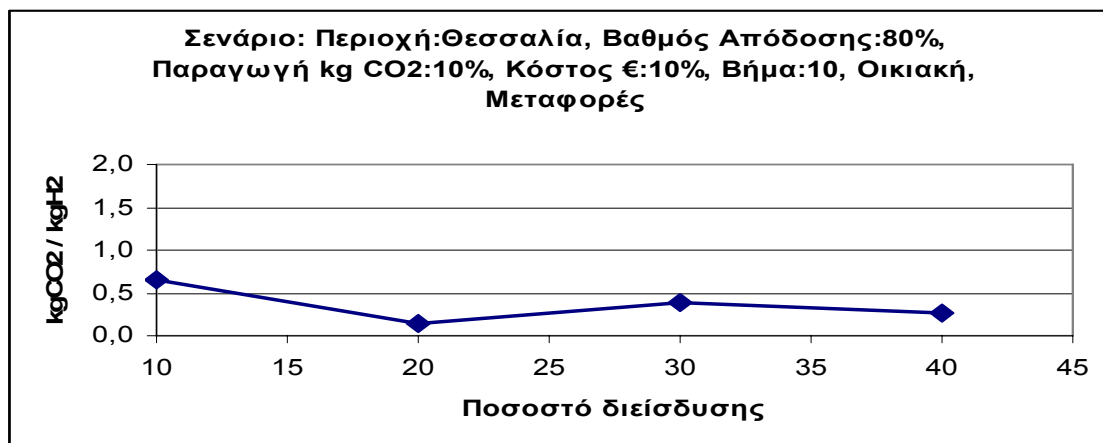
Πίνακας 5.3 Επιλογή αλυσίδων παραγωγής υδρογόνου για διαφορετικό ποσοστό διείσδυσης υδρογόνου (σενάριο Β)

Διείσδυση	Αποτελέσματα 8 ^{ης} σειράς σενάριο Β		
10%	A04: 50%	A12:50%	
20%	A04:30%	A12:70%	
30%	A04:20%	A12:80%	
40%	A04:10%	A12:60%	A20:30%

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα των σειρών υπολογισμού 7 και 8.







Κάθετη επεξεργασία

Πραγματοποιήθηκε επεξεργασία για τα ποσοστά διείσδυσης 10% και 20%. Κατά την διείσδυση 10% φαίνεται ότι παρά την αλλαγή των κριτηρίων σημαντικότητας ο βαθμός απόδοσης μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής είναι 0,09%, στην παραγωγή CO₂ 10.405 tn και στην τιμή 0,47€/kg H₂

Πίνακας 5.4 Σενάρια 7 έως 12 – Κάθετη ανάλυση για διείσδυση υδρογόνου 10%

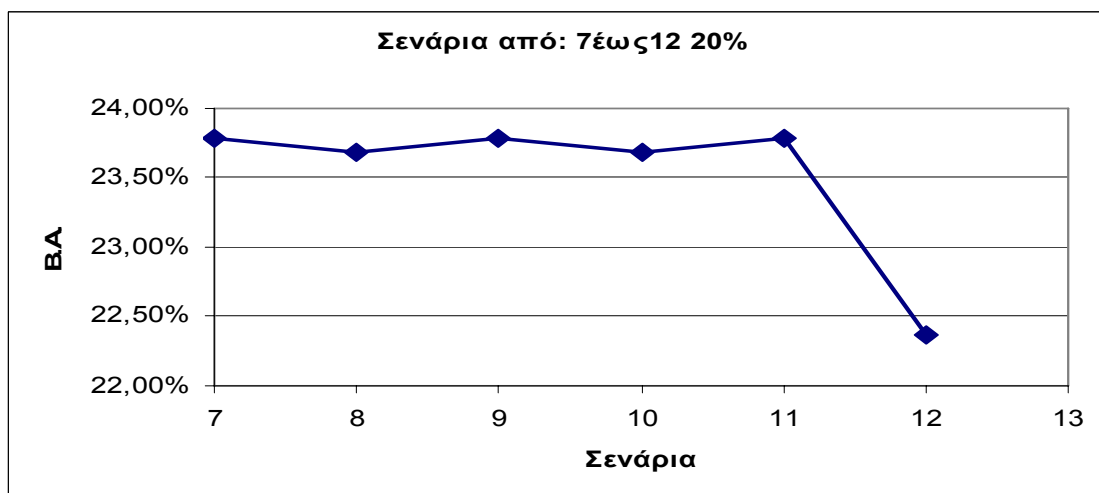
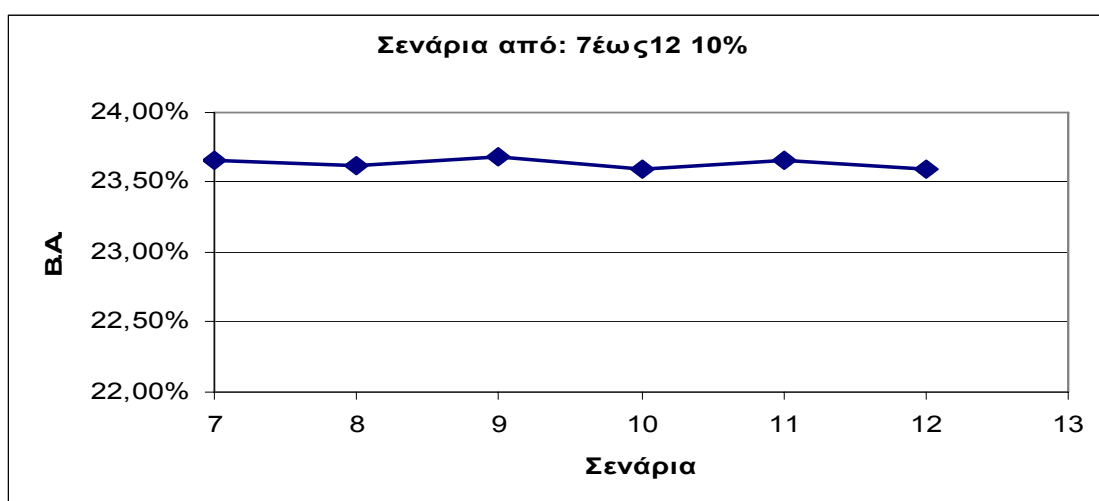
Σενάρια	Κριτήρια Σημαντικότητας			Αποτελέσματα			
	Βαθμός Απόδοσης	Παραγωγή CO ₂	Κόστος	Βαθμός Απόδοσης	Παραγωγή CO ₂ tn CO ₂	kgCO ₂ / kgH ₂	Κόστος €/kgH ₂
7	0,8	0,1	0,1	23,66%	17.549	0,65	2,46
8	0,8	0,0	0,2	23,62%	21.018	0,77	2,30
9	0,5	0,4	0,1	23,69%	14.080	0,52	2,71
10	0,5	0,1	0,4	23,59%	24.486	0,90	2,24
11	0,2	0,6	0,2	23,66%	17.549	0,65	2,46
12	0,2	0,2	0,6	22,59%	24.486	0,90	2,24

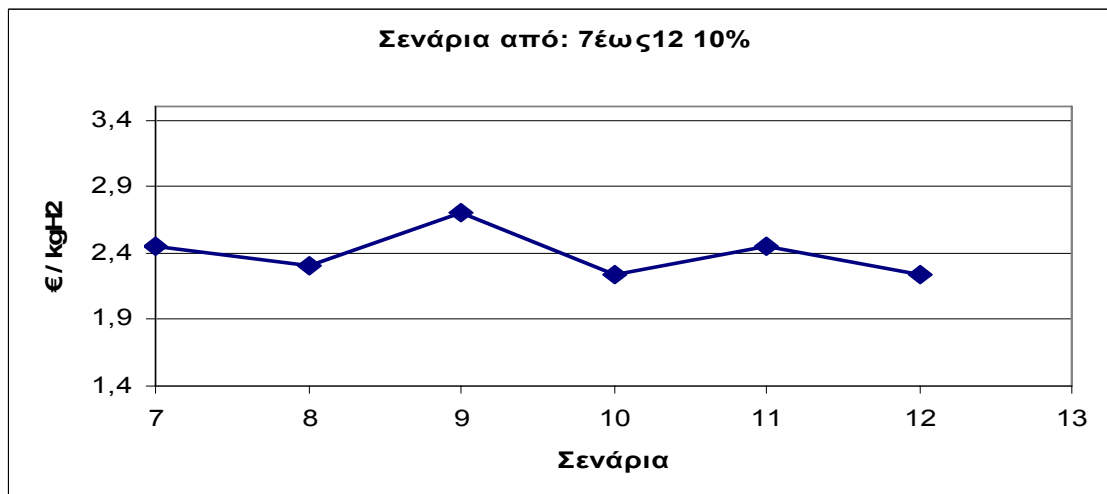
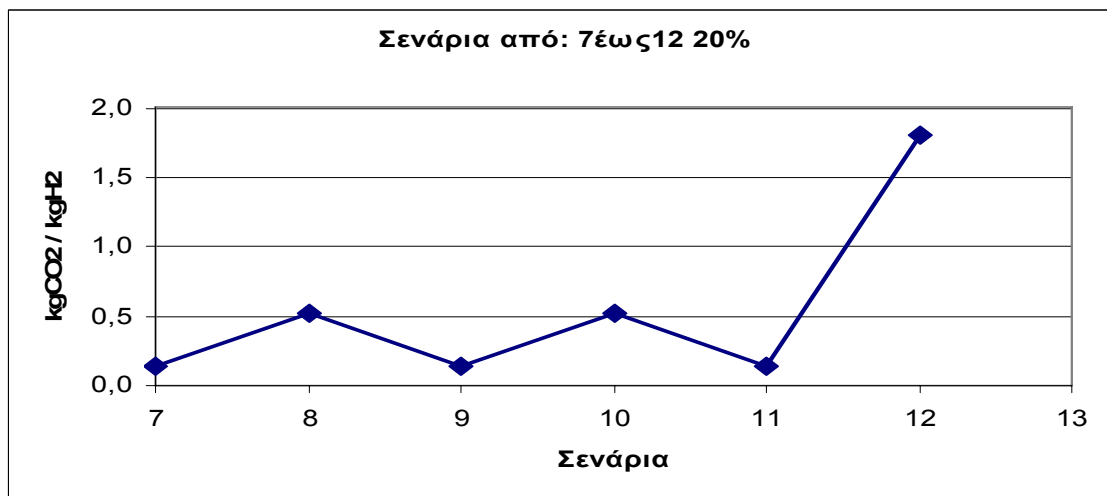
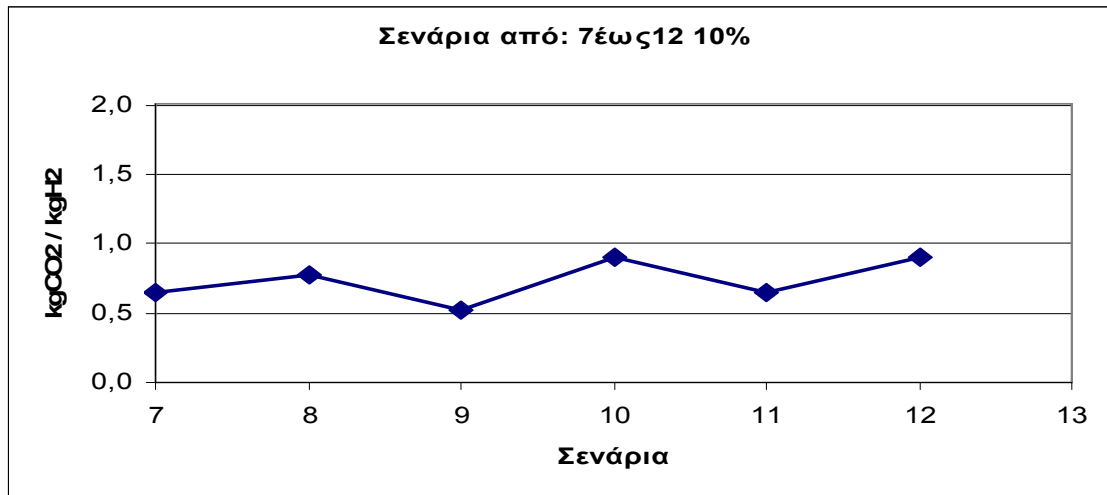
Στα αποτελέσματα όπου το ποσοστό διείσδυσης είναι 20% παρατηρείται μεγαλύτερη διακύμανση στο βαθμό απόδοσης (1,42%) η οποία οφείλεται στην ανεπάρκεια πρωτογενών πηγών. Αντίστοιχα μεγαλύτερο εύρος παρουσιάζει η παραγωγή CO₂ (90528 τόνοι) και το κόστος (1,08€/ kgH₂).

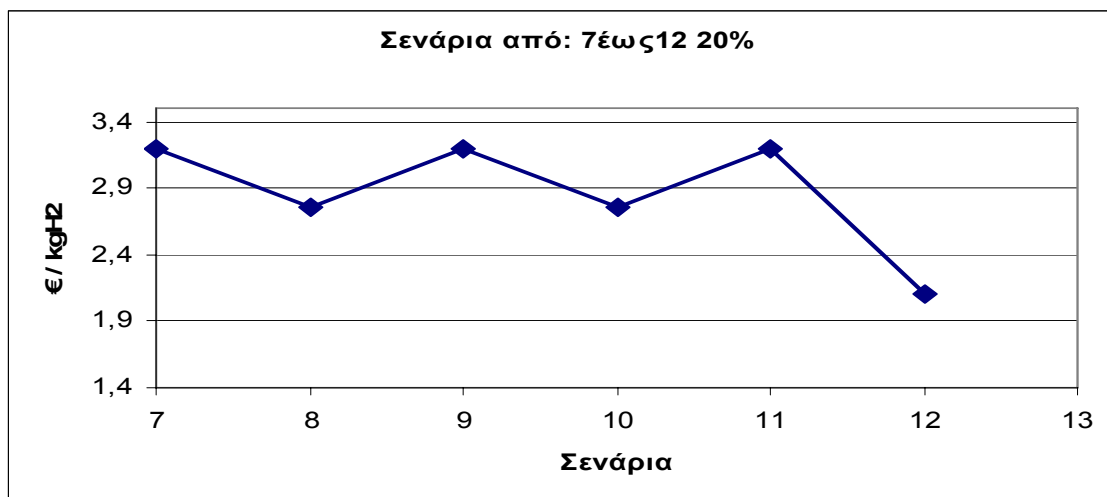
Πίνακας 5.4 Σενάρια 7 έως 12 – Κάθετη ανάλυση για διείσδυση υδρογόνου 20%

Σενάρια	Κριτήρια Σημαντικότητας			Αποτελέσματα			
	Βαθμός Απόδοσης	Παραγωγή CO ₂	Κόστος	Βαθμός Απόδοσης	Παραγωγή CO ₂ tn CO ₂	kgCO ₂ / kgH ₂	Κόστος €/kgH ₂
7	0,8	0,1	0,1	23,79%	7348	0,14	3,20
8	0,8	0,0	0,2	23,69%	28160	0,52	2,76
9	0,5	0,4	0,1	23,79%	7348	0,14	3,20
10	0,5	0,1	0,4	23,69%	28160	0,52	2,76
11	0,2	0,6	0,2	23,79%	7348	0,14	3,20
12	0,2	0,2	0,6	22,37%	97877	1,8	2,11

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα των σειρών υπολογισμού 7 και 12 για 10% και 20% διείσδυση υδρογόνου αντίστοιχα..



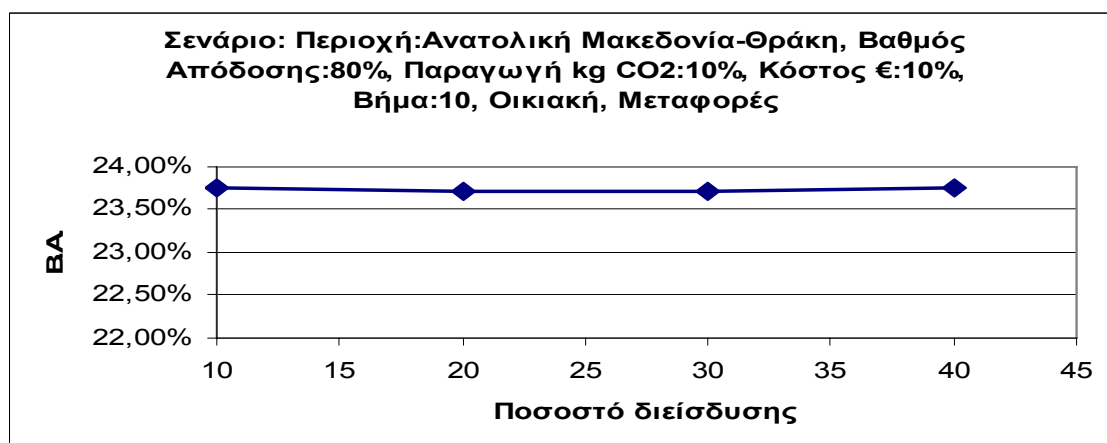


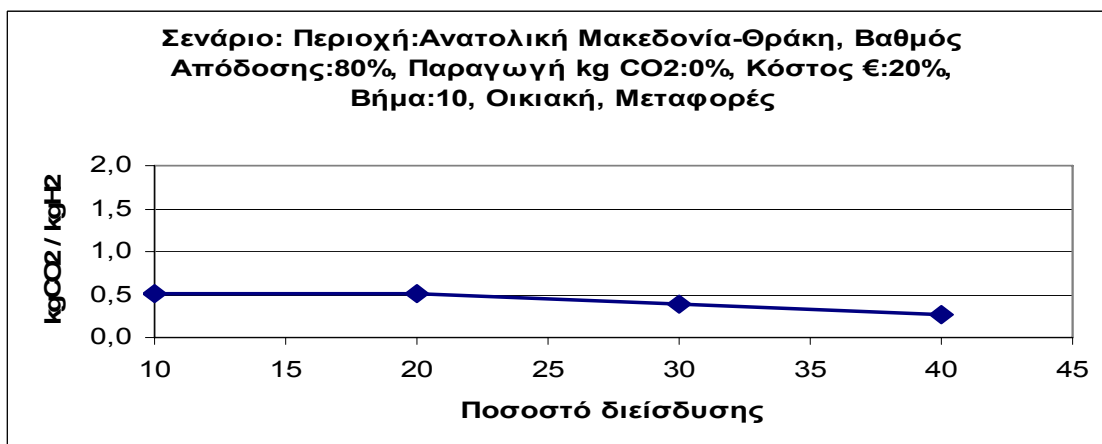
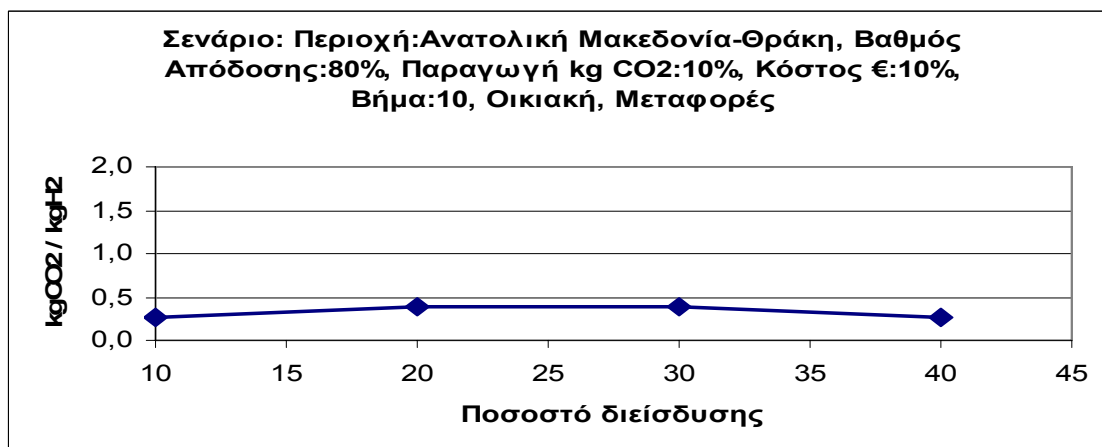
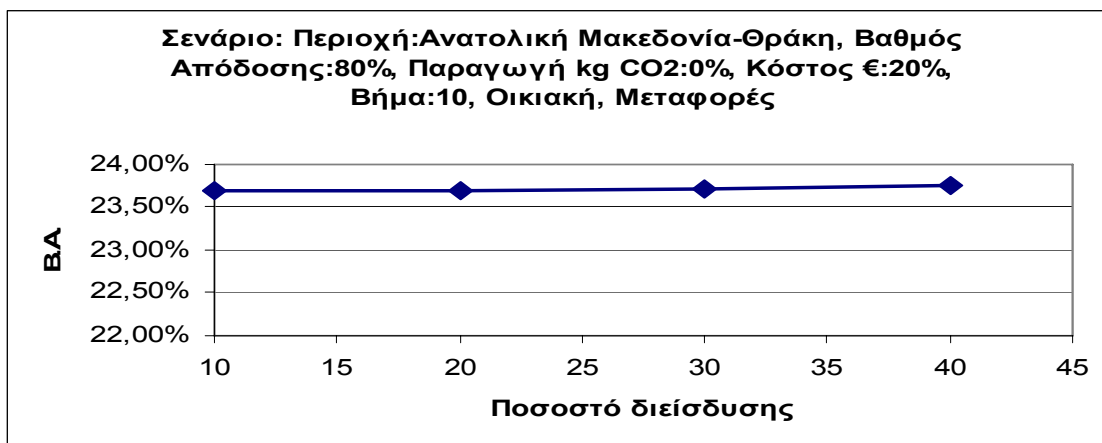


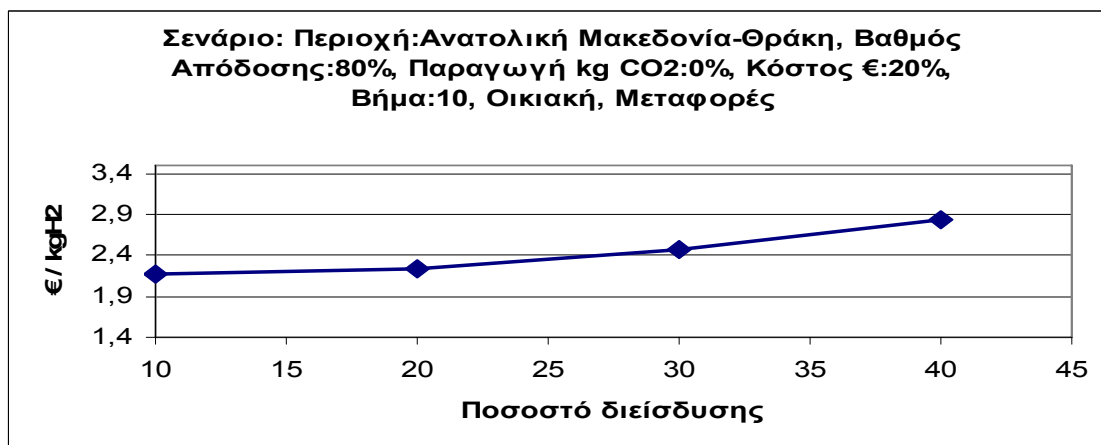
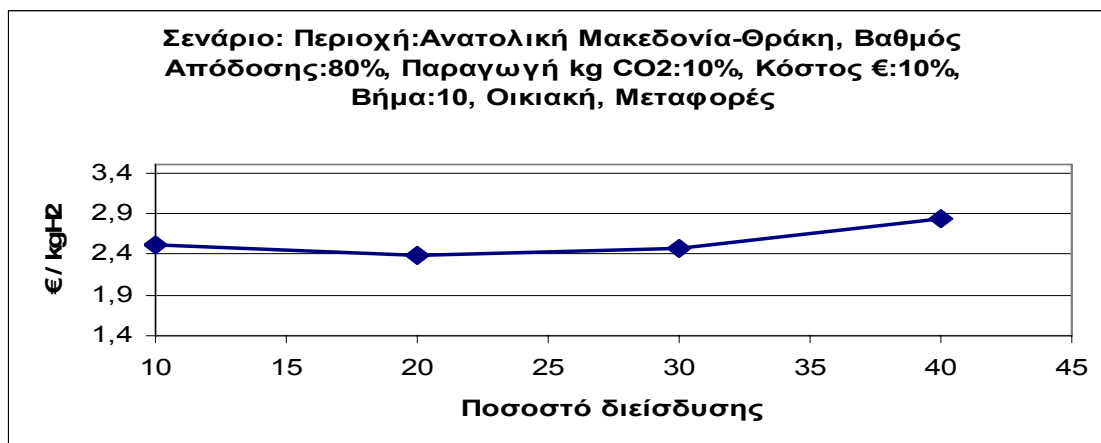
5.3 Ανατολική Μακεδονία Θράκη

Οι αλυσίδες που επιλέχθηκαν είναι οι ίδιες με αυτές της Θεσσαλίας. Λόγω της επάρκειας στο Αιολικό δυναμικό δεν παρουσιάζονται πολλές μεταβολές κατά την αύξηση του ποσοστού διείσδυσης. Στην ανάλυση μεταξύ των σεναρίων (κάθετη) παρατηρείται μεγάλη μεταβολή στο σενάριο 18 όπου η σημαντικότητα της βέλτιστης λύσης βρίσκεται στην οικονομία.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα από τις σειρές υπολογισμού 13 και 14 (Σενάρια Α και Β) ώστε να δειχθεί η ευαισθησία του προγράμματος. Τα δύο αυτά σενάρια δίνουν βαρύτητα στην ενεργειακή απόδοση και διαφέρουν κατά 10% στο Περιβαλλοντικό κριτήριο.







Κάθετη ανάλυση για ποσοστά διείσδυσης 10% και 20%

Μεταξύ των σεναρίων 13-18 για διείσδυση 10% η διαφορά της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής είναι για το βαθμό απόδοσης 0,13%, για την παραγωγή CO₂ 10.994 τόνοι και για το κόστος 0,67€/ kgH₂.

Πίνακας 5.5 Σενάρια 13 έως 18 – Κάθετη ανάλυση για διείσδυση υδρογόνου 10%

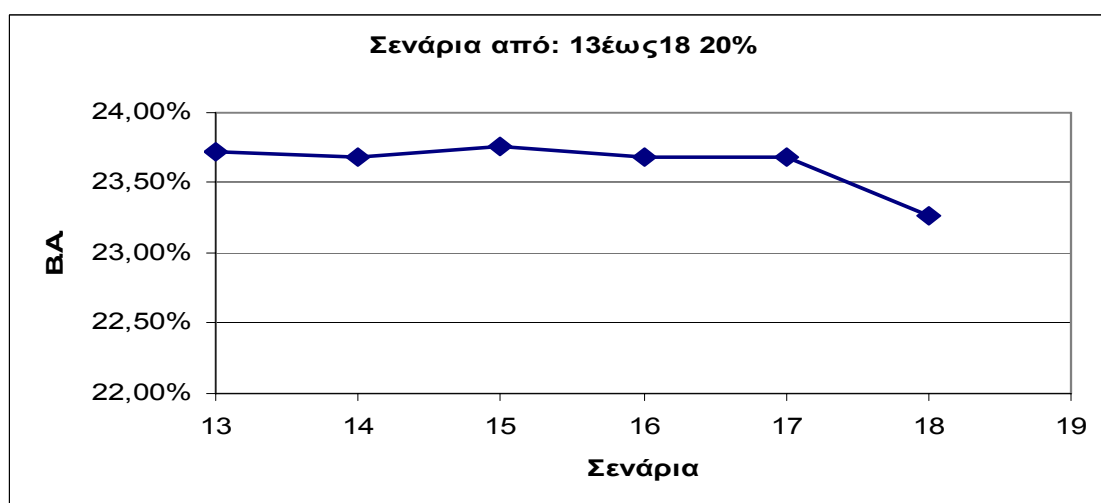
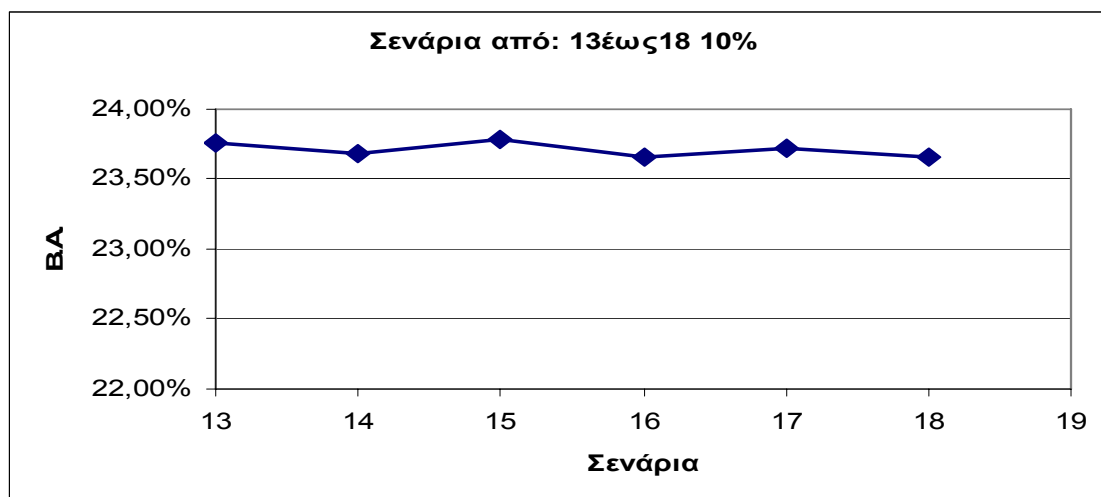
Σενάρια	Κριτήρια Σημαντικότητας			Αποτελέσματα			
	Βαθμός Απόδοσης	Παραγωγή CO ₂	Κόστος	Βαθμός Απόδοσης	Παραγωγή CO ₂ tn CO ₂	kgCO ₂ / kgH ₂	Κόστος €/kgH ₂
13	0,8	0,1	0,1	23,75%	5.660	0,26	2,51
14	0,8	0,0	0,2	23,69%	11.158	0,52	2,17
15	0,5	0,4	0,1	23,79%	2.912	0,14	2,76
16	0,5	0,1	0,4	23,66%	13.906	0,65	2,09
17	0,2	0,6	0,2	23,72%	8.409	0,40	2,31
18	0,2	0,2	0,6	23,66%	13.906	0,65	2,09

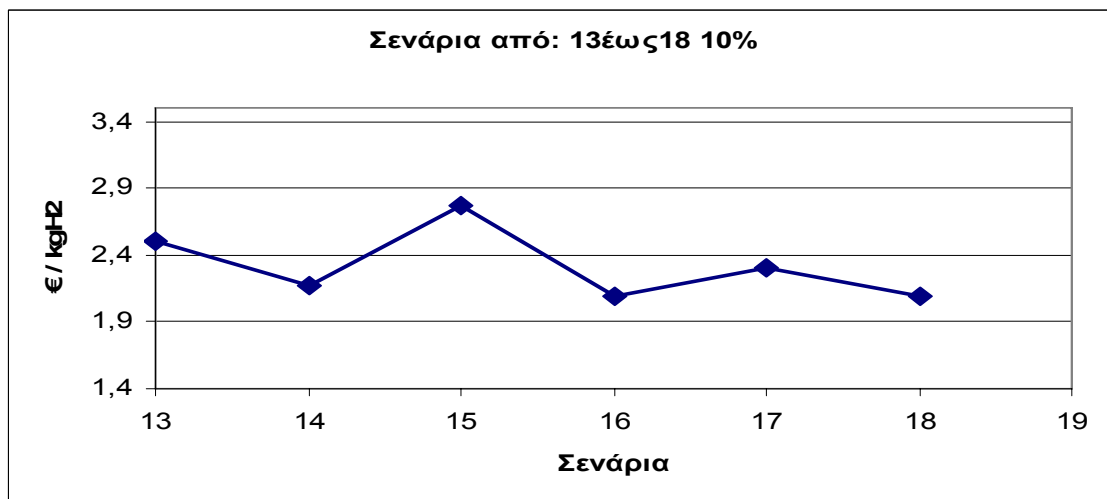
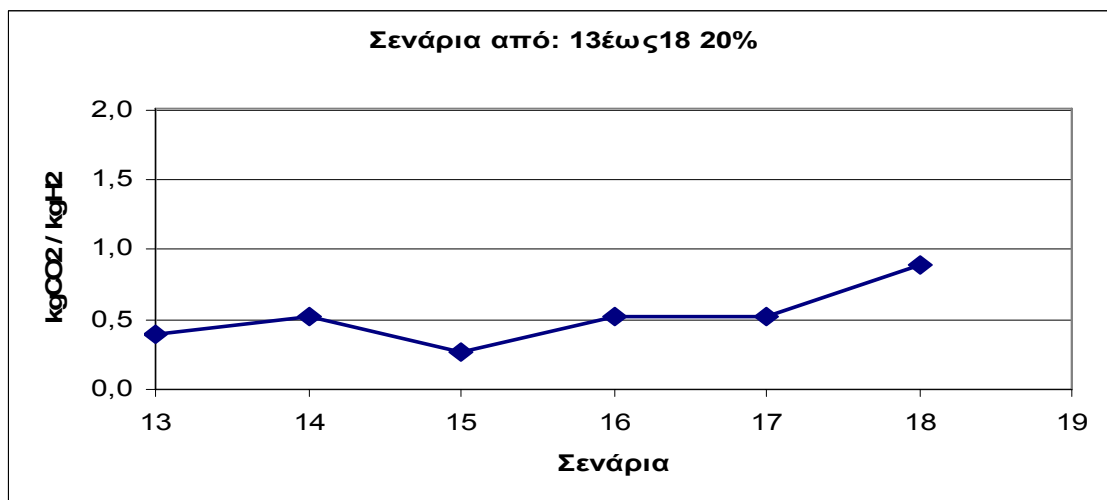
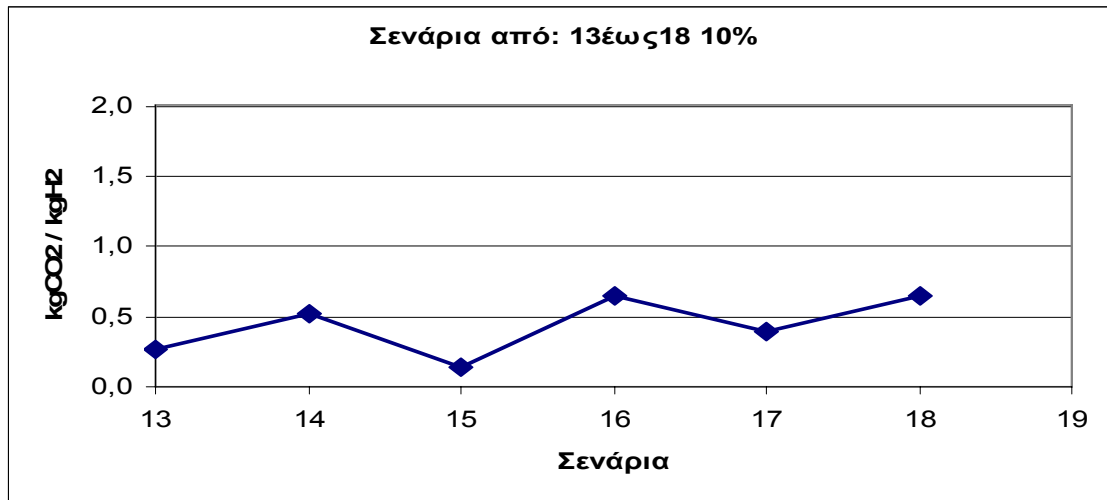
Μεταξύ των σεναρίων 13-18 για διείσδυση 20% η διαφορά της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής είναι για το βαθμό απόδοσης 0,49 %, για την παραγωγή CO₂ 27119 τόνοι και για το κόστος 0,57€/ kgH₂. Οι επιλογές του προγράμματος περιορίζονται λόγω της αύξησης της ενέργειας που απαιτείται και αντίστοιχα στην ανεπάρκεια των πρωτογενών πηγών.

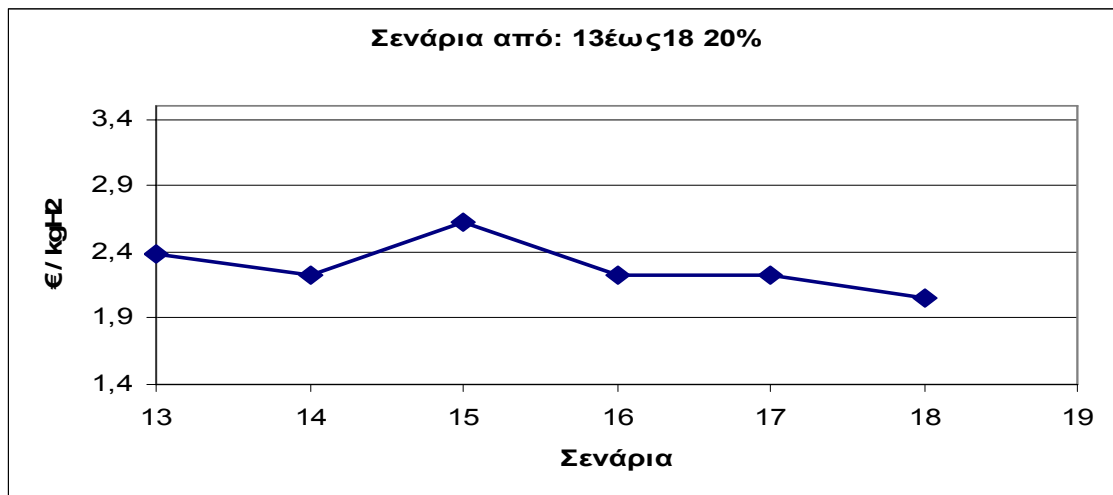
Πίνακας 5.6 Σενάρια 13 έως 18 – Κάθετη ανάλυση για διείσδυση υδρογόνου 20%

Σενάρια	Κριτήρια Σημαντικότητας			Αποτελέσματα			
	Βαθμός Απόδοσης	Παραγωγή CO ₂	Κόστος	Βαθμός Απόδοσης	Παραγωγή CO ₂ tn CO ₂	kgCO ₂ / kgH ₂	Κόστος €/kgH ₂
13	0,8	0,1	0,1	23,72%	16818	0,39	2,39
14	0,8	0,0	0,2	23,69%	22315	0,52	2,23
15	0,5	0,4	0,1	23,75%	11321	0,26	2,62
16	0,5	0,1	0,4	23,69%	22315	0,52	2,23
17	0,2	0,6	0,2	23,69%	22315	0,52	2,23
18	0,2	0,2	0,6	23,27%	38440	0,89	2,05

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα από τις σειρές υπολογισμού 13 και 18 για ποσοστό διείσδυσης υδρογόνου 10% και 20% αντίστοιχα.







Πίνακας 5.7 Αποτελέσματα Ενεργειακών Αλυσίδων

Σενάρια	Α			Β			Γ			Δ			Ε			ΣΤ				
Σειρά	1			2			3			4			5			6				
ποσοστά	A12			A12			A12			A12			A12			A10		A12		
10	100			100			100			100			100			100	10	90		
20	100			100			100			100			100			100	10	90		
30	100			100			100			100			100			100	10	90		
40	100			100			100			100			100			100	10	90		
Σειρά	7			8			9			10			11			12				
ποσοστά	A04	A12	A20	A04	A12	A20	A04	A12	A20	A04	A12	A20	A04	A12	A20	A04	A10	A12	A20	A24
10	40	60		50	50		30	70		60	40		40	60		60		40		
20		100		30	70			100		30	70			100		30	10	50		10
30	20	80		20	80		20	80		20	80		20	80		20		80		
40	10	60	30	10	60	30	10	60	30	10	60	30	10	60	30	10		60	30	
Σειρά	13			14			15			16			17			18				
ποσοστά	A04	A12		A04	A12		A04	A12		A04	A12		A04	A12		A04	A12	A24		
10	10	90		30	70			100		40	60		20	80		40	60			
20	20	80		30	70		10	90		30	70		30	70		30	60	10		
30	20	80		20	80		10	90		20	80		20	80		20	60	20		
40	10	90		10	90		10	90		10	90		10	90		10	50	40		

5.4 Συμπεράσματα

Τα πρώτα 5 σενάρια παρουσιάζουν σε όλες τις περιπτώσεις ίδιας τάξης μεγέθους βαθμού απόδοσης και μόνο το τελευταίο το οποίο αφορά την λύση με έμφαση στην μείωση του κόστους παρουσιάζει μείωση στον βαθμό απόδοσης μικρότερη του 5%. Για την περίπτωση συστημάτων με μειωμένη δυνατότητα επιλογής λύσεων η μείωση του ολικού βαθμού απόδοσης είναι μικρότερη (1%) ενώ για συστήματα όπου μεγάλο εύρος διαθέσιμων πρωτογενών μορφών ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί η διαφοροποίηση του βαθμού απόδοσης είναι μεγαλύτερη.

Στα σενάρια β.α. και περιβαλλοντικής επίδοσης οι λύσεις οδηγούνται σε υψηλή χρήση ΑΠΕ μειώνοντας την όποια κοστολογική επίδραση από την τιμή άλλων διαθέσιμων πρωτογενών πηγών. Τα κριτήρια σημαντικότητας β.α. ή παραγωγής CO₂ δεν παρουσιάζουν μεγάλες μεταβολές στο τελικό κόστος παραγωγής, όταν έχουμε μικρή διείσδυση υδρογόνου 10%, το οποίο ανάγει στο συμπέρασμα ότι έχουν ίδια τάξη μεγέθους επίδραση. Αντίθετα το κριτήριο κόστους αποτελεί κρίσιμο παράγοντα διαφοροποίησης των αποτελεσμάτων, εμπλέκοντας στην τελική επιλογή τεχνολογιών με διαφορετικής κατανομής πρωτογενής ενέργειας. Η αύξηση του ποσοστού διείσδυσης παρουσιάζει διαφοροποίηση σε λύσεις που αφορούν μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μειώνοντας το κόστος αλλά παράλληλα μειώνοντας τον βαθμό απόδοσης του όλου συστήματος.

Για την περαιτέρω αξιολόγηση των αποτελεσμάτων θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα ακόλουθα:

- Η ανάλυση έχει γίνει για τα ίδια ποσοστά διείσδυσης σε διαφορετικές ενεργειακής απαίτησης περιοχές, που οδηγεί σε κάλυψη πολλαπλάσιων αναγκών για την ηπειρωτική περιοχή σε σύγκριση με «αποκεντρωμένου» τύπου περιφέρειες. Για τις περισσότερες τεχνολογικές διατάξεις που έχουν χρησιμοποιηθεί στην βάση δεδομένων δεν ισχύει η οικονομία μεγάλης κλίμακας αλλά η τελική τιμή είναι ανάλογη των ποσοτήτων ενέργειας.
- Οι πρωτογενής πηγές ενέργειας ΑΠΕ παρουσιάζουν διαφορετικό κόστος ανά περιοχή με μικρότερη τιμή στην νησιωτική Ελλάδα
- Η διαθεσιμότητα φυσικού αερίου για παραγωγή υδρογόνου είναι περιορισμένη καλύπτοντας το 10% της υπάρχουσας διαθεσιμότητας δικτύου και άλλων βιομηχανικών και οικιακών χρήσεων.

Στην διαμόρφωση της τελικής αγοράς H₂ η οποία θα στηρίζεται σε αξιοποίηση των τοπικών ενεργειακών πηγών αναμένεται σημαντική διαφοροποίηση του κόστους παραγωγής. Αυτό συνεπάγεται την ανάγκη υιοθέτησης κριτηρίων για την διαμόρφωση κοινής πολιτικής τιμών του προϊόντος. Η αύξηση της παραγόμενης ποσότητας σε CO₂ οφείλεται στον βαθμό δέσμευσης και αποθήκευσης του, ο οποίος ανέρχεται στο 90%

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Περιγραφή προγράμματος Excel

Περιγραφή προγράμματος Excel

Το πρόγραμμα του Excel περιέχει πέντε υπολογιστικά φύλλα (Επιλογές, Υπολογισμός, Αποτελέσματα, Διαθεσιμότητα, Απαιτούμενη Ενέργεια). Στο φύλλο «Διαθεσιμότητα» τοποθετούνται τα στοιχεία που προέκυψαν από την μελέτη της Διαθεσιμότητας των πρωτογενών μορφών ενέργειας και των εξισώσεων κόστους παραγωγής ηλεκτρισμού από τον Άνεμο για κάθε περιοχή της Ελλάδας. Στο φύλλο «Απαιτούμενη Ενέργεια» τοποθετούνται οι συνολικοί και οι μερικοί βαθμοί απόδοσης των ενεργειακών αλυσίδων, η παραγωγή, το κόστος και η πρόβλεψη της ενεργειακής ζήτησης για το έτος 2020 για κάθε περιοχή. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να τροποποιηθούν εφόσον προκύψουν νέα, όπως βελτίωση του βαθμού απόδοσης για κάποια ενεργειακή αλυσίδα ή αλλαγή στην ποσότητα μιας πρωτογενούς μορφής ενέργειας ή ακόμη, να προστεθούν νέες τεχνολογίες στο μέλλον.

Συνδυασμός - επαναληπτική διαδικασία

Η κάθε ενεργειακή αλυσίδα βασίζεται στην πρωτογενή πηγή. Επομένως, από την ποσότητα της πρωτογενούς ενέργειας και από τον βαθμό απόδοσης, προκύπτει εάν η αλυσίδα αυτή μπορεί να καλύψει την ενεργειακή απαίτηση της περιοχής και σε ποιο ποσοστό εφόσον δεν είναι δυνατή η πλήρης κάλυψη. Ο υπολογισμός βασίζεται στον συνδυασμό των αλυσίδων που έχουν επιλεγεί. Κάθε συνδυασμός που καλύπτει το 100% της ενέργειας που απαιτείται αξιολογείται και βαθμολογείται σύμφωνα με τα κριτήρια που προαναφέρθηκαν (B.A, CO₂, κόστος). Ο συνδυασμός που έχει την μεγαλύτερη βαθμολογία λαμβάνεται ως βέλτιστη λύση. Επισημαίνεται ότι βέλτιστη λύση δύναται να είναι μια μεμονωμένη ενεργειακή αλυσίδα και όχι απαραίτητα ένας συνδυασμός.

Στο φύλλο «Επιλογές» του Excel είναι δυνατή η επιλογή των εξής παραμέτρων:

- της περιοχής,
- των ενεργειακών αλυσίδων,
- του ποσοστού διείσδυσης,
- της σημαντικότητας σε καθένα από τα τρία βασικά κριτήρια (B.A., CO₂, κόστος),
- του βήματος των συνδυασμών του ποσοστού,
- κάλυψη των αναγκών οικιακής χρήσης και στον τομέα των μεταφορών.

Με την επιλογή της περιοχής στο πρόγραμμα εμφανίζεται το ολικό ποσό της ενέργειας που έχει προβλεφθεί ότι θα καταναλωθεί το έτος 2020 καθώς και οι ποσότητες των πρωτογενών μορφών ενέργειας, ώστε ο χρήστης να λαμβάνει άμεσα αυτές τις πληροφορίες. Επίσης, κατ' αυτόν τον τρόπο είναι εφικτός ο έλεγχος διαθεσιμότητας από τον χρήστη, ο οποίος γνωρίζοντας ποιο είναι το μέγιστο ποσοστό κάλυψης της κάθε αλυσίδας, έχει την δυνατότητα επιλογής. Το πρόγραμμα είναι δομημένο κατά τέτοιο τρόπο ώστε να υπολογίζει κάθε ενεργειακή αλυσίδα μέχρι την μέγιστη δυνατή κάλυψη. Δεξιά από στήλη επιλογής των αλυσίδων εμφανίζεται η δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών για ποσοστό διείσδυσης 10%. Στην επαναληπτική διαδικασία, η ακρίβεια της βέλτιστης λύσης εξαρτάται από το βήμα που έχει επιλεγεί. Το βήμα μπορεί να είναι από 1% έως και 20% . Όμως, όσο μικρότερο είναι το βήμα τόσο περισσότεροι συνδυασμοί επιτυγχάνονται με αντίστοιχο κόστος στο χρόνο υπολογισμών.

Παρακάτω παρουσιάζεται παράδειγμα συνδυασμού τριών αλυσίδων με βήμα 10%.

A01	0	0	0	...	10	20	...	100
A02	0	10	20		80	80		0
A03	100	90	80		10	0		0

Ο χρήστης επιλέγει επίσης το ποσοστό διείσδυσης του Υδρογόνου στην ενεργειακή κατανάλωση (η δυνατότητα επιλογής κυμαίνεται από 10% έως και 100%), τα κριτήρια σημαντικότητας (B.A., CO₂, κόστος) των οποίων το άθροισμα θα πρέπει να είναι 100% καθώς επίσης τις χρήσεις: οικιακή χρήση και Μεταφορές. Η τελευταία επιλογή υπάρχει για να μπορεί ο χρήστης εύκολα να αξιολογήσει την διείσδυση του Υδρογόνου μόνο στις μεταφορές ή μόνο στην οικιακή χρήση. Με την ολοκλήρωση των επιλογών ο χρήστης πιέζει το πλήκτρο «Analysis» για να ξεκινήσει ο υπολογισμός.

Παρακάτω παρουσιάζονται δύο διαφορετικές περιπτώσεις επιλογών από το φύλλο «Επιλογές»

ΕΠΙΛΟΓΕΣ

Επιλογή Περιοχής :	Βιομάζα	2084,45	Συνολική Κατανάλωση
<input type="text" value="Δυτική Μακεδονία"/>	Άνεμος	2342	GWh/ έτος
	Φυσικό Αέριο	0	1493,6132
	Λιγνίτης	2999,982	

Ποσοστό διείσδυσης από % έως %

Βήμα :

Επιλογή χρήσης :

Οικιακή χρήση

Μεταφορές

Κριτηρια σημαντικότητας για :

Βαθμό απόδοσης	Παραγωγή CO ₂	Κόστος
<input type="text" value="50%"/>	<input type="text" value="25%"/>	<input type="text" value="25%"/>

Επιλογή Αλυσίδων :

		max %
A01	<input type="checkbox"/>	0,00
A02	<input type="checkbox"/>	0,00
A03	<input type="checkbox"/>	0,00
A04	<input type="checkbox"/>	0,00
A05	<input type="checkbox"/>	0,00
A06	<input type="checkbox"/>	0,00
A07	<input type="checkbox"/>	0,00
A08	<input type="checkbox"/>	0,00
A09	<input checked="" type="checkbox"/>	100,00
A10	<input type="checkbox"/>	0,00
A11	<input type="checkbox"/>	0,00
A12	<input type="checkbox"/>	0,00
A13	<input type="checkbox"/>	0,00
A14	<input checked="" type="checkbox"/>	100,00
A15	<input type="checkbox"/>	0,00
A16	<input type="checkbox"/>	0,00
A17	<input type="checkbox"/>	0,00
A18	<input type="checkbox"/>	0,00
A19	<input type="checkbox"/>	0,00
A20	<input checked="" type="checkbox"/>	100,00
A21	<input type="checkbox"/>	0,00
A22	<input type="checkbox"/>	0,00
A23	<input type="checkbox"/>	0,00
A24	<input type="checkbox"/>	0,00
Π01	<input type="checkbox"/>	0,00

ΕΠΙΛΟΓΕΣ

Επιλογή Περιοχής :	Βιομάζα	435,56	Συνολική Κατανάλωση
Αττική	Άνεμος	2000,817	GWh/ έτος
	Φυσικό Αέριο	5582,785	12744,4644
	Λιγνίτης	0	

Ποσοστό διείσδυσης
από % έως %

Βήμα :

Επιλογή χρήσης :

Οικιακή χρήση

Μεταφορές

Κριτήρια σημαντικότητας για :

Βαθμό απόδοσης	Παραγωγή CO ₂	Κόστος
<input type="text" value="50"/>	<input type="text" value="25"/>	<input type="text" value="25"/>

Επιλογή Αλυσίδων :		max %
A01	<input type="checkbox"/>	0,00
A02	<input type="checkbox"/>	0,00
A03	<input checked="" type="checkbox"/>	82,22
A04	<input checked="" type="checkbox"/>	100,00
A05	<input type="checkbox"/>	0,00
A06	<input type="checkbox"/>	0,00
A07	<input type="checkbox"/>	0,00
A08	<input checked="" type="checkbox"/>	97,06
A09	<input type="checkbox"/>	0,00
A10	<input type="checkbox"/>	0,00
A11	<input type="checkbox"/>	0,00
A12	<input type="checkbox"/>	0,00
A13	<input type="checkbox"/>	0,00
A14	<input type="checkbox"/>	0,00
A15	<input type="checkbox"/>	0,00
A16	<input type="checkbox"/>	0,00
A17	<input type="checkbox"/>	0,00
A18	<input type="checkbox"/>	0,00
A19	<input type="checkbox"/>	0,00
A20	<input type="checkbox"/>	0,00
A21	<input type="checkbox"/>	0,00
A22	<input type="checkbox"/>	0,00
A23	<input type="checkbox"/>	0,00
A24	<input type="checkbox"/>	0,00
P01	<input type="checkbox"/>	0,00

Στο φύλλο «Αποτελέσματα» παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για κάθε υπολογισμό. Η κάθε σειρά υπολογισμών ξεχωρίζει καθώς υπάρχει αύξοντας αριθμός στην στήλη A και δίνονται όλες οι πληροφορίες για τις επιλογές που έκανε ο χρήστης. Στην πρώτη γραμμή του φύλλου υπάρχουν τρία πλήκτρα και κελιά στα οποία ο χρήστης έχει να επιλέξει κάποιες παραμέτρους για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Τα κελιά στα οποία ο χρήστης πρέπει να εισάγει τιμές είναι σε μαύρο πλαίσιο.

Το πλήκτρο «Clear-Reset» εφόσον πιεστεί εμφανίζεται μήνυμα στην οθόνη που ρωτάει τον χρήστη αν θέλει να σβήσει όλα τα αποτελέσματα. Εάν ο χρήστης επιλέξει «Yes» τότε διαγράφονται όλα τα αποτελέσματα και το πρόγραμμα θα αριθμήσει οποιαδήποτε άλλη σειρά υπολογισμού από το 1. Η επιλογή «No» ακυρώνει την διαγραφή.

Το πλήκτρο «vertical process» εφόσον πιεστεί εκκινεί την διαδικασία επεξεργασίας των αποτελεσμάτων μεταξύ σειρών υπολογισμού. Για να είναι δυνατή η διαδικασία ο χρήστης πρέπει να επιλέξει το εύρος των σειρών. Οι επιλογές αυτές γίνονται στα κελιά H1, H2 αντίστοιχα. Το ποσοστό διείσδυσης επιλέγεται μέσα από την λίστα που ανοίγει ακριβώς κάτω από τις παραπάνω επιλογές στην θέση του κελιού H3. Στο κελί I2 ο χρήστης επιλέγει το νούμερο με το οποίο θα ονομαστεί αυτόματα το φύλλο με τα επεξεργασμένα αποτελέσματα. Προτείνεται η αρχική τιμή να είναι 1. Το πρόγραμμα θα αλλάζει αυτόματα την τιμή αυτή μετά από κάθε επιτυχή επεξεργασία κατά 1. Στην περίπτωση δημιουργίας φύλλου με την ίδια ονομασία εμφανίζεται προειδοποίηση και διακόπτεται η επεξεργασία. Σε αυτήν την περίπτωση ο χρήστης θα πρέπει να αλλάξει την τιμή στο κελί I2. Το πρώτο φύλλο που δημιουργείται με τα επεξεργασμένα αποτελέσματα έχει τίτλο «v_1» (εφόσον στο κελί I2 η τιμή είναι 1).

Το πλήκτρο «horizontal process» εκκινεί την διαδικασία της οριζόντιας επεξεργασίας των αποτελεσμάτων μιας σειράς υπολογισμών. Ο χρήστης πρέπει να επιλέξει ποια σειρά υπολογισμών επιθυμεί να επεξεργαστεί στο κελί L1. Στο κελί K2, όπως και στο προηγούμενο πλήκτρο, η πρώτη τιμή είναι 1 και αυξάνει αυτόματα μετά από την επεξεργασία. Στην περίπτωση που ένα νέο φύλλο έχει τον ίδιο τίτλο με ένα υπάρχον το πρόγραμμα προειδοποιεί ότι είναι απαραίτητη η αλλαγή στο κελί K2. Οι τίτλοι των φύλλων οριζόντιας επεξεργασίας έχουν την μορφή «h_1».

Ακολουθεί παράδειγμα αποτελεσμάτων.

Αποτελέσματα

				Clear- Reset				
Σειρά Υπολογισμών 1	Περιοχή Δυτική Μακεδονία	Κριτήρια Σημαντικότητας	Βαθμός Απόδοσης 0,5	Παραγωγή kg CO2 0,25	Κόστος € 0,25	Βήμα 20	Οικιακή 1	Μεταφορές 1
	max %	Ποσοστό διείσδυσης ->	10	βαθμός Απόδοσης	Ποσό kg CO2	Κοστος € του συνόλου kWh H2 Πριν το FC		
0	0	A01	0	0	0	0		
0	0	A02	0	0	0	0		
0	0	A03	0	0	0	0		
0	0	A04	0	0	0	0		
0	0	A05	0	0	0	0		
0	0	A06	0	0	0	0		
0	0	A07	0	0	0	0		
0	0	A08	0	0	0	0		
0	0	A09	0	0	0	0		
100	100	A10	40	0,0592249	39940070,5	9875887,789		
0	0	A11	0	0	0	0		
0	0	A12	0	0	0	0		
0	0	A13	0	0	0	0		
100	100	A14	60	0,08883735	59910105,75	22241937,18		
0	0	A15	0	0	0	0		
0	0	A16	0	0	0	0		
0	0	A17	0	0	0	0		
100	100	A18	0	0	0	0		
0	0	A19	0	0	0	0		
0	0	A20	0	0	0	0		
0	0	A21	0	0	0	0		
0	0	A22	0	0	0	0		
0	0	A23	0	0	0	0		
0	0	A24	0	0	0	0		
0	0	Π01	0	0	0	0		
			Σύνολο	0,14806225	99850176,25	32117824,97		
			Σύνολο/kgH2		9,22723528	2,968034097		

Παράδειγμα φύλλου «Απαιτούμενη Ενέργεια»:

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

[energeia_2020.xls](#)

Περιοχές	Για οικιακή χρήση		Μεταφορές GWh/ έτος			
	GWh/ έτος	GWh/ έτος				
P00	Σύνολο Ελλάδος	22.906,4634	35433,00		22906,463	35433,00
P01	Ανατολική Μακεδονία-Θράκη	964,3861	2.005,0511	1	964,38611	2005,05
P02	Κεντρική Μακεδονία	3.804,3837	6.238,1964		3804,3837	6238,20
P03	Δυτική Μακεδονία	520,6597	972,9535		520,65969	972,95
P04	Θεσσαλία	1.291,0063	2.456,2860		1291,0063	2456,29
P05	Ηπειρος	614,3965	1.120,2205		614,39648	1120,22
P06	Ιόνιοι Νήσοι	407,9964	702,4989		407,99635	702,50
P07	Εύβοιας	490,7665	698,7015		490,7665	698,70
P08	Στερεά Ελλάς	953,1412	1.895,2457		953,1412	1895,25
P09	Πελοπόννησος	2.181,6233	3.625,1464		2.181,6233	3625,15
P10	Αττική	9.416,6761	12.744,4644		9.416,6761	12744,46
P11	Βόρειο Αιγαίο	370,0197	66,0545		370,0197	66,05
P12	Νότιο Αιγαίο	782,5010	968,8894		782,5010	968,89
P13	Κρήτη	1.108,9068	1.939,2949		1.108,9068	1939,29

ημερομηνία	ώρα
Τελευταία ενημέρωση	22/6/2007 12:10

Ο παρακάτω πίνακας έχει ληφθεί από το [diplomatiki_Teliko](#) από το φύλλο αλυσίδες [diplomatiki_TELIKO.xls](#)

Α01 SMR central	Αρχική πηγή	Βαθμός Απόδοσης	Βαθμός Ατ CO2 kg/kV €/kWh H2			
			11,68%	41,72%	0,266377	0,1542891
A02 SMR central	Φυσικό Αέριο	Υγροποίηση - Μεταφορά PEM 250-	14,60%	41,72%	0,266377	0,1542891
A03 SMR central	Φυσικό Αέριο	Συμπίεση pipeline 30bar PEM 10-7:	18,77%	67,03%	0,035829	0,0712037
A04 SMR central	Φυσικό Αέριο	Συμπίεση pipeline 30bar PEM 250-	23,46%	67,03%	0,035829	0,0712037
A05 SMR De-central	Φυσικό Αέριο	Υγροποίηση - Μεταφορά PEM 10-7:	11,03%	39,41%	0,266377	0,1579996
A06 SMR De-central	Φυσικό Αέριο	Υγροποίηση - Μεταφορά PEM 250-	13,79%	39,41%	0,266377	0,1579996
A07 SMR De-central	Φυσικό Αέριο	Συμπίεση pipeline 30bar PEM 10-7:	17,73%	63,31%	0,035829	0,0749142
A08 SMR De-central	Φυσικό Αέριο	Συμπίεση pipeline 30bar PEM 250-	22,16%	63,31%	0,035829	0,0749142
A09 wind central	Άνεμος	Υγροποίηση - Μεταφορά PEM 10-7:	11,84%	42,30%	0,23398	0,0912104
A10 wind central	Άνεμος	Υγροποίηση - Μεταφορά PEM 250-	14,81%	42,30%	0,23398	0,0912104
A11 wind central	Άνεμος	Συμπίεση pipeline 30bar PEM 10-7:	19,03%	67,96%	0,003432	0,008125

Κώδικας στη Visual Basic for Application με τον οποίο είναι δυνατός ο συνδυασμός των ενεργειακών αλυσίδων, και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε ξεχωριστό φύλλο υπολογισμού:

```
Sub Schaltflache1_KlickenSieAuf()  
  
bima = Worksheets("Υπολογισμός").Range("d1")  
Dim arxikopososto As Integer  
Dim ia As Integer  
Dim i1 As Integer  
Dim i2 As Integer  
Dim i3 As Integer  
Dim i4 As Integer  
Dim i5 As Integer  
Dim i6 As Integer  
Dim i7 As Integer  
Dim i8 As Integer  
Dim i9 As Integer  
Dim i10 As Integer  
Dim i11 As Integer  
Dim i12 As Integer  
Dim i13 As Integer  
Dim i14 As Integer  
Dim i15 As Integer  
Dim i16 As Integer  
Dim i17 As Integer  
Dim i18 As Integer  
Dim i19 As Integer  
Dim i20 As Integer  
Dim i21 As Integer  
Dim i22 As Integer  
Dim i23 As Integer  
Dim i24 As Integer  
Dim i25 As Integer  
Dim telikopososto As Integer  
Dim m2 As Integer  
Dim m3 As Integer  
Dim m4 As Integer  
Dim m5 As Integer  
Dim m6 As Integer  
Dim m7 As Integer  
Dim m8 As Integer  
Dim m9 As Integer  
Dim m10 As Integer  
Dim m11 As Integer  
Dim m12 As Integer  
Dim m13 As Integer  
Dim m14 As Integer  
Dim m15 As Integer  
Dim m16 As Integer  
Dim m17 As Integer  
Dim m18 As Integer  
Dim m19 As Integer  
Dim m20 As Integer  
Dim m21 As Integer  
Dim m22 As Integer  
Dim m23 As Integer  
Dim m24 As Integer  
Dim m25 As Integer  
seiraYpologismon = Worksheets("Επιλογές").Range("d50")
```

grammi = (seiraYpologismon - 1) * 32 + 6

Τα max αντιπροσωπεύουν τις μέγιστες ποσότητες που μπορεί να πάρει μια αλυσίδα

arxikopososto = Worksheets("Υπολογισμός").Range("g1").Value

telikopososto = Worksheets("Υπολογισμός").Range("h1").Value

Έπαναληπτική διαδικασία

For ia = arxikopososto To telikopososto

Worksheets("Υπολογισμός").Range("g2").Value = ia

xstili = Worksheets("Υπολογισμός").Range("g2").Value * 7 - 3

veltisto1 = 0

max1 = Worksheets("Υπολογισμός").Range("q4").Value

max2 = Worksheets("Υπολογισμός").Range("q5").Value

max3 = Worksheets("Υπολογισμός").Range("q6").Value

max4 = Worksheets("Υπολογισμός").Range("q7").Value

max5 = Worksheets("Υπολογισμός").Range("q8").Value

max6 = Worksheets("Υπολογισμός").Range("q9").Value

max7 = Worksheets("Υπολογισμός").Range("q10").Value

max8 = Worksheets("Υπολογισμός").Range("q11").Value

max9 = Worksheets("Υπολογισμός").Range("q12").Value

max10 = Worksheets("Υπολογισμός").Range("q13").Value

max11 = Worksheets("Υπολογισμός").Range("q14").Value

max12 = Worksheets("Υπολογισμός").Range("q15").Value

max13 = Worksheets("Υπολογισμός").Range("q16").Value

max14 = Worksheets("Υπολογισμός").Range("q17").Value

max15 = Worksheets("Υπολογισμός").Range("q18").Value

max16 = Worksheets("Υπολογισμός").Range("q19").Value

max17 = Worksheets("Υπολογισμός").Range("q20").Value

max18 = Worksheets("Υπολογισμός").Range("q21").Value

max19 = Worksheets("Υπολογισμός").Range("q22").Value

max20 = Worksheets("Υπολογισμός").Range("q23").Value

max21 = Worksheets("Υπολογισμός").Range("q24").Value

max22 = Worksheets("Υπολογισμός").Range("q25").Value

max23 = Worksheets("Υπολογισμός").Range("q26").Value

max24 = Worksheets("Υπολογισμός").Range("q27").Value

max25 = Worksheets("Υπολογισμός").Range("q28").Value

For i1 = 0 To max1 Step bima

m2 = max2 - i1

If max2 < 100 Then

m2 = max2

End If

For i2 = 0 To m2 Step bima

m3 = max3 - (i2 + i1)

If max3 < 100 Then

m3 = max3

End If

For i3 = 0 To m3 Step bima

m4 = max4 - (i3 + i2 + i1)

If max4 < 100 Then

m4 = max4

End If

For i4 = 0 To m4 Step bima

m5 = max5 - (i4 + i3 + i2 + i1)

If max5 < 100 Then

m5 = max5

End If

For i5 = 0 To m5 Step bima

m6 = max6 - (i5 + i4 + i3 + i2 + i1)

If max6 < 100 Then

m6 = max6

```

End If
For i6 = 0 To m6 Step bima
m7 = max7 - (i6 + i5 + i4 + i3 + i2 + i1)
If max7 < 100 Then
m7 = max7
End If
For i7 = 0 To m7 Step bima
m8 = max8 - (i7 + i6 + i5 + i4 + i3 + i2 + i1)
If max8 < 100 Then
m8 = max8
End If
For i8 = 0 To m8 Step bima
m9 = max9 - (i8 + i7 + i6 + i5 + i4 + i3 + i2 + i1)
If max9 < 100 Then
m9 = max9
End If
For i9 = 0 To m9 Step bima
m10 = max10 - (i9 + i8 + i7 + i6 + i5 + i4 + i3 + i2 + i1)
If max10 < 100 Then
m10 = max10
End If
For i10 = 0 To m10 Step bima
m11 = max11 - (i10 + i9 + i8 + i7 + i6 + i5 + i4 + i3 + i2 + i1)
If max11 < 100 Then
m11 = max11
End If
For i11 = 0 To m11 Step bima
m12 = max12 - (i11 + i10 + i9 + i8 + i7 + i6 + i5 + i4 + i3 + i2 + i1)
If max12 < 100 Then
m12 = max12
End If
For i12 = 0 To m12 Step bima
m13 = max13 - (i12 + i11 + i10 + i9 + i8 + i7 + i6 + i5 + i4 + i3 + i2 + i1)
If max13 < 100 Then
m13 = max13
End If
For i13 = 0 To m13 Step bima
m14 = max14 - (i13 + i12 + i11 + i10 + i9 + i8 + i7 + i6 + i5 + i4 + i3 + i2 + i1)
If max14 < 100 Then
m14 = max14
End If
For i14 = 0 To m14 Step bima
m15 = max15 - (i14 + i13 + i12 + i11 + i10 + i9 + i8 + i7 + i6 + i5 + i4 + i3 + i2 + i1)
If max15 < 100 Then
m15 = max15
End If
For i15 = 0 To m15 Step bima
m16 = max16 - (i15 + i14 + i13 + i12 + i11 + i10 + i9 + i8 + i7 + i6 + i5 + i4 + i3 + i2 + i1)
If max16 < 100 Then
m16 = max16
End If
For i16 = 0 To m16 Step bima
m17 = max17 - (i16 + i15 + i14 + i13 + i12 + i11 + i10 + i9 + i8 + i7 + i6 + i5 + i4 + i3 + i2 + i1)
If max17 < 100 Then
m17 = max17
End If
For i17 = 0 To m17 Step bima
m18 = max18 - (i17 + i16 + i15 + i14 + i13 + i12 + i11 + i10 + i9 + i8 + i7 + i6 + i5 + i4 + i3 + i2 + i1)
If max18 < 100 Then
m18 = max18

```



```

End If
For i18 = 0 To m18 Step bima
m19 = max19 - (i18 + i17 + i16 + i15 + i14 + i13 + i12 + i11 + i0 + i9 + i8 + i7 + i6 + i5 + i4 + i3 + i2 + i1)
If max19 < 100 Then
m19 = max19
End If
For i19 = 0 To m19 Step bima
m20 = max20 - (i19 + i18 + i17 + i16 + i15 + i14 + i13 + i12 + i11 + i0 + i9 + i8 + i7 + i6 + i5 + i4 + i3 + i2 + i1)
If max20 < 100 Then
m20 = max20
End If
For i20 = 0 To m20 Step bima
m21 = max21 - (i20 + i19 + i18 + i17 + i16 + i15 + i14 + i13 + i12 + i11 + i0 + i9 + i8 + i7 + i6 + i5 + i4 + i3 + i2 + i1)
If max21 < 100 Then
m21 = max21
End If
For i21 = 0 To m21 Step bima
m22 = max22 - (i21 + i20 + i19 + i18 + i17 + i16 + i15 + i14 + i13 + i12 + i11 + i0 + i9 + i8 + i7 + i6 + i5 + i4 + i3 + i2 + i1)
If max22 < 100 Then
m22 = max22
End If
For i22 = 0 To m22 Step bima
m23 = max23 - (i22 + i21 + i20 + i19 + i18 + i17 + i16 + i15 + i14 + i13 + i12 + i11 + i0 + i9 + i8 + i7 + i6 + i5 + i4 + i3 + i2 + i1)
If max23 < 100 Then
m23 = max23
End If
For i23 = 0 To m23 Step bima
m24 = max24 - (i23 + i22 + i21 + i20 + i19 + i18 + i17 + i16 + i15 + i14 + i13 + i12 + i11 + i0 + i9 + i8 + i7 + i6 + i5 + i4 + i3 + i2 + i1)
If max24 < 100 Then
m24 = max24
End If
For i24 = 0 To m24 Step bima
m25 = max25 - (i24 + i23 + i22 + i21 + i20 + i19 + i18 + i17 + i16 + i15 + i14 + i13 + i12 + i11 + i0 + i9 + i8 + i7 + i6 + i5 + i4 + i3 + i2 + i1)
If max25 < 100 Then
m25 = max25
End If
For i25 = 0 To m25 Step bima

```

```

If (i1 + i2 + i3 + i4 + i5 + i6 + i7 + i8 + i9 + i10 + i11 + i12 + i13 + i14 + i15 + i16 + i17 + i18 + i19 + i20 + i21 + i22 + i23 + i24 + i25 = 100) Then

```

```

' Από εδώ και πέρα υπολογίζουμε στο φύλλο "Υπολογισμός"

```

```

Worksheets("Υπολογισμός").Range("D4").Value = i1
Worksheets("Υπολογισμός").Range("D5").Value = i2
Worksheets("Υπολογισμός").Range("D6").Value = i3
Worksheets("Υπολογισμός").Range("D7").Value = i4
Worksheets("Υπολογισμός").Range("D8").Value = i5
Worksheets("Υπολογισμός").Range("D9").Value = i6
Worksheets("Υπολογισμός").Range("D10").Value = i7
Worksheets("Υπολογισμός").Range("D11").Value = i8
Worksheets("Υπολογισμός").Range("D12").Value = i9
Worksheets("Υπολογισμός").Range("D13").Value = i10
Worksheets("Υπολογισμός").Range("D14").Value = i11

```

```
Worksheets("Υπολογισμός").Range("D15").Value = i12
Worksheets("Υπολογισμός").Range("D16").Value = i13
Worksheets("Υπολογισμός").Range("D17").Value = i14
Worksheets("Υπολογισμός").Range("D18").Value = i15
Worksheets("Υπολογισμός").Range("D19").Value = i16
Worksheets("Υπολογισμός").Range("D20").Value = i17
Worksheets("Υπολογισμός").Range("D21").Value = i18
Worksheets("Υπολογισμός").Range("D22").Value = i19
Worksheets("Υπολογισμός").Range("D23").Value = i20
Worksheets("Υπολογισμός").Range("D24").Value = i21
Worksheets("Υπολογισμός").Range("D25").Value = i22
Worksheets("Υπολογισμός").Range("D26").Value = i23
Worksheets("Υπολογισμός").Range("D27").Value = i24
Worksheets("Υπολογισμός").Range("D28").Value = i25
acontrol = Worksheets("Υπολογισμός").Range("d37").Value
If acontrol = 0 Then
```

'Έγινε ο υπολογισμός

```
If (Worksheets("Υπολογισμός").Range("P5").Value > veltisto1) Then
veltisto1 = Worksheets("Υπολογισμός").Range("P5").Value
```

'Πληροφορίες για τις επιλογές που έγιναν

```
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells(grammi - 2, arxikopososto + 2).Value = ("Κριτήρια
σημαντικότητας")
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells(grammi - 1, arxikopososto + 3).Value =
Worksheets("Επιλογές").Range("c30").Value
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi - 2, arxikopososto + 3).Value = ("Βαθμός Απόδοσης")
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi - 1, arxikopososto + 4).Value =
Worksheets("Επιλογές").Range("e30").Value
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi - 2, arxikopososto + 4).Value = (" Παραγωγή CO2")
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi - 1, arxikopososto + 5).Value =
Worksheets("Επιλογές").Range("g30").Value
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi - 2, arxikopososto + 5).Value = ("Κόστος")
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi - 2, arxikopososto + 1).Value = ("Περιοχή")
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi - 2, arxikopososto).Value = ("Σειρά Υπολογισμών")
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi - 1, arxikopososto).Value = seiraΥπολογισμον
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi - 1, arxikopososto + 1).Value = Worksheets
("Υπολογισμός").Range ("a3").Value
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi, xstili - 1).Value = ("Ποσοστό διείδυσης ->")
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi, xstili - 2).Value = ("max %")
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi - 2, arxikopososto + 6).Value = ("Βήμα")
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi - 1, arxikopososto + 6).Value = bima
If Worksheets("Υπολογισμός ").Range("a12").Value = 1 Then
Worksheets("Αποτελέσματα ").Cells(grammi - 2, arxikopososto + 7).Value = ("Οικιακή")
End If
If Worksheets("Υπολογισμός ").Range("a25").Value = 1 Then
Worksheets("Αποτελέσματα ").Cells(grammi - 2, arxikopososto + 8).Value = ("Μεταφορές")
End If
Worksheets("Αποτελέσματα ").Cells(grammi - 2, arxikopososto + 9).Value = ("Διείδυση μέχρι :")
Worksheets("Αποτελέσματα ").Cells(grammi - 1, arxikopososto + 9).Value =
Worksheets("Υπολογισμός").Range("h1").Value
Worksheets("Αποτελέσματα ").Cells(grammi - 2, arxikopososto + 10).Value = ("Διείδυση από :")
Worksheets("Αποτελέσματα ").Cells(grammi - 1, arxikopososto + 10).Value =
Worksheets("Υπολογισμός").Range("g1").Value
'Αποτελέσματα Αλυσίδες - ποσοστά
Worksheets ("Αποτελέσματα"). Cells (grammi, xstili).Value = ia * 10
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 1, xstili).Value = i1
Worksheets ("Αποτελέσματα"). Cells (grammi + 2, xstili).Value = i2
Worksheets ("Αποτελέσματα"). Cells (grammi + 3, xstili).Value = i3
Worksheets ("Αποτελέσματα"). Cells (grammi + 4, xstili).Value = i4
```

Worksheets ("Αποτελέσματα"). Cells (grammi + 5, xstili).Value = i5
 Worksheets ("Αποτελέσματα"). Cells (grammi + 6, xstili).Value = i6
 Worksheets ("Αποτελέσματα"). Cells (grammi + 7, xstili).Value = i7
 Worksheets ("Αποτελέσματα"). Cells (grammi + 8, xstili).Value = i8
 Worksheets ("Αποτελέσματα"). Cells (grammi + 9, xstili).Value = i9
 Worksheets ("Αποτελέσματα"). Cells (grammi + 10, xstili).Value = i10
 Worksheets ("Αποτελέσματα"). Cells(grammi + 11, xstili).Value = i11
 Worksheets ("Αποτελέσματα"). Cells (grammi + 12, xstili).Value = i12
 Worksheets ("Αποτελέσματα"). Cells(grammi + 13, xstili).Value = i13
 Worksheets ("Αποτελέσματα"). Cells (grammi + 14, xstili).Value = i14
 Worksheets ("Αποτελέσματα"). Cells(grammi + 15, xstili).Value = i15
 Worksheets ("Αποτελέσματα"). Cells (grammi + 16, xstili).Value = i16
 Worksheets ("Αποτελέσματα"). Cells(grammi + 17, xstili).Value = i17
 Worksheets ("Αποτελέσματα"). Cells (grammi + 18, xstili).Value = i18
 Worksheets ("Αποτελέσματα"). Cells(grammi + 19, xstili).Value = i19
 Worksheets ("Αποτελέσματα"). Cells (grammi + 20, xstili).Value = i20
 Worksheets ("Αποτελέσματα"). Cells(grammi + 21, xstili).Value = i21
 Worksheets ("Αποτελέσματα"). Cells (grammi + 22, xstili).Value = i22
 Worksheets ("Αποτελέσματα"). Cells(grammi + 23, xstili).Value = i23
 Worksheets ("Αποτελέσματα"). Cells (grammi + 24, xstili).Value = i24
 Worksheets ("Αποτελέσματα"). Cells(grammi + 25, xstili).Value = i25
 Worksheets ("Αποτελέσματα"). Cells (grammi + 27, xstili).Value = "Σύνολο"
 Worksheets ("Αποτελέσματα"). Cells (grammi + 28, xstili).Value = "Σύνολο/kgH2"

Έμφάνιση των max ποσοστών για να ξεχωρίζουν οι επιλεγμένες αλυσίδες

Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 1, xstili - 2).Value = max1
 Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 2, xstili - 2).Value = max2
 Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 3, xstili - 2).Value = max3
 Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 4, xstili - 2).Value = max4
 Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 5, xstili - 2).Value = max5
 Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 6, xstili - 2).Value = max6
 Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 7, xstili - 2).Value = max7
 Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 8, xstili - 2).Value = max8
 Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 9, xstili - 2).Value = max9
 Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 10, xstili - 2).Value = max10
 Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 11, xstili - 2).Value = max11
 Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 12, xstili - 2).Value = max12
 Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 13, xstili - 2).Value = max13
 Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 14, xstili - 2).Value = max14
 Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 15, xstili - 2).Value = max15
 Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 16, xstili - 2).Value = max16
 Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 17, xstili - 2).Value = max17
 Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 18, xstili - 2).Value = max18
 Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 19, xstili - 2).Value = max19
 Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 20, xstili - 2).Value = max20
 Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 21, xstili - 2).Value = max21
 Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 22, xstili - 2).Value = max22
 Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 23, xstili - 2).Value = max23
 Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 24, xstili - 2).Value = max24
 Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 25, xstili - 2).Value = max25

Αποτελέσματα για τις Αλυσίδες

Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 1, xstili - 1).Value = Worksheets
 ("Υπολογισμός").Range("b4").Value
 Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 2, xstili - 1).Value = Worksheets
 ("Υπολογισμός").Range("b5").Value
 Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 3, xstili - 1).Value = Worksheets ("Υπολογισμός").Range
 ("b6").Value
 Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 4, xstili - 1).Value = Worksheets ("Υπολογισμός").Range
 ("b7").Value


```

Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 11, xstili + 3).Value = Worksheets ("Υπολογισμός").Range
("m14").Value
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 12, xstili + 3).Value = Worksheets ("Υπολογισμός").Range
("m15").Value
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 13, xstili + 3).Value = Worksheets ("Υπολογισμός").Range
("m16").Value
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 14, xstili + 3).Value = Worksheets ("Υπολογισμός").Range
("m17").Value
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 15, xstili + 3).Value = Worksheets ("Υπολογισμός").Range
("m18").Value
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 16, xstili + 3).Value = Worksheets ("Υπολογισμός").Range
("m19").Value
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 17, xstili + 3).Value = Worksheets ("Υπολογισμός").Range
("m20").Value
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 18, xstili + 3).Value = Worksheets ("Υπολογισμός").Range
("m21").Value
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 19, xstili + 3).Value = Worksheets ("Υπολογισμός").Range
("m22").Value
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 20, xstili + 3).Value = Worksheets ("Υπολογισμός").Range
("m23").Value
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 21, xstili + 3).Value = Worksheets ("Υπολογισμός").Range
("m24").Value
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 22, xstili + 3).Value = Worksheets ("Υπολογισμός").Range
("m25").Value
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 23, xstili + 3).Value = Worksheets ("Υπολογισμός").Range
("m26").Value
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 24, xstili + 3).Value = Worksheets ("Υπολογισμός").Range
("m27").Value
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 25, xstili + 3).Value = Worksheets ("Υπολογισμός").Range
("m28").Value
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 27, xstili + 3).Value = Worksheets ("Υπολογισμός").Range
("m30").Value
Worksheets ("Αποτελέσματα").Cells (grammi + 28, xstili + 3).Value = Worksheets ("Υπολογισμός").Range
("m31").Value
End If
End If
End If
Next i25
Next i24
Next i23
Next i22
Next i21
Next i20
Next i19
Next i18
Next i17
Next i16
Next i15
Next i14
Next i13
Next i12
Next i11
Next i10
Next i9
Next i8
Next i7
Next i6
Next i5
Next i4
Next i3

```

```

Next i2
Next i1
Next ia
Worksheets("Επιλογές").Range("d50").Value = seiraYpologismon + 1
End Sub

```

Κώδικας για τα πλήκτρα «Clear-Reset», «vertical Process» και «horizontal Process»

```

Private Sub RESET_Click()
Dim resetans As String
resetans = MsgBox("Θέλετε να σβήσετε όλα τα αποτελέσματα;", vbYesNo)
If resetans = vbNo Then
Exit Sub
Else
Worksheets("Αποτελέσματα").Range("A4:ED696").ClearContents
Worksheets("Επιλογές").Range("d50").Value = 1

End If
End Sub

```

```

Private Sub vertical_Click()
Dim wsv As Worksheet
Dim verprocess As String
Dim newSheetNamev As String
Dim arxikiseira As Integer
Dim telikiseira As Integer
Dim vpososto As Integer
Dim grammiv As Integer
Dim seirav As Integer
Dim onoma As String
Dim ba As String
Dim co2 As String
Dim kostos As String
Dim stiliv As Integer

```

```

' kathorismos syntetagmenon
arxikiseira = Worksheets("Αποτελέσματα").Range("h1")
telikiseira = Worksheets("Αποτελέσματα").Range("h2")
vpososto = Worksheets("Αποτελέσματα").Range("h3")
nvgrammi = 5
nvstili = 3

```

```

'onomasia toy worksheet pou ανοιγει & elegchos
verprocess = Worksheets("Αποτελέσματα").Range("i2")
newSheetNamev = "v_" & verprocess
For Each wsv In Worksheets
    If wsv.Name = newSheetNamev Or newSheetNamev = "" Or IsNumeric(newSheetNamev) Then
        MsgBox "Δεν είναι δυνατή η επεξεργασία Αλλάξτε το κελί I2", vbInformation
        Exit Sub
    End If
Next
Sheets.Add Type:="Worksheet"
With ActiveSheet
    .Move after:=Worksheets(Worksheets.Count)
    .Name = newSheetNamev

End With

```

```

'perigrafi toy pinaka
Worksheets(newSheetNamev).Cells(nvgrammi, nvstili).Value = ("Σενάρια")

```



```
Worksheets(newSheetNameev).Cells(nvgrammi - 1, nvstili + 1).Value = ("Κριτήρια Σημαντικότητας")
Worksheets(newSheetNameev).Cells(nvgrammi, nvstili + 1).Value = ("Βαθμός Απόδοσης")
Worksheets(newSheetNameev).Cells(nvgrammi, nvstili + 2).Value = ("Παραγωγή kg CO2")
Worksheets(newSheetNameev).Cells(nvgrammi, nvstili + 3).Value = ("Κόστος €")
Worksheets(newSheetNameev).Cells(nvgrammi, nvstili + 4).Value = ("Περιοχή")
Worksheets(newSheetNameev).Cells(nvgrammi - 1, nvstili + 5).Value = ("Ποσοστό διείσδυσης")
Worksheets(newSheetNameev).Cells(nvgrammi, nvstili + 5).Value = ("Βήμα")
Worksheets(newSheetNameev).Cells(nvgrammi, nvstili + 6).Value = ("Χρήσεις")
Worksheets(newSheetNameev).Cells(nvgrammi, nvstili + 8).Value = ("B.A.")
Worksheets(newSheetNameev).Cells(nvgrammi, nvstili + 9).Value = ("kg CO2")
Worksheets(newSheetNameev).Cells(nvgrammi, nvstili + 10).Value = ("kgCO2 / kgH2")
Worksheets(newSheetNameev).Cells(nvgrammi, nvstili + 11).Value = ("€")
Worksheets(newSheetNameev).Cells(nvgrammi, nvstili + 12).Value = ("€ / kgH2")
Worksheets(newSheetNameev).Cells(nvgrammi, nvstili + 13).Value = ("€ / 1000kgCO2")
Worksheets(newSheetNameev).Cells(nvgrammi - 1, nvstili + 6).Value = vpososto
```

For iv = arxikiseira To telikiseira

grammiv = (iv - 1) * 33 + 6

astiliv = 4

stiliv = vpososto * 7 - 3

'sympilirisi stoiceiwn pinaka apo apotelesmata gia to senario

```
Worksheets(newSheetNameev).Cells(nvgrammi + iv, nvstili).Value =
Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammiv - 1, astiliv - 3).Value
Worksheets(newSheetNameev).Cells(nvgrammi + iv, nvstili + 1).Value =
Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammiv - 1, astiliv).Value
Worksheets(newSheetNameev).Cells(nvgrammi + iv, nvstili + 2).Value =
Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammiv - 1, astiliv + 1).Value
Worksheets(newSheetNameev).Cells(nvgrammi + iv, nvstili + 3).Value =
Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammiv - 1, astiliv + 2).Value
Worksheets(newSheetNameev).Cells(nvgrammi + iv, nvstili + 4).Value =
Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammiv - 1, astiliv - 2).Value
Worksheets(newSheetNameev).Cells(nvgrammi + iv, nvstili + 5).Value =
Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammiv - 1, astiliv + 3).Value
Worksheets(newSheetNameev).Cells(nvgrammi + iv, nvstili + 6).Value =
Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammiv - 2, astiliv + 4).Value
Worksheets(newSheetNameev).Cells(nvgrammi + iv, nvstili + 7).Value =
Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammiv - 2, astiliv + 5).Value
Worksheets(newSheetNameev).Cells(nvgrammi + iv, nvstili + 8).Value =
Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammiv + 27, stiliv + 1).Value
Worksheets(newSheetNameev).Cells(nvgrammi + iv, nvstili + 9).Value =
Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammiv + 27, stiliv + 2).Value
Worksheets(newSheetNameev).Cells(nvgrammi + iv, nvstili + 10).Value =
Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammiv + 28, stiliv + 2).Value
Worksheets(newSheetNameev).Cells(nvgrammi + iv, nvstili + 11).Value =
Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammiv + 27, stiliv + 3).Value
Worksheets(newSheetNameev).Cells(nvgrammi + iv, nvstili + 12).Value =
Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammiv + 28, stiliv + 3).Value
Worksheets(newSheetNameev).Cells(nvgrammi + iv, nvstili + 13).Value =
(Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammiv + 27, stiliv + 3).Value * 1000) /
Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammiv + 27, stiliv + 2).Value
```

Next iv

onomav = "Σενάρια από: " & arxikiseira & "έως" & telikiseira

'edo dimiourgountai ta diagrammata

Charts.Add

ActiveChart.ChartType = xlXYScatterLines

ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets(newSheetNameev).Range("k6:k16,C6:C16"), PlotBy _

```
:=xlColumns  
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsObject, Name:=newSheetNamev
```

```
With ActiveChart  
.HasTitle = True  
.ChartTitle.Text = onomav  
.Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True  
.Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Text = Worksheets(newSheetNamev).Range("c5")  
.Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True  
.Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Text = Worksheets(newSheetNamev).Range("k5")
```

```
End With  
With ActiveChart.Axes(xlCategory)  
.MinimumScale = arxikiseira  
.MaximumScaleIsAuto = True  
.MinorUnit = 1  
.MajorUnit = 1  
.Crosses = xlCustom  
.CrossesAt = arxikiseira  
.ReversePlotOrder = False  
.ScaleType = xlLinear  
.DisplayUnit = xlNone  
End With
```

```
With ActiveChart.ChartTitle.Font  
.Name = "Arial"  
.FontStyle = "Εντονα"  
.Size = 10  
.Strikethrough = False  
.Superscript = False  
.Subscript = False  
.OutlineFont = False  
.Shadow = False  
.Underline = xlUnderlineStyleNone  
.ColorIndex = xlAutomatic  
.Background = xlAutomatic  
End With
```

```
Charts.Add  
ActiveChart.ChartType = xlXYScatterLines  
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets(newSheetNamev).Range("l6:l16,C6:C16"), PlotBy _  
:=xlColumns  
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsObject, Name:=newSheetNamev
```

```
With ActiveChart  
.HasTitle = True  
.ChartTitle.Text = onomav  
.Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True  
.Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Text = Worksheets(newSheetNamev).Range("c5")  
.Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True  
.Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Text = Worksheets(newSheetNamev).Range("l5")
```

```
End With  
With ActiveChart.Axes(xlCategory)  
.MinimumScale = arxikiseira  
.MaximumScaleIsAuto = True
```

```
.MinorUnit = 1
.MajorUnit = 1
.Crosses = xlCustom
.CrossesAt = arxikiseira
.ReversePlotOrder = False
.ScaleType = xlLinear
.DisplayUnit = xlNone
End With
```

```
With ActiveChart.ChartTitle.Font
```

```
.Name = "Arial"
.FontStyle = "Εντονα"
.Size = 10
.Strikethrough = False
.Superscript = False
.Subscript = False
.OutlineFont = False
.Shadow = False
.Underline = xlUnderlineStyleNone
.ColorIndex = xlAutomatic
.Background = xlAutomatic
```

```
End With
```

```
Charts.Add
```

```
ActiveChart.ChartType = xlXYScatterLines
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets(newSheetNamev).Range("m6:m16,C6:C16"), PlotBy _
:=xlColumns
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsObject, Name:=newSheetNamev
```

```
With ActiveChart
```

```
.HasTitle = True
.ChartTitle.Text = onomav
.Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
.Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Text = Worksheets(newSheetNamev).Range("c5")
.Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
.Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Text = Worksheets(newSheetNamev).Range("l5")
```

```
End With
```

```
With ActiveChart.Axes(xlCategory)
```

```
.MinimumScale = arxikiseira
.MaximumScaleIsAuto = True
.MinorUnit = 1
.MajorUnit = 1
.Crosses = xlCustom
.CrossesAt = arxikiseira
.ReversePlotOrder = False
.ScaleType = xlLinear
.DisplayUnit = xlNone
End With
```

```
With ActiveChart.ChartTitle.Font
```

```
.Name = "Arial"
.FontStyle = "Εντονα"
.Size = 10
.Strikethrough = False
.Superscript = False
.Subscript = False
.OutlineFont = False
.Shadow = False
.Underline = xlUnderlineStyleNone
```

```
.ColorIndex = xlAutomatic
.Background = xlAutomatic
End With
```

Charts.Add

```
ActiveChart.ChartType = xlXYScatterLines
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets(newSheetNamev).Range("n6:n16,C6:C16"), PlotBy _
:=xlColumns
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsObject, Name:=newSheetNamev
```

With ActiveChart

```
.HasTitle = True
.ChartTitle.Text = onomav
.Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
.Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Text = Worksheets(newSheetNamev).Range("c5")
.Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
.Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Text = Worksheets(newSheetNamev).Range("n5")
```

End With

With ActiveChart.Axes(xlCategory)

```
.MinimumScale = arxikiseira
.MaximumScaleIsAuto = True
.MinorUnit = 1
.MajorUnit = 1
.Crosses = xlCustom
.CrossesAt = arxikiseira
.ReversePlotOrder = False
.ScaleType = xlLinear
.DisplayUnit = xlNone
End With
```

With ActiveChart.ChartTitle.Font

```
.Name = "Arial"
.FontStyle = "Evrová"
.Size = 10
.Strikethrough = False
.Superscript = False
.Subscript = False
.OutlineFont = False
.Shadow = False
.Underline = xlUnderlineStyleNone
.ColorIndex = xlAutomatic
.Background = xlAutomatic
End With
```

Charts.Add

```
ActiveChart.ChartType = xlXYScatterLines
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets(newSheetNamev).Range("o6:o16,C6:C16"), PlotBy _
:=xlColumns
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsObject, Name:=newSheetNamev
```

With ActiveChart

```
.HasTitle = True
.ChartTitle.Text = onomav
.Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
.Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Text = Worksheets(newSheetNamev).Range("c5")
.Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
.Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Text = Worksheets(newSheetNamev).Range("o5")
```

```
End With
With ActiveChart.Axes(xlCategory)
    .MinimumScale = arxikiseira
    .MaximumScaleIsAuto = True
    .MinorUnit = 1
    .MajorUnit = 1
    .Crosses = xlCustom
    .CrossesAt = arxikiseira
    .ReversePlotOrder = False
    .ScaleType = xlLinear
    .DisplayUnit = xlNone
End With
```

```
With ActiveChart.ChartTitle.Font
    .Name = "Arial"
    .FontStyle = "Evrová"
    .Size = 10
    .Strikethrough = False
    .Superscript = False
    .Subscript = False
    .OutlineFont = False
    .Shadow = False
    .Underline = xlUnderlineStyleNone
    .ColorIndex = xlAutomatic
    .Background = xlAutomatic
End With
```

Charts.Add

```
ActiveChart.ChartType = xlXYScatterLines
ActiveChart.SetSourceData Source:=Worksheets(newSheetNamev).Range("p6:p16,C6:C16"), PlotBy _
:=xlColumns
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsObject, Name:=newSheetNamev
```

```
With ActiveChart
    .HasTitle = True
    .ChartTitle.Text = onomav
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Text = Worksheets(newSheetNamev).Range("c5")
    .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
    .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Text = Worksheets(newSheetNamev).Range("p5")
End With
```

```
End With
With ActiveChart.Axes(xlCategory)
    .MinimumScale = arxikiseira
    .MaximumScaleIsAuto = True
    .MinorUnit = 1
    .MajorUnit = 1
    .Crosses = xlCustom
    .CrossesAt = arxikiseira
    .ReversePlotOrder = False
    .ScaleType = xlLinear
    .DisplayUnit = xlNone
End With
```

```
With ActiveChart.ChartTitle.Font
    .Name = "Arial"
    .FontStyle = "Evrová"
    .Size = 10
    .Strikethrough = False
    .Superscript = False
End With
```

```

.Subscript = False
.OutlineFont = False
.Shadow = False
.Underline = xlUnderlineStyleNone
.ColorIndex = xlAutomatic
.Background = xlAutomatic
End With

```

```
Worksheets("Αποτελέσματα").Range("i2") = verprocess + 1
```

```
End Sub
```

```
Private Sub horizontal_Click()
```

```

Dim ws As Worksheet
Dim horprocess As String
Dim newSheetName As String
Dim arxikoposostoh As Integer
Dim telikoposostoh As Integer
Dim grammih As Integer
Dim seirah As Integer
Dim onoma As String
Dim ba As String
Dim co2 As String
Dim kostos As String

```

```

'kathorismos syntetagmenon
seirah = Worksheets("Αποτελέσματα").Range("L1")
grammih = (seirah - 1) * 33 + 6
arxikoposostoh = Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammih - 1, 11)
telikoposostoh = Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammih - 1, 10)
nhgrammi = (grammih / ((seirah - 1) * 33 + 6)) + 4
xstili = Worksheets("Όδιϊϊϊϊϊϊϊϊϊ").Range("g2").Value * 7 - 3

```

```

'onomasia toy worksheet pou ανοιγει & elegxos
horprocess = Worksheets("Αποτελέσματα").Range("k2")
newSheetName = "h_" & horprocess
For Each ws In Worksheets
    If ws.Name = newSheetName Or newSheetName = "" Or IsNumeric(newSheetName) Then
        MsgBox "Δεν είναι δυνατή η επεξεργασία. Αλλάξτε το κελι K2", vbInformation
        Exit Sub
    End If
Next
Sheets.Add Type:="Worksheet"
With ActiveSheet
    .Move after:=Worksheets(Worksheets.Count)
    .Name = newSheetName
End With

```

```

'senario
Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi - 3, 4).Value = ("Κριτήρια Σημαντικότητας")
Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi - 1, 4).Value = Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammih - 1, arxikoposostoh + 3).Value
Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi - 2, 4).Value = ("Βαθμός Απόδοσης")
Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi - 1, 5).Value = Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammih - 1, arxikoposostoh + 4).Value
Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi - 2, 5).Value = ("Παραγωγή kg CO2")
Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi - 1, 6).Value = Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammih - 1, arxikoposostoh + 5).Value

```

```

Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi - 2, 6).Value = ("Κόστος €")
Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi - 2, 3).Value = ("Περιοχή")
Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi - 2, 1).Value = ("Σειρά Υπολογισμών")
Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi - 1, 1).Value = seirah
Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi - 1, 3).Value = Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammih - 1, arxikoposostoh + 1).Value
Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi, 3).Value = ("Ποσοστό διείσδυσης")
Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi - 2, 7).Value = ("Βήμα")
Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi - 1, 7).Value = Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammih - 1, arxikoposostoh + 6).Value
Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi - 2, 8).Value = Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammih - 2, arxikoposostoh + 7).Value
Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi - 2, 9).Value = Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammih - 2, arxikoposostoh + 8).Value
Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi - 2, 10).Value = ("Διείσδυση μέχρι:")
Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi - 1, 10).Value = Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammih - 1, arxikoposostoh + 9).Value
Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi - 2, 11).Value = ("Διείσδυση Από:")
Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi - 1, 11).Value = Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammih - 1, arxikoposostoh + 10).Value
Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi, 4).Value = ("Â.A.")
Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi, 5).Value = ("kg CO2")
Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi, 6).Value = ("kgCO2 / kgH2")
Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi, 7).Value = ("€")
Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi, 8).Value = ("€ / kgH2")
Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi, 9).Value = ("€ / 1000kgCO2")

```

'stili pososton

For ia = arxikoposostoh To telikoposostoh

stilih = ia * 7 - 3

Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi + ia, 3).Value = ia * 10

Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi + ia, 4).Value = Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammih + 27, stilih + 1).Value

Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi + ia, 5).Value = Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammih + 27, stilih + 2).Value

Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi + ia, 6).Value = Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammih + 28, stilih + 2).Value

Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi + ia, 7).Value = Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammih + 27, stilih + 3).Value

Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi + ia, 8).Value = Worksheets("Αποτελέσματα").Cells(grammih + 28, stilih + 3).Value

Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi + ia, 9).Value = Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi + ia, 6) / (Worksheets(newSheetName).Cells(nhgrammi + ia, 8) / 1000)

Next ia

ba = Worksheets(newSheetName).Range("d4") * 100

co2 = Worksheets(newSheetName).Range("e4") * 100

kostos = Worksheets(newSheetName).Range("f4") * 100

onoma = "Σενάριο: " & Worksheets(newSheetName).Range("c3") & ":" &

Worksheets(newSheetName).Range("c4") & ", " & Worksheets(newSheetName).Range("d3") & ":" & ba &

%, " & Worksheets(newSheetName).Range("e3") & ":" & co2 & "%, " &

Worksheets(newSheetName).Range("f3") & ":" & kostos & "%, " & Worksheets(newSheetName).Range("g3")

& ":" & Worksheets(newSheetName).Range("g4") & ", " & Worksheets(newSheetName).Range("h3") & ", " &

Worksheets(newSheetName).Range("i3")

'edo dimiourgountai ta diagrammata

Charts.Add

ActiveChart.ChartType = xlXYScatterLines

ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets(newSheetName).Range("d6:d16,C6:C16"), PlotBy _
:=xlColumns

ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsObject, Name:=newSheetName

With ActiveChart

.HasTitle = True
.ChartTitle.Text = onoma
.Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
.Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Text = Worksheets(newSheetName).Range("c5")
.Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
.Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Text = Worksheets(newSheetName).Range("d5")

End With

With ActiveChart.Axes(xlCategory)

.MinimumScale = Worksheets(newSheetName).Range("g4").Value
.MaximumScaleIsAuto = True
.MinorUnitIsAuto = True
.MajorUnitIsAuto = True
.Crosses = xlCustom
.CrossesAt = Worksheets(newSheetName).Range("g4").Value
.ReversePlotOrder = False
.ScaleType = xlLinear
.DisplayUnit = xlNone
End With

With ActiveChart.ChartTitle.Font

.Name = "Arial"
.FontStyle = "Evrova"
.Size = 10
.Strikethrough = False
.Superscript = False
.Subscript = False
.OutlineFont = False
.Shadow = False
.Underline = xlUnderlineStyleNone
.ColorIndex = xlAutomatic
.Background = xlAutomatic

End With

Charts.Add

ActiveChart.ChartType = xlXYScatterLines
ActiveChart.SetSourceData Source:=Worksheets(newSheetName).Range("e6:e16,C6:C16"), PlotBy _
:=xlColumns
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsObject, Name:=newSheetName

With ActiveChart

.HasTitle = True
.ChartTitle.Text = onoma
.Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
.Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Text = Worksheets(newSheetName).Range("c5")
.Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
.Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Text = Worksheets(newSheetName).Range("e5")

End With

With ActiveChart.Axes(xlCategory)

.MinimumScale = Worksheets(newSheetName).Range("g4").Value
.MaximumScaleIsAuto = True
.MinorUnitIsAuto = True
.MajorUnitIsAuto = True
.Crosses = xlCustom
.CrossesAt = Worksheets(newSheetName).Range("g4").Value


```

.ReversePlotOrder = False
.ScaleType = xlLinear
.DisplayUnit = xlNone
End With
With ActiveChart.ChartTitle.Font
.Name = "Arial"
.FontStyle = "Evrovα"
.Size = 10
.Strikethrough = False
.Superscript = False
.Subscript = False
.OutlineFont = False
.Shadow = False
.Underline = xlUnderlineStyleNone
.ColorIndex = xlAutomatic
.Background = xlAutomatic
End With
Charts.Add
ActiveChart.ChartType = xlXYScatterLines
ActiveChart.SetSourceData Source:=Worksheets(newSheetName).Range("e6:e16,C6:C16"), PlotBy _
:=xlColumns
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsObject, Name:=newSheetName

```

```

With ActiveChart
.HasTitle = True
.ChartTitle.Text = onoma
.Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
.Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Text = Worksheets(newSheetName).Range("c5")
.Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
.Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Text = Worksheets(newSheetName).Range("e5")
End With

```

```

With ActiveChart.Axes(xlCategory)
.MinimumScale = Worksheets(newSheetName).Range("g4").Value
.MaximumScaleIsAuto = True
.MinorUnitIsAuto = True
.MajorUnitIsAuto = True
.Crosses = xlCustom
.CrossesAt = Worksheets(newSheetName).Range("g4").Value
.ReversePlotOrder = False
.ScaleType = xlLinear
.DisplayUnit = xlNone
End With

```

```

With ActiveChart.ChartTitle.Font
.Name = "Arial"
.FontStyle = "Evrovα"
.Size = 10
.Strikethrough = False
.Superscript = False
.Subscript = False
.OutlineFont = False
.Shadow = False
.Underline = xlUnderlineStyleNone
.ColorIndex = xlAutomatic
.Background = xlAutomatic
End With

```

```

Charts.Add

```

```
ActiveChart.ChartType = xlXYScatterLines
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets(newSheetName).Range("g6:g16,C6:C16"), PlotBy _
:=xlColumns
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsObject, Name:=newSheetName
```

```
With ActiveChart
```

```
.HasTitle = True
.ChartTitle.Text = onoma
.Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
.Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Text = Worksheets(newSheetName).Range("c5")
.Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
.Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Text = Worksheets(newSheetName).Range("g5")
```

```
End With
```

```
With ActiveChart.Axes(xlCategory)
```

```
.MinimumScale = Worksheets(newSheetName).Range("g4").Value
.MaximumScaleIsAuto = True
.MinorUnitIsAuto = True
.MajorUnitIsAuto = True
.Crosses = xlCustom
.CrossesAt = Worksheets(newSheetName).Range("g4").Value
.ReversePlotOrder = False
.ScaleType = xlLinear
.DisplayUnit = xlNone
End With
```

```
With ActiveChart.ChartTitle.Font
```

```
.Name = "Arial"
.FontStyle = "Εντονα"
.Size = 10
.Strikethrough = False
.Superscript = False
.Subscript = False
.OutlineFont = False
.Shadow = False
.Underline = xlUnderlineStyleNone
.ColorIndex = xlAutomatic
.Background = xlAutomatic
End With
```

```
Charts.Add
```

```
ActiveChart.ChartType = xlXYScatterLines
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets(newSheetName).Range("h6:h16,C6:C16"), PlotBy _
:=xlColumns
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsObject, Name:=newSheetName
```

```
With ActiveChart
```

```
.HasTitle = True
.ChartTitle.Text = onoma
.Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
.Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Text = Worksheets(newSheetName).Range("c5")
.Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
.Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Text = Worksheets(newSheetName).Range("h5")
```

```
End With
```

```
With ActiveChart.Axes(xlCategory)
```

```
.MinimumScale = Worksheets(newSheetName).Range("g4").Value
```

```

.MaximumScaleIsAuto = True
.MinorUnitIsAuto = True
.MajorUnitIsAuto = True
.Crosses = xlCustom
.CrossesAt = Worksheets(newSheetName).Range("g4").Value
.ReversePlotOrder = False
.ScaleType = xlLinear
.DisplayUnit = xlNone
End With
With ActiveChart.ChartTitle.Font
.Name = "Arial"
.FontStyle = "Εντονα"
.Size = 10
.Strikethrough = False
.Superscript = False
.Subscript = False
.OutlineFont = False
.Shadow = False
.Underline = xlUnderlineStyleNone
.ColorIndex = xlAutomatic
.Background = xlAutomatic
End With

Charts.Add
ActiveChart.ChartType = xlXYScatterLines
ActiveChart.SetSourceData Source:=Sheets(newSheetName).Range("i6:i16,C6:C16"), PlotBy _
:=xlColumns
ActiveChart.Location Where:=xlLocationAsObject, Name:=newSheetName

With ActiveChart
.HasTitle = True
.ChartTitle.Text = onoma
.Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
.Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Text = Worksheets(newSheetName).Range("c5")
.Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
.Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Text = Worksheets(newSheetName).Range("i5")

End With

With ActiveChart.Axes(xlCategory)
.MinimumScale = Worksheets(newSheetName).Range("g4").Value
.MaximumScaleIsAuto = True
.MinorUnitIsAuto = True
.MajorUnitIsAuto = True
.Crosses = xlCustom
.CrossesAt = Worksheets(newSheetName).Range("g4").Value
.ReversePlotOrder = False
.ScaleType = xlLinear
.DisplayUnit = xlNone
End With
With ActiveChart.ChartTitle.Font
.Name = "Arial"
.FontStyle = "Εντονα"
.Size = 10
.Strikethrough = False
.Superscript = False
.Subscript = False
.OutlineFont = False
.Shadow = False

```

```
.Underline = xlUnderlineStyleNone  
.ColorIndex = xlAutomatic  
.Background = xlAutomatic  
End With
```

```
Worksheets(newSheetName).Range("D4:F4").Select  
Selection.Style = "Percent"  
Worksheets("Αποτελέσματα").Range("k2") = horprocess + 1  
End Sub
```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Σενάριο αναφοράς για το 2020

Σενάριο αναφοράς για το 2020

Το 2020 προβλέπεται ότι η κατανάλωση για οικιακή χρήση θα ανέλθει στις 22.906,46 GWh για το σύνολο της Ελλάδας. Επίσης, για τις μεταφορές προβλέπεται ότι οι απαιτήσεις θα είναι 36.029,74 GWh.

Για τον υπολογισμό είναι απαραίτητες οι εξής προβλέψεις για το Έτος 2020 :

- Πρόβλεψη για την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος.
- Πρόβλεψη της αύξησης του πληθυσμού και των νοικοκυριών στις περιοχές της Ελλάδας.
- Πρόβλεψη της απαιτούμενης ενέργειας για μεταφορές .

Οι τιμές που προκύπτουν είναι υπολογισμένες βάσει των δεικτών αύξησης της Ευρωπαϊκής στατιστικής υπηρεσίας.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟ 2020

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει το ποσοστό της κατανάλωσης ανά περιοχή και ανά χρήση για το έτος 2005, όπως προκύπτει από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία.

Από τον παραπάνω πίνακα και θεωρώντας ότι η κατανομή κατανάλωσης ενέργειας ανά τομέα χρήσης και ανά περιοχή παραμένει σταθερή, εκτιμώνται οι τελικές καταναλώσεις ανά χρήση, για το 2020 και για κάθε περιοχή . Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 5.1.

Πίνακας 1 Τελικές καταναλώσεις ενέργειας ανά χρήση

2020 Πρόβλεψη κατανάλωση ανά περιοχές σύμφωνα με τα ποσοστά του 2005	Σε GWh Σύνολο, Total	Οικιακή χρήση	Εμπορική χρήση	Βιομηχανική χρήση I	Γεωργική χρήση	Δημόσιες & Δημοτικές Αρχές	Φωτισμός
Σύνολο Ελλάδος	69.077,39	22.906,46	27.841,29	11.926,91	2.430,29	3.006,48	965,95
Ανατολική Μακεδονία- Θράκη	3.207,46	964,39	1.034,97	618,41	176,83	207,09	51,74
Κεντρική Μακεδονία	11.500,09	3.804,38	4.679,49	2.048,24	397,77	380,21	158,10
Δυτική Μακεδονία	1.218,67	520,66	444,82	68,77	94,51	98,83	28,29
Θεσσαλία	5.696,63	1.291,01	1.421,74	1.378,03	580,54	180,29	82,40
Ήπειρος	1.700,08	614,40	821,24	139,54	108,34	82,22	35,62
Ιόνιοι Νήσοι	1.104,18	408,00	777,80	37,69	7,49	66,29	24,73
Εύβοιας	2.077,58	490,77	518,18	627,36	91,65	50,66	24,97
Στερεά Ελλάς	8.471,87	953,14	997,49	3.800,20	351,22	122,61	64,97
Πελοπόννησος	5.731,91	2.181,62	2.268,38	579,46	381,99	282,60	141,29
Αττική	22.014,72	9.416,68	10.909,25	2.353,50	55,53	997,94	241,42
Βόρειο Αιγαίο	783,68	370,02	376,77	21,12	16,47	77,66	18,55
Νότιο Αιγαίο	2.240,02	782,50	1.661,99	57,90	17,24	159,91	43,11
Κρήτη	3.330,49	1.108,91	1.929,17	196,69	150,71	300,18	50,79

Πίνακας 2 Διαμερισμός της Ελλάδας

Περιοχή	Νόμοι που περιλαμβάνονται	Περιοχή	Νόμοι που περιλαμβάνονται
Ανατολική Μακεδονία-Θράκη	Έβρου	Εύβοιας*	
	Ξάνθης	Στερεά Ελλάς	Αιτωλίας και Ακαρνανίας
	Ροδόπης		Βοιωτίας
	Δράμας		Ευρυτανίας(2)
	Καβάλας		Φθιώτιδας
Κεντρική Μακεδονία	Ημαθίας		Φωκίδας
	Θεσσαλονίκης	Πελοπόννησος	Αχαΐας
	Κιλκίς		Ηλείας
	Πέλλας		Αργολίδας
	Πιερίας		Αρκαδίας
	Σερρών		Κορινθίας
	Χαλκιδικής		Λακωνίας
Δυτική Μακεδονία	Γρεβενών		Μεσσηνίας
	Καστοριάς	Αττική*	
	Κοζάνης	Βόρειο Αιγαίο	Λέσβου
	Φλώρινας		Σάμου
Θεσσαλία	Καρδίτσας		Χίου
	Λάρισας	Νότιο Αιγαίο	Δωδεκανήσου
	Μαγνησίας		Κυκλάδων
	Τρικάλων	Κρήτη	Ηρακλείου
Ήπειρος	Άρτας		Λασιθίου
	Θεσπρωτίας(2)		Ρεθύμνης
	Ιωαννίνων		Χανίων
	Πρεβέζης(2)		
Ιόνιοι Νήσοι	Ζακύνθου		
	Κέρκυρας		
	Κεφαλληνίας		
	Λευκάδας (2)		

Η Αττική λαμβάνεται ως σύνολο και ο νομός Εύβοιας ξεχωριστά λόγω του ότι παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον το αιολικό δυναμικό της περιοχής,

Πίνακας 3 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για το έτος 2005

Μεγάλη γεωγραφική περιοχή, περιφέρεια και νομός	Σύνολο,	Οικιακή χρήση	Εμπορική χρήση	Βιομηχανική χρήση	Γεωργική χρήση	Δημόσιες & Δημοτικές Αρχές	Φωτισμός οδών
Σύνολο Ελλάδος 2005 σε GWh	50.036,538	16.874,972	13.764,258	13.769,739	2.932,101	1.928,490	766,978
Ανατολική Μακεδονία-Θράκη	2.323,342	710,454	511,672	713,963	213,339	132,835	41,079
Κεντρική Μακεδονία	8.330,147	2.802,653	2.313,461	2.364,716	479,906	243,881	125,530
Δυτική Μακεδονία	882,751	383,565	219,911	79,393	114,028	63,393	22,461
Θεσσαλία	4.126,383	951,072	702,884	1.590,945	700,408	115,648	65,426
Ηπειρος	1.231,461	452,620	406,007	161,103	130,711	52,740	28,280
Ιόνιοι Νήσοι	799,818	300,567	384,531	43,519	9,040	42,523	19,638
Εύβοιας	1.504,906	361,543	256,181	724,291	110,572	32,493	19,826
Στερεά Ελλάς	6.136,643	702,170	493,140	4.387,363	423,739	78,645	51,586
Πελοπόννησος	4.151,935	1.607,181	1.121,446	668,989	460,861	181,273	112,185
Αττική	15.946,465	6.937,175	5.393,346	2.717,136	67,001	640,120	191,687
Βόρειο Αιγαίο	567,663	272,590	186,269	24,389	19,872	49,817	14,726
Νότιο Αιγαίο	1.622,567	576,461	821,659	66,847	20,798	102,574	34,228
Κρήτη	2.412,457	816,921	953,751	227,085	181,826	192,548	40,326

Πίνακας 4 Πληθυσμιακή κατανομή και νοικοκυριά

Περιοχές	Πλήθος Νοικοκυριών	Πληθυσμός
Σύνολο Ελλάδος	3.664.071	10.266.004
Ανατολική Μακεδονία-Θράκη	204.624	571.302
Κεντρική Μακεδονία	624.786	1777.458
Δυτική Μακεδονία	92.999	277.225
Θεσσαλία	237.809	699.873
Ηπειρος	112.643	319.186
Ιόνιοι Νήσοι	70.884	200.164
Εύβοιας	69.172	199.082
Στερεά Ελλάς	181.498	540.015
Πελοπόννησος	344.847	1.032.918
Αττική	1.351.617	3.631.000
Βόρειο Αιγαίο	73.187	188.210
Νότιο Αιγαίο	99.706	276.067
Κρήτη	200.299	552.566

Πίνακας 5 Αιολικό Δυναμικό (Συνολική Εγκατεστημένη ισχύ (MW))

Όρια ταχύτητας ανέμου

Νομός:	>6	>7	>8	>9
1)Εβρου Ροδόπης	8656,0	2.161,6	457,6	44,8
2)Ιωαννίνων	166,4	22,4		
3)Θεσπρωτίας	521,6	137,3	53,7	14,1
4)Καρδίτσας Τρικάλων	755,2	248,8	44,0	0,0
5)Αρτας Πρέβεζας	81,6	19,2	0,0	0,0
6)Λαρίσης	40,8	0,0	0,0	0,0
7)Μαγνησίας	108,8	6,4	0,0	0,0
11)Βοιωτίας	2.556,0	996,4	236,0	44,0
12) Ξάνθης Καβάλας Δράμας	2.720,8	765,6	112,8	12,8
13) Αττικής	666,4	268,8	116,0	41,6
8) Φθιώτιδας	2388	827,2	143,2	21,6
9)Αιτωλοακαρνανίας Ευρυτανίας	708	196,8	48,0	10,4
10) Φωκίδας	824	238,4	67,2	
14) Εύβοιας βόρεια	704	268	118,4	59,2
15) Εύβοιας Νότια	2.364,8	1.518,4	911,2	548,8
16) Λευκάδας Κεφαλλονιάς Ζακύνθου	693,6	308,6	92,8	24,8
17) Αχαΐας	69,6			
18) Κορινθίας	365,6	80,4	15,2	
19) Αργολίδας	263,2	56,8	12,8	
20) Αρκαδίας	1.362,4	473,6	76,8	
21) Μεσσηνίας	304,8	102,4	32,0	
22) Λακωνίας	1.258,4	462,4	135,2	32,8
23) Σερρών	2.185,6	564,8	188,0	73,6
24) Χανίων Ρεθύμνου	499,2	304,0	148,0	107,2
25) Ηρακλείου Λασιθίου	1.397,4	888,0	594,4	406,4
26) Δωδεκανήσου Α				
27) Σάμου	1.605,6	888,8	476,0	270,4
28) Χίου	1.729,6	612,0	197,6	56,8
29) Λέσβου	1.333,6	372,0	77,6	8,8
30) Λέσβου Λήμνου ΑΓ Ευστράτιος	1.924,0	580,0	120,0	10,4
31) Κιλκίς Θεσσαλονίκης	2.975,2	605,6	112,8	19,2
32) Χαλκιδικής	660,0	80,0	10,4	
33) Πέλλας	665,6	217,6	28,0	
34) Ημαθίας Πιερίας	38,4			
36) Κοζάνης Γρεβενών	79,2			
35) Φλώρινας Καστοριάς	65,6	44,0	28,8	13,6

Πίνακας 6 Αιολικό Δυναμικό (Τεχνικά Εκμεταλλεύσιμο δυναμικό (GWh/έτος))

Όρια ταχύτητας ανέμου

Νομός:	>6	>7	>8	>9
1)Εβρου Ροδόπης	18.648,08	5.917,32	1.474,01	164,22
2)Ιωαννίνων	326,39	57,45		
3)Θεσπρωτίας	1.493,77	481,39	211,29	62,31
4)Καρδίτσας Τρικάλων	1.665,26	670,21	139,12	0,00
5)Άρτας Πρέβεζας	172,37	49,62	0,00	0,00
6)Λαρίσης	72,94	0,00	0,00	0,00
7)Μαγνησίας	2100,38	15,91	0,00	0,00
11)Βοιωτίας	5.762,31	2.469,30	446,91	163,45
12) Ξάνθης Καβάλας Δράμας	5.859,91	2.034,42	357,44	46,21
13) Αττικής	20.008,17	955,94	458,55	177,98
8) Φθιώτιδας	5.319,79	2.230,99	460,87	80,16
9)Αιτωλοακαρνανίας Ευρυτανίας	1.525,00	532,44	156,11	37,59
10) Φωκίδας	1.802,32	661,45	217,78	
14) Εύβοιας βόρεια	2.092,10	953,16	472,25	253,95
15) Εύβοιας Νότια	8.015,18	5.752,78	3.868,02	2.401,48
16) Λευκάδας Κεφαλλονιάς Ζακύνθου	2.066,06	1.035,43	352,00	101,25
17) Αχαΐας	131,10			
18) Κορινθίας	752,62	190,69	49,61	
19) Αργολίδας	548,11	150,01	39,58	
20) Αρκαδίας	2.997,44	1.246,62	240,26	
21) Μεσσηνίας	693,67	288,70	105,97	
22) Λακωνίας	3.843,17	1.657,33	551,58	136,31
23) Σερρών	4.748,37	1.622,16	650,40	286,15
24) Χανίων Ρεθύμνου	1.632,46	1.114,39	612,57	454,77
25) Ηρακλείου Λασιθίου	4.838,58	3.469,11	2.494,81	1.778,37
26) Δωδεκανήσου Α				
27) Σάμου	5.189,40	3.276,20	1.936,68	1.162,35
28) Χίου	5.061,26	2.099,91	468,13	240,61
29) Λέσβου	3.769,67	1.235,73	291,30	36,26
30) Λέσβου Λήμνου ΑΓ Ευστράτιος	5.522,10	1.947,23	453,29	43,07
31) Κιλκίς Θεσσαλονίκης	6.223,10	1.645,77	367,62	70,60
32) Χαλκιδικής	1.304,57	208,93	31,57	
33) Πέλλας	1.452,14	568,84	88,12	
34) Ημαθίας Πιερίας	71,83			
36) Κοζάνης Γρεβενών	144,38			
35) Φλώρινας Καστοριάς	219,77	163,27	114,61	58,95

Πίνακας 6 Αιολικό Δυναμικό (Κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh))
Όρια ταχύτητας ανέμου

Νομός:	>6	>7	>8	>9
1)Εβρου Ροδόπης	0,06	0,05	0,04	0,03
2)Ιωαννίνων	0,07	0,09		
3)Θεσπρωτίας	0,04	0,04	0,03	0,03
4)Καρδίτσας Τρικάλων	0,06	0,05	0,04	
5)Άρτας Πρέβεζας	0,06	0,05		
6)Λαρίσης	0,07			
7)Μαγνησίας	0,07	0,05		
11)Βοιωτίας	0,06	0,05	0,04	0,03
12) Ξάνθης Καβάλας Δράμας	0,06	0,05	0,04	0,03
13) Αττικής	0,04	0,04	0,03	0,03
8) Φθιώτιδας	0,06	0,05	0,04	0,03
9)Αιτωλοακαρνανίας Ευρυτανίας	0,06	0,05	0,04	0,03
10) Φωκίδας	0,06	0,05	0,04	
14) Εύβοιας βόρεια	0,04	0,04	0,03	0,03
15) Εύβοιας Νότια	0,04	0,03	0,03	0,03
16) Λευκάδας Κεφαλονιάς Ζακύνθου	0,04	0,04	0,03	0,03
17) Αχαΐας	0,07			
18) Κορινθίας	0,06	0,05	0,04	
19) Αργολίδας	0,06	0,05	0,04	
20) Αρκαδίας	0,06	0,05	0,04	
21) Μεσσηνίας	0,06	0,04	0,04	
22) Λακωνίας	0,04	0,04	0,03	0,03
23) Σερρών	0,06	0,04	0,04	0,03
24) Χανίων Ρεθύμνου	0,04	0,04	0,03	0,03
25) Ηρακλείου Λασιθίου	0,04	0,03	0,03	0,03
26) Δωδεκανήσου Α				
27) Σάμου	0,04	0,03	0,03	0,03
28) Χίου	0,04	0,04	0,03	0,03
29) Λέσβου	0,04	0,04	0,03	0,03
30) Λέσβου Λήμνου ΑΓ Ευστράτιος	0,04	0,04	0,03	0,03
31) Κιλκίς Θεσσαλονίκης	0,06	0,05	0,04	0,03
32) Χαλκιδικής	0,06	0,05	0,04	
33) Πέλλας	0,06	0,05	0,04	
34) Ημαθίας Πιερίας	0,07			
36) Κοζάνης Γρεβενών	0,07			
35) Φλώρινας Καστοριάς	0,04	0,04	0,03	0,03

Πίνακας 7 Δυναμικό Βιομάζας

Περιοχή	NUTS	Δυναμικό Βιομάζας GWh / έτος	Σύνολο GWh / έτος
Εβρος	GR111	1.130,89	10.923,02
Ξάνθη	GR112	290,74	
Ροδόπη	GR113	312,29	
Καβάλα	GR115	488,54	
Δράμα	GR114	386,52	
Θεσσαλονίκη	GR122	1.003,74	
Σέρρες	GR126	1.080,21	
Κιλκίς	GR123	1.158,18	
Χαλκιδική	GR127	878,12	
Πέλλα	GR124	897,02	
Ημαθία	GR121	753,59	
Φλώρινα	GR134	348,97	
Κοζάνη	GR133	943,45	
Πιερία	GR125	458,73	
Καστοριά	GR132	343,70	
Γρεβενά	GR131	448,33	
Όρος Άθως	GR127	-	
Ιωάννινα	GR213	88,75	3.626,86
Θεσπρωτία	GR212	129,12	
Καρδίτσα	GR141	160,24	
Άρτα	GR211	246,23	
Λάρισα	GR142	1.568,53	
Κέρκυρα	GR222	206,85	
Τρίκαλα	GR144	248,13	
Πρέβεζα	GR214	204,24	
Μαγνησία	GR143	774,77	
Αιτωλοακαρνανία	GR231	723,81	
Φωκίδα	GR245	140,01	3.362,67
Φθιώτιδα	GR244	1.267,82	
Ευρυτανία	GR243	16,49	
Βοιωτία	GR241	596,64	
Εύβοια	GR242	617,90	
Αχαΐα	GR232	510,75	
Κόρινθος	GR253	605,66	
Αργολίδα	GR251	616,27	4.678,73
Αρκαδία	GR252	353,95	
Μεσσηνία	GR255	849,40	
Λακωνία	GR254	971,23	
Ηλία	GR233	771,47	
Αττική	GR300	435,56	
Λευκάδα	GR224	87,88	
Κεφαλονιά	GR223	55,32	263,23
Ζάκυνθος	GR221	120,03	
Δωδεκάνησα	GR421	198,75	1.103,17
Σάμος	GR412	104,33	
Χίος	GR413	58,67	
Λέσβος	GR411	606,86	
Κυκλάδες	GR422	134,56	
Χανιά	GR434	765,00	3.179,77
Ρέθυμνο	GR433	397,72	
Λασιθί	GR432	472,92	
Ηράκλειο	GR431	1.544,13	

Πίνακας 8 Συνολικό δυναμικό πρωτογενών μορφών ενέργειας

Σε GWh / έτος	Πρωτογενής πηγές			
	Βιομάζα	Άνεμος	Φυσικό Αέριο	Λιγνίτης
Σύνολο Ελλάδος	27.374	110.665	11.100	8.878
Ανατολική Μακεδονία-Θράκη	2.609	24.508	878	3.608
Κεντρική Μακεδονία	6.230	13.800	2.733	
Δυτική Μακεδονία	2.084	2.342		3.000
Ήπειρος	875	1.993		
Ιόνιοι Νήσοι	263	2.687		
Θεσσαλία	2.752	3.839	1.076	696
Εύβοιας	618	10.107		
Στερεά Ελλάς	2.745	14.409	830	
Πελοπόννησος	4.679	8.966		1.574
Αττική	436	2.001	5.583	
Βόρειο Αιγαίο	770	14.353		
Νότιο Αιγαίο	135	5.189		
Κρήτη	3.180	6.471		

Βιβλιογραφία:

- 1 E. Shoko, B. McLellan, A.L. Dicks, J.C. Diniz da Costa 2005: Hydrogen from coal: Production and utilization technologies
- 2 Marko P. Hekkert, Franka H.J.F. Hendricks, AndreP.C. Faaij, Maarten L. Neelis 2005: Natural Gas as an alternative to crude oil in automotive fuel chains well-to-wheel analysis and transition strategy development
- 3 Mohammad Asadullah, Tomohisa Miyazawa, Shin-ichi Ito, Kimio Kunimori, Keiichi Tomishige 2002: Demonstration of real biomass gasification drastically promoted by effective catalyst
- 4 P. van Beurden 2004: ON THE CATALYTIC ASPECTS OF STEAM-METHANE REFORMING
- 5 Science Applications International Corporation 2003: Hydrogen Infrastructure Reliability R&D Needs
- 6 Blaldur Eliasson and Ulf Bossel: The Future of the Hydrogen Economy : Bright or Bleak?
- 7 Ahmet Lokurlu, Thomas Grube, Bernd Hohlei, Detlef Stolten 2003: Fuel cells for mobile and stationary applications-cost analysis for combined heat and power stations on the basis o fuel cells
- 8 Kerry - Ann Adamson , Peter Pearson 1999: Hydrogen and Methanol : a comparison of safety , economics , efficiencies and emissions
- 9 D.Gray G. Tomlinson 2001: Hydrogen from Coal
- 10 Evagelos Tzimas Stathis D. Peteves 2004: The impact of carbon sequestration on the production cost of electricity and hydrogen from coal and natural gas technologies in Europe in the medium term
- 11 Dr. Gerb Eisenbeib , FZJ 2003: Hydrogen Presentasion on occasion of the 10th Anniversary of the "Real Academia de Ingenieria"
- 12 Pamela L. Spath Margaret K. Mamm 2001: Life Cycle Assessment of Hydrogen Production via Natural Gas Steam Reforming
- 13 D. Simbeck and E. Chang 2002: Hydrogen Supply: Cost Estimate for Hydrogen Pathways-Scoping Analysis
- 14 Kathleen McHUGH, Scott Eisele Jim Nestell 2005: Hydrogen Production Methods
- 15 Waichi Iwasaki 2002: A considaration of the economic efficiency of hydrogen production from biomass
- 16 Leonidas Ntziachristos, Chariton Kouridis, Zissis Samaras, Konstantinos Pattas 2004: A wind-power fuel-cell hybrid system study on the non-interconnected Aegean islands grid
- 17 Lars Nesje Grimsmo, Magnus Korpaas, Terje Gjengedal and steffen Moller-Holst 2004: A Study of Stand -alone Wind and Hydrogen System
- 18 Renewable Energy Enquiries Bureau, www.dti.gov.uk/index.html 2001: Efficiency and performance
- 19 Johanna Ivy 2004: Summary of electrolytic Hydrogen production Milestone completion Report
- 20 M. Spechts, F.Staiss, A. Bandi and T. Weimer 1998: Comparison of the renewable transportation fuels, Liquid Hydrogen and Methanol, with gasoline-Energetic and Economic aspects
- 21 PRAXAIR 2003: Hydrogen Delivery Liquefaction & Compression

- 22 E.I. Zoulias R.Glockner, N. Lymperopoulos , Tsoutsos , O. Gavalda I. Vosseler , H.J. Mydske P. Taylor 2004: Intergration of hydrogen technologies in stand-alone systems analysis of the current potential for applications
- 23 Wolfram Krewitt, Joachim Nitsh, Manfred Fishedick Martin Pehnt Heiner Temming 2004: Market perspectives of stationary fuel cells in a sustainable energy supply system-long term scenarios for Germany
- 24 Angelo U. Dufour 1998:Fuel cells - a new contributor yo stationary power
- 25 ΔΕΗ κατανάλωση ενέργειας
- 26 Dr. L. Mantzos and Prof. P. Capros. 2005: European Energy Trasport Trends to 2030 update 2005
- 27 ΚΑΠΕ: Εκθεση στοιχείων Οικονομικά και τεχνικά εκμεταλλεύσιμου αιολικού δυναμικού
- 28 B.C.R. Ewan , R.W.K. Allen 2005: A figure of merit assesment of the routes to hydrogen
- 29 A. Bauen , D. Hart 1999: Assesment of the enviromental benefits of trasport and stationary fuel cells
- 30 Martin Pokojski 1999: The first demonstration of the 250-kW polymer electrolyte fuel cell for stationary application (Berlin)
- 31 Mark C. Williams, Joseph P. Strakey, Wayne A. Surdoval 2004: The U.S. Department of Energy , Office of Fossil Energy Stationary Fuel Cell Program
- 32 S.A. Serif F. Barbir T.N. Verizoglu 2004: Wind energy and the hydrogen economy- reviw of the technology