

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΟΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΥ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΥΝΔΙΑΣΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΜΕ
ΧΡΗΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΩΣ ΚΑΥΣΙΜΗ ΥΛΗ

ΜΠΟΛΙΕΡΑΚΗΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ

Εξεταστική Επιτροπή:

Καθηγητής Γεώργιος Σταυρακάκης (επιβλέπων)

Καθηγητής Κωνσταντίνος Καλαϊτζάκης

Καθηγήτρια Κολοκοτσά Διονυσία

Χανιά 2010

Στους γονείς μου Βαγγέλη και Ελένη

και στους φίλους μου

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται γραπτώς προς τον συγγραφέα.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πολυτεχνείου Κρήτης, στα πλαίσια του μαθήματος Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας – ΗΡΥ 416.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον καθηγητή μου και επιβλέποντα της εργασίας κ. Γεώργιο Σταυρακάκη, για τις γνώσεις , την υπομονή και την καθοδήγηση που μου προσέφερε.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κ. Καλαϊτζάκη Κωνσταντίνο και την κα. Κολοκοτσά Διονυσία για την συνεργασία και τις εύστοχες παρατηρήσεις τους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μοντελοποίηση ενός ολοκληρωμένου συστήματος συνδυασμένου κύκλου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με αποκλειστική χρήση βιομάζας ως καύσιμη ύλη.

Το εξεταζόμενο σύστημα μοντελοποιήθηκε στο πρόγραμμα Cycle-Tempo και αποτελείται τμηματικά από : Στεγνωτήρα καυσίμων , αεριοποιητή , αποστακτήρα καυσίμων , λέβητα και από δύο κινητήρες (καυσίμων – ατμού).

Αρχικά προσομοιώθηκε το σύστημα με καύσιμη ύλη πριονίδια πεύκου ενώ στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικά είδη βιομάζας και έγινε σύγκριση πάνω στην απόδοση ηλεκτρικής ενέργειας όπως επίσης και στην εκπομπή ρίπων.

Στη συνέχεια έγινε ένας οικονομικός έλεγχος για το κατά πόσο ένα τέτοιο σύστημα είναι κερδοφόρο.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
2. ΒΙΟΜΑΖΑ.....	11
2.1 Τι είναι βιομάζα	11
2.2 Τι είναι το ηλεκτρικό ρεύμα	12
2.3 Απαιτήσεις σε ηλεκτρικό ρεύμα	12
2.4 Βιομάζα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	14
2.4.1 Τρόποι μετατροπής βιομάζας σε καύσιμα	15
2.4.1.1 Καύση (Combustion)	15
2.4.1.2 Αεριοποίηση (Gasification)	17
2.4.1.3 Πυρόλυση (Pyrolysis)	18
2.4.2 Ολοκληρωμένα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση βιομάζας ως καύσιμη ύλη	20
2.4.3 Ολοκληρωμένα συστήματα αεριοποίησης βιομάζας συνδυασμένου κύκλου	22
3. ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙΑ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΣΥΝΔΙΑΣΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ (IBGCC).....	24
3.1 Γενικά	24
3.2 Αποξηράνση Βιομάζας	25
3.2.1 Είδη αποξηραντών βιομάζας	26
3.3 Αεριοποίηση βιομάζας	26
3.3.1 Updraught or counter current gasifier	27
3.3.2 Downdraught or co-current gasifier	28

3.3.3 Cross draught gasifier	30
3.3.4 Fluidized bed gasifier	31
3.4 Turbines	32
3.4.1 Gas Turbines	33
3.4.2 Steam Turbines	34
4. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ.....	35
4.1 Σύνθεση συστήματος	36
4.2 Αποξηραντής	36
4.3 Αεριοποιητής	38
4.4 Καθαρισμός αερίων	43
4.5 Τουρμπίνα αερίου	45
4.6 Τροφοδοσία αέρα αεριοποιητή	47
4.7 Καζάνι χαμένης θερμότητας	48
4.8 Τουρμπίνα ατμού	50
4.9 Καμινάδα	52
4.10 Υπολογισμοί	53
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	56
5.1 Πίνακες αποτελεσμάτων cycle – tempo	56
5.2 Διαγράμματα θερμικής κατατομής	65
5.3 Οικονομική ανάλυση	69
5.4 Συγκριτική προσομοίωση	71
6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	74
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	77
8. ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ.....	81
9. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	82

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο την μοντελοποίηση της ωριαίας λειτουργίας ενός ολοκληρωμένου συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδυασμένου κύκλου μεγάλης κλίμακας χρησιμοποιώντας ως καύσιμη ύλη αποκλειστικά βιομάζα.

Σκοπός της εργασίας είναι η μοντελοποίηση ενός τέτοιου συστήματος και μέσω αυτού να αναδείξει ποσοτικά τα περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη που επιφέρει η δημιουργία και η χρήση μιας τέτοιας μονάδας. Αυτό επετεύχθει, αφού αρχικά μελετήθηκαν και μοντελοποιήθηκαν ξεχωριστά τα τμήματα που αποτελούν μια τέτοια μονάδα. Στην συνέχεια μοντελοποιήθηκε το ολοκληρωμένο σύστημα και έγινε έλεγχος των αποτελεσμάτων του. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν η απόδοση διαφορετικών ειδών βιομάζας που χρησιμοποιήθηκαν ως καύσιμη ύλη καθώς επίσης και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) για κάθε ένα από αυτά. Τέλος υπολογίστηκαν τα κόστη αγοράς της βιομάζας και αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Αναλυτικότερα, τα κύρια σημεία της διπλωματικής εργασίας διορθώνονται ως εξής:

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται γενικές πληροφορίες που αφορούν τη σημαντικότητα της χρήσης βιομάζας ως καύσιμης ύλης στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθώς επίσης και μελέτες που έχουν γίνει για τον σκοπό αυτό.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται το θεωρητικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο στηρίχθηκε το μοντέλο που υλοποιήθηκε.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά η μοντελοποίηση του ολοκληρωμένου συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μεγάλης κλίμακας με χρήση βιομάζας ως καύσιμη ύλη.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την προσομοίωση με χρήση διαφορετικών ειδών βιομάζας ως καύσιμη ύλη. Τα αποτελέσματα αυτά αφορούν κυρίως την ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται και την εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) στην ατμόσφαιρα. Επίσης παρουσιάζεται ένας μικρός οικονομικός προσδιορισμός του κόστους και των κερδών της λειτουργίας μιας τέτοιας μονάδας.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται χρήσιμα συμπεράσματα που προέκυψαν από την προσομοίωση καθώς επίσης και από την σύγκριση με διαφορετικά είδη καυσίμων που χρησιμοποιούνται σήμερα για την παράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

2. ΒΙΟΜΑΖΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

2.1 Τι είναι η βιομάζα.

Με τον όρο **βιομάζα** ονομάζουμε οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς (όπως είναι το ξύλο και άλλα προϊόντα του δάσους, υπολείμματα καλλιεργειών, κτηνοτροφικά απόβλητα, απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων κ.λπ.) [27]



Μια μορφή βιομάζας: pellets (συσσωματώματα) τα οποία προκύπτουν από τη μηχανική συμπίεση πριονιδιού, χωρίς την προσθήκη χημικών ή συγκολλητικών ουσιών.[27]

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

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

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

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

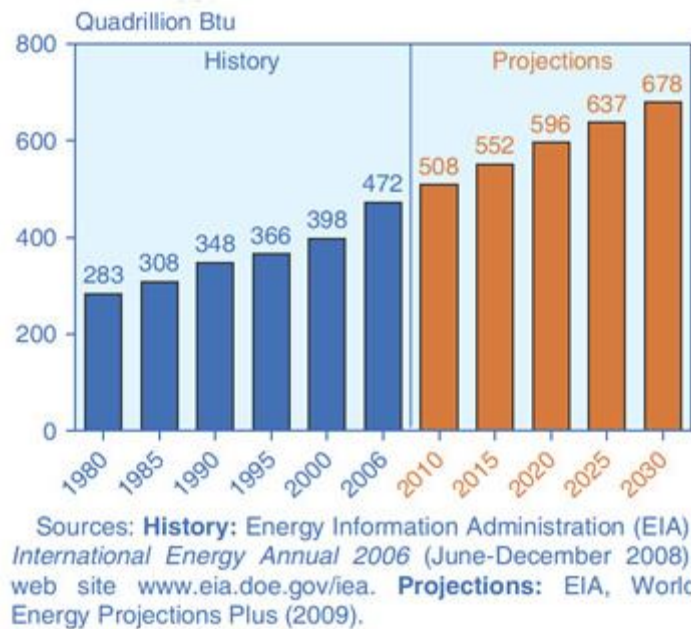
2.2 Τι είναι το ηλεκτρικό ρεύμα.

Με τον όρο ηλεκτρικό ρεύμα χαρακτηρίζεται ο ρυθμός ροής ηλεκτρικού φορτίου από μια περιοχή σε μια άλλη. Η ενέργεια που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα (η κινητική ενέργεια των κινούμενων ηλεκτρονίων) ονομάζεται ηλεκτρική ενέργεια.[27]

2.3 Απαιτήσεις σε ηλεκτρικό ρεύμα.

Ο σύγχρονος κόσμος εξαρτά την επιβίωση, την ευημερία και την ανάπτυξη του από την ηλεκτρική ενέργεια. Η παραγωγή και η χρήση της, βρίσκεται σήμερα στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος των κοινωνιών. Απόδειξη

αποτελεί η συνεχής αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε όλο τον κόσμο.[30]

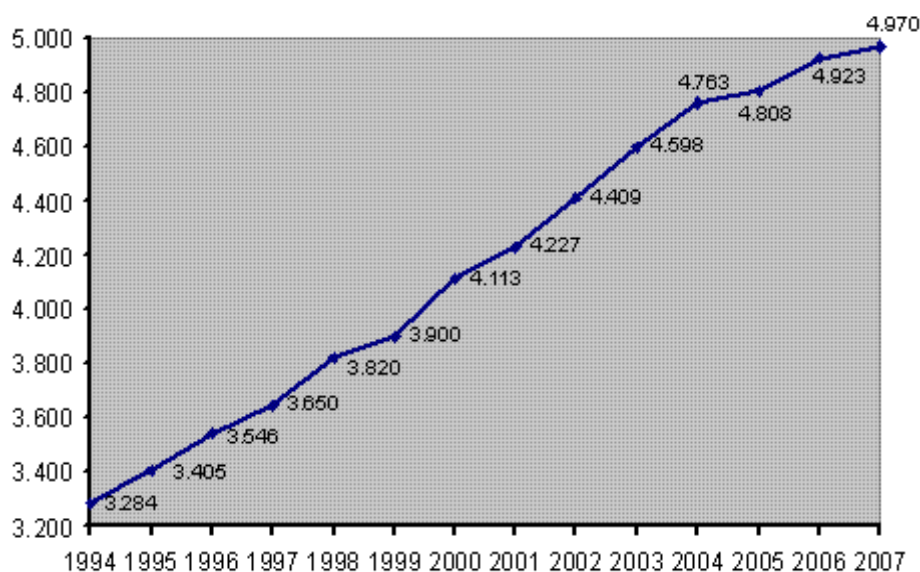


Σχήμα 1: Κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος ανά πενταετία σε όλο τον κόσμο[30]

Αντίστοιχο είναι το δείγμα που παίρνουμε από τις αυξανόμενες απαιτήσεις σε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα.

1950	1960	1970	1980	1990	2000	2007
88	265	976	2.106	2.923	4.113	4.970

Πίνακας 1: Δεκαετής κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά κάτοικο (KWh).[26]



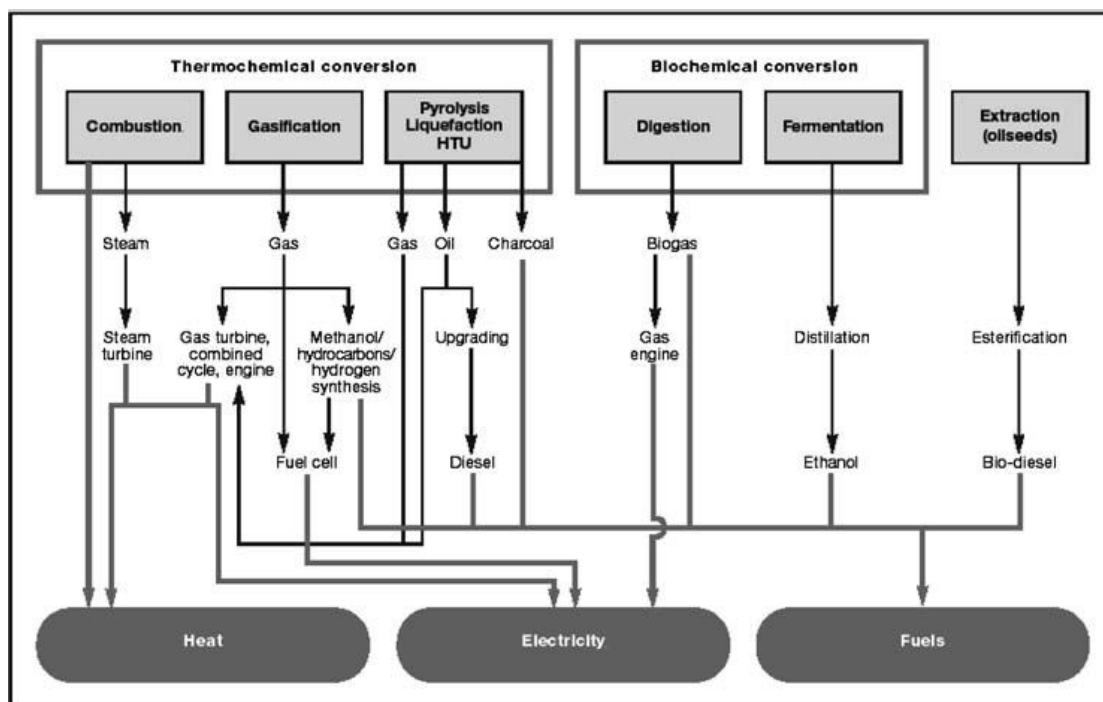
Σχήμα 2: Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά κάτοικο (KWh).[26]

2.4 Βιομάζα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Περιβαλλοντικές ανησυχίες έχουν οδηγήσει στην αναζήτηση για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για το μέλλον, αλλά και πιο αποτελεσματικούς τρόπους για την μετατροπή καυσίμου σε ενέργεια. Μία από τις πολλά υποσχόμενες πρωτογενείς πηγές ενέργειας είναι η βιομάζα. Λόγω του σύντομου κύκλου του διοξειδίου του άνθρακα, η βιομάζα θεωρείται ουδέτερο του διοξειδίου του άνθρακα. Οι περισσότερες πηγές βιομάζας είναι στερεά, όπως ξύλο. Αυτές οι πηγές στερεάς βιομάζας είναι δύσκολο να χειριστούν, με αποτέλεσμα να πρέπει να μετατραπούν σε ένα πιο βολικό δευτερογενή φορέα ενέργειας. Με τη σειρά του ο φορέας αυτός να καταστεί δυνατή η μετατροπή των καυσίμων αυτών σε ενέργεια μέσω προχωρημένων συστημάτων με στροβίλους φυσικού αερίου και / ή οι κυψέλες καυσίμου.

2.4.1 Τρόποι μετατροπής βιομάζας σε καύσιμα.

Μέθοδοι μετατροπής για την παραγωγή φορέων ενέργειας από βιομάζα είναι άφθονες. Το σχήμα 3 απεικονίζει τις κύριες οδούς μετατροπής που χρησιμοποιούνται ή βρίσκονται υπό ανάπτυξη για την παραγωγή θερμότητας, ενέργειας και καυσίμων για τις μεταφορές. Θα αναφερθούν συνοπτικά οι τεχνολογίες μετατροπής για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μεγάλης κλίμακας και θερμότητας[1-3].



Σχήμα 3: Κύριες επιλογές μετατροπής της βιομάζας σε δευτερογενείς φορείς ενέργειας.

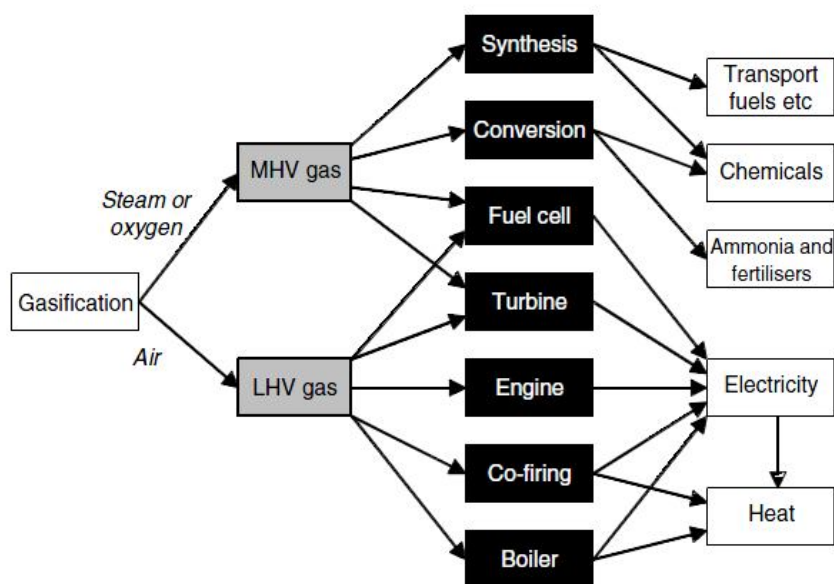
2.4.1.1 Καύση (Combustion)

Μεγαλύτερης κλίμακας καύση της βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρισμού εφαρμόζεται εμπορικά σε όλο τον κόσμο. Πολλές συνθέσεις

εργοστασιακών μονάδων έχουν αναπτυχθεί και παραδοθεί με την πάροδο του χρόνου. Βασικές ιδέες καύσης περιλαμβάνουν καύση πασσάλων, διάφορα είδη σχάρας καύσης (εν στάση, μετακινούμενη, δονούμενη), ανασταλμένη καύση και χρήση ρευστοποιητή. Κλειδί των εφαρμογών για την καύση βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι η βιομηχανία χαρτιού και χαρτοπολτού (P & P) . Η τυπική ηλεκτρική απόδοση με χρήση καύσης είναι μεταξύ 15 και πάνω από 20% ενώ πιο αποτελεσματικά σχέδια (φθάνοντας περίπου το 30% ηλεκτρική απόδοση) έχουν εκπονηθεί. Η καύση αποβλήτων αποτέλεσε το κλειδί για την ενεργειακή τεχνολογία που έχει αναπτυχθεί στην Ευρώπη. Παρόλα αυτά είναι σχετικά ακριβό το κόστος κατεργασίας με φάσμα 50-150 ευρώ /τόνο. Τυπική παραγωγή για τις αυτοτελείς μονάδες καύσης βιομάζας (συνήθως με ξύλο, όπως δασικά κατάλοιπα, ως καύσιμα) κυμαίνεται από 20-50MW, με σχετική ηλεκτρική απόδοση της τάξης του 25-30%. Οι εν λόγω εγκαταστάσεις είναι οικονομικά βιώσιμες όταν τα καύσιμα είναι διαθέσιμα σε χαμηλό κόστος ή όταν στη χώρα υπάρχει χρηματοδότηση για την χρήση ανανεώσιμων πηγών ηλεκτρικής ενέργειας . Τα τελευταία χρόνια προηγμένοι τρόποι καύσης έχουν διεισδύσει στην αγορά . Η εφαρμογή της τεχνολογίας του ρευστοποιητή καθώς και η προηγμένη τεχνολογία για τον καθαρισμό του φυσικού αερίου επιτρέπει την αποτελεσματικότερη παραγωγή ηλεκτρισμού (και θερμότητας) από βιομάζα. Σε μια κλίμακα περίπου 50-80MW, ηλεκτρικές αποδόσεις της τάξης του 30-40% είναι εφικτές[1-3].

2.4.1.2 Αεριοποίηση (Gasification)

Η αεριοποίηση ως μέσο για την μετατροπή μιας ποικιλίας στερεών καυσίμων σε καύσιμο φυσικό αέριο ή syngas , τράβηξε ιδιαίτερη προσοχή την δεκαετία του 80 σε όλο τον κόσμο αλλά και στην Ευρώπη. Η αεριοποίηση μετατρέπει την βιομάζα σε αέρια καύσιμα, τα οποία μπορούν να μετατραπούν περαιτέρω ή καθαρίζονται πριν από την καύση σε αεριοστρόβιλο. Μεγαλύτεροι αεριοποιητές (δηλαδή με παραγωγή πάνω από 10MWth) συνδέονται εν γένει με χρήση ρευστοποιημένης κλίνης οι οποίες έχουν υψηλή ευελιξία. Συστήματα ολοκληρωμένης αεριοποίησης βιομάζας / συνδυασμένου κύκλου (BIG / CC) συνδυάζουν ευελιξία όσον αφορά τα χαρακτηριστικά των καυσίμων με υψηλό επίπεδο ηλεκτρικής απόδοσης. Ηλεκτρικές αποδόσεις περίπου 40% (βάσει LHV) είναι δυνατές σε κλίμακα περίπου 30MWe σε βραχυπρόθεσμο ορίζοντα. Η υποσχόμενη αυτή τεχνολογία , που επιτρέπει υψηλό επίπεδο ηλεκτρικής απόδοσης σε μικρή κλίμακα σε συνδυασμό με το μικρό κόστος κεφαλαίου, είχε ως αποτέλεσμα σε διάφορες πρωτοβουλίες έρευνας και επίδειξης. Επιπλέον είναι δυνατόν να επιτευχθούν χαμηλά επίπεδα εκπομπών στην ατμόσφαιρα, διότι απαιτείται σοβαρός καθαρισμός του καύσιμου αερίου πριν από την καύση έτσι ώστε να πληρούνται οι προδιαγραφές του αεριοστρόβιλου[1-3].



Σχήμα 4: Εφαρμογές για συστήματα αεριοποίησης βιομάζας.

2.4.1.3 Πυρόλυση (Pyrolysis)

Πυρόλυση είναι θερμική αποσύνθεση που γίνεται απουσία οξυγόνου. Επίσης, είναι πάντα το πρώτο βήμα καύσης και αεριοποίησης, αλλά σε αυτές τις διαδικασίες ακολουθείται από ολική ή μερική οξείδωση των πρωτογενών προϊόντων. Χαμηλότερες θερμοκρασίες επεξεργασίας και μεγαλύτερος χρόνος αέριας παραμονής ευνοούν την παραγωγή ξυλάνθρακα. Οι υψηλές θερμοκρασίες και μεγαλύτερος χρόνος αέριας παραμονής οδηγούν στην αύξηση της μετατροπής της βιομάζας σε αέριο, ενώ μέτριες θερμοκρασίες και μικρός χρόνος αέριας παραμονής είναι βέλτιστα για την παραγωγή υγρών. Ο πίνακας 2 δείχνει την κατανομή του προϊόντος που λαμβάνεται από διαφορετικούς τρόπους πυρόλυσης. Η γρήγορη πυρόλυση για την παραγωγή υγρών έχει σήμερα ιδιαίτερο

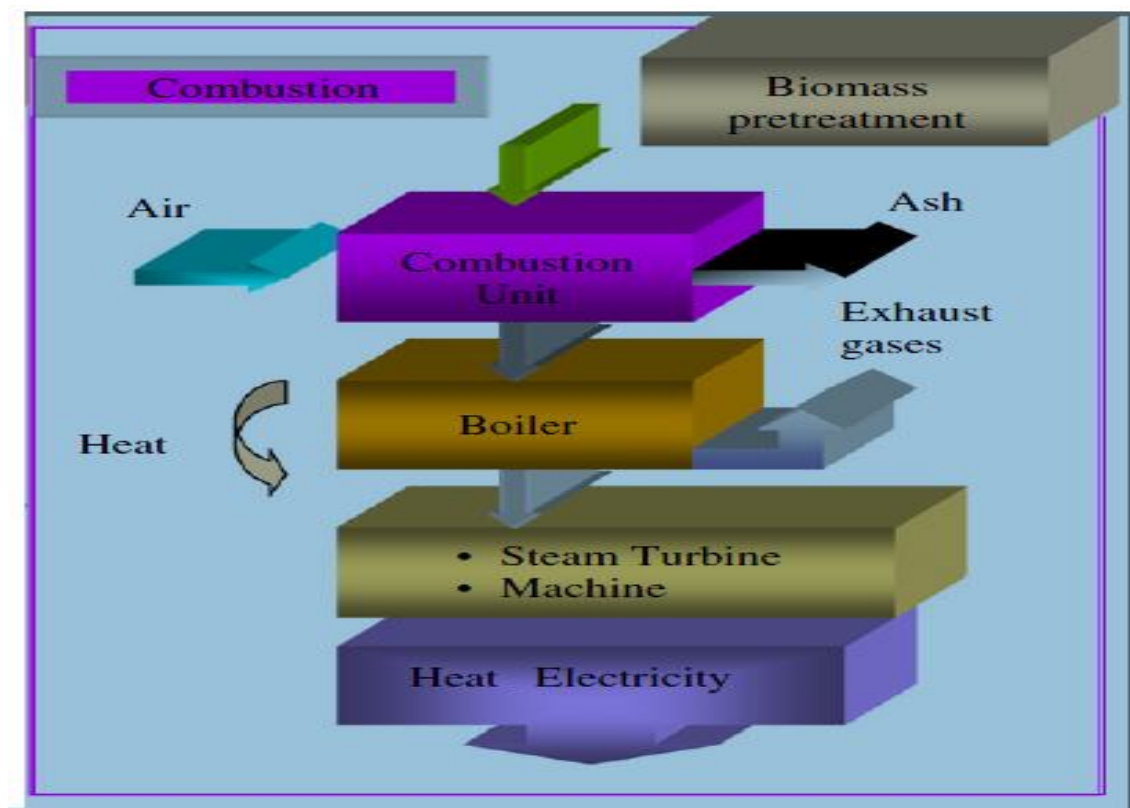
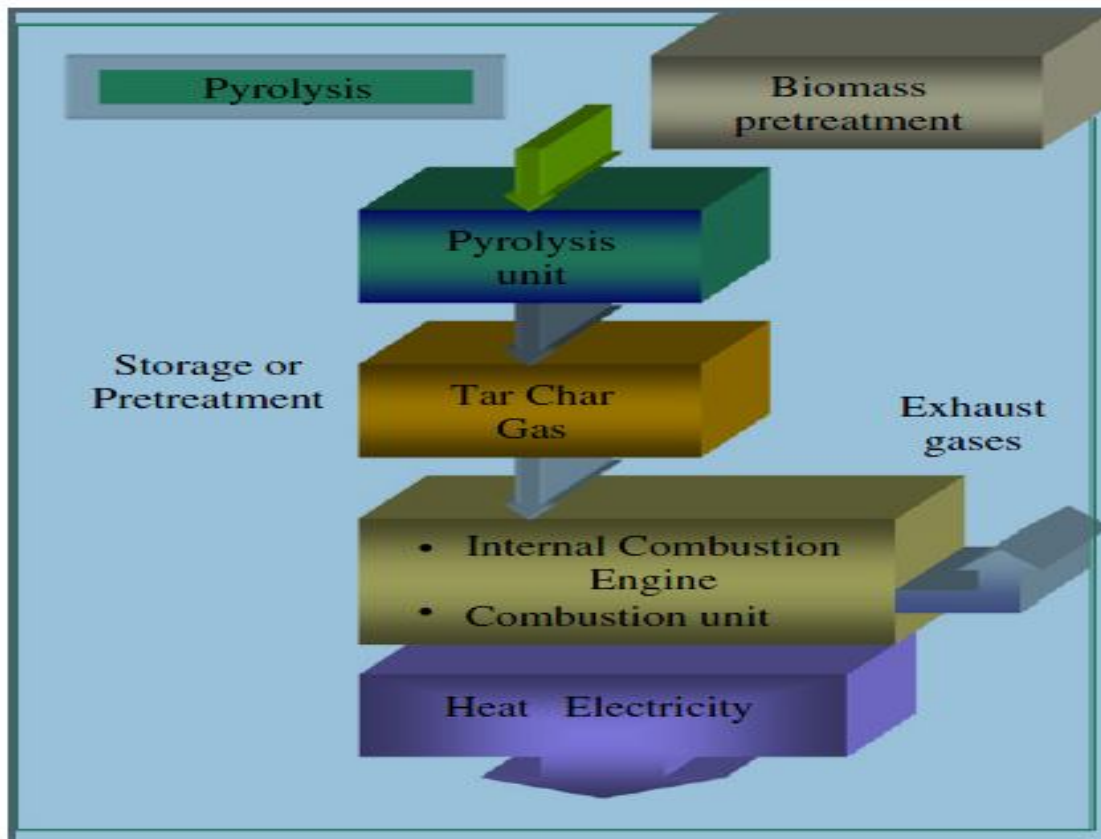
ενδιαφέρον διότι τα υγρά μπορούν να αποθηκεύονται και να μεταφέρονται ευκολότερα και με χαμηλότερο κόστος από τη στερεά βιομάζα. Η γρήγορη πυρόλυση γίνεται σε μερικά δευτερόλεπτα ή λιγότερο. Ως εκ τούτου οι διεργασίες μεταφοράς θερμότητας και μάζας και τα φαινόμενα μετάβασης φάσης, καθώς και οι χημικές αντιδράσεις, παίζουν σημαντικό ρόλο. Το κρίσιμο σημείο είναι να έρθουν τα αντιδρώντα σωματίδια βιομάζας στην βέλτιστη θερμοκρασία επεξεργασίας και να ελαχιστοποιηθεί η έκθεση τους στην ενδιάμεση θερμοκρασία που λειτούργει υπέρ του σχηματισμού κάρβουνου[1-3].

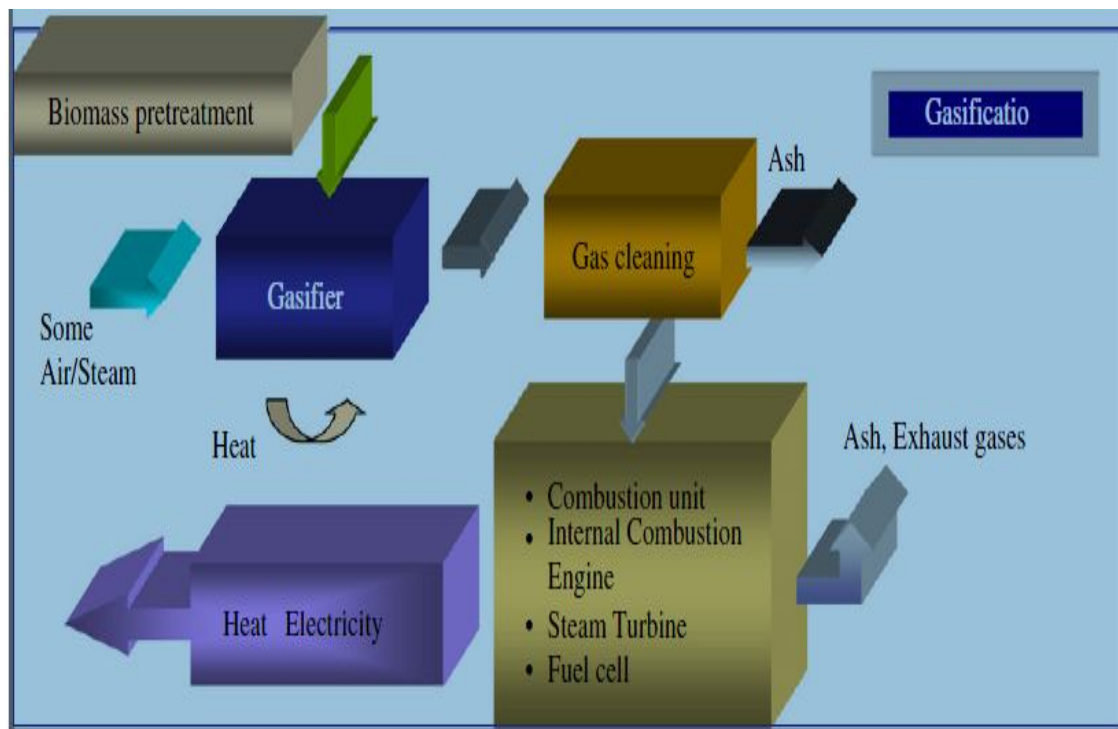
Mode	Conditions	Liquid (%)	Char (%)	Gas (%)
Fast	Moderate temperature, around 500 °C, Short hot vapour residence time, ~1 s	75	12	13
Intermediate	Moderate temperature, around 500 °C, Moderate hot vapour residence time ~10–20 s	50	20	30
Slow (carbonisation)	Low temperature, around 400 °C, very long residence time	30	35	35
Gasification	High temperature, around 800 °C, long residence times	5	10	85

Πίνακας 2: Τυπικές αποδόσεις προϊόντων (dry bases) που λαμβάνεται με διαφορετικούς τρόπους της πυρόλυσης ξύλου.

2.4.2 Ολοκληρωμένα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση βιομάζας ως καύσιμη ύλη.

Οι αυξημένες ανάγκες για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας καθώς επίσης και η απαίτηση οι τρόποι παραγωγής να είναι πιο φιλικοί προς το περιβάλλον οδήγησαν στην χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ένα μεγάλο μέρος της έρευνας επικεντρώθηκε στην χρήση βιομάζας ως καύσιμη ύλη. Με την πάροδο των ετών και με την ανάπτυξη της τεχνογνωσίας γύρω από τις μεθόδους που μπορούμε να διασπάσουμε τη βιομάζα σε καύσιμα, με ικανοποιητικά, ως προς την απόδοση, αποτελέσματα, πολλά μοντέλα ολοκληρωμένων συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τη βιομάζα αναπτύχθηκαν και ακόμα και σήμερα βελτιώνονται. Μια γενική επισκόπηση της διαδικασίας που ακολουθείται από την τροφοδοσία της βιομάζας μέχρι την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, για διαφορετικές μεθόδους διάσπασης της, παρουσιάζεται στο σχήμα 5.





Σχήμα 5: Γενική επισκόπηση ολοκληρωμένων συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας[7].

2.4.3 Ολοκληρωμένα συστήματα αεριοποίησης βιομάζας συνδυασμένου κύκλου (IBGCC).

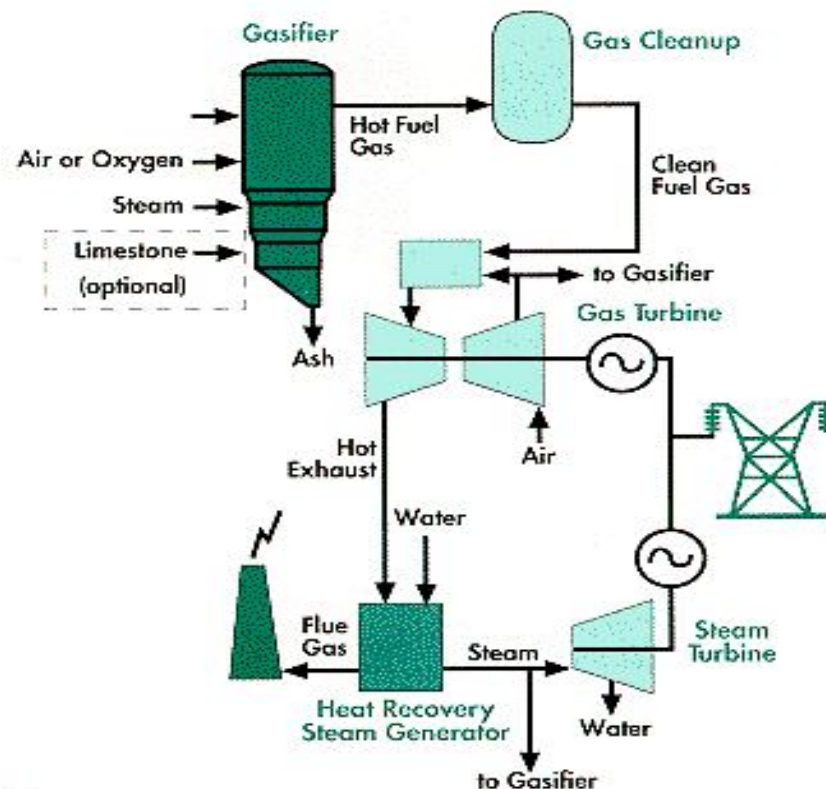
Μία ελκυστική και παράλληλα εφικτή δυνατότητα αξιοποίησης της βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι η ολοκληρωμένη αεριοποίηση της μαζί με συνδυασμένο κύκλο. Η τεχνολογία αυτή φαίνεται να έχει τη δυνατότητα να επιτύχει υψηλές αποδόσεις βασισμένη σε εντελώς καθαρά και ανανεώσιμα καύσιμα. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν καύσιμα χαμηλής βαθμίδας με ικανοποιητική συνολική απόδοση της τάξης 35% -50% με βάση την καθαρή θερμαντική αξία. Όλα

τα παραπάνω οδήγησαν στον στόχο αυτής της εργασίας δηλαδή στην μοντελοποίηση ενός αποδοτικού και παράλληλα φιλικού προς το περιβάλλον τέτοιου συστήματος[4-6].

3.ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΣΥΝΔΙΑΣΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ (IBGCC).

3.1 Γενικά

Τα ολοκληρωμένα συστήματα αεριοποίησης βιομάζας συνδυασμένου κύκλου (IBGCC) αντικαθιστούν τον παραδοσιακό καυστήρα με χρήση αεριοποιητή και αεριοστροβίλων. Η θερμότητα που παράγεται από τον αεριοστρόβιλο χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού για συμβατικό ατμοστρόβιλο. Ο αεριοστρόβιλος και ο ατμοστρόβιλος λειτουργούν μαζί ως ένας συνδυασμένος κύκλος. Τα IBGCC συστήματα είναι εξαιρετικά καθαρά, και πολύ πιο αποτελεσματικά από ό, τι τα συνηθισμένα συστήματα καυστήρα. Η λειτουργία τους βασίζεται σε προηγμένη τεχνολογία -χρήση ενός αεριοποιητή στη θέση του παραδοσιακού καυστήρα- σε συνδυασμό με μια βασική τεχνολογία που επιτρέπει τη χρήση προηγμένου αεριοστροβίλου. Το σύστημα που προκύπτει είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα αεριοποίησης βιομάζας συνδυασμένου κύκλου (Σχήμα 6) το οποίο παρέχει υψηλή αποδοτικότητα και πολύ χαμηλά επίπεδα ρύπανσης. Σε ένα σύστημα IBGCC, η βιομάζα μετατρέπεται σε αέριο καύσιμο, το οποίο καθαρίζεται έτσι ώστε να είναι συγκρίσιμο με το φυσικό αέριο. Το θερμό αέριο καθαρίζεται περαιτέρω από προηγμένη διαδικασία εκκαθάρισης πριν γίνει η καύση του στο στρόβιλο φυσικού αερίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η θερμότητας που προκύπτει από την λειτουργία του αεριοστροβίλου χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού για συμβατική τουρμπίνα ατμού, με αποτέλεσμα τους δύο κύκλους της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας



Σχήμα 6: Γενική επισκόπηση λειτουργίας IBGCC συστήματος[4].

3.2 Αποξήρανση Βιομάζας

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας ενός IBGCC συστήματος από την τροφοδοσία της βιομάζας μέχρι την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας συναντάμε διάφορα σημαντικά τμήματα αυτής της λειτουργίας. Το πρώτο από αυτά είναι ο αποξηραντής βιομάζας. Ο λόγος που απαιτείται ο αποξηραντής βιομάζας είναι ο εξής: η ξήρανση της βιομάζας καυσίμων βελτιώνει την αποτελεσματικότητα της καύσης, αυξάνει την παραγωγή ατμού, συνήθως μειώνει τα επίπεδα εκπομπής στην ατμόσφαιρα, και βελτιώνει τη λειτουργία λέβητα. Σε ένα λέβητα ή αεριοποιητή, η υγρασία στο καύσιμο πρέπει πρώτα να θερμαίνεται και να εξατμίζεται, μεταφέροντας μαζί της μια μεγάλη ποσότητα της θερμότητας. Ενώ ένας αποξηραντής καυσίμων καταναλώνει ενέργεια για τη θέρμανση και την

εξάτμιση της υγρασίας, η ξήρανση είναι πιο αποτελεσματική σε εξοπλισμό που έχει σχεδιαστεί ειδικά για το σκοπό αυτό. Αν η θερμότητα για τον αποξηραντή ανακτάται από τον λέβητα καυσαερίων ή από τον αεριοποιητή -ή από άλλα απόβλητα πηγών θερμότητας- η απόδοση αυξάνεται περαιτέρω[8].

3.2.1 Είδη αποξηραντών βιομάζας

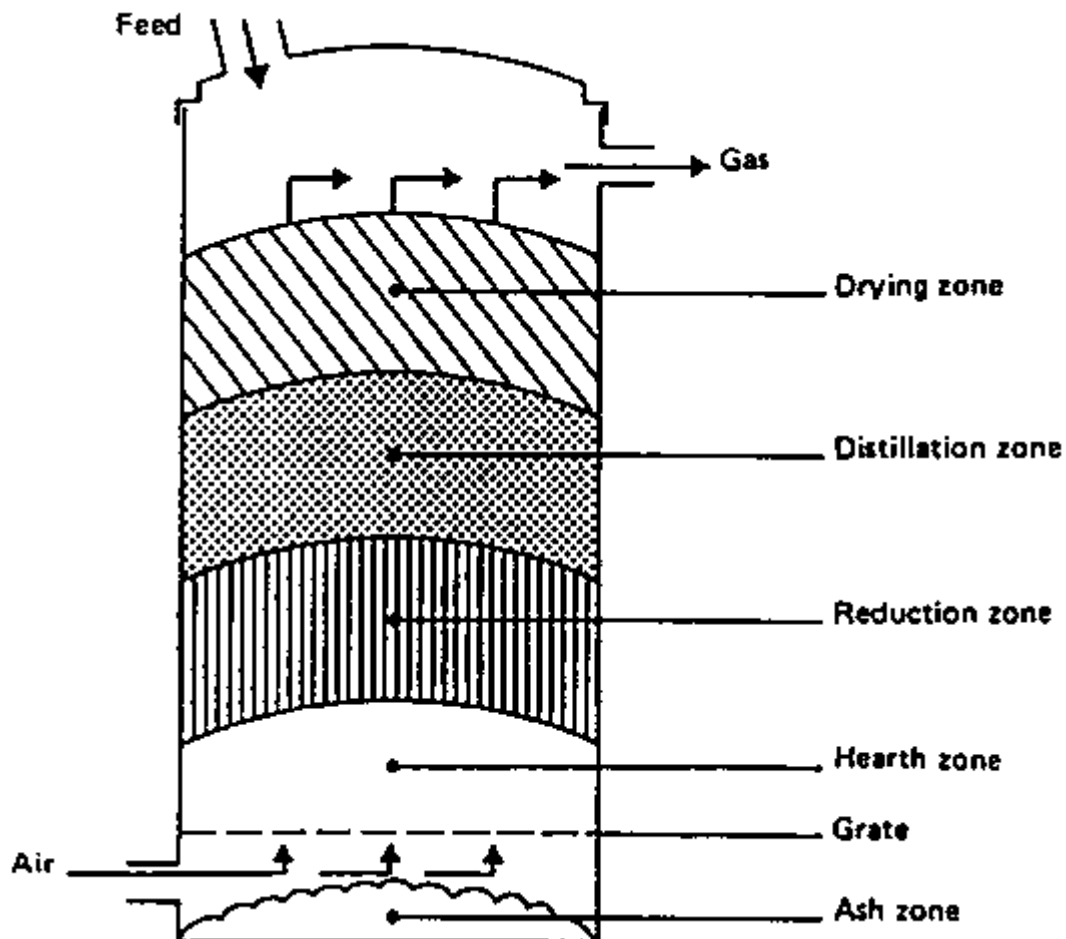
Οι αποξηραντές μπορούν γενικά να χωριστούν σε δύο κατηγορίες βασιζόμενες στον τρόπο με τον οποίο παρέχεται η θερμότητα για την αποξήρανση. Στους άμεσους αποξηραντές η βιομάζα παίρνει θερμότητα με άμεση επαφή με το μέσο που την παρέχει, είτε με θερμό αέρα είτε με θερμό ατμό. Στην έμμεση αποξήρανση η βιομάζα διαχωρίζεται από την πηγή της θερμότητας με μια επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας. Μια σημαντική συνέπεια της έμμεσης αποξήρανσης είναι το ότι είναι δυνατή η ανάκτηση της θερμότητας του εξατμιζόμενου νερού γιατί οι υδρατμοί δεν είναι αραιωμένοι από τον αέρα[8].

3.3 Αεριοποίηση Βιομάζας

Ένα άλλο σημαντικό τμήμα της λειτουργίας ενός συστήματος αεριοποίησης βιομάζας συνδυασμένου κύκλου (IBGCC) είναι ο αεριοποιητής. Ο αεριοποιητής είναι απαραίτητος για την μετατροπή στερεών καυσίμων σε καύσιμο φυσικό αέριο ή syngas. Πολλά είναι τα είδη αεριοποιητή που έχουν δημιουργηθεί τα οποία μέχρι και σήμερα βελτιώνονται όπως επίσης καινούριες τεχνολογίες γύρω από αυτά αναπτύσσονται[9,]. Μερικές από τις πιο σημαντικές τεχνολογίες αεριοποιητή παρουσιάζονται παρακάτω.

3.3.1 Updraught or counter current gasifier

Η παλαιότερη και απλούστερη μορφή αεριοποιητή είναι αυτή του updraught ή counter current gasifier και απεικονίζεται στο σχήμα 7.



Σχήμα 7: Updraught or counter current gasifier[28].

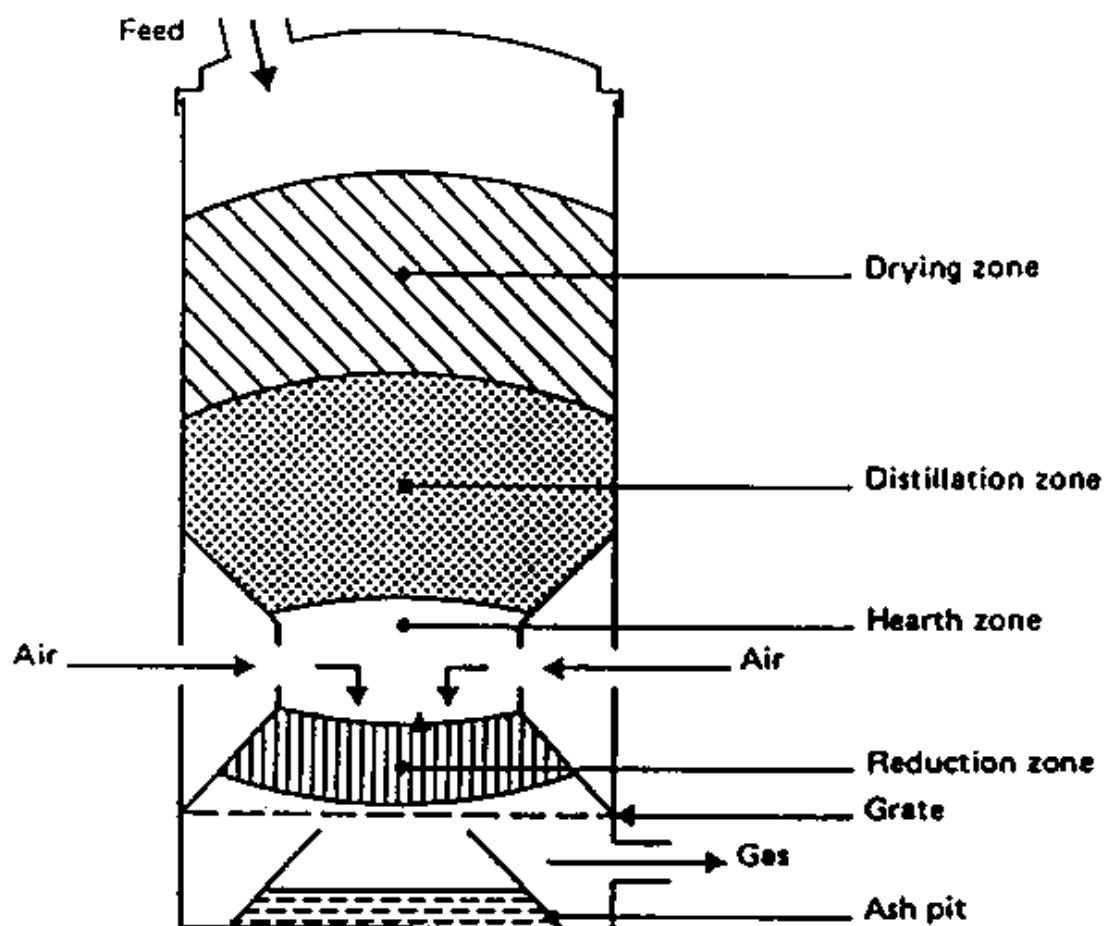
Η είσοδος αέρα είναι στο κάτω μέρος και το φυσικό αέριο φεύγει από την κορυφή. Κοντά στη σχάρα στο κάτω μέρος συμβαίνουν οι αντιδράσεις καύσης, οι οποίες ακολουθούνται από αντιδράσεις μείωσης κάπως ψηλότερα στο αεριοποιητή. Στο πάνω μέρος του αεριοποιητή, η θέρμανση και η πυρόλυση των πρώτων υλών προκύπτουν ως αποτέλεσμα της μετάδοσης θερμότητας με εξαναγκασμένη μεταβίβαση και ακτινοβολία

από τις χαμηλότερες περιοχές. Οι πίσσες και τα πτητικά που παράγονται κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας μεταφέρονται στη ροή του φυσικού αερίου. Η στάχτη απομακρύνεται από το κάτω μέρος του αεριοποιητή.

Τα κύρια πλεονεκτήματα αυτού του τύπου αεριοποιητή είναι η απλότητά του, το υψηλό ποσοστό καύσης του άνθρακα και η εσωτερική ανταλλαγή θερμότητας που οδηγεί σε χαμηλές θερμοκρασίες εξόδου του φυσικού αερίου. Πλεονέκτημα αποτελεί επίσης και η δυνατότητα λειτουργίας με πολλούς τύπους πρώτων υλών.

3.3.2 Downdraught or co-current gasifier

Μια λύση στο πρόβλημα της μεταφοράς της πίσσας στη ροή του φυσικού αερίου έχει βρεθεί με τον σχεδιασμό του downdraught ή co-current gasifier, στον οποίο η τροφοδοσία του αέρα που απαιτείται από την αεριοποίηση έχει εισαχθεί στη ή πάνω από τη ζώνη οξείδωσης στο αεριοποιητή. Το αέριο απομακρύνεται από το κάτω μέρος της συσκευής, έτσι ώστε τα καύσιμα και το φυσικό αέριο να κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση, όπως σχηματικά φαίνεται στο σχήμα 8.



Σχήμα 8: Downdraught or co-current gasifier[28].

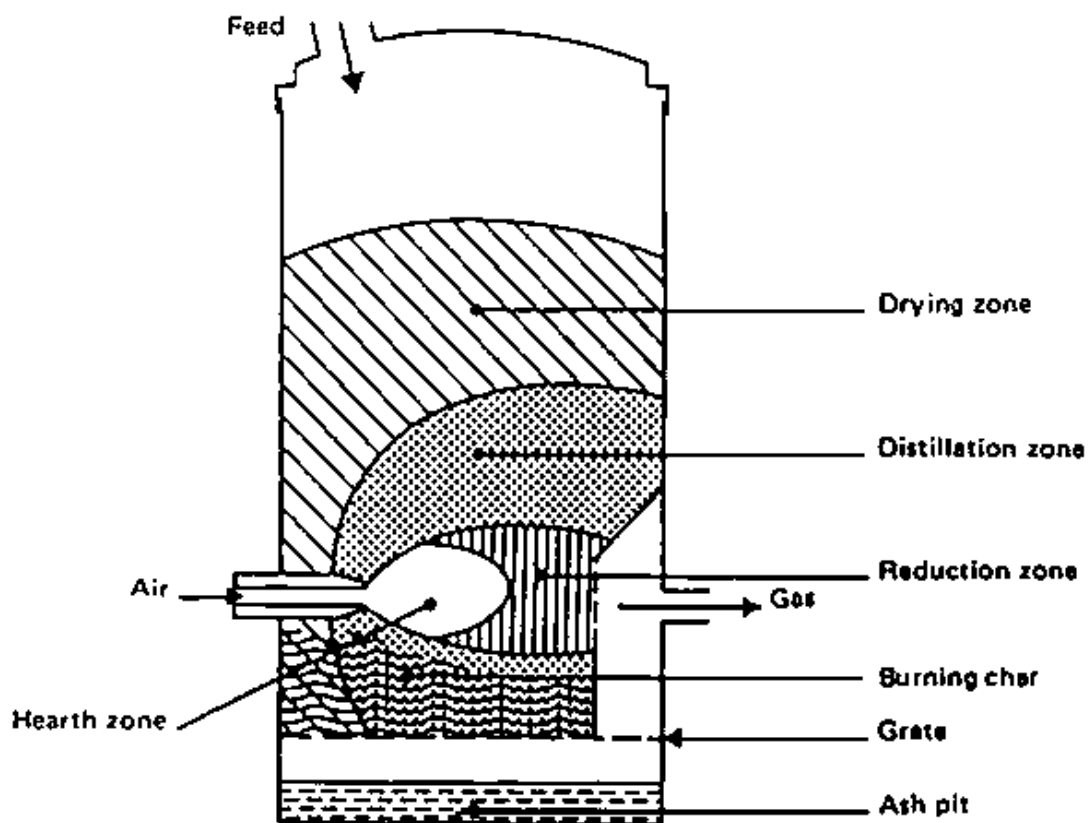
Στο δρόμο τους προς τα κάτω τα προϊόντα πίσσας της απόσταξης των καυσίμων πρέπει να περάσουν μέσα από μια πυρακτωμένη κλίνη άνθρακα και με αυτόν τον τρόπο μετατρέπονται μόνιμα σε αέρια όπως, υδρογόνο, διοξείδιο του άνθρακα, μονοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο. Ανάλογα με τη θερμοκρασία της θερμού ζώνης και με το χρόνο παραμονής των πισσώδη ατμών, μια μεγαλύτερη ή μικρότερη πλήρης διαίρεση των πισσών επιτυγχάνεται .

Το κυριότερο πλεονέκτημα του downdraught αεριοποιητή έγκειται στη δυνατότητα παραγωγής αερίου χωρίς πίσσα κατάλληλο για απευθείας

χρήση του από κινητήρα. Στην πράξη, ωστόσο, η παραγωγή φυσικού αερίου χωρίς πίσσα είναι σπάνια έως αδύνατη.

3.3.3 Cross-draught gasifier

Στον Cross-draught αεριοποιητή η αεριοποίηση της βιομάζας έχει ως αποτέλεσμα πολύ υψηλές θερμοκρασίες της τάξης των 1500 °C γεγονός το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα υλικού. Η απαραίτητη μόνωση για αυτές τις θερμοκρασίες προκύπτει από το ίδιο το καύσιμο. Ο Cross-draught αεριοποιητής παρουσιάζεται στο σχήμα 9.



Σχήμα 9: Cross-draught gasifier[28].

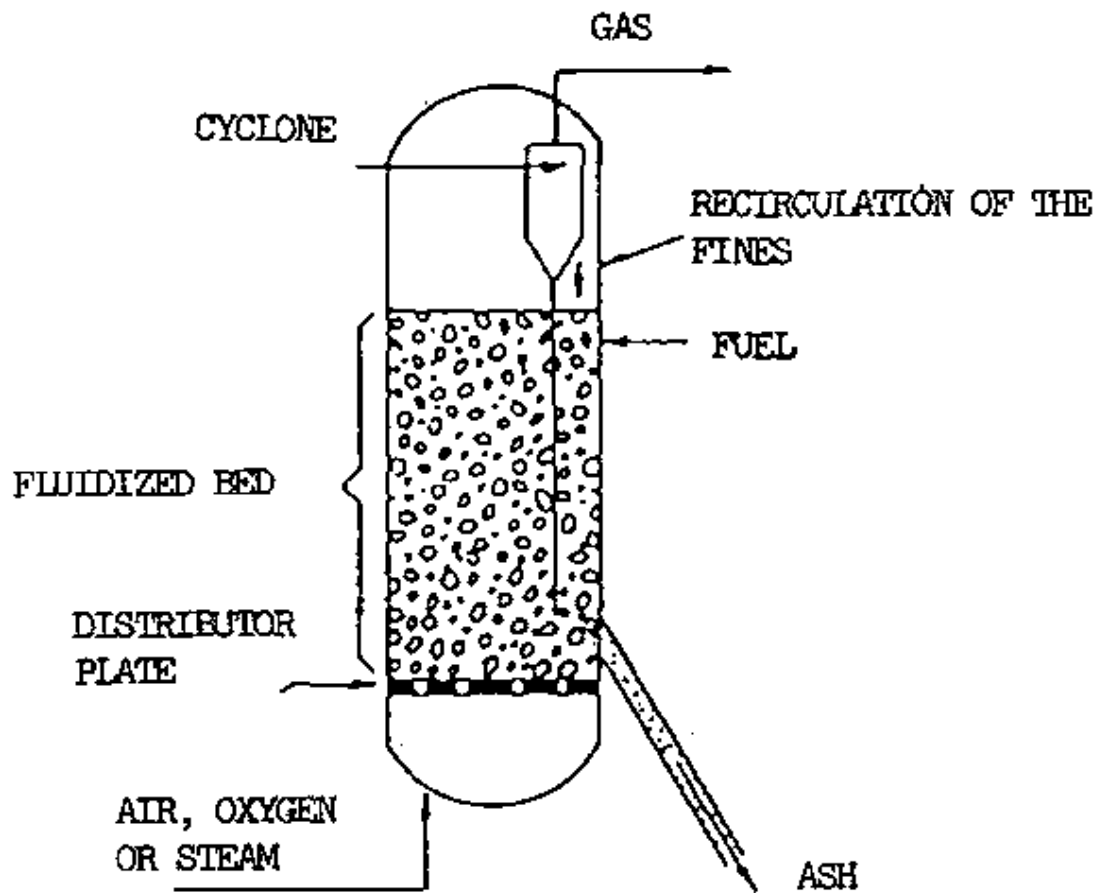
Πλεονεκτήματα του συστήματος βρίσκονται στην πολύ μικρή κλίμακα στην οποία μπορεί να λειτουργήσει. Εγκαταστάσεις κάτω από 10 kW μπορούν, υπό ορισμένες συνθήκες να είναι οικονομικά εφικτές.

3.3.4 Fluidized bed gasifier

Στον αεριοποιητή ρευστοποιημένης κλίνης, σχήμα 10, ο αέρας διοχετεύεται μέσα από ένα στρώμα (κλίνη) στερεών σωματιδίων με αρκετή ταχύτητα για να κρατήσουμε αυτά σε κατάσταση αναστολής. Η κλίνη είναι αρχικά εξωτερικά θερμαινόμενη και η πρώτη ύλη εισάγεται όταν μια επαρκώς υψηλή θερμοκρασία έχει επιτευχθεί. Τα σωματίδια των καυσίμων εισάγονται στο κάτω μέρος του αντιδραστήρα, πολύ γρήγορα αναμειγνύονται με το υλικό της κλίνης και σχεδόν ακαριαία θερμαίνονται μέχρι τη θερμοκρασία της κλίνης. Ως αποτέλεσμα αυτής της επεξεργασίας του καυσίμου είναι η πολύ γρήγορη πυρόλυση του, οδηγώντας σε ένα συνδυασμό στοιχείων με ένα σχετικά μεγάλο ποσό αέριων υλικών. Περαιτέρω αντιδράσεις αεριοποίησης και μετατροπή της πίσσας γίνονται στην αέρια φάση. Τα περισσότερα συστήματα είναι εξοπλισμένα με εσωτερικό κυκλώνα, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το κάψιμο του άνθρακα όσο το δυνατόν περισσότερο. Η στάχτη επίσης, μεταφέρεται στην κορυφή του αντιδραστήρα και πρέπει να απομακρυνθεί από τη ροή του φυσικού αερίου, εάν το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται σε εφαρμογές κινητήρα.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του αεριοποιητή ρευστοποιημένης κλίνης, προέρχονται από την ευελιξία χρήσης πρώτης ύλης που απορρέει από τον εύκολο έλεγχο της θερμοκρασίας, η οποία μπορεί να κρατηθεί κάτω από το λιώσιμο ή σημείο σύντηξης της τέφρας, και την ικανότητά τους να αντιμετωπίσουν αφράτα και με λεπτή υφή υλικά (πριονίδι κ.λπ.)

χωρίς την ανάγκη της προ-επεξεργασίας. Προβλήματα με τη τροφοδοσία, ή αστάθεια της κλίνης μπορεί να προκύψει με ορισμένα καύσιμα βιομάζας.



Σχήμα 10: Fluidized bed gasifier[28].

3.4 Turbines

Σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για να πάρουμε την ηλεκτρική ενέργεια πρέπει να μετατραπεί η καύσιμη ύλη σε ρεύμα. Η μετατροπή αυτή επιτυγχάνεται στους στρόβιλους. Σε ένα σύστημα παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας συνδυασμένου κύκλου απαιτούνται δύο ειδών στρόβιλοι, οι στρόβιλοι καύσης (gas turbines) και οι στρόβιλοι ατμού (steam turbines).

3.4.1 Gas Turbines

Ένας στρόβιλος καύσης είναι μια περιστροφική μηχανή η οποία εξάγει ενέργεια από την ροή καυσίμων αερίων. Τα τμήματα από τα οποία αποτελείται είναι ένας συμπιεστής και ένας στρόβιλος συνδυασμένα με ένα θάλαμο καύσης ανάμεσα τους. Ενέργεια προστίθεται στο ροή του αερίου στον καυστήρα, όπου τα καύσιμα αναμειγνύονται με αέρα και αναφλέγονται. Στο περιβάλλον υψηλής πίεσης του καυστήρα, η καύση των καυσίμων αυξάνει τη θερμοκρασία. Τα προϊόντα της καύσης, ωθούνται στο τμήμα του στροβίλου. Εκεί, η υψηλή ταχύτητα και ο όγκος του αερίου που κατευθύνεται μέσω ενός στομίου πάνω στις λεπίδες του στροβίλου, περιστρέφοντας την τουρμπίνα. Η ενέργεια που δίνεται στην τουρμπίνα προέρχεται από την μείωση της θερμοκρασίας των καυσαερίων.

Οι βιομηχανικοί στρόβιλοι καύσης κυμαίνονται σε μέγεθος από ένα φορηγό έως και τεράστια σύνθετα συστήματα. Έχουν την δυνατότητα να είναι ιδιαίτερος αποτελεσματικοί όταν η αποβαλλόμενη θερμότητα ανακτάται από μια γεννήτρια ατμού η οποία με τη σειρά της ενεργοποιεί έναν στρόβιλο ατμού σε ένα σύστημα συνδυασμένου κύκλου.



3.4.2 Steam Turbines

Η τουρμπίνα ατμού είναι μια μηχανική συσκευή που εξάγει θερμική ενέργεια από πιεσμένο ατμό και τη μετατρέπει σε περιστροφική κίνηση.

Έχει σχεδόν πλήρως αντικαταστήσει το παλινδρομικό έμβολο (ατμομηχανή), κυρίως λόγω της μεγαλύτερης θερμικής αποδοτικότητας και την υψηλότερη αναλογία ισχύος / βάρους. Επειδή ο στρόβιλος παράγει περιστροφική κίνηση, είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για να χρησιμοποιηθεί για να κινήσει μια ηλεκτρική γεννήτρια. Περίπου το 80% του συνόλου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο γίνεται με τη χρήση τουρμπινών ατμού. Η τουρμπίνα ατμού είναι μια μορφή θερμικής μηχανής που αντλεί μεγάλο μέρος της βελτιωμένης της θερμοδυναμικής απόδοσης με τη χρήση πολλαπλών σταδίων της διαστολής του ατμού.



4.ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

Τα σχεδιασμένα συστήματα έχουν διαμορφωθεί χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Cycle-Tempo, ένα πρόγραμμα σχεδιασμού ροής που αναπτύχθηκε για την αξιολόγηση συστημάτων μετατροπής ενέργειας[10-12]. Το πρόγραμμα cycle – tempo βασίζεται στον υπολογισμό της εξέργειας ενός συστήματος. Στην θερμοδυναμική, η εξέργεια ενός συστήματος είναι το μέγιστο δυνατό ωφέλιμο έργο κατά τη διάρκεια μιας διαδικασίας που θα φέρει το σύστημα σε ισορροπία με μια δεξαμενή θερμότητας. Όταν η γύρω περιοχή είναι η δεξαμενή, εξέργεια είναι η δυνατότητα του συστήματος να προκαλέσει μια αλλαγή καθώς επιτυγχάνει ισορροπία με το περιβάλλον του. Εξέργεια είναι τότε η ενέργεια που είναι διαθέσιμη για να χρησιμοποιηθεί. Αφού το σύστημα και οι γύρω περιοχές φτάσουν στην επίτευξη ισορροπίας, η εξέργεια είναι μηδέν[27].

Για την σχεδίαση του ολοκληρωμένου συστήματος αεριοποίησης βιομάζας συνδυασμένου κύκλου ορισμένες γενικές παραδοχές έχουν πραγματοποιηθεί:

- Τα συστήματα λειτουργούν σε σταθερή κατάσταση.
- Δεν υπάρχουν ακαθαρσίες που προκαλούνται από πίσσες και / ή από αλκαλικά μέταλλα.
- Τα συστήματα καθαρισμού είναι σε θέση να επιτύχουν την απαιτούμενη καθαρότητα του αερίου.
- Η μηχανική απόδοση όλων των περιστροφικών εξοπλισμών είναι 99%.

- Η σύνθεση του περιβάλλοντος είναι αυτή η οποία παρουσιάζεται στον πίνακα 3

Πίνακας 3: Σύνθεση περιβάλλοντος.

4.1 Σύνθεση συστήματος

Η αλυσίδα από την τροφοδοσία της βιομάζας μέχρι την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται από δύο κύρια μέρη το κομμάτι παραγωγής υδρογόνου και τους κινητήρες οι οποίοι παράγουν την ηλεκτρική ενέργεια. Το κομμάτι το οποίο υλοποιήθηκε για την παραγωγή υδρογόνου μπορεί να διαχωριστεί σε τρία επιμέρους σκέλη, τον αποξηραντή τον αεριοποιητή και αποστακτήρα.

4.2 Αποξηραντής.

Η βιομάζα που τροφοδοτείται είναι μη επεξεργασμένο ξύλο με wet-basis σύσταση η οποία παρουσιάζεται στον πίνακα 4.

Fuel Composition (User defined)

Component	Mass %
C	42.48
H	5.20
H ₂ O	15.00
N	0.47
O	36.12
S	0.05
SiO ₂	0.68
Total: 100.00 %	

Delete

Component panel

Al ₂ O ₃ (l)	C	C5H
Al ₂ O ₃ (s)	C ₂ H ₂	C6H
Ar	C ₂ H ₄	CCl ₄
BCl ₃	C ₂ H ₆	CH ₄
BF ₃	C ₃ H ₈	Cl
Br ₂	C ₄ H ₁₀	Cl ₂

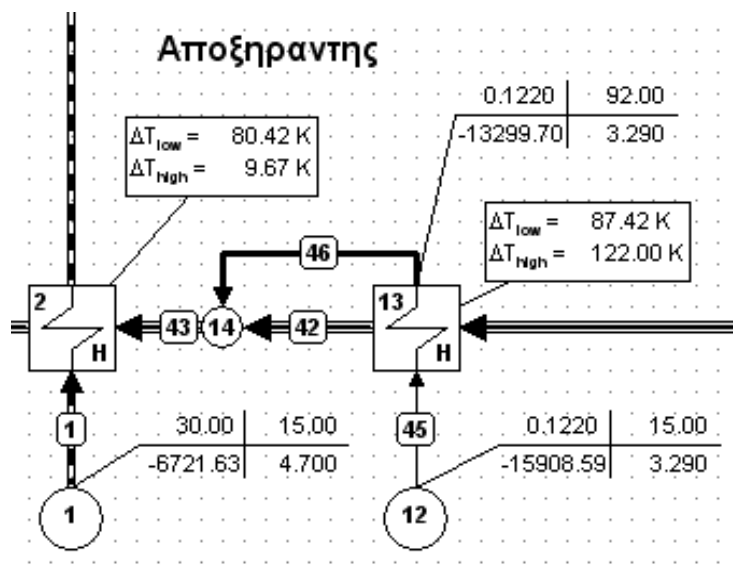
Default compositions

Lower heating value: 15500.00 kJ/kg

OK Cancel Clear Load Save As Help

Πίνακας 4: Σύνθεση βιομάζας (wet-basis)

Ο ρυθμός με τον οποίο τροφοδοτείται η βιομάζα είναι 4.7 Kg/s σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (15°C) . Για αυτήν την ποσότητα βιομάζας απαιτείται τροφοδοσία νερού και αέρα στο σύστημα με ρυθμό 3.9 Kg/s και 68 Kg/s αντίστοιχα. Η θερμοκρασία που απαιτείται για την αποξήρανση της βιομάζας ανακτάται από τον λέβητα καυσαερίων για να έχουμε καλύτερη απόδοση. Στο σχήμα 11 παρουσιάζεται ο αποξηραντής.



Σχήμα 11 :Αποξηραντής βιομάζας όπως υλοποιήθηκε στο Cycle - Tempo .

Οι τιμές εισόδου για την μονάδα του αποξηραντή είναι οι παρακάτω.

No.	Description	Input
1	Sink/Source	Delm:-4.7 Tout:15 Pout:30
2	Heat Exchanger	Delp1:0 Tout1:92 Delp2:0
12	Sink/Source	Tout:15 Delm: - 3.29
13	Heat Exchanger	Pout1:0.122 Delp1:0 Tout1:92 Delp2:0
14	Node	Delp:0

Πίνακας 5: Τιμές εισόδου μονάδων αποξηραντή.

4.3 Αεριοποιητής.

Το τμήμα παραγωγής υδρογόνου βασίζεται σε έναν Fast Internal Circulating Fluidized Bed (FICFB) αεριοποιητή. Ο FICFB αεριοποιητής έχει σχεδιαστεί από το Ινστιτούτο Χημικής Μηχανικής και ΑΕ Energietechnik. Πρόκειται για έναν έμμεσο αεριοποιητή ατμού, πράγμα

που σημαίνει ότι η θερμότητα που απαιτείται για τις ενδόθερμες αντιδράσεις αεριοποίησης παρέχεται από έναν συνδεδεμένο καυστήρα.

Ο αεριοποιητής αποτελείται από δύο fluidized beds, μια bubbling bed και μια circulating fluidized bed. Μέσα στην bubbling bed η βιομάζα αεριοποιείται με ατμό σε μια θερμοκρασία γύρω στους 800°C, ενώ στην circulating fluidized bed τα κατάλοιπα του άνθρακα από την αεριοποίηση καίγονται με αέρα σε μια θερμοκρασία γύρω στους 900-1000 °C. Το υλικό της κλίνης κυκλοφορεί μεταξύ των δύο αυτών κλινών και χρησιμοποιείται ως μέσο μεταφοράς θερμότητας. Η πίεση λειτουργίας είναι κοντά στην ατμοσφαιρική. Περισσότερες πληροφορίες μπορούν να βρεθούν στις πηγές [13-17]. Αυτός ο τύπος αεριοποιητή έχει επιλεγεί επειδή παράγει πλούσιο σε υδρογόνο αέριο, το οποίο μας οδηγεί σε υψηλή απόδοση σε υδρογόνο[18].

Το μοντέλο του αεριοποιητή χρησιμοποιεί δύο equilibrium αεριοποιητές σε σειρά οι οποίοι υπολογίζουν την σύνθεση του αερίου μέσω της ελαχιστοποίησης της ελεύθερης ενέργειας Gibbs για διαφορετικές θερμοκρασίες και πιέσεις ισορροπίας.

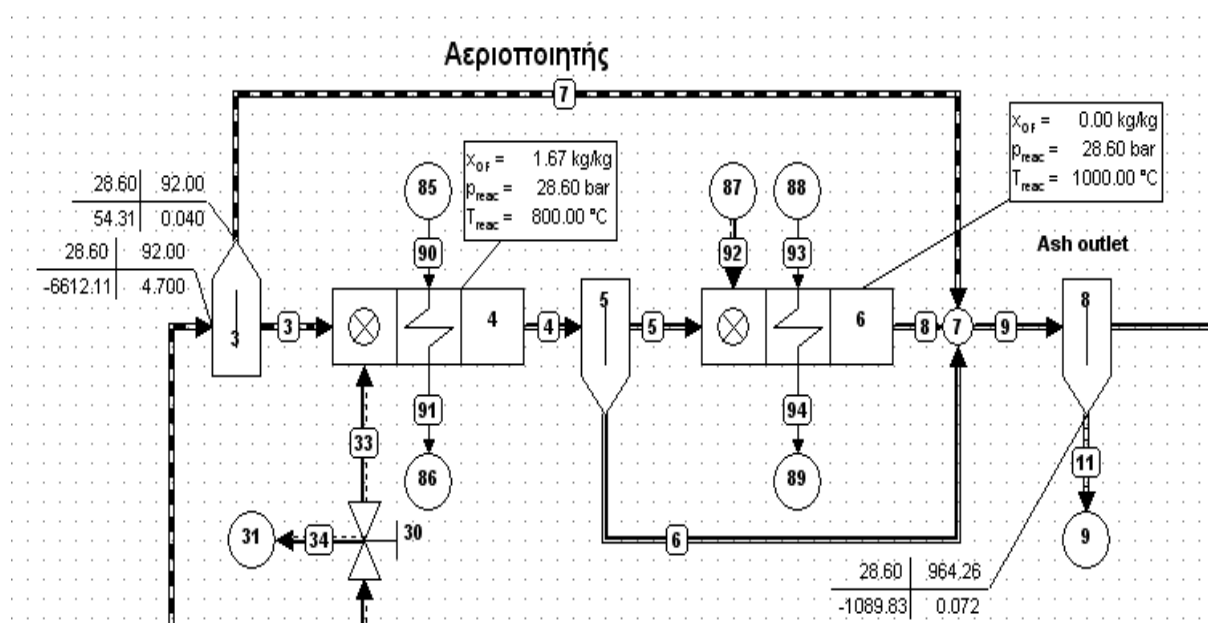
Ο πρώτος equilibrium αεριοποιητής χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή μεθανίου. Ο πρώτος διαχωριστής αφαιρεί το ποσοστό (2% Mol) του μη αντιδρώντος άνθρακα. Ο ενδιάμεσος διαχωριστής χρησιμοποιείται για να παρακάμψει ορισμένα από τα παράγωγα του πρώτου equilibrium αεριοποιητή. Το υπόλοιπο μίγμα περνά στον δεύτερο αεριοποιητή.

Η τελική σύνθεση μπορεί να συντονιστεί μέσω της αλλαγής των συνθηκών λειτουργίας των equilibrium αεριοποιητών αλλά και από την σύνθεση των διαχωριζόμενων συστατικών. Επίσης ένα μικρό ποσοστό των καυσαερίων από το κομμάτι της καύσης του FICFB αναμιγνύεται με το παράγωγο

αέριο. Ο κυκλώνας που έχει ως στόχο την απομάκρυνση των στερεών υπολειμμάτων μοντελοποιείται με έναν διαχωριστή ο οποίος αφαιρεί τις στάχτες και τον άνθρακα από το παράγωγο αέριο.

Ο υπολογισμός της αναμόρφωσης και των αντιδράσεων μετατροπής νερού αερίου βασίζεται και αυτός στην ελαχιστοποίηση της ελεύθερης ενέργειας Gibbs. Υποθέτουμε ότι και αυτές οι διαδικασίες φτάνουν σε ισορροπία.

Στο σχήμα 12 παρουσιάζεται ο αεριοποιητής.



Σχήμα 12 : Αεριοποιητής βιομάζας όπως υλοποιήθηκε στο Cycle - Tempro .

Οι τιμές εισόδου για την μονάδα του αεριοποιητή είναι οι παρακάτω.

No.	Description	Input
3	Separator	Delp5: 0 Delp6:0 Delt5:0 Delt6:0
4	Gasifier	Delp1:0 PREACT:28.6 TREACT:800 OFRATI:1.67 POUT2:28.6 DPASH:0 DTASH:0
5	Separator	Delp5: 0 Delp6:0 Delt5:0 Delt6:0
6	Gasifier	Delp1:0 Dele:500 Preact:28.6 TREACT:1000 OFRATI:0 Pout2:28.6
7	Node	Delp:0
8	Separator	Delp5: 0 Delp6:0 Dele:0 Temdif:0
9	Sink/Source	-
30	Valve/Splitter	32 to 33 flow 100% Pressure loss 0
31	Sink/Source	-
85	Sink/Source	Pout:1 Tout:15 Delm:0
86	Sink/Source	Tin:15
87	Sink/Source	Pout:30 Tout:99
88	Sink/Source	Pout:1 Tout:10 Delm:0
89	Sink/Source	Tin:15

Πίνακας 6: Τιμές εισόδου μονάδων αεριοποιητή.

Παρακάτω παρουσιάζεται το ποσοστό των παραγώγων τα οποία διαχωρίζονται από τους διαχωριστές όπως αναφέρονται παραπάνω.

Apparatus 3 Separator

Apparatus statistics

No.:

Name:

Additional input data

Separation of non reacting components to ash outlet

Component	Mass %
C	2.00

☐ Average mass percentage: mass %

Component panel

Al2O3(l)	C	C5H
Al2O3(s)	C2H2	C6H
Ar	C2H4	CCl4
BCl3	C2H6	CH4
BF3	C3H8	Cl
Br2	C4H10	Cl2

☐ Mole %

☒ Mass %

Apparatus 5 Separator

Apparatus statistics

No.:

Name:

Additional input data

Separation of non reacting components to ash outlet

Component	Mole %
CH4	100.00
CO2	50.00
H2	60.00
H2O	30.00

☐ Average mole percentage: mole %

Component panel

Al2O3(l)	C	C5H
Al2O3(s)	C2H2	C6H
Ar	C2H4	CCl4
BCl3	C2H6	CH4
BF3	C3H8	Cl
Br2	C4H10	Cl2

☒ Mole %

☐ Mass %

Apparatus 8 Separator

Apparatus statistics

No.:

Name:

Additional input data

Separation of non reacting components to ash outlet

Component	Mole %
C	100.00
SiO2	100.00

Component panel

Al2O3(l)	C	C5H
Al2O3(s)	C2H2	C6H
Ar	C2H4	CCl4
BCl3	C2H6	CH4
BF3	C3H8	Cl
Br2	C4H10	Cl2

☐ Mole or mass percentage

☒ Mole %

☐ Mass %

☐ Average mole percentage: mole %

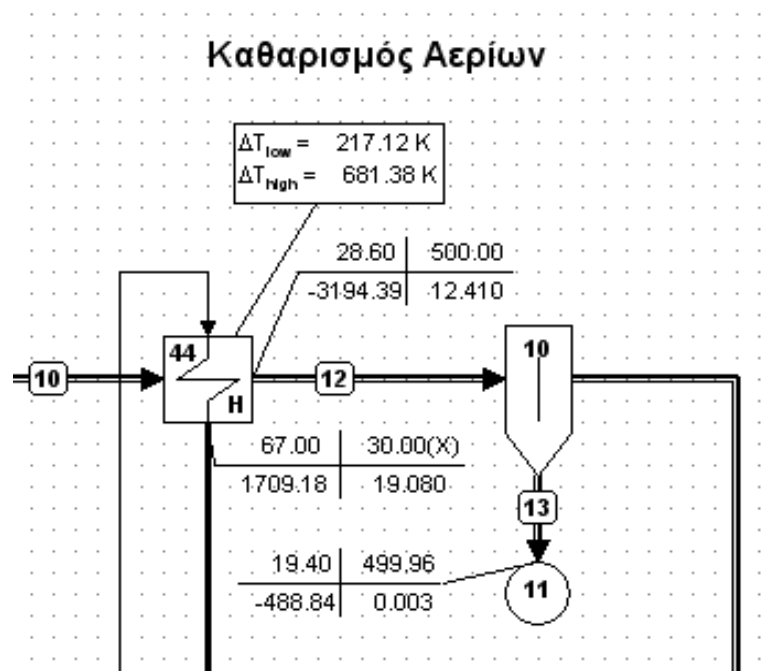
4.4 Καθαρισμός Αερίων.

Το αέριο που παράγεται από τον αεριοποιητή περιέχει πολλές προσμίξεις όπως πίσσες, ενώσεις του θείου, ενώσεις του αζώτου, αλκαλικά μέταλλα. Οι πίσσες, τα αλκαλικά μέταλλα τα σωματίδια έχουν την τάση να προσκολλώνται στις επιφάνειες ή ακόμα και να μπλοκάρουν όλα τα είδη εξοπλισμού. Το γεγονός αυτό κάνει απαραίτητη τη διαδικασία απομάκρυνσης των ακαθαρσιών και τον καθαρισμό των αερίων του συστήματος.

Στο σύστημα καθαρισμού των αερίων, το αέριο ψύχεται σε έναν μεταφορέα θερμότητας με την τροφοδοσία νερού. Με αυτόν τον τρόπο τα αλκαλικά μέταλλα και οι πίσσες συμπυκνώνονται σε παρασυρόμενα μόρια. Παράλληλα κρατώντας την επιφανειακή ταχύτητα του αερίου σε υψηλά επίπεδα στον μεταφορέα θερμότητας και εξαιτίας την λειαντικής φύσης του αερίου επιτυγχάνουμε να κρατήσουμε τις επιφάνειες του

καθαρές. Στη συνέχεια το αέριο περνάει από έναν διαχωριστή στον οποίο οι ακαθαρσίες του αερίου αποβάλλονται από το σύστημα [19,20].

Στο σχήμα 13 παρουσιάζεται ο καθαρισμός του αερίου.



Σχήμα 13 :Καθαρισμός αερίων όπως υλοποιήθηκε στο Cycle - Tempo .

Οι τιμές εισόδου για την μονάδα καθαρισμού αερίου είναι οι παρακάτω.

No.	Description	Input
10	Separator	Delp5:0 Delp6:0 Delt5:0 Delt6:0
11	Sink/Source	-
44	Heat Exchanger	Pout:67 Tout:500 Delp2:0

Πίνακας 7: Τιμές εισόδου μονάδων καθαρισμού αερίου.

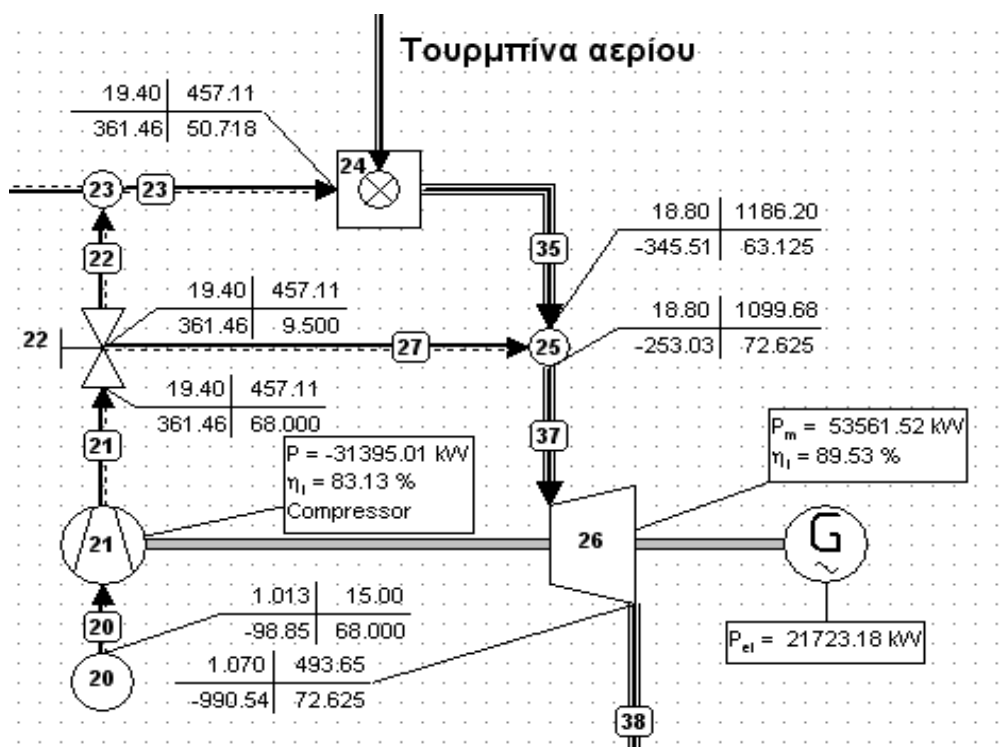
Από τον διαχωριστή αποβάλλονται από το σύστημα τα παρακάτω στοιχεία

4.5 Τουρμπίνα αερίου.

Το πρώτο κομμάτι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η τουρμπίνα καύσιμου αερίου.

Στο σύστημα που υλοποιήσαμε εμφανίζεται η τροφοδοσία αέρα. Ο αέρας συμπιέζεται και στην συνέχεια τροφοδοτείται με το καθαρό πλέον καύσιμο αέρα στον καυστήρα της τουρμπίνας. Τα προϊόντα της καύσης, ωθούνται στο τμήμα του στροβίλου. Εκεί, η υψηλή ταχύτητα και ο όγκος του αερίου που κατευθύνεται μέσω ενός στομίου πάνω στις λεπίδες του στροβίλου, περιστρέφοντας την τουρμπίνα και οδηγεί με αυτόν τον τρόπο την γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος.

Στο σχήμα 14 παρουσιάζεται το σύστημα τουρμπίνας καύσιμου αερίου.



Σχήμα 14 :Τουρμπίνα καύσιμων αερίων όπως υλοποιήθηκε στο Cycle - Tempo .

Οι τιμές εισόδου για την μονάδα τουρμπίνας καύσιμου αερίου είναι οι παρακάτω.

No.	Description	Input
20	Sink/Source	Pout:1.01325 Tout:15 Delm:-68
21	Compressor	Pout:19.4 Ethai:0.8313 Etham:0.997
22	Valve/Splitter	Absolute flow to pipe 22: 58.5kg/s Ploss:0
23	Node	Delp: 0
24	Combustor	Delp: 0.6 Dele: 500 Estofr:5 Estpou:18.8 Treact: 1147 Preact:18.8
25	Node	Delp:0
26	Turbine	Ethai: 0.8953
G	Generator	Etagen: 0.98

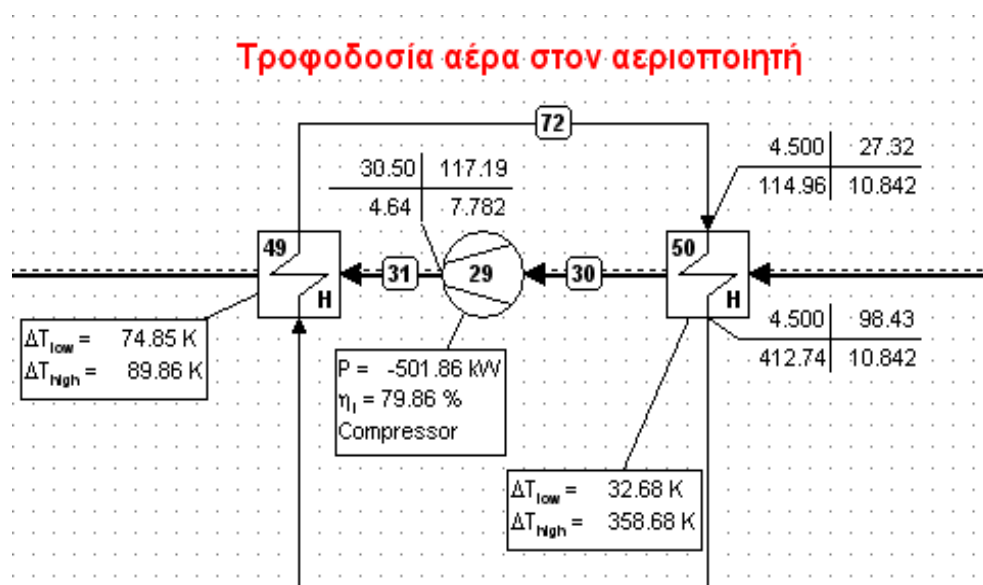
Πίνακας 8: Τιμές εισόδου μονάδων τουρμπίνας αερίων.

4.6 Τροφοδοσία αέρα αεριοποιητή.

Το μεγαλύτερο κομμάτι του αέρα το οποίο τροφοδοτείται στο σύστημα μας χρειάζεται για να καλύψει τις ανάγκες του καυστήρα της τουρμπίνας αερίου. Το υπόλοιπο μέρος χρειάζεται στο κομμάτι της αεριοποίησης της βιομάζας.

Για να φτάσει ο αέρας στις συνθήκες που απαιτεί ο αεριοποιητής δημιουργήθηκε το σύστημα τροφοδοσίας αέρα στον αεριοποιητή. Το σύστημα αυτό αποτελείται από δύο μεταφορείς θερμότητας οι οποίοι αυξάνουν την θερμοκρασία του αέρα τροφοδοτούμενοι από ζεστό νερό το οποίο προέρχεται από την τουρμπίνα ατμού. Επίσης διαθέτει έναν συμπιεστή αέρα.

Στο σχήμα 15 παρουσιάζεται το σύστημα τροφοδοσίας αέρα στον αεριοποιητή.



Σχήμα 15 :Τροφοδοσία αέρα στον αεριοποιητή όπως υλοποιήθηκε στο Cycle - Tempo .

Οι τιμές εισόδου για το σύστημα τροφοδοσίας αέρα στον αεριοποιητή είναι οι παρακάτω.

No.	Description	Input
49	Heat Exchanger	Delp1:0 Delp2:0 Tout2:99
50	Heat Exchanger	Delp1:0 Delp2:0 Tout2:60
29	Compressor	Pout:30.5 Ethai:0.7986 Etham: 0.9

Πίνακας 9: Τιμές εισόδου μονάδων τροφοδοσίας αέρα στον αεριοποιητή.

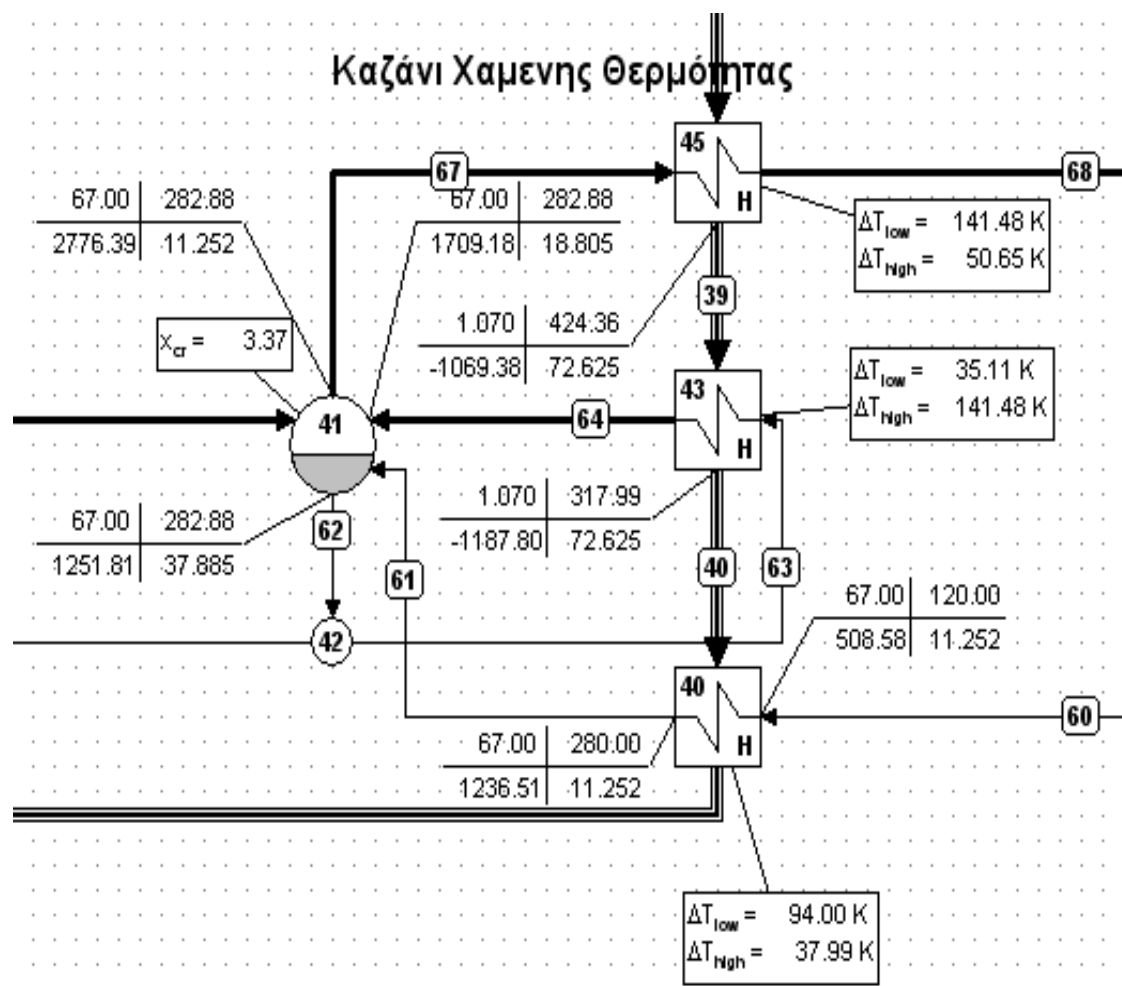
4.7 Καζάνι χαμένης θερμότητας.

Ένα πολύ σημαντικό κομμάτι για το σύστημα μας είναι το καζάνι χαμένης θερμότητας. Πολλές βιομηχανικές μονάδες παράγουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας οι οποίες απλώς εξάγονται από τα φουγάρα και έτσι χάνονται. Η ενέργεια αυτή θα μπορούσε να εκτοπίσει μέρος της εισροής ενέργειας που χρειάζεται μια βιομηχανική μονάδα. Ως κε τούτου, η ανάκτησης της χαμένης θερμότητας προσφέρει μια μεγάλη ευκαιρία για να χρησιμοποιηθεί παραγωγικά η ενέργεια αυτή μειώνοντας έτσι την συνολική κατανάλωση ενέργειας των συστημάτων αλλά και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Οι μέθοδοι ανάκτησης χαμένης θερμότητας που χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές μονάδες ανακόπτουν τα αέρια απόβλητα πριν εξαχθούν από την μονάδα αφαιρούν ένα μέρος της θερμότητας την οποία περιέχουν και στη συνέχεια την ανακυκλώνουν πίσω στο σύστημα.

Στο σύστημα μας, το καζάνι ανάκτησης χαμένης θερμότητας τροφοδοτείται κυρίως από την θερμότητα που δίνουν τα καυσαέρια τα οποία εξέρχονται από την τουρμπίνα αερίου. Επίσης θερμότητα αντλεί από την διαδικασία καθαρισμού των αερίων που προκύπτουν από αεριοποιητή. Το νερό το οποίο χρειάζεται για να γίνει ατμός τροφοδοτείται από τον deaerator της τουρμπίνας ατμού. Η χαμένη ενέργεια που συλλέγει το καζάνι με τη σειρά της αποτελεί την τροφοδοσία της τουρμπίνας ατμού.

Στο σχήμα 16 παρουσιάζεται το καζάνι χαμένης θερμότητας.



Σχήμα 16 :Καζάνι χαμένης θερμότητας όπως υλοποιήθηκε στο Cycle - Tempo .

Οι τιμές εισόδου για το καζάνι χαμένης θερμότητας είναι οι παρακάτω.

No.	Description	Input
40	Heat Exchanger	Delp1:0 Tout1:280 Delp2:0 Tout2:214
41	Drum	Pout:67
42	Node	Delp: 0
43	Heat Exchanger	Pout1:67 Delp2:0
45	Heat Exchanger	Pout1:60.3 Tout1:443 Pin2:1.07 Delp2:0

Πίνακας 10: Τιμές εισόδου μονάδων καζανιού χαμένης θερμότητας.

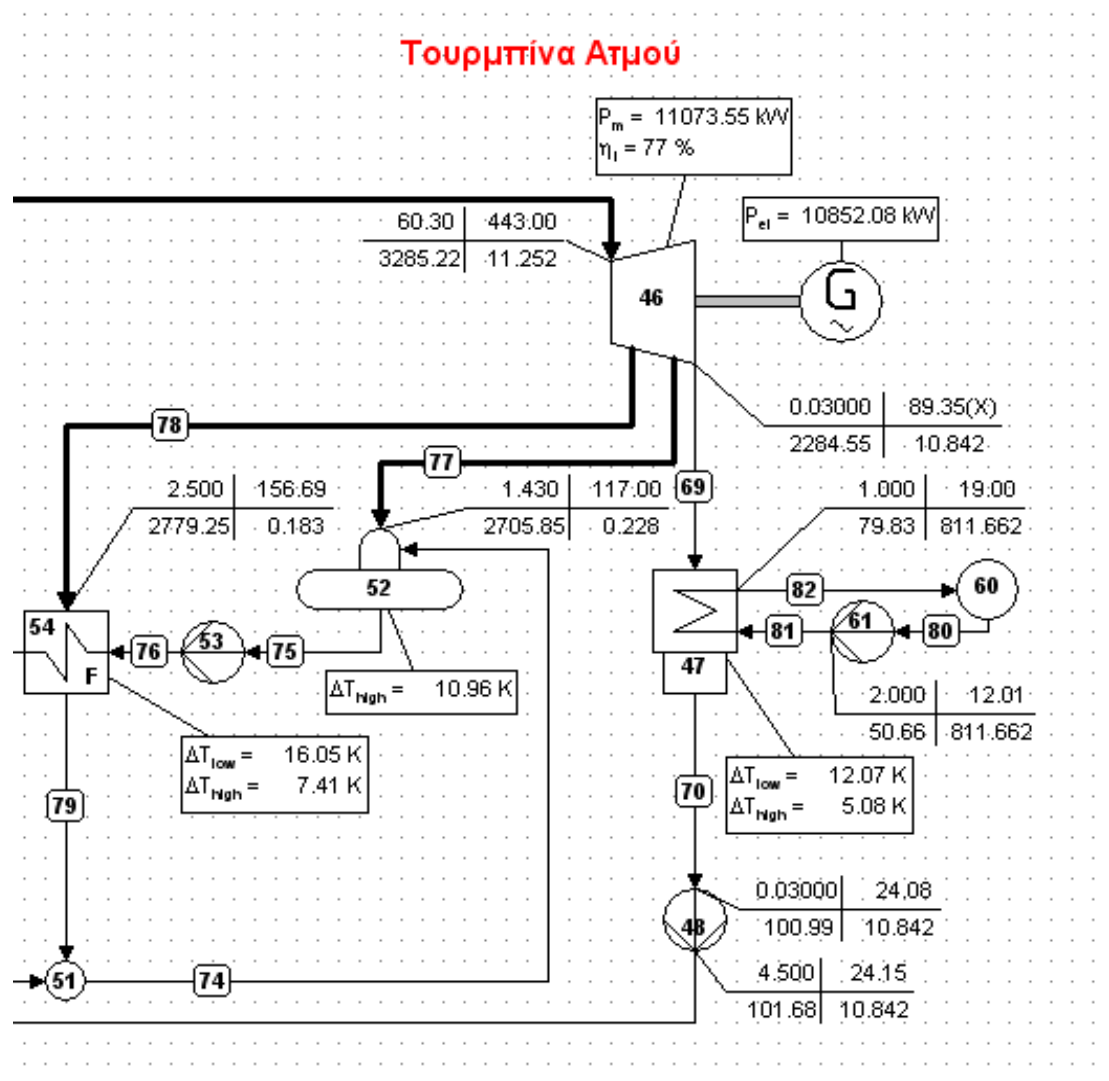
4.8 Τουρμπίνα ατμού.

Το δεύτερο κομμάτι του συστήματος το οποίο παράγει ηλεκτρική ενέργεια είναι η τουρμπίνα ατμού.

Ατμός από το καζάνι χαμένης θερμότητας τροφοδοτεί το στρόβιλο, ο οποίος παράγει περιστροφική κίνηση και με τη σειρά του κινεί μια ηλεκτρική γεννήτρια.

Ο ατμός που βγαίνει από την τουρμπίνα ατμού περνάει από έναν deaerator και ο ατμός μετατρέπεται σε νερό το οποίο τροφοδοτεί το καζάνι χαμένης θερμότητας. Επίσης στην έξοδο της τουρμπίνας ατμού ένα τμήμα του ατμού τροφοδοσίας έχει μετατραπεί σε νερό το οποίο περνάει από έναν συμπυκνωτή ο οποίος χρειάζεται για να μειώσουμε την πίεση του νερού. Το νερό αυτό συνδέεται με το σύστημα τροφοδοσίας αέρα στον αεριοποιητή.

Στο σχήμα 17 παρουσιάζεται η τουρμπίνα ατμού.



Σχήμα 17 :Τουρμπίνα ατμού όπως υλοποιήθηκε στο Cycle - Tempo .

Οι τιμές εισόδου για την τουρμπίνα ατμού είναι οι παρακάτω.

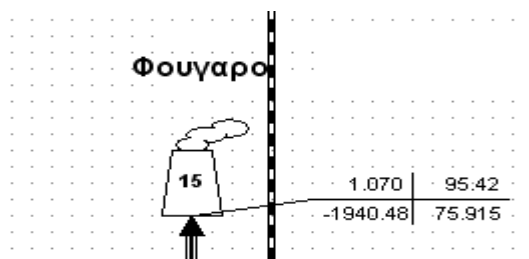
No.	Description	Input
46	Turbine	Ethai: 0.77
47	Condenser	Pout1:1 Delp:1 Tout1:19 Pout2:0.03 Delp2:0 Satcod:0
48	Pump	Pout:4.5 Ethai:0.65
51	Node	Delp: 0
52	Dearetor	Pin: 1.43 Delp: 0
53	Pump	Pout: 70 Ethai:0.65
54	Heat Exchanger	Delp1:0 Tout1:120 Satcod:0 Pout2:2.5 Delp2:0
60	Sink/Source	Delp:0 Tout:12
61	Pump	Ethai:0.65
G	Generator	Etagen: 0.98

Πίνακας 11: Τιμές εισόδου μονάδων τουρμπίνας ατμού.

4.9 Καμινάδα.

Η έξοδος των καυσαερίων στην ατμόσφαιρα γίνεται μέσω μιας καμινάδας.

Στο σχήμα 18 παρουσιάζεται το φουγάρο.



Σχήμα 18 :Καμινάδα όπως υλοποιήθηκε στο Cycle - Tempro .

Οι τιμές εισόδου για το φουγάρο είναι οι παρακάτω.

No.	Description	Input
15	Stack	-

Πίνακας 12: Τιμές εισόδου μονάδων καμινάδας.

4.10 Υπολογισμοί.

Το πρόγραμμα Cycle – Tempro μπορεί να εκτελέσει υπολογισμούς εξέργειας . Οι τιμές εξέργειας όλων των ροών που εξετάζονται από το διάγραμμα ροής του συστήματος υπολογίζονται με βάση την πρότερη υπολογισμένη πίεση, θερμοκρασία και χημική σύνθεση [21,22]. Η θερμομηχανική (φυσική) εξέργεια και η χημική εξέργεια υπολογίζονται ξεχωριστά. Ο υπολογισμός της χημικής εξέργειας απαιτεί τον καθορισμό ενός περιβάλλοντος που καθορίζει την εξέργεια οποιουδήποτε συστατικού σε συνθήκες αναφοράς. Το περιβάλλον που εφαρμόζεται για την παρούσα μελέτη παρουσιάζεται στον πίνακα 3. Οι απώλειες εξέργειας υπολογίζονται από το πρόγραμμα μέσω της εξεργειακής

ισορροπίας των διαφόρων διαδικασιών. Μια πιο λεπτομερής περιγραφή των υπολογισμών της εξέργειας παρουσιάζεται στο βιβλίο της al Szargut et. [23]. Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος θεωρείται ότι είναι 15 ° C και η περιβαλλοντική πίεση 1,01325 bar (1 atm).

Η αποτελεσματικότητα της ηλεκτρικής εξέργειας υπολογίζεται ως εξής:

$$\eta_{ex,el} = \frac{\sum P_{el,out} - \sum P_{el,in}}{Ex_{fuel,in}}$$

Όπου $P_{el,out}$ είναι η ηλεκτρική έξοδος του συστήματος, $P_{el,in}$ η ηλεκτρική είσοδος του συστήματος και $Ex_{fuel,in}$ είναι η εξέργεια του καυσίμου που εισέρχεται στο σύστημα

Η ολική αποτελεσματικότητα της εξέργειας δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\eta_{ex,tot} = \frac{\sum P_{el,out} + \sum Ex_{heat,out} - \sum P_{el,in}}{Ex_{fuel,in}}$$

Εδώ το $Ex_{heat,out}$ είναι η εξέργεια της παραγόμενης θερμότητας του συστήματος.

Η ολική ενεργειακή αποτελεσματικότητα του συστήματος υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο:

$$\eta = \frac{\sum P_{el,out} + Q - \sum P_{el,in}}{\phi_{m,fuel} \cdot LHV_{fuel}}$$

Το Q εδώ συμβολίζει την χρησιμοποιούμενη θερμότητα η οποία παράγεται από το σύστημα, το $\Phi_{m,fuel}$ είναι η ροή της μάζας του καυσίμου μέσα στο σύστημα και το LHV_{fuel} την lower heating value του καυσίμου.

5.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Πίνακες αποτελεσμάτων cycle - tempo.

Υποθέτουμε πως η ροή τροφοδοσίας της βιομάζας στο σύστημα μας είναι 4.7Kg s^{-1} σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, 15°C , και με πίεση 1.01325 bar. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα η αποδιδόμενη ενέργεια του ολοκληρωμένου συστήματος συνδυασμένου κύκλου να φτάσει τα 34.88MW. Το σύστημα μας τροφοδοτήθηκε με αέρα και νερό, των οποίων οι ποσότητες εξαρτώνται από τις ανάγκες του συστήματος και από την βιομάζα (σύνθεση – ποσότητα εισόδου). Για το παρών σύστημα απαιτήθηκε ροή 3.29Kg s^{-1} νερού και ροή 68Kg s^{-1} αέρα σε συνθήκες περιβάλλοντος. Οι τροφοδοσίες αυτές έχουν ως αποτέλεσμα παραγόμενο καύσιμο αέριο με άνυδρη σύνθεση όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 13 σε θερμοκρασία 818°C και πίεση 1.47 bar.

Συστατικό Στοιχείο	Έξοδος Μοντέλου Mol[%]	Βιβλιογραφικά Δεδομένα Mol[%]
Hydrogen (H_2)	35.28	30-40
Carbon Monoxide (CO)	22.56	20-30
Carbon Dioxide (CO_2)	20.81	15-25
Methane (CH_4)	17.16	8-12
Nitrogen(N_2)	4.01	3-5

Πίνακας 13: Άνυδρη σύνθεση παραγόμενου αερίου συγκρινόμενη με βιβλιογραφία.

Παράλληλα με το παραγόμενο καύσιμο αέριο παράγεται 0.072 Kg s^{-1} στάχτη. Μετά την αεριοποίηση το καύσιμο αέριο εισέρχεται στο τμήμα

καθαρισμού όπου και ψύχεται σε θερμοκρασία 113° C και καθαρίζεται πριν περάσει στον καυστήρα. Κατά την ψύξη 4111 Kw θερμότητας εξάγονται. Η ποσότητα του νερού που απαιτείται για την ψύξη είναι 8.76 Kg s⁻¹ . Μετά την ψύξη το αέριο συμπιέζεται στα 19.4 bar με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του στους 457° C. Το παραγόμενο αέριο τροφοδοτείται στον καυστήρα της τουρμπίνας με αποτέλεσμα την παραγωγή 9.125 Kg s⁻¹ καυσαερίων σε θερμοκρασία 1256° C. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια που προκύπτει στην τουρμπίνα αερίων φτάνει τα 24.225 Kw ενώ στην τουρμπίνα ατμού τα 10.386 Kw. Επίσης η εκπομπή ρίπων διοξειδίου του άνθρακα είναι 0.082 t MW⁻¹

Παρακάτω εμφανίζονται οι πίνακες με τα σημαντικότερα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά την εκτέλεση της προσομοίωσης του μοντέλου.

delivered	No.	Apparatus	Type	Energy	Totals	Exergy	Totals
				[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
Absorbed power	1	Sink/Source	10	72850.00		82537.88	
					72850.00		82537.88
Delivered gross power	1	Generator	G	24224.63		24224.63	
	2	Generator	G	10385.71		10385.71	
					34610.35		34610.35
Aux. power consumption	29	Compressor	29	501.86		501.86	
	48	Pump	8	8.92		8.92	
	53	Pump	8	127.90		127.90	
	61	Pump	8	128.92		128.92	
					767.60		767.60
Delivered net power							
					33842.75		33842.75
Efficiencies gross				47.509 %		41.933 %	
	net			46.455 %		41.003 %	

Πίνακας 14: Είσοδος και έξοδος ενέργειας και εξέργειας καθώς και η αποτελεσματικότητα του συστήματος.

Στον πίνακα 14 παρουσιάζονται οι εισροές της ενέργειας και της εξέργειας , η κατανάλωση και η αποτελεσματικότητα του συστήματος για τη μετατροπή της βιομάζας σε ηλεκτρική ενέργεια.

Η ακαθάριστη (gross) απόδοση υπολογίζεται διαιρώντας το σύνολο της ακαθάριστης ηλεκτρικής ενέργειας με την συνολική θερμική ισχύ που απορροφάται. Η καθαρή (net) απόδοση υπολογίζεται διαιρώντας το σύνολο της καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας με τη συνολική θερμική ισχύ που απορροφάται.

Composition number	LHV	HHV	LHV (without water)	HHV (without water)
	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[kJ/kg]
1	15500.00	17000.97	18235.29	20001.15
2	15500.00	17013.84	18262.91	20046.59
3	4824.92	5235.02	5178.03	5618.14
4	3944.51	4130.95	4170.84	4367.98
5	11260.77	13305.81	13567.32	16031.25
6	32761.30	32761.30	32761.30	32761.30
7	3919.04	4132.77	4095.51	4318.87
8	4891.96	5324.67	5194.13	5653.58
9	4814.87	5250.10	5114.11	5576.39
10	18197.94	18197.94	18197.94	18197.94
11	14657.85	15862.09	14657.85	15862.09
12	4812.76	5247.82	5111.94	5574.04
13	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.02	0.02	0.02	0.02
15	0.01	0.01	0.01	0.01
16	0.01	0.01	0.01	0.01
17	0.00	0.00	0.00	0.00

Πίνακας 15:Θερμαντική αξία του αερίου του συστήματος.

Composition number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
C(S)	0.4362	0.4313	0.0000	0.0000		1.0000	0.0000	0.0061		0.8621				0.0000	0.0000	0.0000	
H2	0.3182	0.3210	0.2151	0.1078	0.6390		0.1236	0.2263	0.2280			0.2280					
H2O	0.1027	0.1036	0.0875	0.0768	0.1300		0.0810	0.0744	0.0750			0.0750	0.0101	0.0829	0.0733	0.1362	1.0000
N2	0.0021	0.0021	0.3888	0.4872			0.4872	0.3884	0.3892			0.3892	0.7729	0.7188	0.7259	0.6767	
O2	0.1392	0.1405											0.2075	0.1147	0.1269	0.1183	
S	0.0002	0.0002															
SiO2	0.0014	0.0014	0.0010	0.0012			0.0012	0.0010		0.1379							
AR			0.0046	0.0058			0.0058	0.0046	0.0046			0.0046	0.0092	0.0086	0.0086	0.0081	
CO2			0.0930	0.0583	0.2303		0.0741	0.1050	0.1057			0.1057	0.0003	0.0750	0.0652	0.0608	
CH4			0.0001		0.0007		0.0000	0.0001	0.0001			0.0001					
COS			0.0000	0.0000			0.0000	0.0000	0.0000		0.0587						
H2S			0.0001	0.0002			0.0002	0.0001	0.0001		0.9065						
NH3			0.0000	0.0000			0.0000	0.0000	0.0000		0.0347						
SO2																	
CO			0.2097	0.2627			0.2469	0.1958	0.1973			0.1973					
Avg.molemass [kg/kmol]	12.33	12.34	23.12	25.48	13.78	12.01	25.48	23.05	23.08	18.64	35.02	23.08	28.85	28.94	28.93	28.19	18.02
LHV [kJ/mol]	191.11	191.27	111.55	100.51	155.17	393.46	99.86	112.76	111.13	339.21	513.32	111.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HHV [kJ/mol]	209.62	209.95	121.03	105.26	183.35	393.46	105.30	122.73	121.17	339.21	555.49	121.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Πίνακας 16: Σύνθεση του αερίου του συστήματος.

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζεται η ροή της ενέργειας και της εξέργειας.

Pipe no.	Total Energy flow [kW]	Therm.Mec. Energy flow [kW]	Chemical energy [kW]	Total Exergy flow [kW]	Therm.Mec. Exergy flow [kW]	Chemical exergy [kW]
1	79904.58 79904.58	0.00 0.00	79904.58	82537.88 82537.88	0.00 0.00	82537.88
2	80419.33 80419.33	514.75 514.75	79904.58	81047.13 81047.12	-1490.74 -1490.75	82537.88
3	79797.95 79797.95	512.30 512.30	79285.65	80345.59 80345.59	-1491.04 -1491.04	81836.63
4	81736.73 81736.73	16600.60 16600.60	65136.13	66567.41 66567.41	8348.91 8348.91	58218.51
5	58067.99 58067.99	12854.26 12854.26	45213.73	48195.93 48195.93	6541.22 6541.22	41654.71
6	23668.74 23668.74	3746.34 3746.34	19922.40	18681.46 18681.46	1811.06 1811.06	16870.41
7	1310.64 1310.64	2.44 2.44	1308.20	1363.36 1363.36	0.29 0.29	1363.07
8	57565.44 57565.44	12331.79 12331.79	45233.65	47813.62 47813.62	6345.60 6345.60	41468.02
9	82547.34 82547.34	16083.10 16083.10	66464.24	67560.15 67560.15	8144.14 8144.14	59416.01
10	81167.26 81167.26	16011.38 16011.38	65155.88	66156.31 66156.31	8105.27 8105.27	58051.04
11	1377.55 1377.55	69.19 69.19	1308.37	1413.93 1413.93	38.95 38.95	1374.98
12	77981.95 77981.95	12826.07 12826.07	65155.88	63883.83 67207.08	5832.79 9156.04	58051.04
13	44.10 44.10	1.93 1.93	42.17	40.78 40.78	1.47 1.47	39.30
14	77937.85 77937.85	12824.14 12824.14	65113.71	67168.09 67168.09	9154.57 9154.57	58013.52
20	1057.18 1057.18	1057.18 1057.18	0.00	9.89 9.89	0.00 0.00	9.89
21	32358.00 32358.00	32358.00 32358.00	0.00	29117.50 29117.50	29107.61 29107.61	9.89
22	27837.39 27837.39	27837.39 27837.39	0.00	25049.61 25049.61	25041.11 25041.11	8.51
23	24134.16 24134.16	24134.16 24134.16	0.00	21717.24 21717.24	21709.87 21709.87	7.37

27	4520.60 4520.60	4520.60 4520.60	0.00	4067.89 4043.10	4066.50 4041.72	1.38
29	3703.24 3703.24	3703.24 3703.24	0.00	3332.38 3332.38	3331.24 3331.24	1.13
30	474.73 474.73	474.73 474.73	0.00	1933.71 1933.71	1932.58 1932.58	1.13
31	926.41 926.41	926.41 926.41	0.00	2317.22 2317.22	2316.09 2316.09	1.13
32	782.46 782.46	782.46 782.46	0.00	2282.09 2282.09	2280.96 2280.96	1.13
33	782.46 782.46	782.46 782.46	0.00	2282.09 322.63	2280.96 321.50	1.13
34	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00	0.00 0.00	0.00 0.00	0.00
35	101604.94 101604.94	101603.98 101603.98	0.95	76204.09 76204.09	74307.36 74307.36	1896.73
37	106125.58 106125.58	106124.62 106124.62	0.95	79502.52 79502.52	77678.74 77678.74	1823.78
38	49602.54 49602.54	49601.59 49601.59	0.95	20509.18 20509.18	18685.40 18685.40	1823.78
39	44210.62 44210.62	44209.68 44209.68	0.95	17112.80 17112.80	15289.03 15289.03	1823.78
40	31078.44 31078.44	31077.48 31077.48	0.95	9686.52 9686.52	7862.75 7862.75	1823.78
41	23362.54 23362.54	23361.59 23361.59	0.95	6127.62 6127.62	4303.85 4303.85	1823.78
42	14779.29 14779.29	14778.34 14778.34	0.95	3307.48 3307.48	1483.70 1483.70	1823.78
43	23362.26 23362.26	23361.31 23361.31	0.95	4178.59 4178.59	2354.81 2354.81	1823.78
44	22847.52 22847.52	22846.57 22846.57	0.95	4062.90 4062.90	2239.12 2239.12	1823.78
45	0.28 0.28	0.28 0.28	0.00	-0.29 -0.29	-0.29 -0.29	0.00
46	8582.98 8582.98	8582.98 8582.98	0.00	912.99 1860.99	912.99 1860.99	0.00
60	4720.79 4720.79	4720.79 4720.79	0.00	759.77 757.31	759.77 757.31	0.00
61	12434.43 12434.43	12434.43 12434.43	0.00	3754.64 3754.64	3754.64 3754.64	0.00

62	42409.69	42409.69	0.00	12903.20	12903.20	0.00
	42409.69	42409.69		12903.20	12903.20	
63	34130.96	34130.96	0.00	10384.39	10384.39	0.00
	34130.96	34130.96		10384.39	10384.39	
64	47263.15	47263.15	0.00	16711.14	16711.14	0.00
	47263.15	47263.15		16711.14	16711.14	
65	8278.72	8278.72	0.00	2518.81	2518.81	0.00
	8278.72	8278.72		2518.81	2518.81	
66	11464.04	11464.04	0.00	4053.41	4053.41	0.00
	11464.04	11464.04		4053.41	4053.41	
67	28751.94	28751.94	0.00	11615.77	11615.77	0.00
	28751.94	28751.94		11615.77	11615.77	
68	34143.86	34143.86	0.00	14386.22	14386.22	0.00
	34143.86	34143.86		14386.22	14386.22	
69	22849.04	22849.04	0.00	691.06	691.06	0.00
	22849.04	22849.04		691.06	691.06	
70	389.94	389.94	0.00	5.02	5.02	0.00
	389.94	389.94		5.02	5.02	
71	397.03	397.03	0.00	9.70	9.70	0.00
	397.03	397.03		9.70	9.70	
72	540.97	540.97	0.00	14.91	14.91	0.00
	540.97	540.97		14.91	14.91	
73	3769.47	3769.47	0.00	481.06	481.06	0.00
	3769.47	3769.47		478.53	478.53	
74	3850.81	3850.81	0.00	490.79	490.79	0.00
	3850.81	3850.81		490.79	490.79	
75	4216.97	4216.97	0.00	573.17	573.17	0.00
	4216.97	4216.97		573.17	573.17	
76	4334.34	4334.34	0.00	659.71	659.71	0.00
	4334.34	4334.34		659.71	659.71	
77	367.07	367.07	0.00	84.79	84.79	0.00
	367.07	367.07		84.79	84.79	
78	467.79	467.79	0.00	121.44	121.44	0.00
	467.79	467.79		121.44	121.44	
79	81.34	81.34	0.00	12.71	12.71	0.00
	81.34	81.34		12.49	12.49	
80	9681.80	9681.80	0.00	49.73	49.73	0.00
	9681.80	9681.80		49.73	49.73	
81	9563.28	9563.28	0.00	126.34	126.34	0.00
	9563.28	9563.28		126.34	126.34	
82	12895.82	12895.82	0.00	87.66	87.66	0.00
	12895.82	12895.82		87.66	87.66	

Πίνακας 17:Ροη ενέργειας και εξέργειας του συστήματος

Ακολουθεί ο πίνακας με τις τιμές εξέργειας του συστήματος.

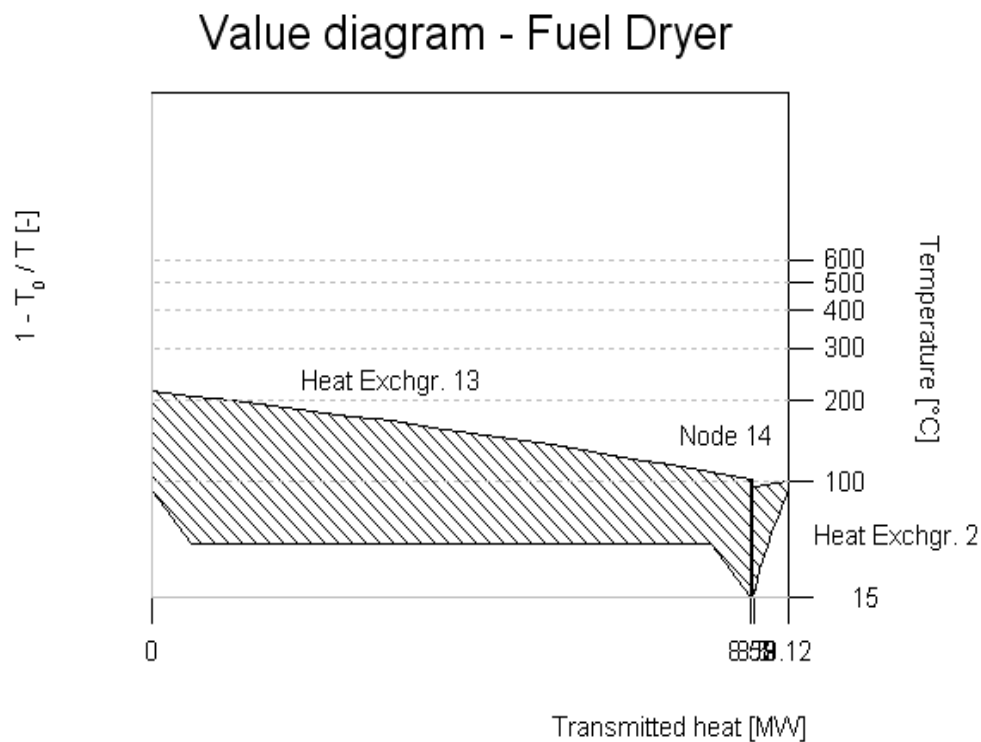
No.	Name	Type	Exergy transmitted from system [kW]			Rel. Ex. Loss [%]	Func. Exergy eff. [%]	Univ. Exergy eff [%]
			Total	Power/Heat	Losses			
26	Turbine	3	58993.34	56523.03	2470.31	2.99	95.81	96.89
46	Turbine	3	13488.93	10459.96	3028.97	3.67	77.54	78.95
47	Condensor	4	724.72	0.00	724.72	0.88	-5.64	11.34
54	Flash.Heater	5	8.67	0.00	8.67	0.01	92.03	98.89
13	Heat Exchgr.	6	1906.86	0.00	1906.86	2.31	32.38	68.88
40	Heat Exchgr.	6	561.57	0.00	561.57	0.68	84.22	94.62
45	Heat Exchgr.	6	625.93	0.00	625.93	0.76	81.57	98.05
2	Heat Exchgr.	6	1606.44	0.00	1606.44	1.95	-1288.58	98.15
49	Heat Exchgr.	6	29.92	0.00	29.92	0.04	14.82	98.71
50	Heat Exchgr.	6	932.52	0.00	932.52	1.13	33.33	72.14
52	Deaerator	7	2.42	0.00	2.42	0.00	96.87	99.58
48	Pump	8	-4.69	-8.82	4.14	0.01	53.10	70.10
53	Pump	8	-86.55	-126.15	39.60	0.05	68.61	94.34
61	Pump	8	-76.60	-127.38	50.78	0.06	60.13	71.33
14	Node	9	989.88	0.00	989.88	1.20		80.85
23	Node	9	0.00	0.00	0.00	0.00		100.00
25	Node	9	744.67	0.00	744.67	0.90		99.07
42	Node	9	0.00	0.00	0.00	0.00		100.00
7	Node	9	298.30	0.00	298.30	0.36		99.56
51	Node	9	0.22	0.00	0.22	0.00		99.95
60	Sink/Source	10	37.93	0.00	37.93	0.05		56.73
43	Heat Exchgr.	12	1099.53	0.00	1099.53	1.33	85.19	96.00
44	Heat Exchgr.	12	737.88	0.00	737.88	0.89	67.53	98.93
24	Combustor	13	12681.25	0.00	12681.25	15.36	77.41	85.73
22	Valve	14	0.00	0.00	0.00	0.00		100.00
30	Valve	14	0.00	0.00	0.00	0.00		100.00
41	Drum	15	0.22	0.00	0.22	0.00	100.00	100.00
6	Gasifier	23	382.31	0.00	382.31	0.46	99.08	99.21
4	Gasifier	23	14100.81	0.00	14100.81	17.08	82.77	82.52
5	Separator	26	-309.98	0.00	-309.98	-0.38		100.47
8	Separator	26	-10.09	0.00	-10.09	-0.01		100.01
3	Separator	26	-661.83	0.00	-661.83	-0.80		100.82
10	Separator	26	-1.79	0.00	-1.79	0.00		100.00
21	Compressor	29	-29107.61	-31395.01	2287.39	2.77	92.71	92.72
29	Compressor	29	-383.51	-501.86	118.35	0.14	76.42	95.14

1	Pipe		0.00		0.00	0.00		
2	Pipe		0.00		0.00	0.00		
3	Pipe		0.00		0.00	0.00		
12	Pipe		-3323.25		-3323.25	-4.03		
27	Pipe		24.78		24.78	0.03		
33	Pipe		1959.46		1959.46	2.37		
46	Pipe		-948.00		-948.00	-1.15		
60	Pipe		2.46		2.46	0.00		
68	Pipe		0.00		0.00	0.00		
73	Pipe		2.53		2.53	0.00		
79	Pipe		0.23		0.23	0.00		
92	Pipe		0.00		0.00	0.00		
	Medium to/from env.							
15	Stack	10	4062.90	0.00	4062.90	4.92		
20	Sink/Source	10	-9.89	0.00	-9.89	-0.01		
1	Sink/Source	10	-82537.88	-82537.88	0.00	0.00		
31	Sink/Source	10	0.00	0.00	0.00	0.00		
11	Sink/Source	10	40.78	0.00	40.78	0.05		
12	Sink/Source	10	0.29	0.00	0.29	0.00		
9	Sink/Source	10	1413.93	0.00	1413.93	1.71		
85	Sink/Source	10	0.00	0.00	0.00	0.00		
86	Sink/Source	10	0.00	0.00	0.00	0.00		
87	Sink/Source	10	0.00	0.00	0.00	0.00		
88	Sink/Source	10	0.00	0.00	0.00	0.00		
89	Sink/Source	10	0.00	0.00	0.00	0.00		
	Total:		0.00	-47714.11	47714.11	57.80		

Πίνακας 18: Τιμές εξέργειας του συστήματος

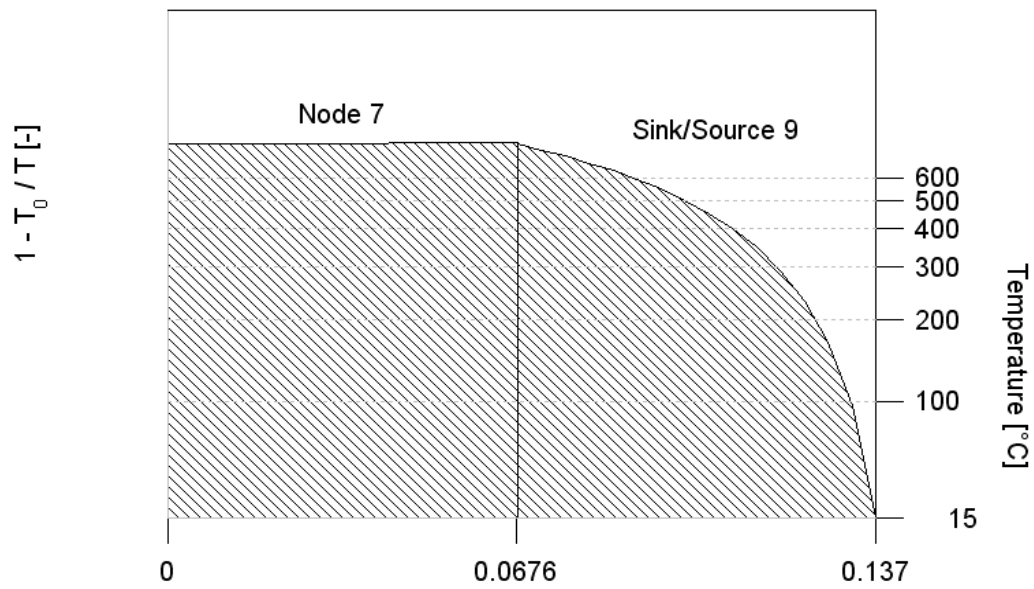
5.2 Διαγράμματα Θερμικής Κατατομής.

Τα διαγράμματα θερμικής κατατομής μας υποδεικνύουν τις απώλειες εξέργειας ανά τμήμα του συστήματος. Όσο μικρότερη η σκιαγραφημένη επιφάνεια τόσο μικρότερη και η απώλεια εξέργειας στο τμήμα αυτό.



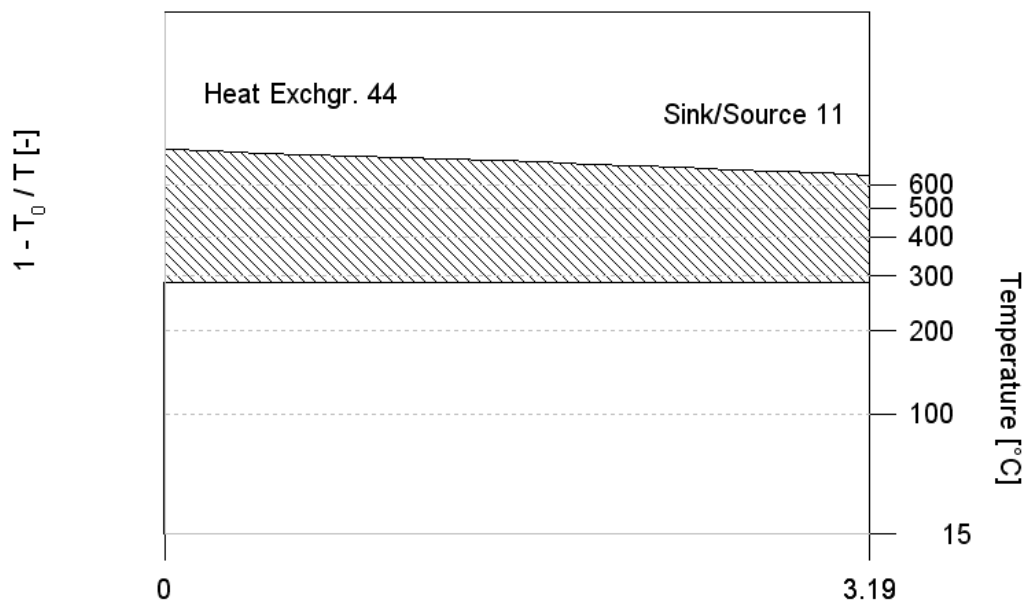
Διάγραμμα 1: Διάγραμμα θερμικής κατατομής στεγνωτήρα καυσίμων

Value diagram - Gasifier

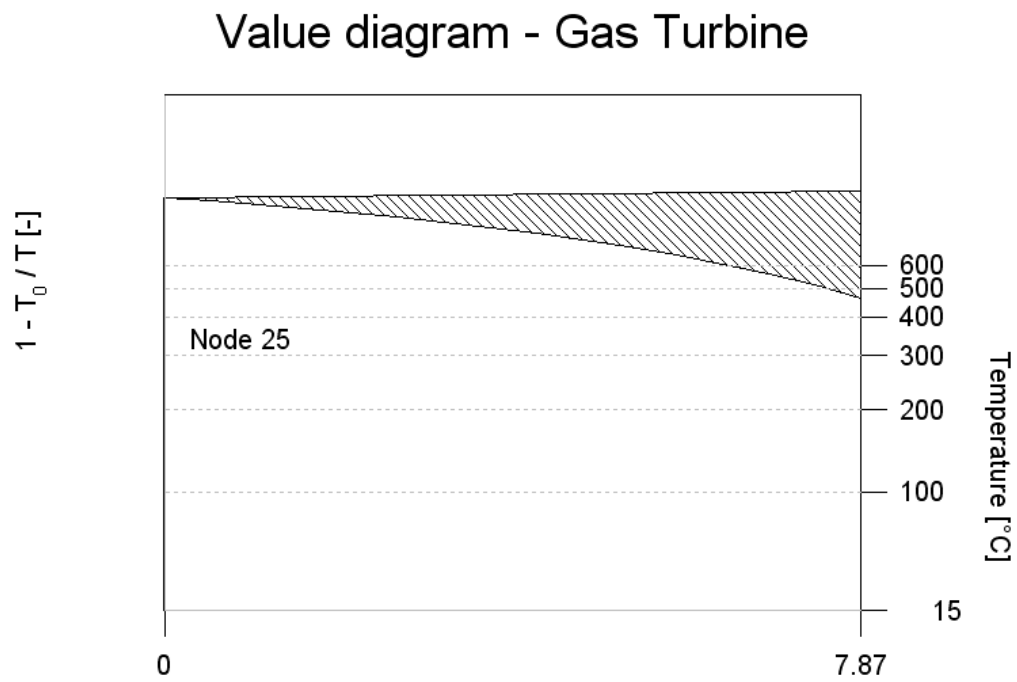


Διάγραμμα 2: Διάγραμμα θερμικής κατατομής αεριοποιητή

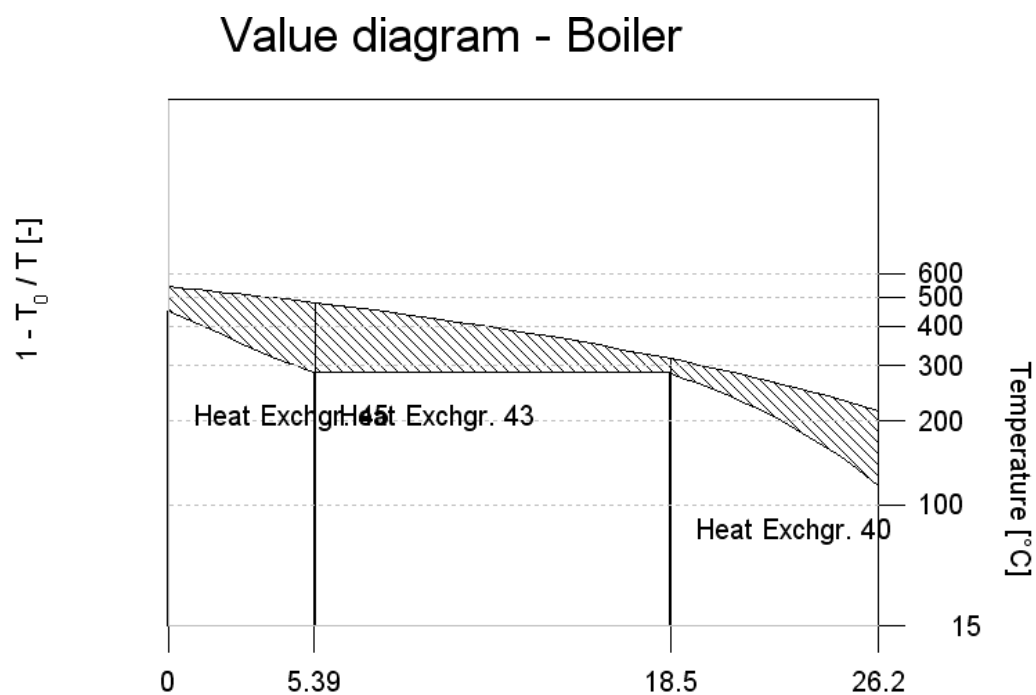
Value diagram - Gas Cleaning



Διάγραμμα 3: Διάγραμμα θερμικής κατατομής τμήματος καθαρισμού αερίων

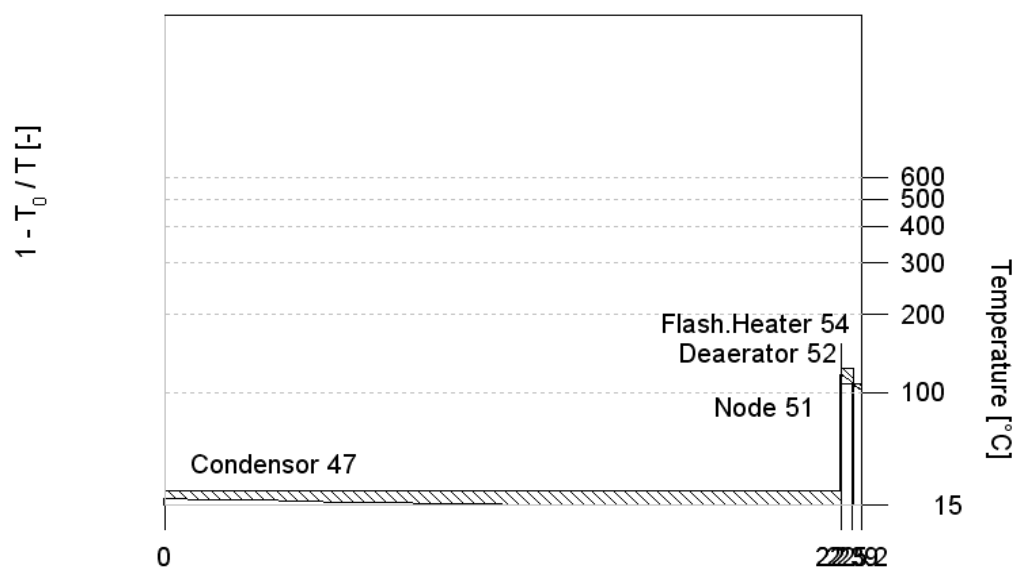


Διάγραμμα 4: Διάγραμμα θερμικής κατατομής τουρμπίνας αερίων



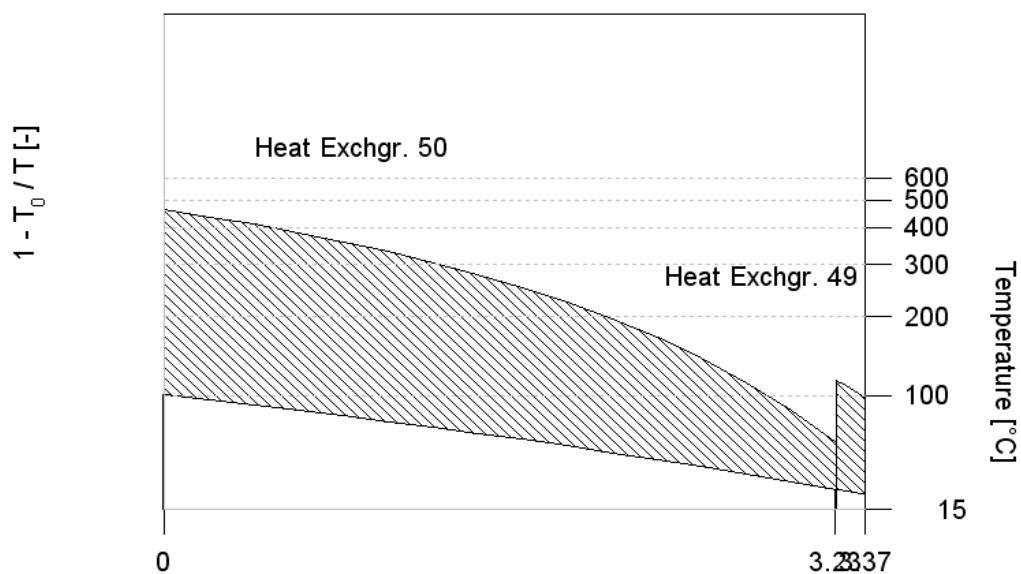
Διάγραμμα 5: Διάγραμμα θερμικής κατατομής καζανιού χαμένης θερμότητας

Value diagram - Steam Turbine

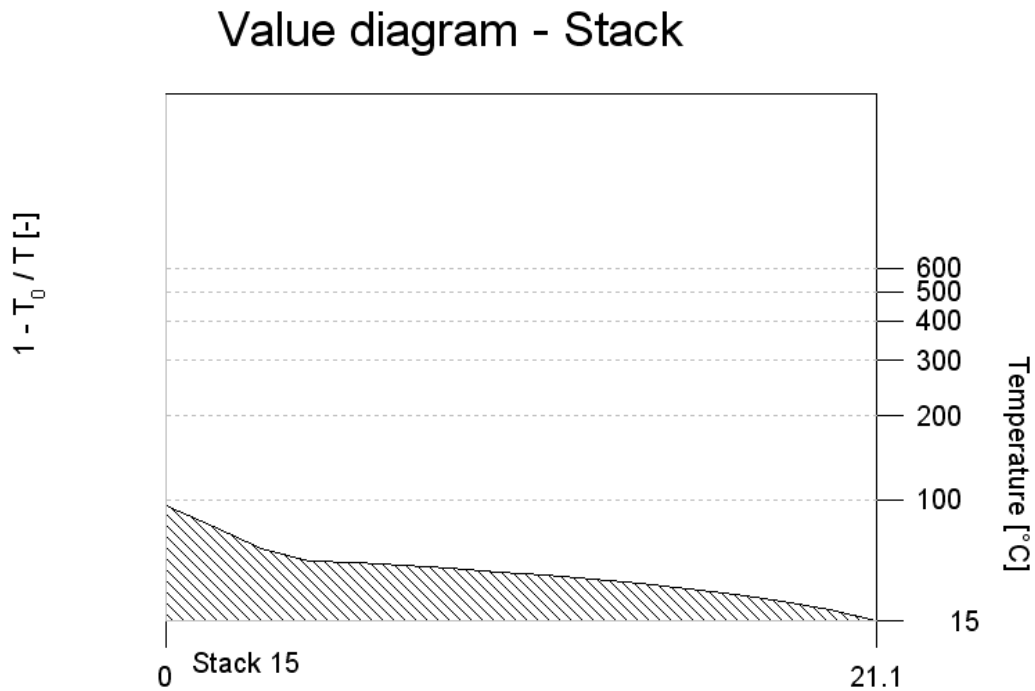


Διάγραμμα 6: Διάγραμμα θερμικής κατατομής τουρμπίνας ατμού

Value diagram - Gasification Air



Διάγραμμα 7: Διάγραμμα θερμικής κατατομής τμήματος τροφοδοσίας αέρα στον αεριοποιητή



Διάγραμμα 8: Διάγραμμα θερμικής κατατομής φουγάρου

Από τα παραπάνω διαγράμματα θερμικής κατατομής παρουσιάζεται το ίδιο αποτέλεσμα με τον πίνακα 18 , δηλαδή ότι οι μεγαλύτερες απώλειες εξέργειας προκύπτουν στο τμήμα του αεριοποιητή.

5.3 Οικονομική Ανάλυση.

Κατά την δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ένα από τα αποτελέσματα τα οποία το αξιολογούν αφορά τα οικονομικά οφέλη τα οποία προκύπτουν.

Μια ολοκληρωμένη οικονομική μελέτη του συστήματος μας δεν είναι εφικτή μιας και οι παράγοντες οι οποίοι παίζουν ρόλο δεν είναι δεδομένοι. Για παράδειγμα το κόστος των υποσυστημάτων δεν είναι δεδομένο μιας

και υπάρχουν διάφορες εταιρίες οι οποίες τα παρέχουν με διαφορετικές τιμές. Ακόμα πιο σημαντική είναι η άγνοια για το που θα εφαρμοστεί ένα τέτοιο σύστημα μιας και στην οικονομική ανάλυση μείζονος σημασίας είναι παράμετροι όπως λειτουργικά έξοδα (συντήρηση , κόστος μεταφοράς βιομάζας – στάχτης κτλ) [24,25]

Πρακτικά αυτό το οποίο μπορούμε να υπολογίσουμε είναι το κόστος της τροφοδοσίας , δηλαδή της βιομάζας , σε σύγκριση με το κέρδος το οποίο μπορεί να προκύψει από την πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας .

Ένα μέσο κόστος της βιομάζας που δίνεται από τη βιβλιογραφία είναι 26-30 € t⁻¹ ενώ μια μέση τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας είναι 0.098 – 0.103 € KWh⁻¹ . Η κατανάλωση βιομάζας ανά ώρα φτάνει τους 16.92 τόνους ενώ η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας τα 34.88 MWh. Με της παραπάνω τιμές προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα για το σύστημα μας:

ΚΟΣΤΟΣ (ώρα)	ΚΕΡΔΟΣ (ώρα)
507,6 €	3.418,4 €
ΚΟΣΤΟΣ (ημέρα)	ΚΕΡΔΟΣ (ημέρα)
12.182,4 €	82.037,76 €
ΚΟΣΤΟΣ (χρόνος)	ΚΕΡΔΟΣ (χρόνος)
4.446.576 €	29.943.782,4

Πίνακας 19: Κόστος αγοράς βιομάζας και κόστος πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας

Τα μεγέθη αυτά είναι ενδεικτικά της δυνατότητας κέρδους που έχει το εξεταζόμενο σύστημα χωρίς να υπολογίζονται το αρχικό κεφάλαιο, τα λειτουργικά έξοδα και παίρνοντας ως δεδομένο ότι το σύστημα θα δουλεύει ασταμάτητα με σταθερή τροφοδοσία για ένα χρόνο , το οποίο όμως είναι πρακτικά αδύνατο.

5.4 Συγκριτική προσομοίωση.

Για την αξιολόγηση του εξεταζόμενου συστήματος δώσαμε δύο διαφορετικές εισόδους (δύο διαφορετικές συνθέσεις βιομάζας αλλά ίδιος ρυθμός τροφοδοσίας) με σκοπό τη σύγκριση των αποτελεσμάτων (παραγωγή ενέργειας και διοξειδίου του άνθρακα).

Για την βέλτιστη λειτουργία του συστήματος σε κάθε περίπτωση κάποιες παράμετροι χρειάστηκε να τροποποιηθούν, όπως η τροφοδοσία αέρα και νερού στο σύστημα. Παρ' όλα αυτά η σύγκριση έγινε βάση των τελικών αποτελεσμάτων.

Για την πρώτη δοκιμή δόθηκε ως είσοδος , βιομάζα από πυρήνα ροδάκινου. Η σύνθεση της βιομάζας είναι η εξής:

Συστατικό Στοιχείο	Σύνθεση (wet basis %)
ASH	1
H ₂ O	19.9
C	42.6
H	4.67
O	30.93

N	0.25
S	0.05
LHV	19533

Πίνακας 20: Σύνθεση βιομάζας από πυρήνα ροδάκινου [29]

Στη συγκεκριμένη προσομοίωση τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι η παραγωγή 34.71MW ηλεκτρικής ενέργειας και 0.083 tn/MW διοξειδίου του άνθρακα.

Για την δεύτερη προσομοίωση δόθηκε ως είσοδος βιομάζα από καρπούς λεμονιού. Η σύνθεση της βιομάζας είναι η εξής:

Συστατικό Στοιχείο	Σύνθεση (wet basis %)
ASH	3.8
H ₂ O	17.2
C	35.16
H	5.12
O	39.87
N	0.69
S	0.05
LHV	14690

Πίνακας 20: Σύνθεση βιομάζας από καρπούς λεμονιού [29]

Στη δεύτερη προσομοίωση τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι η παραγωγή 27.56MW ηλεκτρικής ενέργειας και 0.077 tn/MW διοξειδίου του άνθρακα.

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι το ξύλο αποτελεί τον πιο αποδοτικό τύπο βιομάζας. Παρ' όλο που η βιομάζα από καρπούς λεμονιού είναι η λιγότερο αποδοτική, εκπέμπει τους λιγότερους ρίπους διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ένα από τα πρώτα συμπεράσματα είναι η επίτευξη μείωσης της ποσότητας της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα κατά περίπου 2%, δηλαδή στο 8% του όγκου έναντι 10% που το βρίσκουμε στη βιβλιογραφία. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε διαφορές της σύνθεσης της βιομάζας η οποία δεν αναφέρεται στη βιβλιογραφία. Παράλληλα οι εκπομπές ρίπων του συστήματος μας (0.082 tn MW^{-1}) είναι πολύ μικρότερες σε σύγκριση με άλλα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τα οποία χρησιμοποιούν διαφορετικά είδη εισόδου όπως πετρέλαιο (0.81 tn MW^{-1}) [26]

Η αναλογία αέρα βιομάζας (A / B) μπορεί να αλλοιωθεί είτε με τη μεταβολή του ρυθμού τροφοδότησης της βιομάζας διατηρώντας όμως το ρυθμό ροής του αέρα συνεχή ή με την αλλαγή του ρυθμού ροής του αέρα και διατήρηση του ρυθμού τροφοδότησης βιομάζας σταθερό. Μια σταθερή ταχύτητα ροής αέρα εξασφαλίζει συνεχή χρόνο παραμονής κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Η συγκέντρωση H_2 κατέληξε σε ανώτατο όριο για αναλογία (A / B) που κυμαίνονται μεταξύ 0,6 και 0,7. Για (A / B) αναλογία χαμηλότερη από 0,6 τα αποτελέσματα δείχνουν ότι δεν υπήρχε αρκετός αέρας για να αντιδράσει με όλη τη βιομάζα που τροφοδοτείται στον αεριοποιητή, με αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών CO και της συγκέντρωσης υδρογονανθράκων και σε αύξηση της συγκέντρωσης H_2 , η οποία έφθασε το ανώτατο όριο σε μια αναλογία (A / B) 0,6 - 0,7. Σε αυτή τη βέλτιστη αναλογία A / B , οι αντιδράσεις που εκτελούνται φτάνουν σε μια κατάσταση ισορροπίας και, ως εκ τούτου, το H_2 έφθασε στο απόγειο των τιμών του.

Ένα ακόμα συμπέρασμα που προέκυψε είναι ότι για τη χρησιμοποίηση διαφορετικού τύπου – σύνθεσης βιομάζας για την τροφοδοσία του συστήματος όπως είναι λογικό διαφορετικά αποτελέσματα προέκυψαν. Όμως δεν είναι ωφέλιμη η απευθείας σύγκριση της παραγωγικότητας δύο διαφορετικών τύπων βιομάζας μιας και για την βέλτιστη λειτουργία του συστήματος για διαφορετική σύνθεση βιομάζας κάποιες από τις παραμέτρους του συστήματος πρέπει να μεταβληθούν.

Από τον Πίνακα 18 , καθίσταται σαφές ότι το υποσύστημα αεριοποίησης έχει τις υψηλότερες απώλειες εξέργειας . Αυτές οι απώλειες που προκλήθηκαν από τις αδυναμίες της καύσης εξολοκλήρου του άνθρακα στον καυστήρα. Οι απώλειες στην παραγωγή ατμού και την προθέρμανση του αέρα λαμβάνονται επίσης υπόψη. Οι απώλειες εξέργειας κατά τη διάρκεια της μεταφοράς θερμότητας είναι σημαντικές , λόγω των μεγάλων διαφορών θερμοκρασίας μεταξύ των υγρών που ανταλλάσσουν θερμότητα . Το σύστημα είναι σχεδιασμένο κατά τέτοιο τρόπο, ώστε ο αεριοποιητής να μπορεί να λειτουργεί ανεξάρτητα από τον καθαρισμό φυσικού αερίου . Οι απώλειες εξέργειας στο υποσύστημα καθαρισμού αερίων δεν φαίνεται να είναι πολύ μεγάλες. Ο Πίνακας 14 δείχνει τη διαφορά μεταξύ της απόδοσης της ενέργειας και της βελτίωσης της αποτελεσματικότητας της του συστήματος συνολικά. Αυτή η διαφορά , στην πραγματικότητα προκαλείται από τη διαφορά μεταξύ της χαμηλότερης θερμογόνου ικανότητας και της τιμής της εξέργειας της βιομάζας. Η τεχνική αεριοποίησης που χρησιμοποιείται έχει επιλεγεί λόγω της σχετικά υψηλής περιεκτικότητας σε υδρογόνο του παραγόμενου αερίου. Εναλλακτικές διεργασίες αεριοποίησης μπορούν να εξεταστούν , για παράδειγμα αεριοποίηση πεπιεσμένου αέρα. Η αεριοποίηση πεπιεσμένου αέρα παράγει ένα αέριο διαλυόμενο με σημαντική ποσότητα αζώτου, αλλά

έχει το πλεονέκτημα ότι το αέριο είναι ήδη πεπιεσμένο. Ένα σύστημα καθαρισμού καυτών αερίων είναι ευκολότερο να εφαρμοστεί. Από την άλλη πλευρά, το πλούσιο σε άζωτο αέριο θα επηρεάσει τις επιδόσεις του συστήματος. Περαιτέρω μελέτες του συστήματος είναι αναγκαία για να για να δείξει πώς η εφαρμογή ενός τέτοιου τρόπου αεριοποίησης θα επηρεάσει τα αποτελέσματα της συνολικής απόδοσης.

Η θερμοκρασία του καυσίμου που χρησιμοποιείται εδώ (750°C) είναι σχετικά χαμηλή. Πιο πρόσφατες λειτουργίες φτάνουν τους $900\text{-}1000^{\circ}\text{C}$, αλλά η γενική τάση είναι να μειωθεί η θερμοκρασία λειτουργίας του καυσίμου. Η χαμηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας θα μειώσει την θερμική διαστολή και των αντίστοιχων τάσεων στα υλικά και θα επιτρέψει την εφαρμογή του σε περισσότερα και φθηνότερα υλικά. Η τουρμπίνα αερίου μπορεί να είναι σχετικά απλή, λόγω των ενδιάμεσων συνθηκών λειτουργίας. Η χαμηλή θερμοκρασία του καυσίμου έχει περιορισμένη επίδραση στην συνολική απόδοση του συστήματος[]. Περαιτέρω βελτιστοποίηση του συστήματος είναι πιθανή. Μια πιο λεπτομερής αξιολόγηση αλλά και η εξέταση άλλων τρόπων για να ανακυκλωθούν τα αέρια καθώς και τα ποσά της επανακυκλοφορίας μπορούν να οδηγήσουν στην βελτίωση της συνολικής απόδοσης του συστήματος. Περαιτέρω μειώσεις των απωλειών εξέργειας είναι δυνατή, αλλά η βελτιστοποίηση του κύκλου λειτουργίας δεν είναι ο σκοπός αυτής της εργασίας.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Tony Bridgwater , 2006 , Review biomass for energy, Journal of the Science of Food and Agriculture .
- [2] Andre Faaij , 2006 , MODERN BIOMASS CONVERSION TECHNOLOGIES , Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change (2006) 11: 343–375.
- [3] Robert C. Brown and Mark Wright , Biomass Conversion to Fuels and Electric Power , Chapter 3.
- [4] Dr.Henry V. Krigmont , INTEGRATED BIOMASS GASIFICATION COMBINED CYCLE (IBGCC) POWER GENERATION CONCEPT: THE GATEWAY TO A CLEANER FUTURE.
- [5] Matteo Carpentieri , Andrea Corti, Lidia Lombardi , 2004 , Life cycle assessment (LCA) of an integrated biomass gasification combined cycle (IBGCC) with CO₂ removal.
- [6] Rolf Kelhofer , Combined Cycle Gas & Steam turbine Power Plants
- [7] G Brown, A D Hawkes, A Bauen, M A Leach , Biomass Applications
- [8] Carolyn J. Roos, 2008 , Biomass Drying and Dewatering for Clean Heat & Power
- [9] S. Dasappa^{1,*}, P. J. Paul, H. S. Mukunda, N. K. S. Rajan, G. Sridhar and H. V. Sridhar , 2002, Biomass gasification technology – a route to meet energy needs

- [10] Nico Woudstra, Adrian H.M. Verkooijen , 2008 , Reference System for a Power Plant Based on Biomass Gasification and SOFC
- [11] Richard Toonssen, NicoWoudstra, Adrian H.M. Verkooijen,2009 , Decentralized generation of electricity from biomass with proton exchange membrane fuel cell
- [12] Cycle – Tempo , v5 2005 , TU Delft
- [13] M. Bolhar-Nordenkamp, K. Bosch, R. Rauch, S. Kaiser, H. Tremmel, C. Aichernig, H. Hofbauer, Scale-up of a 100kWth pilot FICFB-gasifier to a 8MWth FICFB-gasifier demonstration plant in Góssing (Austria), in: 1st International Ukrainian Conference on BIOMASS FOR ENERGY, Kiev, Ukraine, 2002.
- [14] M. Bolhar-Nordenkamp, H. Hofbauer, Gasification demonstration plants in Austria, in: International Slovak Biomass Forum, Bratislava, 2004.
- [15] H. Hofbauer, R. Rauch, G. Loeffler, S. Kaiser, E. Fercher, H. Tremmel, Six years experience with the FICFB-gasification process, in: 12th European Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Amsterdam, The Netherlands, 2002.
- [16] H. Hofbauer, R. Rauch, K. Bosch, R. Kock, C. Aichernig, Biomass CHP plant Góssing—a success story, in: Expert Meeting on Pyrolysis and Gasification of Biomass andWaste, Strasbourg, 2002.

- [17] H. Hofbauer, R. Rauch, P. Foscolo, D. Matera, Hydrogen-rich gas from biomass steam gasification, in: 1st World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry, Sevilla, Spain, 2000.
- [18] R. Toonssen, N. Woudstr, A.H.M. Verkooijen, Int. J Hydrogen Energy 33 (2008) 4074–4082.
- [19] C.N. Hamelinck, A.P.C. Faaij, Future Prospects for Production of Methanol and Hydrogen from Biomass, Copernicus Institute, University Utrecht, 2001.
- [20] P. McKendry, Bioresour. Technol. 83 (2002) 55–63.
- [21] Olav Bolland, Norwegian University of Science and Technology , EXERGY ANALYSIS OF GAS-TURBINE COMBINED CYCLE WITH CO₂ CAPTURE USING AUTO-THERMAL REFORMING OF NATURAL GAS
- [22] Ivar S. Ertesvåg, Hanne M. Kvamsdal , Olav Bolland , 2003 , Exergy analysis of a gas-turbine combined-cycle power plant with precombustion CO₂ capture
- [23] J. Szargut, D.R. Morris, F.R. Steward, Exergy Analysis of Thermal, Chemical, and Metallurgical Processes, Springer-Verlag, Berlin, 1988.
- [24] Royal Commission on Environmental Pollution , Biomass as a renewable Energy Source
- [25] Antonio C. Caputo, Mario Palumbo, Pacifico M. Pelagagge, Federica Scacchia , 2004 , Economics of biomass energy utilization in combustion and gasification plants: effects of logistic variables

8. ΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

[26] ΔΕΗ Α.Ε.

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

[27] Βικιπαίδεια

<http://el.wikipedia.org>

[28] Αεριοποιητές

<http://www.fao.org>

[29] Phyllis (ευρετήριο σύνθεσης βιομάζας)

<http://www.ecn.nl/phyllis>

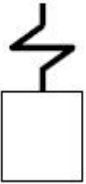
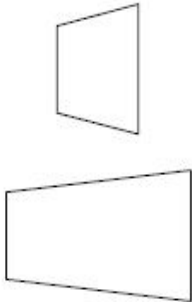
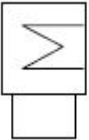
[30] U.S. Energy Information Administration

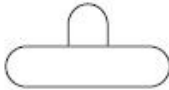
<http://www.eia.doe.gov/>

9. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

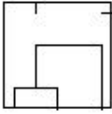
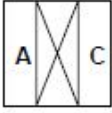
Ακολουθούν οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται στο πρόγραμμα cycle - tempo

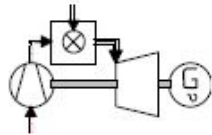
M = mass equation, E = energy equation, P = production function / = exclusive choice, + = mandatory combination

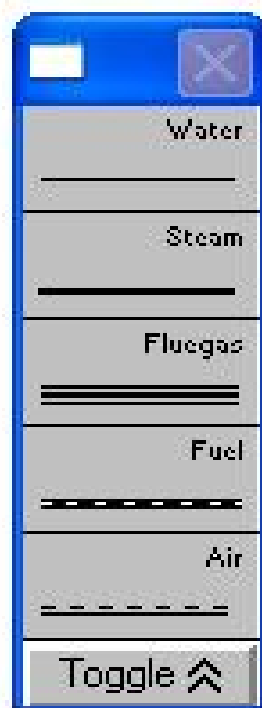
Type	Default name	System equations	Symbol
1	Boiler	1M	
2	Reheater	1M	
3	Turbine	1M	
4	Condenser	2M / (EEQCOD = 2; type 6) 2M + 1E (EEQCOD = 1; type 12)	
5	Flash.Heater	2M + 1E	

6,12	Heat Exchgr.	2M / (EEQCOD = 2; type 6) 2M + 1P (EEQCOD = 1; type 12)	
7	Deaerator	1M + 1E	
8	Pump	1M	
9,11	Node	1M / (EEQCOD = 2; type 9) 1M + 1E (EEQCOD = 1; type 11)	
10	Sink/Source	1M (in case of only 1 pipe connected then 1M only if DELM, DELV or DELVN is specified)	
10	Heat Sink	1M (in case of only 1 pipe connected then 1M only if DELM, DELV or DELVN is specified)	
10	Stack	1M (only if DELM, DELV or DELVN is specified)	

13	Combustor	1M / (EEQCOD = 2) 2M (EEQCOD = 1, or EEQCOD = 2 if LAMBDA specified) (ash pipe connected → +1M)	
14	Valve	2M	
15	Drum	1M + 1E	

20	Reformer	2M / (EEQCOD = 2) 2M + 1E (EEQCOD = 1) (SFRATI specified → +1M)	
21	Fuel Cell	2M / (EEQCOD = 2) 2M + 1E (EEQCOD = 1) (cooled LTFC → +1M) (UOX specified → +1M) (POWER specified → +1M)	
22	Moist. Sepr.	2M / (EEQCOD = 2) 2M + 1E (EEQCOD = 1) (if mass flow of separated moisture is calculated: +1M)	
23	Gasifier	2 M / (EEQCOD = 2) 2 M + 1E (EEQCOD = 1) (ash pipe connected → +1M) (OFRATI or ESTOFR specified → +1M) (SFRATI specified → +1M)	
25	Scrubber	2M	
26	Separator	2M	
27	Reactor	1M	

28	Saturator	2M	
29	Compressor	1M	
30	Gas turbine	1M if a bottoming cycle is present	
G	Generator	-	
M	Electromotor	-	



Πίνακας μετρήσεων που εμφανίζονται δίπλα από κάθε διάταξη.

p	T
h	Φ_m
p = Pressure [bar]	
T = Temperature [°C]	
h = Enthalpy [kJ/kg]	
Φ_m = Massflow [kg/s]	
X = Steamquality [%]	
ΔT_l = Low end temp. diff. [K]	
ΔT_h = High end temp. diff. [K]	
X_{OF} = Oxidant-fuel ratio [kg/kg]	
p_{reac} = Reaction pressure [bar]	
T_{reac} = Reaction temperature [°C]	
P = Power [kW]	
η_i = Isentropic efficiency [%]	
$\eta_{m,e}$ = Mechanical*Electrical eff. [-]	
x = Circulation ratio [-]	

Επεξήγηση των εισόδων συστήματος.

PIN = inlet pressure (bar)

POUT = outlet pressure (bar)

DELP = pressure loss in the apparatus (bar)

TIN = inlet temperature (°C)

TOUT = outlet temperature (°C)

DELT = temperature *rise* in the apparatus (°C)

ETHAI = isentropic efficiency (default = UNKNOWN).

DELM = mass flow from or to the system (kg/s) or (-) (default = UNKNOWN)

ETAGEN = Generator efficiency (default = UNKNOWN)

ETHAM = mechanical efficiency (default = 1).

DELTH = difference between the saturation temperature of the secondary medium and the outlet temperature of the primary medium ($^{\circ}$ C),

DELTL = difference between the outlet temperature of the secondary medium and the inlet temperature of the primary medium ($^{\circ}$ C)

PREACT = pressure at which chemical equilibrium is calculated (bar)
(default = UNKNOWN)

TREACT = temperature at which chemical equilibrium is calculated ($^{\circ}$ C) (default = UNKNOWN)

Πίνακας υπολογισμού απόδοσης εξέργειας σε κάθε διάταξη.

Type	Name	$\eta_{ex,1}$
1	Boiler	$\frac{Ex_{out} - Ex_{in}}{Ex_{fuel}^{ch}}$
2	Reheater	
3	Turbine	$\frac{P_{mech.}}{Ex_{in} - Ex_{out}}$
4	Condenser	$\frac{Ex_{p,out} - Ex_{p,in}}{Ex_{s,in} - Ex_{s,out}}$
5	Flashed heater	
6,12	General heat exchanger	
22	Evaporator, heat exchanger	
7	Deaerator ¹⁾	$\frac{\Phi_{m,p} \times ex_{out} - Ex_{p,in}}{Ex_{s,in} - \Phi_{m,s} \times ex_{s,out}}$
15	Drum	$\frac{Ex_{out,main,flow} - Ex_{in,main,flow}}{Ex_{in,circ} - Ex_{out,circ}}$
8	Pump	$\frac{Ex_{out} - Ex_{in}}{P_{mech./el.}}$
29	Compressor	
13	Combustor, burner	$\frac{Ex_{flue\ gas}^{tm} + Ex_{ash}^{tm} - Ex_{fuel}^{tm} - Ex_{oxid.}^{tm}}{Ex_{fuel}^{ch} + Ex_{oxid.}^{ch} - Ex_{ash}^{ch} - Ex_{flue\ gas}^{ch}}$
20	Reformer	$\frac{Ex_{prod.}^{ch} - Ex_{stm}^{ch} - Ex_{gas}^{ch}}{(Ex_{in} - Ex_{out.})_{flue\ gas} - (Ex_{prod.}^{tm} - Ex_{stm}^{tm} - Ex_{gas}^{tm})}$
21	Fuel cell	$\frac{P_{el.}}{(Ex_{in} - Ex_{out.})_{fuel} - (Ex_{in} - Ex_{out.})_{oxid.}}$
23	Gasifier	$\frac{Ex_{prod} + Ex_{ash}^{tm} + (Ex_{out} - Ex_{in})_{cooling} (Ex_{fuel}^{tm} + Ex_{stm}^{tm} + Ex_{oxid.}^{tm})}{Ex_{fuel}^{ch} + Ex_{stm}^{ch} + Ex_{oxid.}^{ch} - Ex_{ash}^{ch}}$