



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Η ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΣΕ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΤΗ**  
**ΚΑΤΕΡΧΟΜΕΝΗΣ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ**  
**ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

**ΓΙΩΡΓΟΣ ΚΥΠΡΙΩΤΑΚΗΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ : ΜΑΡΙΑ ΦΟΥΝΤΗ**

**ΑΘΗΝΑ :2008**

Ευχαριστώ την κυρία Μαρία Φούντη, Καθηγήτρια του Τομέα Καύσης της Σχολής Μηχανολόγων του ΕΜΠ, για την υπόδειξη του θέματος, την πολύτιμη επιστημονική καθοδήγηση και για τον χρόνο που διέθεσε κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας και φυσικά. Χωρίς αυτά θα ήταν πολύ δύσκολο να περαιωθεί η εργασία που παρουσιάζεται αμέσως μετά.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελίδα
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	
1.1 Σκοπός της διπλωματικής εργασίας	1.1
1.2 Ιστορική αναδρομή	1.2
1.3 Γενικά περί αεριοποίησης	1.2
1.4 Δομή της εργασίας	1.3
<b>2. ΘΕΩΡΙΑ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ</b>	
2.1 Εισαγωγή	2.1
2.2 Αεριοποίηση με ατμό	2.2
2.3 Αεριοποίηση με αέρα	2.4
2.3.1 Αντιδράσεις αεριοποίησης με αέρα	2.5
2.3.2 Στοιχειομετρία παραγόμενου αερίου	2.8
2.4 Το πρόβλημα της πίσσας	2.8
2.5 Τύποι συσκευών αεριοποίησης	2.10
2.5.1 Αεριοποιητές ρευστοποιημένης κλίνης	2.11
2.5.2 Αεριοποιητές σταθερής κλίνης	2.12
<b>3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ</b>	
3.1 Εισαγωγή	3.1
3.2 Ο αεριοποιητής	3.1
3.2.1 Χαρακτηριστικά και περιγραφή του αεριοποιητή	3.1
3.2.2.Ενεργειακό ισοζύγιο του αεριοποιητή	3.4
3.3 Το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος	3.17
3.3.1 Μηχανή της πειραματικής εργασίας	3.17
3.3.2 Η γεννήτρια και το ηλεκτρικό φορτίο	3.20
3.4 Παρελκόμενες συσκευές	3.23
3.4.1 Γενικές πληροφορίες	3.23
3.4.2 Η πειραματική διάταξη	3.23

## **4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ**

4.1 Εισαγωγή	4.1
4.2 Βήματα πειραματικής διαδικασίας	4.1
4.2.1 Έλεγχος διάταξης παραγωγής και ποιότητας παραγόμενου αερίου	4.1
4.2.2 Προετοιμασία και έλεγχοι της μηχανής	4.2
4.2.3 Λειτουργία της μηχανής με καύσιμο παραγόμενο αέριο	4.3
4.2.4 Λειτουργία υπό φορτίο	4.3
4.2.5 Συλλογή δεδομένων από τη λειτουργία της διάταξης	4.4
4.3 Συλλογή δεδομένων	4.4
4.4 Πηγές σφαλμάτων των συλλεγόμενων τιμών	4.5
4.5 Προετοιμασία της διάταξης	4.6
4.6 Οδηγίες χρήσης	4.6

## **5. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**

5.1 Πτώση πίεσης και θερμοκρασίας	5.1
5.1.1. Πτώση πίεσης	5.1
5.1.2 Θερμοκρασιακή πτώση	5.2
5.2 Θερμογόνος δύναμη και αποδοτικότητα αεριοποίησης	5.3
5.3 Υπολογισμοί ισχύος και ειδικής κατανάλωσης καυσίμου	5.4
5.4 Κατανομές θερμοκρασίας	5.6
5.5 Γενικά αποτελέσματα	5.6
5.5.1 Αεριοποιητής	5.6
5.5.2 Φίλτρο κάθατου όγκου	5.6
5.5.3 Κυκλώνας	5.7
5.5.4 Πολυσωληνωτός ψύκτης	5.7
5.5.5 Συμπυκνωτής	5.7
5.5.6 Πολυσωλήνιος συμπυκνωτής -ψύκτης	5.7

## **6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ**

6.1 Εισαγωγή	6.1
6.2 Αεριοποιητής	6.1
6.3 Φίλτρο κάθετου όγκου	6.3
6.4 Πολυσωληνωτός ψύκτης	6.4
6.5 Συμπυκνωτής	6.4
6.6 Πολυσωλήνιος συμπυκνωτής ψύκτης και bath oil φίλτρο	6.5
6.7 Μηχανή, γεννήτρια και φορτίο	6.5
6.8 Η πειραματική διάταξη συνολικά	6.6
6.9 Τα αποτελέσματα	6.7
6.10 Προτάσεις για βελτίωση	6.8
6.10.1 Ανάκτηση αισθητής θερμότητας	6.8
6.10.2 Μείωση θερμικών απωλειών του αεριοποιητή	6.8
6.10.3 Βελτίωση διάταξης πίσσας και καθαρισμού	6.14

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

# 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Σκοπός της διπλωματικής

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας, είναι η ανασκόπηση των βασικότερων μεθόδων αεριοποίησης βιομάζας και του τρόπου εφαρμογής των μεθόδων αυτών με στόχο την αποδοτική χρήση της διεργασίας σε συνάρτηση με τις δυνατότητες χρήσης που προσφέρονται κατά περίπτωση.

Στην παρούσα εργασία, το αέριο που παράγεται καταναλώνεται απο ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος και παράγεται ηλεκτρική ισχύς, που καταναλώνεται με τη σειρά της σε ηλεκτρικά θερμαντικά σώματα (δηλαδή αντιστάσεις). Η πειραματική εργασία έγινε στο Πανεπιστήμιο της Ουαλλίας (University of Wales, Cardiff), στα πλαίσια προηγούμενης εργασίας, ενώ στην παρούσα εργασία γίνεται αξιολόγηση των πειραμάτων και προτείνονται συγκεκριμένες βελτιώσεις που βελτιώνουν το παραγόμενο αέριο και μειώνουν το όγκο και το βάρος της διάταξης.

Ήταν η πρώτη φορά που που γινόταν μία τέτοια προσπάθεια στο Πανεπιστήμιο της Ουαλλίας. Μία διάταξη αεριοποίησης βιομάζας του εμπορίου τροποποιήθηκε με την τοποθέτηση ενός αεριοποιητή που μελετήθηκε εντός του Πανεπιστημίου UWCC **[βιβλ.6]** για τις ανάγκες της πειραματικής διαδικασίας. Το παραγόμενο αέριο, κατ' αρχήν, καταναλώθηκε σε ένα καυστήρα με συστροφή (*swirl burner*). Το επόμενο βήμα ήταν η δοκιμή της χρήσης του αερίου ως καύσιμο σε μηχανή εσωτερικής καύσης. Ο κύριος σκοπός της εργασίας ήταν η λειτουργική σύνδεση του αεριοποιητή και της μηχανής καθώς και η συλλογή πειραματικών δεδομένων που θα τεκμηριώσουν και θα δώσουν μία πρώτη περιγραφή της λειτουργικής σύνδεσης.

## 1.2 Ιστορική αναδρομή.

Ο άνθρωπος χρησιμοποίησε τα υλικά, που χαρακτηρίζονται ως βιομάζα, σαν πηγές ενέργειας από τότε που πρωτοεμφάνιστηκε στη Γη. Η διεργασία της αεριοποίησης εφευρέθηκε στην Ευρώπη (Αγγλία και Γαλλία) στην αρχή του 19<sup>ου</sup> αιώνα . Στα μέσα του ίδιου αιώνα υπήρχε ένα δίκτυο διανομής αερίου παραγόμενου από αεριοποίηση βιομάζας . Στην εποχή του μεσοπολέμου, το αέριο αυτό, χρησιμοποιήθηκε ως καύσιμο σε μηχανές εσωτερικής καύσης. Κατά τη διάρκεια του δεύτερου παγκοσμίου πολέμου η έλλειψη βενζίνης οδήγησε τους ανθρώπους στο να φτιάξουν αεριοποιητές, δηλαδή συσκευές αεριοποίησης βιομάζας, με πρώτη ύλη άνθρακα ή ξυλοκάρβουνο, για να καλύψουν ανάγκες σε καύσιμο. Μετά τον πόλεμο, η πτώση της τιμής της βενζίνης, σε συνδυασμό με την εμφάνιση των πρώτων δικτύων διανομής φυσικού αερίου είχαν σαν αποτέλεσμα την εγκατάλειψη της μεθόδου αεριοποίησης βιομάζας.

Οι ενεργειακές κρίσεις της δεκαετίας του 1970-1980 και του 1980-1990 οδήγησαν σε πολιτικές αποφάσεις ανάπτυξης μεθόδων για την εκμετάλλευση εναλλακτικών πηγών ενέργειας . Έτσι η διεργασία της αεριοποίησης βιομάζας, ως κομμάτι της αξιοποίησης της βιομάζας, άρχισε πάλι να μελετάται και να αναπτύσσεται.

## 1.3 Γενικά περι αεριοποίησης

Αεριοποίηση είναι η μετατροπή στερεών καυσίμων σε αέρια καύσιμα.

Η αεριοποίηση γίνεται είτε με ατμό είτε με αέρα. Στην παρούσα εργασία στο παράδειγμα που αναφέρεται χρησιμοποιείται αέρας.

Μέσω της αεριοποίησης, παρέχεται η ευκαιρία αξιοποίησης στερεών οργανικών αποβλήτων, μέσω της μετατροπής τους αέριο καύσιμο. Το αέριο αυτό καίγεται, είτε σε καυστήρες, είτε σε μηχανές εσωτερικής καύσης, είτε αποθηκεύεται ως μορφή ενέργειας. Η μετατροπή της βιομάζας σε αέριο καύσιμο γίνεται όπου τα στερεά υλικά είναι πιο δύσκολο να αξιοποιηθούν στη στερεή τους μορφή αλλά και επειδή τα αέρια καύσιμα έχουν περισσότερες εφαρμογές.

#### 1.4 Δομή της εργασίας

Στα επόμενα κεφάλαια παρουσιάζονται τα εξής:

- Στο **δεύτερο** κεφάλαιο γίνεται θεωρητική περιγραφή της διαδικασίας της αεριοποίησης , παρουσιάζονται βασικές διατάξεις και συσκευές αεριοποίησης και περιγράφεται η λειτουργία τους. Γίνεται επίσης μια αναφορά στο πρόβλημα της πίσσας. Το περιεχόμενο του παραγόμενου σε πίσσα είναι και το βασικότερο μειονέκτημα της διαδικασίας αεριοποίησης.
- Στο **τρίτο** κεφάλαιο περιγράφεται λεπτομερώς η πειραματική διάταξη και υπολογίζονται τα ενεργειακά ισοζύγια των συσκευών όπου αυτό απαιτείται
- Στο **τέταρτο** κεφάλαιο περιγράφεται η πειραματική διαδικασία και αναφέρονται κάποιες παρατηρήσεις που έγιναν κατά την πειραματική διαδικασία.
- Στο **πέμπτο** κεφάλαιο περιγράφεται ο τρόπος επεξεργασίας των πειραματικών δεδομένων και τα σημεία αβεβαιότητας των μετρήσεων. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο παράρτημα.
- Στο **έκτο** κεφάλαιο γίνεται συζήτηση επί των αποτελεσμάτων και αναφέρονται, υπολογίζονται και μελετώνται οι προτεινόμενες βελτιώσεις





## ΘΕΩΡΙΑ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

### 2.1 Εισαγωγή

Από την αεριοποίηση διαφορετικών πηγών βιομάζας (ξυλία, ζωικά ή βιομηχανικά απόβλητα ή παράγωγα βιομηχανίας πετρελαίου) προκύπτει αέριο καύσιμο αντίστοιχως διαφορετικών συστάσεων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές.

Το παραγόμενο αέριο μπορεί να καίγεται σε καυστήρες ή να χρησιμοποιείται σαν καύσιμο σε μηχανές εσωτερικής καύσης ή να αποθηκεύεται όταν το αέριο αυτό είναι είτε υδρογόνο είτε περιέχει υδρογόνο σε μεγάλη περιεκτικότητα

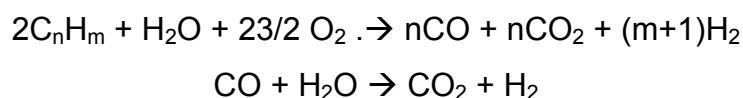
Η αεριοποίηση μπορεί να γίνεται με αέρα ή ατμό. Η περίπτωση αεριοποίησης με ατμό προτιμάται για την παραγωγή υδρογόνου ενώ η αεριοποίηση με αέρα προτιμάται για την παραγωγή αερίου που είτε καίγεται σε καυστήρες είτε καταναλώνεται σε μηχανές εσωτερικής καύσης.

Για την περίπτωση της καύσης σε καυστήρες δε θα γίνει ιδιαίτερος λόγος σε αυτή την εργασία.

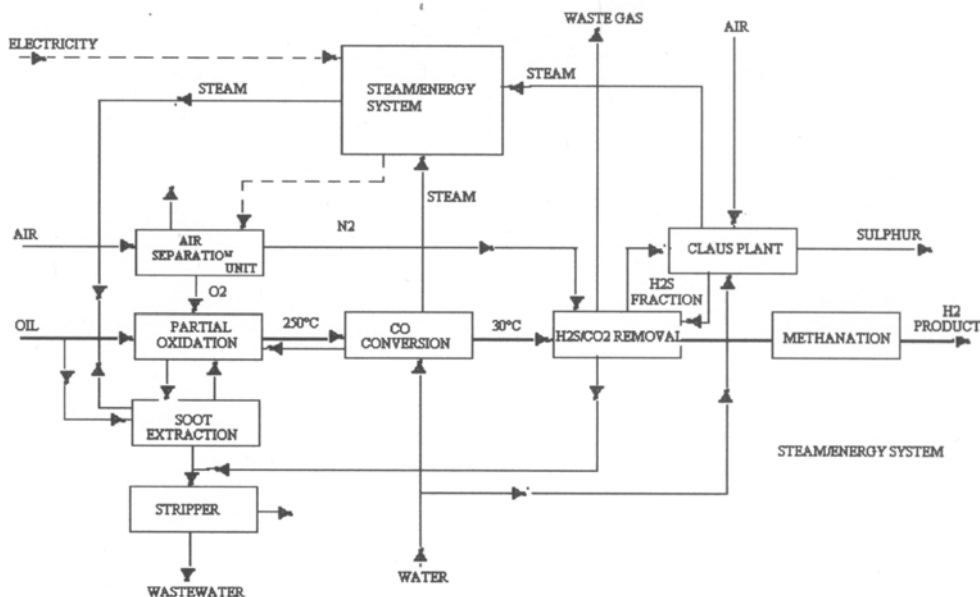
### 2.2 Αεριοποίηση με ατμό.

Στη βιβλιογραφία συνοψίζονται οι τρόποι παραγωγής υδρογόνου **[βιβλ. 27]**. Απο εκεί προκύπτει ότι παραγωγή υδρογόνου από ύλες βιομάζας επιτυγχάνεται, μέσω της αεριοποίησης με ατμό, με τους εξής τρόπους

1) Από τη μερική οξειδωση υδρογονανθράκων μέσω των χημικών εξίσωσεων



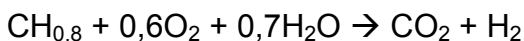
Μιά σχηματική διάταξη της διεργασίας δίνεται στο σχήμα 2.1



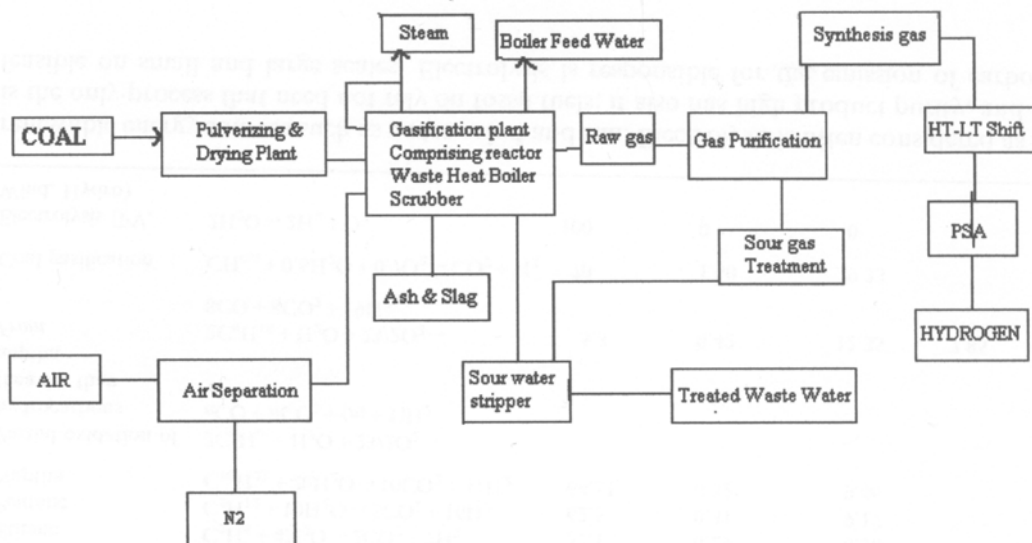
Σχήμα 2.1 : Παραγωγή υδρογόνου από μερική οξείδωση βαρέων υδρογονανθράκων [βιβλ 27].

Η συγκεκριμένη διεργασία γίνεται υπο υψηλή πίεση με παρουσία ή απουσία καταλυτών και περιλαμβάνει την απομάκρυνση του CO<sub>2</sub> και του H<sub>2</sub>S. Σαν παράδειγμα αναφέρεται η μερική οξείδωση υγρών υδρογονανθράκων κατάλοιπων από την απόσταξη του πετρελαίου.

2) Από την αεριοποίηση του άνθρακα μέσω της χημικής εξίσωσης.



Μιά σχηματική διάταξη της διεργασίας δίνεται στο σχήμα 2.2



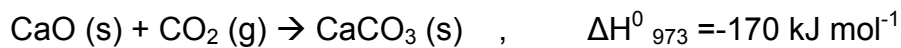
Σχήμα 2.2 : Παραγωγή υδρογόνου από αεριοποίηση του άνθρακα [βιβλ 27].

Και αυτή η διεργασία γίνεται υπο υψηλή πίεση. (450 psi) .

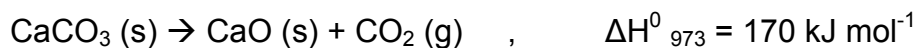
Βασικό μειονέκτημα και των τριών μεθόδων είναι η παραγωγή CO<sub>2</sub> το οποίο πρέπει και να απομακρυνθεί. Στα διαγράμματα και των τριών διεργασιών (σχήματα 2.1 και 2.2) προβλέπεται διαχωρισμός του CO<sub>2</sub>.

Για την απομάκρυνση του CO<sub>2</sub> προτείνεται είτε η μετατροπή του σε ανθρακικό ασβέστιο και απομάκρυνσή του **[βιβλ 22]**. είτε η πλύση του αερίου σε διάλυμα υδροξειδίου του ποτασίου. **[βιβλ 27]** ή και η προσθήκη στον αεριοποιητή ουσιών που κατακρατούν το CO<sub>2</sub> **[βιβλ 27]**.

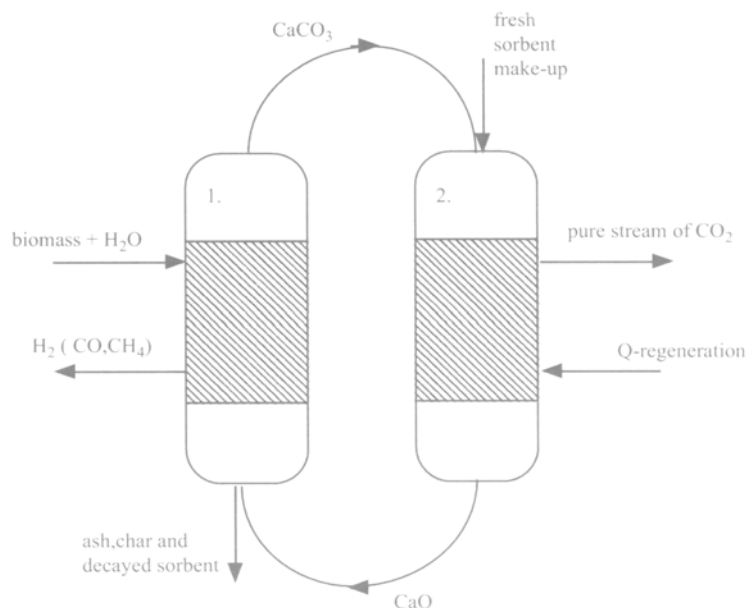
Ενδεικτικά αναλύεται η πρώτη απο τις τρεις μεθόδους όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία **[βιβλ 22]**. όπου το CO<sub>2</sub> απορροφάται από CaO σε θερμοκρασία 973 K με βάση τη χημική εξίσωση που αντιστοιχεί σε εξώθερμη αντίδραση



Το ανθρακικό ασβέστιο σε δεύτερη φάση διασπάται σε δεύτερη συσκευή σε CaO και CO<sub>2</sub> με βάση τη χημική εξίσωση που αντιστοιχεί σε ενδώθερμη αντίδραση



Δηλαδή του CaO αναγεννάται και μάλιστα υπο καθεστώς θερμικής ισοροπίας. Μπορεί όμως σε τακτά χρονικά διαστήματα να απαιτείται συμπλήρωμα της ποσότητας του CaO λόγω του αναποφευκτικής αδρανοποίησης του CaO. Η διαδικασία σχηματοποιείται στο επόμενο σχήμα



Σχήμα 2.3: Παραγωγή υδρογόνου από βιομάζα και ατμό παρουσία CaO. [βιβλ 22].

Στον αντιδραστήρα 1 εισέρχεται η βιομάζα και ο ατμός και μέσω της απορρόφησης του CO<sub>2</sub> προκύπτει H<sub>2</sub>. Από τον αντιδραστήρα απομακρύνονται η στάχτη, η τέφρα και το απενεργοποιημένο CaO. Στον αντιδραστήρα 2 αναγεννάται το CaO με αποτέλεσμα την αποβολή CO<sub>2</sub>. Πρέπει να σημειωθεί ότι η διεργασία παραγωγής υδρογόνου γίνεται υπό υψηλή πίεση και θερμοκρασία. Στα 30 bar και 923 K παράγεται αέριο με περιεκτικότητα 91%-mol (ξηρή σύσταση).

### 2.3 Αεριοποίηση με αέρα.

Το ξυλοκάρβουνο και το ξύλο είναι τα δύο κύρια υλικά που χρησιμοποιούνται σαν πρώτες ύλες για την διαδικασία αεριοποίησης με αέρα

Όπως αναφέρεται [βιβλ 16] το ξύλο αποτελείται από τρία είδη πολυμερών: κυτταρίνη (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub> ή CH<sub>1,66</sub>O<sub>0,83</sub>), λιγνίνη (C<sub>9</sub>H<sub>10</sub>O<sub>3</sub> ή CH<sub>1,23</sub>O<sub>0,38</sub>) και ξυλάνη (C<sub>5</sub>H<sub>8</sub>O<sub>4</sub> ή CH<sub>1,6</sub>O<sub>0,8</sub>). Τα τρία αυτά συστατικά διαφοροποιούνται σε συστάσεις συγκροτώντας τα διάφορα είδη ξύλου ενώ υπάρχουν και προσθήκες αλάτων και τέφρας. Έτσι λοιπόν μπορεί να θεωρηθεί ότι μία αρκετά αντιπροσωπευτική σύσταση ξύλου δίδεται από τον εξής χημικό τύπο CH<sub>1,4</sub>O<sub>0,6</sub> ή C<sub>5</sub>H<sub>7</sub>O<sub>3</sub>

Βέβαια πίσω από τους διαφορετικούς συνδυασμούς το τριών κύριων βασικών συστατικών κρύβεται μια πολύ μεγάλη ποικιλία υλικών που θα

μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν όπως δασικά ή αγροτικά απόβλητα (ξερόχορτα, κατάλοιπα κλαδιά από δέντρα, άχυρα κλπ). Η αεριοποίηση με αέρα είναι μια μέθοδος αξιοποίησης των υλικών αυτών που θα είναι σχετικά εύκολη και φθηνή.

Από τη βιβλιογραφία [βιβλ 1] προκύπτει ότι η θερμογόνος δύναμη της βιομάζας μπορεί να οριστεί μέσω της κάτωθι εξίσωσης

$$\Delta H_c = HHV \text{ (Btu/lb)} = 146.58 C + 568.78 H - 51.53 O - 6.58 A + 29.45 \quad (\text{εξ 2.A})$$

ή

$$HHV \text{ (KWh/Kg)} = 1,318 \cdot 10^{-4} [146.58 C + 568.78 H - 51.53 O - 6.58 A + 29.45] \quad (\text{εξ 2B})$$

Όπου C, H, O και A οι εκατοστιαίες συστάσεις ξηρού καυσίμου του άνθρακα, υδρογόνου, οξυγόνου και τέφρας αντιστοίχως. Οι μετρούμενες τιμές των θερμογόνων δυνάμεων διαφέρουν από τις υπολογιζόμενες μέσω της εξ 2.A ή εξ 2B όχι περισσότερο από 2% για στερεά καύσιμα και 6% για άλλα αέρια καύσιμα με εξαίρεση την τιμή του μονοξειδίου του άνθρακα που είναι 22% λιγότερη από την δεδομένη τιμή

### 2.3.1 Αντιδράσεις αεριοποίησης με αέρα

Στη βιβλιογραφία [βιβλ. 1 και 16] αναφέρονται οι πιο κάτω πληροφορίες

Ως **πυρόλυση** χαρακτηρίζεται η απόσταξη της βιομάζας με απουσία οξυγόνου που οδηγεί στην παραγωγή ξυλοκάρβουνο καθώς και αερίων και υγρών προϊόντων.

Το ακριβές αποτέλεσμα εξαρτάται από τη θερμοκρασία στην οποία εκτίθεται η μάζα του ξύλου. Στους 200-250 °C παράγεται ξυλοκάρβουνο ενώ στους 800 °C παράγεται αέριο καύσιμο με θερμογόνο δύναμη 8 MJ/m<sup>3</sup>.

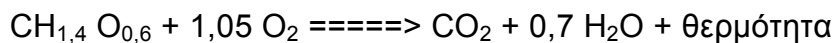
Στη διαδικασία της αεριοποίησης προτιμάται αέρας αντι καθαρό οξυγόνο για τους εξής λόγους:

- Ο αέρας μειώνει τα επίπεδα θερμοκρασίας της αντίδρασης μειώνοντας αντιστοίχως και το κόστος κατασκευής της μονάδας αεριοποίησης ενώ και το κόστος του καθαρού οξυγόνου είναι αρκετά υψηλό.
- Διευκολύνει το γενικότερο έλεγχο της διαδικασίας αφού δεν υπάρχει αντίδραση του οξυγόνου με το άζωτο

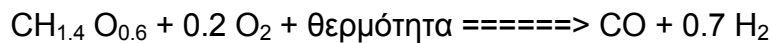
- Το άζωτο συμπεριφέρεται ως διαλύτης που μειώνει την ευαισθησία της θερμοκρασίας αντίδρασης σε διακυμάνσεις της ροής των αερίων. Όμως η περιεκτικότητα του παραγόμενου αερίου σε άζωτο μειώνει τη θερμογόνο ικανότητα του παραγόμενου αερίου.

Με τον όρο **καύση** χαρακτηρίζεται η οξείδωση της βιομάζας.

Κατά την καύση η βιομάζα αντιδρά με την με το οξυγόνο και παράγεται CO<sub>2</sub> , H<sub>2</sub>O και θερμότητα όπως φαίνεται πιο κατω:



Αεριοποίηση είναι η μετατροπή της βιομάζας σε CO και H<sub>2</sub> ως εξής:



Η αντίδραση αυτή δε μπορεί να πραγματοποιηθεί χωρίς την πρόσδοση θερμότητας δεδομένου ότι είναι ενδόθερμη.

Κατά τη διαδικασία της αεριοποίησης ένα τμήμα της βιομάζας καίγεται πλήρως παράγοντας το ποσό της θερμότητας που απαιτείται για την αεριοποίηση της υπόλοιπης. Πρόκειται λοιπόν για μία αδιαβατική διεργασία (**αδιαβατική αεριοποίηση**) που μπορεί να περιγραφεί από την παρακάτω χημική εξίσωση:



Αυτή είναι και η βασική εξίσωση της αεριοποίησης της βιομάζας.

Μπορεί να παρατηρηθεί ότι το 30% του μονοξειδίου που θα παραγόταν αν η αντίδραση δεν ήταν ενδόθερμη, χρησιμοποιείται για την παραγωγή θερμότητας της αδιαβατικής αεριοποίησης, οξειδούμενο σε διοξείδιο του άνθρακα. Αν και το ενεργειακό περιεχόμενο του παραγόμενου αερίου μειώνεται η αδιαβατική αεριοποίηση είναι ευκολότερη ως διεργασία αφού δεν απαιτείται άλλη πηγή θερμότητας.

Στην πράξη μέσα στον αεριοποιητή διαμορφώνονται ζώνες όπου γίνεται πυρόλυση, καύση και αεριοποίηση

- Η βιομάζα θερμαίνεται και αρχικά πυρολύεται προς σχηματισμό ξυλοκάρβουνο και πτητικών ενώσεων



- Μετα την ολοκλήρωση της πυρόλησης το ξυλοκάρβουνο είτε αντιδρά με το οξυγόνο και τον ατμό, που προέρχεται από την υγρασία που περιέχεται στη βιομάζα, (αεριοποιητές με ροή αέρα από κάτω προς τα πάνω) είτε με τα άλλα προϊόντα της πυρόλησης (αεριοποιητές με ροή αέρα από πάνω προς τα κάτω) ως εξής

ξυλοκάρβουνο + αέρια =====> παραγόμενο αέριο

Ατμοί πίσσης που σχηματίζονται αρχικά από το στερεό μπορούν να υποστούν περαιτέρω αντιδράσεις σχηματίζοντας δευτερεύοντα προϊόντα υγρά ή αέρια.

Μέσα στον αεριοποιητή όταν αποκαθίσταται μία ισοροπία, αναπτύσσονται τέσσερις ζώνες. Η ζώνη ξήρανσης, η ζώνη απόσταξης, η καρδιά και η ζώνη αναγωγής. Η θέση της κάθε ζώνης διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του αεριοποιητή και τη ροή του αέρα μέσα του.

Η αεριοποίηση της βιομάζας μπορεί να επιτευχθεί και με ατμό (υγρή αεριοποίηση) υπό κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας και με χρήση κατάλληλων καταλυτών. Πιθανή παρουσία υδρογόνου θα είχε σαν αποτέλεσμα την αυξημένη παρουσία υδρογονανθράκων (μεθανίου, αιθανίου κλπ). Όμως η αντίδραση αυτή απαιτεί και κάποιες προϋποθέσεις (υψηλή πίεση, θερμοκρασία) που θα οδηγούσαν σε αυξημένη πολυπλοκότητα και κόστος. Έτσι προτιμάται η ξηρή αεριοποίηση αντί της υγρής.

Όταν χρησιμοποιείται ξύλο ή τύρφη παράγεται υπολογίσιμη ποσότητα ατμού η οποία συντελεί στην παραγωγή του υδρογόνου στο παραγόμενο αέριο.

Μία τυπική σύσταση αερίου φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

CO	19-25	CO <sub>2</sub>	14.5 - 16
H <sub>2</sub>	9.5-11.5	N <sub>2</sub>	45-55
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	1.5-2.0	O <sub>2</sub>	2.5-4

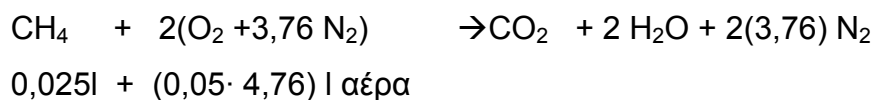
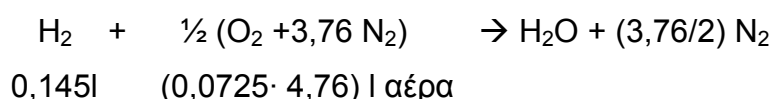
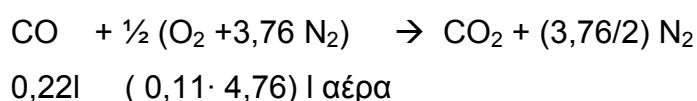
Πίνακας 2.1 : % Τυπική ογκομετρική σύσταση παραγόμενου αερίου

### 2.3.2 Στοιχειομετρία παραγόμενου αερίου

Η στοιχειομετρική καύση ενός τέτοιου καθορίζεται από τις εξής χημικές εξισώσεις με την παραδοχή ότι ως υδρογονάνθρακας  $C_xH_y$  θεωρείται το αιθάνιο  $CH_4$  και με εκατοστιαία κατ' όγκον σύσταση αερίου

CO	22	CO <sub>2</sub>	17
H <sub>2</sub>	14,5	N <sub>2</sub>	42
CH <sub>4</sub>	2.5	O <sub>2</sub>	2

Πίνακας 2.2 : Εκατοστιαία ογκομετρική σύσταση παραγόμενου αερίου για τον υπολογισμό της στοιχειομετρικής αναλογίας παραγόμενου αερίου αέρα



Δηλαδή για τη στοιχειομετρική καύση ενός lt παραγόμενου αερίου απαιτούνται  $(0,11+0,0725+0,05 - 0,02) (4,76) l \text{ αέρα} = 1,01 l \text{ αέρα}$

## 2.4 Το πρόβλημα της πίσσας

Η παρουσία πίσσας στο παραγόμενο αέριο έστω και σε συγκεντρώσεις που είναι αρκετά μικρές και δεν φαίνονται στους υπολογισμούς της στοιχειομετρίας είναι το μεγάλο μειονέκτημα της αεριοποίησης βιομάζας. Η πίσσα προσκολλάται στα στοιχεία της μηχανής (έμβολα, κυλίνδρους) προκαλώντας προβλήματα διαφόρων μορφών σε μεσοπρόθεσμη ή μακροπρόθεσμη βάση. Ανάλογα προβλήματα προκαλούνται και στους καυστήρες. Ως εκ τούτου αυξάνονται οι απαιτήσεις συντήρησης.

Στη βιβλιογραφία **[βιβλ 21]** ως πίσσα ορίζονται τα προϊόντα της αεριοποίησης οργανικών που μπορούν να συμπυκνωθούν και αποτελούνται από αρωματικούς υδρογονάνθρακες. Πρόκειται για ουσίες με συστάσεις που ποικίλουν αισθητά ανάλογα με τη σύσταση και τον τρόπο αεριοποίησης της βιομάζας.

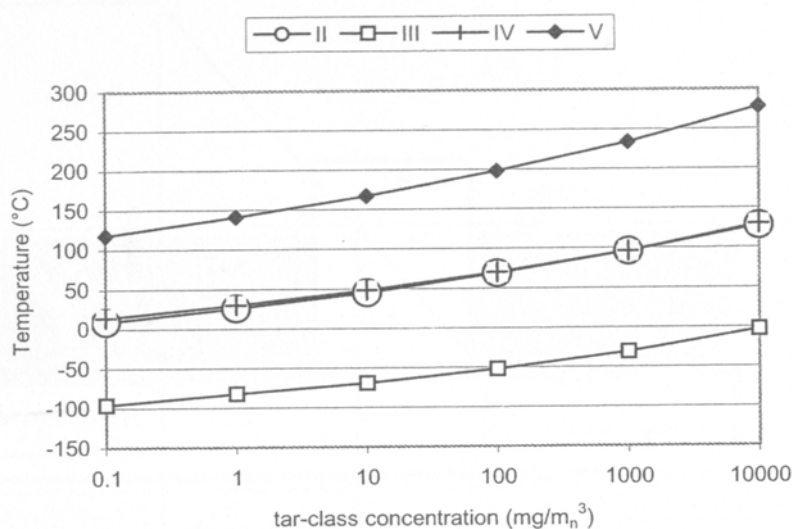


Στη βιβλιογραφία [βιβλ 20] αναφέρονται αρκετές μέθοδοι που στοχεύουν στη μείωση της παραγωγής πίσσας. Περιλαμβάνονται οι εξής μέθοδοι

- Μηχανικές ( φίλτρα , διαχωριστές)
- Χημικές μέθοδοι που έχουν στόχο την διάσπαση της πίσσας σε θερμό περιβάλλον 1250 °C και χρόνο παραμονής της πίσσας σε αυτή τη θερμοκρασία 0,5 sec ή χαμηλότερη θερμοκρασία 900 °C αλλά με χρόνο παραμονής της πίσσας σε αυτή τη θερμοκρασία 12 sec. Η αποτελεσματικότητα των μεθόδων αγγίζει το 99%.
- Χρήση καταλυτών κατά περίπτωση.

Σε πανευρωπαϊκό επίπεδο, [βιβλ 21] ύστερα από σχετικές προσπάθειες που ξεκίνησαν από τα μέλη του Gasification Task of the IEA Bioenergy Agreement, το US DoE και την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, συντάχθηκε και ισχύει από το 2000, το Πρωτόκολλο Πίσσας (Tar protocol) το οποίο συνοψίζει όλες τις διαδικασίες αεριοποίησης βιομάζας με όλους τους τύπους αεριοποιητών και προτείνει ένα σύνολο διαδικασιών για την μέτρηση της πίσσας για συνθήκες λειτουργίας κλίνης σε εύρος θερμοκρασίας 0-900 °C υπο πίεση 0,6-60 bar και για συγκεντρώσεις πίσσας από 1-300 mg/m<sup>3</sup>.

Το Ολλανδικό Κέντρο Ενεργειακής έρευνας (ECN) σε σχετική εργασία [Βιβλ 28 ] διαχωρίζει την πίσσα σε έξι κατηγορίες ανάλογα με τη σύστασή της και παρουσιάζει χάρτη με το σημείο δρόσου της πίσσας ανά κατηγορία.και ανα συγκέντρωση στο αέριο. Ο χάρτης παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 2.4:Σημείο δρόσου πίσσας ανάλογα με τη συγκέντρωση ανα κατηγορία [βιβλ. 28]

Στον ακόλουθο πίνακα δίνονται οι κατηγορίες πίσσας όπως αναφέρονται στην ίδια δημοσίευση.

Κατηγορία πίσσας	Περιγραφή
I	Πίσσα που δεν ανιχνεύεται από χρωματογράφο μάζας
II	Ετεροκυκλικά συνθετικά. Κάποια από αυτά παρουσιάζουν μεγάλη διαλυτότητα στο νερό
III	Αρωματικά συστατικά. Ελαφροί υδρογονάνθρακες σημαντικοί για τις αντιδράσεις της πίσσας αλλά δύσκολα διαλυόμενοι και συμπυκνούμενοι
IV	Ελαφροί πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες που συμπυκνώνονται σε μεγάλες συγκετρώσεις και θερμοκρασίες
V	Συστατικά που ανιχνεύονται στο χρωματογράφο μάζας αλλά δεν αναγνωρίζονται

Πίνακας 2.3: Κατηγοριοποίηση πίσσας [βιβλ.28]

Στην ίδια δημοσίευση προτείνεται μια χημική διαδικασία (OLGA) που απομακρύνει όλα τα είδη πίσσας σε μεγάλο βαθμό (>97%). Περαιτέρω ξεφεύγει του σκοπού της παρούσας εργασίας.

## 2.5 Τύποι συσκευών αεριοποίησης.

Η αναφορά αφορά συσκευές που αεριοποιούν βιομάζα με αέρα.

Οι αεριοποιητές κατηγοριοποιούνται κατ' αναλογία με τους λέβητες πλήρους καύσης.

Ανάλογα με την πρώτη ύλη που χρησιμοποιούν υπάρχουν συσκευές αεριοποίησης για άνθρακα ή ξύλο. Εδώ πρέπει να επισημανθούν οι διαφορές του ξύλου ως πρώτη ύλη αεριοποίησης από τον άνθρακα ή το ξυλοκάρβουνο.

Μόνο το ένα τρίτο του άνθρακα είναι πτητικό σε αντίθεση με τα τέσσερα πέμπτα του ξύλου. Η αντιδραστικότητα του ξυλοκάρβουνο είναι είκοσι πέντε φορές μεγαλύτερη από αυτή του άνθρακα λόγω της μικρότερης πυκνότητας και συνεπώς της αυξημένης επιφάνειας αντίδρασης καθώς και του χαμηλού περιεχόμενου σε τέφρα και της άμορφης φύσης του άνθρακα

Το κύριο πρόβλημα στη χρήση βιομάζας είναι η εξάλλειψη της πίσσας που περιέχεται στο παραγόμενο αέριο. Στη χρήση άνθρακα το κύριο πρόβλημα είναι η αεριοποίηση του άνθρακα

Μια καλή συσκευή αεριοποίησης για κάρβουνο μπορεί σχετικά εύκολα να μετατραπεί σε αντίστοιχη συσκευή για ξύλο αν και οι συσκευές αεριοποίησης ξύλου έχουν αρκετές διαφορές από αυτές που λειτουργούν με πρώτη ύλη τον άνθρακα κυρίως λόγω των διαφορών του άνθρακα από το ξύλο.

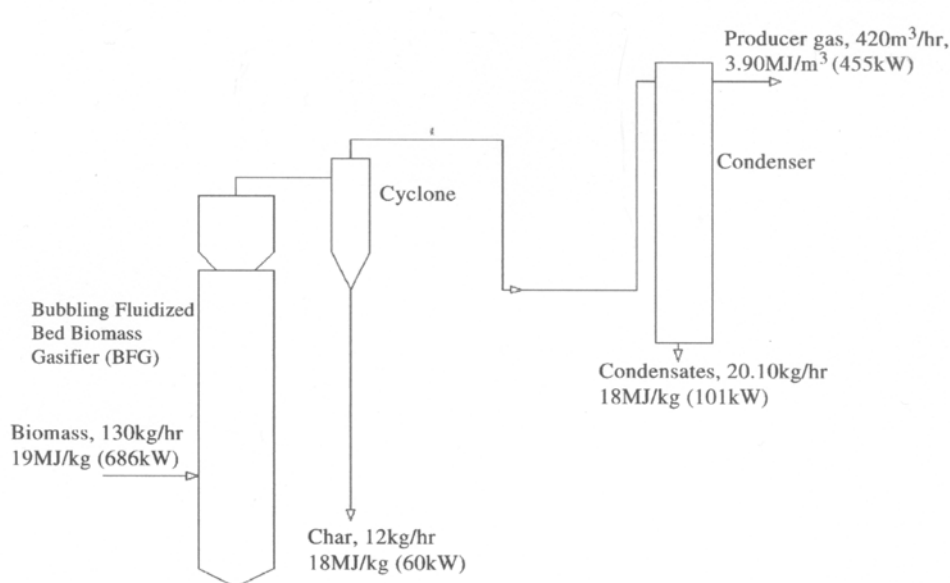
Για την αξιοποίηση υλικών μικρού μεγέθους έχουν αναπτυχθεί διάφορες διατάξεις που θυμίζουν του λέβητες καύσης άνθρακα.

Ανάλογα με τον τύπο της κλίνης υπάρχουν αεριοποιητές σταθερής, κινούμενης, ρευστοποιημένης ή άλλο τύπου κλίνης.

### 2.5.1 Αεριοποιητές ρευστοποιημένης κλίνης

Σε ότι αφορά τους αεριοποιητές ρευστοποιημένης κλίνης, μπορούν να εκμεταλλευτούν υλικά με διαφοροποιήσεις στη σύσταση και το περιεχόμενο υγρασίας ενώ η λειτουργία τους βασίζεται στην καλή ανάμιξη του υλικού με τον αέρα λόγω του υλικού στο εσωτερικό της κλίνης. Ενδεικτικά αναφέρεται στη βιβλιογραφία [βιβλ. 19] η λειτουργία ενός αεριοποιητή βιομάζας ρευστοποιημένης κλίνης με φουσαλίδες που χρησιμοποιεί κομμάτια βιομάζας (ξύλου) διάστασεων παρεμφερούς με αυτή που χρησιμοποιείται στην πειραματική διαδικασία με βαθμό απόδοσης 56,6%. Η διάταξη φαίνεται στο σχήμα 2.5 και για τον καθαρισμό του αερίου χρησιμοποιεί ένα συμπυκνωτή και ένα κυκλώνα.

Το παραγόμενο αέριο από αυτόν τον αεριοποιητή έχει σύσταση και συνεπώς και θερμογόνο δύναμη παρεμφερή με τη σύσταση του αερίου που παράγεται από τον αεριοποιητή της πειραματικής διαδικασίας. Όμως οι απώλειες, τα συμπυκνώματα και η στάχτη αγγίζουν ενεργειακά το 44,5%



Σχήμα 2.5: Σχηματικό διάγραμμα ενός αεριοποιητή ρευστοποιημένης κλίνης και ενεργειακό ισοζύγιο της διάταξης [βιβλ.19]

### 2.5.2 Αεριοποιητές σταθερής κλίνης

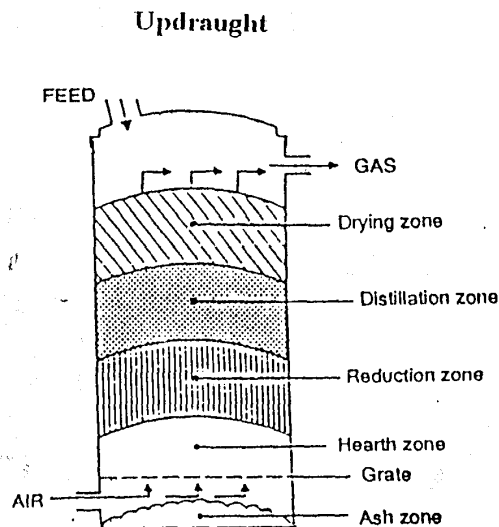
Σε ότι αφορά του αεριοποιητές σταθερής κλίνης, η διεύθυνση ροής του αερίου διαχωρίζει τις συσκευές αεριοποίησης βιομάζας σταθερής κλίνης σε αυτές της **ανερχόμενης ροής (updraught gasifiers)**, σε εκείνες της **κατερχόμενης ροής (downdraught gasifiers)** και εκείνες που η ροή κινείται **οριζόντια στην κλίνη (crossdraught gasifiers)**. Αντλώντας πληροφόρηση απο τη βιβλιογραφία [βιβλ. 16] σημειώνονται τα ακόλουθα

- **Αεριοποιητής ανερχόμενης ροής:** Ο αέρας εισέρχεται στον πάτο της κλίνης και το παραγόμενο αέριο φεύγει από το πάνω μέρος της συσκευής. Η θερμοκρασία είναι υψηλή κατά τη διάρκεια της διεργασίας και για αυτό πιθανή παρουσία ατμού θα βοηθούσε στον έλεγχο της θερμοκρασίας λόγω της ισχύρους θερμικής απορροφητικότητας του ατμού. Το θερμό αέριο είναι η πηγή θερμότητας που ξηραίνει και πυρολύει την εισερχόμενη βιομάζα παράγοντας ένα πισσώδες έλαιο που περιέχει το 30% της εισερχόμενης ενέργειας.

Το πλεονέκτημα αυτών των συσκευών είναι ότι μπορούν να χρησιμοποιήσουν υλικά με μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία. Είναι ιδανικές για την παραγωγή υγρών καυσίμων από απόβλητα βιομάζας.

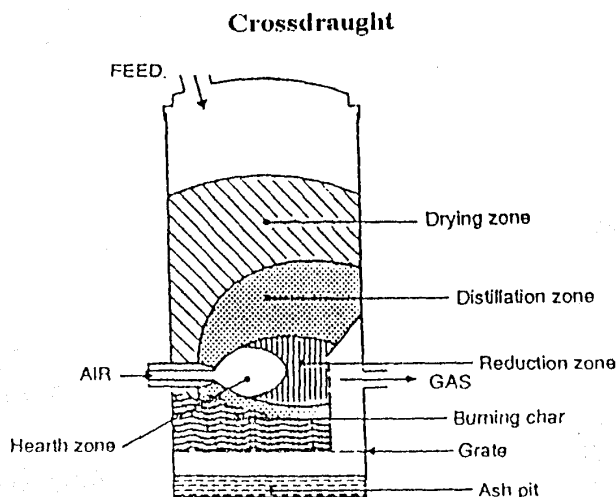
Τα μειονεκτήματα τους είναι ότι παράγεται μεγάλη ποσότητα πίσσας που είναι πολύ διαβρωτική και είναι σχεδόν αδύνατον να απομακρυνθεί. Έτσι

αυτού του είδους οι συσκευές χρησιμοποιούνται κυρίως για να παρέχουν καύσιμο κυρίως σε καυστήρες.



Σχήμα 2.1 : Αεριοποιητής ανερχόμενης ροής και σχηματισμός ζωνών [βιβλ.16]

- **Αεριοποιητής οριζόντιας ροής :** Σε αυτή τη συσκευή η ροή του αέρα γίνεται οριζόντια και κεκλιμένα διαμέσου της κλίνης. Η θερμοκρασία λειτουργίας της συσκευής είναι αρκετά υψηλή (ως  $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) . Απαιτείται σύστημα ψύξης. Μειωμένη παραγωγή πίσσας.



Σχήμα 2.2 : Αεριοποιητής οριζόντιας ροής και σχηματισμός ζωνών [βιβλ.16]

- **Αεριοποιητής κατερχόμενης ροής:** Επειδή ο αεριοποιητής που θα χρησιμοποιηθεί στην πειραματική διαδικασία είναι αυτού του τύπου θα γίνει μία εκτενέστερη περιγραφή.

Η συσκευές αυτές αναπτύχθηκαν με την προοπτική να διασπούν την παραγόμενη πίσσα και έτσι το παραγόμενο αέριο να μπορεί να κινηθεί σε δίκτυα μεγάλων αποστάσεων από τη συσκευή ή χρησιμοποιηθεί εύκολα

σε μηχανές εσωτερικής καύσης. Αν το ξύλο που θα χρησιμοποιηθεί έχει περιεκτικότητα σε υγρασία μικρότερη του 25% τότε το παραγόμενο αέριο θα δεν θα περιέχει καθόλου πίσσα.

Η συσκευή αυτή έχει τη ζώνη πυρόλησης και ξήρανσης πάνω από την ζώνη καύσης (καρδιά) ενώ τη ζώνη αναγωγής κάτω από τη ζώνη καύσης. Η αναγωγή της πίσσας είναι αποτέλεσμα της οριοθέτησης των ζωνών μέσα στον αντιδραστήρα ως εξής.

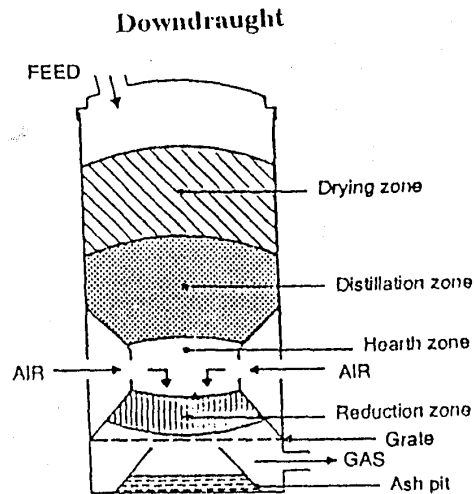
Ο αέρας εγχύεται μέσω ακροφυσίων πυρολύοντας το ξύλο προς παραγωγή ξυλοκάρβουνου και πίσσας. Μέρος των προϊόντων της πυρόλησης καίγονται πλήρως παράγοντας θερμότητα, διοξείδιο του άνθρακα και υδρατμό. Τα προϊόντα της τέλει καύσης ανάγονται καταναλίσκοντας τα υπόλοιπα προϊόντα της πυρόλησης. Με αυτό τον τρόπο το περιεχόμενο της πίσσας μειώνεται σε 0,1% κατά βάρους του συνολικού παρεχόμενου ξύλου. Το παραγόμενο αέριο είναι πιο κατάλληλο για χρήση σε καυστήρες, μηχανές εσωτερικής καύσης και αεριοστρόβιλους αν και μπορεί να περιέχει κάποια προϊόντα πυρόλυσης και ατμό. Η αρχική αντίδραση του αέρα (ή οξυγόνου) με τη βιομάζα είναι χαμηλότερης θερμοκρασίας σε σχέση με την αντίστοιχη διεργασία με λυλοκάρβουνο αντί βιομάζα λόγω των ενδόθερμων πυρολυτικών αντιδράσεων.

Η θερμοκρασία του παραγόμενου αερίου στην έξοδο της συσκευής είναι περίπου 300-400 °C. Αφού οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά τη διεργασία είναι σχετικά χαμηλές δεν απαιτείται σύστημα ψύξης.

Μερικά μειονεκτήματα των συσκευών αυτού του τύπου είναι:

- Το αέριο όταν φεύγει από την κλίνη έχει μια θερμοκρασία 700-800 °C με αποτέλεσμα οι αντιδράσεις να γίνονται αργά. Για την επίτευξη υψηλότερων αποδόσεων κάποιες φορές πρέπει να ανακτάται αισθητή θερμότητα. Περισσότερα για αυτό θα συζητηθούν αργότερα στην παρούσα εργασία.
- Τα κομμάτια καύσιμου ξύλου που χρησιμοποιούνται πρέπει να έχουν ομοιόμορφο μέγεθος και χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία σε σχέση με τους αντιδραστήρες ανερχόμενης ροής

- Οι αεριοποιητές κατερχόμενης ροής παρουσιάζουν δυσκολίες στη διανομή του απαιτούμενου οξυγόνου / αέρα σε μια αρκετά ευρεία περιοχή όπως η περιοχή της κλίνης. Γι αυτό το λόγο έχουν αναπτυχθεί διατάξεις διανομής του αέρα μέσα από πολλά ακροφύσια που βρίσκονται πάνω σε ένα κεντρικό κλάδο που είτε είναι σταθερός είτε διαθέτει πρόσθετους κλάδους οι οποίοι περιστρέφονται μέσα στον αεριοποιητή



**Σχήμα 2.3 : Αεριοποιητής κατερχόμενης ροής και σχηματισμός ζωνών [βιβλ.16]**

## 3

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

### 3.1 Εισαγωγή

Η πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή των πειραματικών δεδομένων της παρούσας εργασίας βρίσκεται στο Πανεπιστήμιο της Ουαλλίας στο Cardiff (University of Wales, Cardiff) και χρησιμοποιείται από την ομάδα του καθηγητή N.Syred σε μεγάλο εύρος πειραματικών εργασιών. Η πειραματική διάταξη αποτελείται από τον αεριοποιητή , το ηλεκτοπαραγωγό ζεύγος και τα παρελκόμενα.

Ο αεριοποιητής που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία αναφέρεται στη βιβλιογραφία. **[βιβλ. 6, 25 ]**. Παράγει αέριο το οποίο καταναλώνεται σε ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος προς παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Η ΜΕΚ του ηλεκτροπαραγωγού προέρχεται από τη μετατροπή μιας πετρελαιομηχανής και τα παρελκόμενα είτε από μια συναφή εμπορική διάταξη είτε από τμήματα μελετημένα εντός του Πανεπιστημίου. Τα πειραματικά δεδομένα προέρχονται από την βιβλιογραφία **[βιβλ 25]**. Απο εκεί αντλούνται και οι ακόλουθες πληροφορίες

### 3.2 Ο αεριοποιητής

#### 3.2.1 Χαρακτηριστικά και περιγραφή του αεριοποιητή

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά του αεριοποιητή της πειραματικής διαταξης.

ΤΥΠΟΣ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΤΗ	Κατερχόμενη ροής σταθερής κλίνης
ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΙΣΡΟΗ ΑΕΡΑ	400 l/min
ΜΕΣΗ ΩΡΙΑΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΞΥΛΟΥ	11-15 Kg
ΜΕΓΙΣΤΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΞΥΛΟΥ	40 Kg

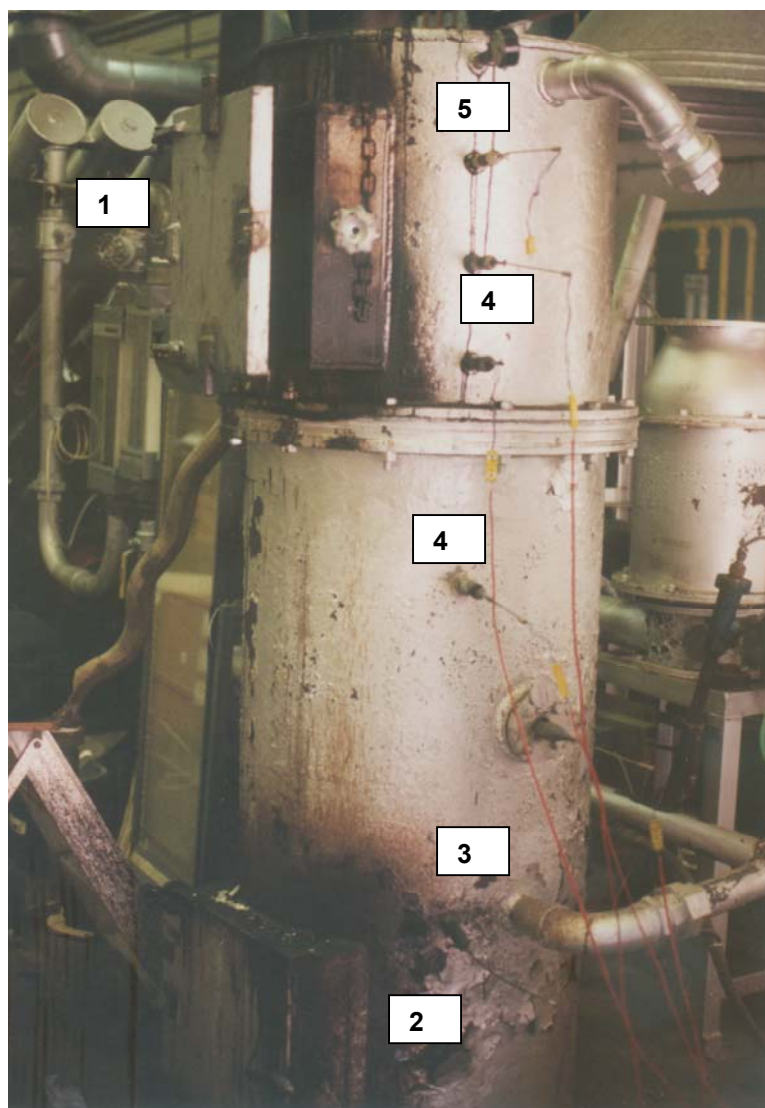
Πίνακας 3.1: Λειτουργικά χαρακτηριστικά του αεριοποιητή



Οι αριθμητικές εφαρμογές γίνονται με τις εξής παραδοχές

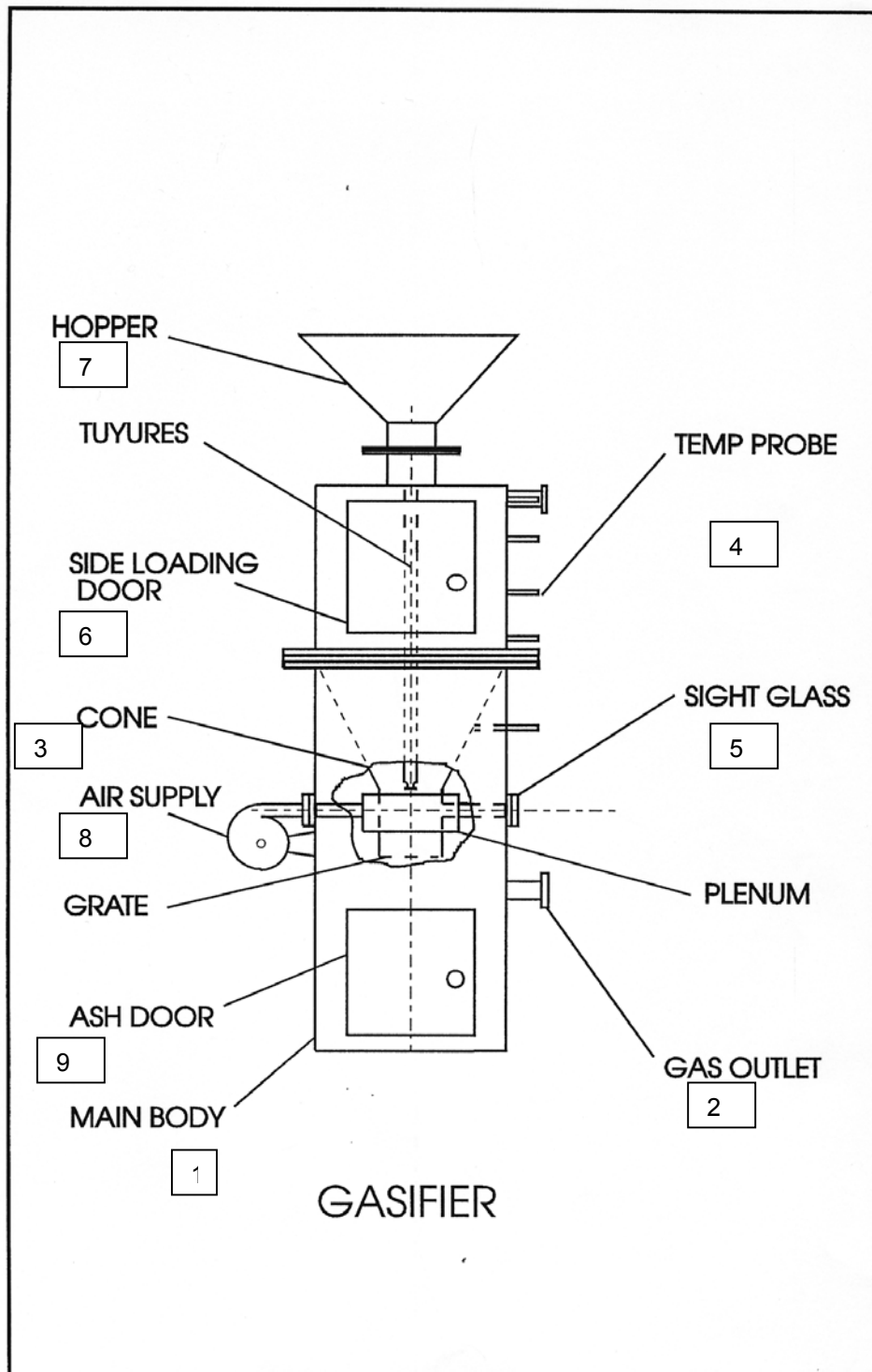
- Θεωρείται ότι η συσκευή λειτούργησε για 120 min (2 hours),
- Χρησιμοποιήθηκαν 30 Kg ξύλου και 1,5 Kg ξυλοκάρβουνο για την υποστήριξη της εκκίνησης
- Θεωρείται ότι περιέχεται 15% υγρασία στο ξύλο. (MC=15%)

Στην εικόνα 3.1 και το σχήμα 3.1 παρουσιάζεται ο αεριοποιητής που χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή των πειραματικών μετρήσεων.



Σχήμα 3.1 : Αεριοποιητής της πειραματικής διαδικασίας

1. Θύρα προσαγωγής ξύλου και ξυλοκάρβουνο
2. Θύρα καθαρισμού και απομάκρυνσης τέφρας και στάχτης
3. Εξαγωγή αερίου
3. θερμοστοιχεία μέτρησης θερμοκρασίας εντός του αεριοποιητή
4. Μανόμετρο μέτρησης πίεσης εντός του αεριοποιητή



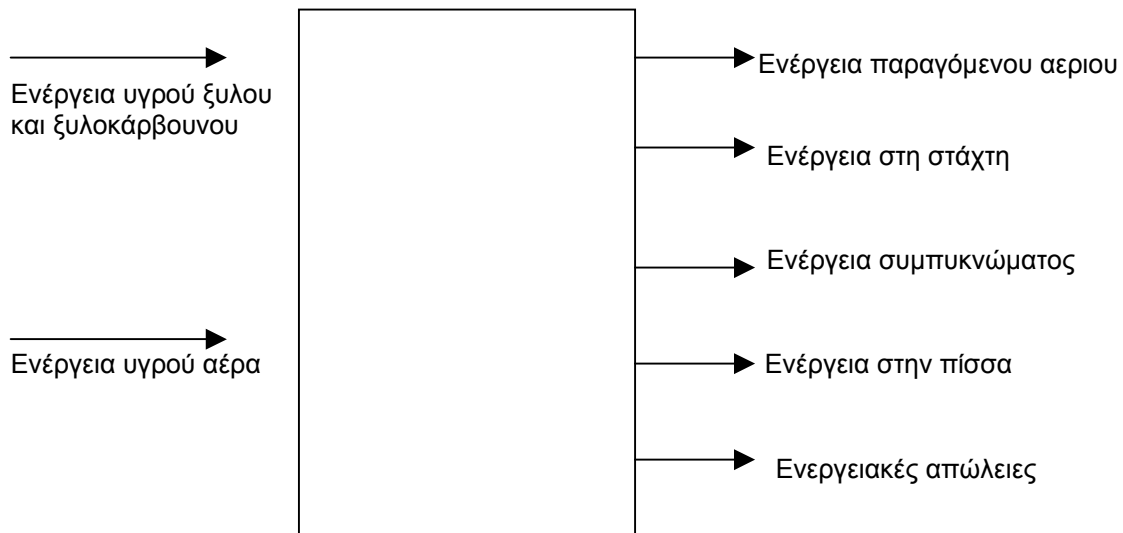
Σχήμα 3.1 : Αεριοποιητής κατερχόμενης ροής της πειραματικής διαδικασίας

1. Κύριο σώμα
2. Έξοδος αερίου
3. Συστοιχία κώνου
4. Θέσεις θερμοστοιχείων
5. Θυρίδα παρατήρησης με τζάμι
6. Πλαϊνή θύρα πλήρωσης με ξύλο
7. Πληρωτής ξύλου
8. Παροχή αέρα
9. Θύρα εξαγωγής στάχτης

### 3.2.2 Ενεργειακό ισοζύγιο του αεριοποιητή

Αυτή η παράγραφος διαπραγματεύεται την ενεργειακή ισορροπία του αεριοποιητή που χρησιμοποιείται κατά την πειραματική εργασία.

Σύμφωνα με την Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας το ποσό της ενέργειας που εισέρχεται στη συσκευή ισούται με το ποσό της ενέργειας που εξέρχεται από τη συσκευή. Το σχετικό σχήμα δίδεται πιο κάτω



Σχήμα 3.2: Διάγραμμα ενεργειακού ισοζυγίου αεριοποιητή

#### Ενεργειακή εισροή στον αεριοποιητή

Κατά τη διάρκεια της εκκίνησης της διεργασίας αεριοποίησης για την επιτάχυνση της δημιουργίας των ζωνών μέσα στον αεριοποιητή εισάγεται πριν από το ξύλο μία στρώση ξυλοκάρβουνο. Η ποσότητα αυτή έχει ένα ενεργειακό περιεχόμενο το οποίο συμμετέχει στο ενεργειακό ισοζύγιο

Η συνολική εισερχόμενη ενέργεια στον αεριοποιητή  $E_{in}$  είναι το άθροισμα της ενέργειας του ξύλου  $E_w$  της ενέργειας του ξυλοκάρβουνο  $E_{ch}$  και της ενέργειας του αέρα  $E_a$ .

$$E_{in} = E_w + E_{ch} + E_a \quad \text{εξ 3.1}$$

Η **ενέργεια του ξύλου** είναι

$$E_w = LHV_w \cdot M_w = 18,8 \cdot 30 = 490.2 \text{ MJ} \quad \text{εξ 3.2}$$

$M_w$  : η μάζα ξύλου

$LHV_w$  : Κατώτερη θερμογόνο δύναμη του ξύλου

Μία τυπική τιμή της θερμογόνου δύναμης  $LHV_w$  του ξύλου είναι 18,8 MJ/Kg για το ξηρό ξύλο.

Σημειώνεται ότι όσο αυξάνεται το περιεχόμενο της υγρασίας τόσο μειώνεται η θερμογόνος δύναμη του ξύλου. Η θερμογόνος δύναμη του ξύλου σε αυτή την περίπτωση δίδεται από την εξίσωση του Carre (1989) [βιβλ 14] ως εξής

$$LHV_w = 18,8(100/100+MC)-2,5(MC/100+MC) = \text{εξ 3.3}$$

$$= 18,8 - (100/100 + 15) - 2,5 - (15/100 + 15) \text{ και}$$

$$LHV_w = 16,34 \text{ KJ/kg}$$

Μία τυπική τιμή της θερμογόνου δύναμης  $LHV_{ch}$  του ξυλοκάρβουνο είναι 33,1 MJ/Kg

Συνεπώς η **ενέργεια του ξυλοκάρβουνο** είναι

$$E_{ch} = LHV_{ch} \cdot M_{ch} = 33,1 \cdot 1,5 = 49,65 \text{ MJ} \quad \text{εξ 3.4}$$

Ο βασικότερος παράγοντας της **ενέργειας του αέρα** είναι  $E_a$  είναι η ενέργεια που απαιτείται για την πλήρη ατμοποίηση της υγρασίας του αέρα. Αυτός ο παράγοντας είναι συνάρτηση των κλιματικών συνθηκών και τυπικά προκύπτει από την εξής σχέση

$$E_a = HL - F_w / 1000 \quad \text{εξ 3.5}$$

HL: λανθάνουσα θερμότητα του νερού (2453.7 KJ/Kg σε θερμοκρασία περιβάλλοντος of 20 °C)

$F_w$  : παροχή μάζας του νερού στον αέρα

Εαν θεωρηθεί ότι

SH : ειδική υγρασία του αέρα 0.005 Kg/Kg da από τους ψυχομετρικούς χάρτες (Για σχετική υγρασία 30% και θερμοκρασία περιβάλλοντος 20 °C)

$$F_w = SH \cdot MF_a = 0,005 \cdot 0,52965 = 0,00265 \text{ kg /min}$$

$MF_a$ : Παροχή μάζας του αέρα. Δίδεται από τη σχέση

$$MF_a = VF_a \cdot \rho_a = 450 \cdot 0,001177 = 0,52965 \text{ kg/min} \quad \text{εξ 3.7}$$

$VF_a$ : ογκομετρική παροχή του αέρα

$\rho_a$  : πυκνότητα του αέρα (στους 20 °C είναι 1,177 kg/m<sup>3</sup>)

Από την εξίσωση 2.5 προκύπτει  $E_a = 2453,7 \cdot 0,00265 / 1000 =$

$$E_a = 6,5 \cdot 10^{-3} \text{ MJ/min}$$

Για λειτουργία 120 min  $E_a = 6,5 \cdot 10^{-3} \cdot 120 = 0,78 \text{ MJ}$

Η ενεργειακή εισροή όπως προκύπτει από την εξ 3.1 είναι :

$$E_{in} = 490 + 49,65 + 0,78 = 540,43 \text{ MJ}$$

Γενικά σε σύγκριση με την ενέργεια του ξύλου και του ξυλοκάρβουνου η ενέργεια του αέρα είναι μικρή και θα μπορούσε να παραγραφεί. Η ακρίβεια μέτρησης της ακριβούς χρονικής διάρκειας λειτουργίας και του ακριβούς βάρους του ξύλου και του ξυλοκάρβουνου επαυθεύει μία πιθανή παράλειψη της ενέργειας του αέρα στο ενεργειακό εισερχόμενο του αεριοποιητή. Εντούτοις σε υγρές χώρες όπου η σχετική υγρασία προσεγγίζει το 90% και η θερμοκρασία ξηρού βολβού του αέρα είναι 30 °C η ενέργεια του αέρα πρέπει να υπολογίζεται.

### Ενεργειακή εκροή από τον αεριοποιητή

Η ενεργειακή εκροή  $E_{out}$  από τον αεριοποιητή είναι το σύνολο των καύσιμων αερίων  $E_{cg}$ , της αισθητής θερμότητας του παραγόμενου αερίου  $HS_{pg}$ , της ενέργειας της τέφρας  $E_{char}$  της ενέργειας της πίσσας  $E_{tar}$  η οποία δε διασπάται μέσα στον αεριοποιητή της ενέργειας του ατμοποιημένου νερού  $E_{wn}$  και των θερμικών απωλειών  $HL$  από τον αεριοποιητή.

$$E_{out} = E_{cg} + HS_{pg} + E_{char} + E_{wn} + E_{tar} + HL \quad \text{εξ 3.8}$$

### Ενέργεια των καύσιμων αερίων

Η ενέργεια των καύσιμων αερίων στο παραγόμενο αέριο είναι το γινόμενο του όγκου  $V_{pg}$  των καυσαερίων επί τη θερμογόνο δύναμη  $LHV_{pg}$  του παραγόμενου αερίου

$$E_{cg} = LHV_{pg} \cdot V_{pg} \quad \text{εξ 3.9}$$

Η θερμογόνος δύναμη  $LHV_{pg}$  του παραγόμενου αερίου προκύπτει από τη σύσταση του παραγόμενου αερίου και τις θερμογόνους δυνάμεις των συστατικών αερίων ως εξής:

Για τυπική ανάλυση ξηρού παραγόμενου αερίου 15%  $H_2$ , 20%  $CO$ , 2%  $CH_4$  and 0.02%  $C_2H_6$  και κατώτερες θερμογόνους ικανότητες  $LHV$  συστατικών  $LHV_{H_2} = 10,22 \text{ MJ/m}^3$ ,  $LHV_{CO} = 11,97 \text{ MJ/m}^3$ ,  $LHV_{CH_4} = 33.95 \text{ MJ/m}^3$  και  $LHV_{C_2H_6} = 60,43$  η θερμογόνος δύναμη του αερίου είναι:

$$LHV_{cg} = v_{H_2} \cdot LHV_{H_2} + v_{CO} \cdot LHV_{CO} + v_{CH_4} \cdot LHV_{CH_4} + v_{C_2H_6} \cdot LHV_{C_2H_6} \quad \text{εξ 3.10}$$

Και

$$LHV_{cg} = 0,15 \cdot 10,22 + 0,2 \cdot 11,97 + 0,02 \cdot 33,95 + 0,00002 \cdot 60,43 = 4,6 \text{ MJ/m}^3$$

Δηλαδή

$$\mathbf{LHV_{cg} = 4,6 \text{ MJ/m}^3}$$

Για μία δεδομένη παροχή αέρα  $V_{Fa}$  μέσα στον αεριοποιητή ο όγκος του παραγόμενου αερίου  $V_{pg}$  δίδεται από την εξίσωση

$$V_{pg} = V_{Fa} \cdot V_{N_{2air}} / V_{N_{2pg}} = 400 \times 0,79 / 0,45 = 702,2 \text{ l/min} = 0.702 \text{ m}^3/\text{min} \quad \text{Εξ 3.11}$$

Η εξίσωση αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι το οξυγόνο είναι ανενεργό κατά τη διαδικασία της αεριοποίησης και έτσι ο όγκος του παραμένει σταθερός κατά τη διάρκεια της διεργασίας.

Η ενέργεια του καύσιμου αερίου  $E_{cg}$  μέσω της εξίσωσης 3.9 είναι:

$$E_{cg} = 4.6 \times 0.702 = 3.23 \text{ MJ/min or } 53.8 \text{ kW}$$

Η αναλυση του παραγόμενου αερίου γίνεται υπο θερμοκρασία ίση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Για διάρκεια 120 min, η ενέργεια του παραγόμενου αερίου είναι:

$$E_{cg} = 3,23 \cdot 120 = 387,6 \text{ MJ}$$

### **Αισθητή ενθαλπεία του παραγόμενου αερίου $HS_{pg}$**

Η αισθητή ενθαλπεία του παραγόμενου αερίου  $HS_{pg}$  είναι η ενέργεια λόγω της θερμοκρασίας με την οποία εξέρχεται το αέριο από τον αεριοποιητή. Η θερμοκρασία στη ζώνη αναγωγής είναι περίπου 800 °C και πέφτει δια μέσω του συστήματος . Η αισθητή θερμότητα του παραγόμενου αερίου είναι:

$$HS_{pg} = M_{pg} \cdot c_{p_{pgas}} \cdot \Delta T \quad \text{εξ 3.12}$$

Όπου  $c_{p_{pgas}}$  είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα υπο σταθερό όγκο του παραγόμενου αερίου όπως προκύπτει από τις επι μέρους θερμοχωρητικότητες υπο σταθερό όγκο για το κάθε επιμέρους συστατικό του αερίου. Η ειδική θερμοχωρητικότητα υπο σταθερό όγκο υπολογίζεται στο τέλος της ζώνης αναγωγής στους 800 0C. Η γραμμομοριακή ανάλυση της κατά μάζα σύστασης του παραγόμενου αερίου δίδεται στον πίνακα 2.2. Ως  $\Delta T$  ορίζεται η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της ζώνης αναγωγής και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Αέριο	Ογκομετρική ανάλυση $V_i/V$	Μοριακό βάρος αερίου	$V_i/V^*$ M	Γραμμομοριακή ανάλυση $x_i$
H <sub>2</sub>	0.15	2	0.3	0.0113
CO	0.2	28	5.6	0.2112
CO <sub>2</sub>	0.16	44	7.04	0.2656
CH <sub>4</sub>	0.02	16	0.32	0.0121
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.03	30	0.009	0.0003
N <sub>2</sub>	0.45	28	12.6	0.4753
O <sub>2</sub>	0.02	32	0.64	0.0241
ΣΥΝΟΛΟ	1.00		26.509	1.00

Πίνακας 3.2:Γραμμομοριακή ανάλυση του παραγόμενου αερίου

$$\sum (x_i \cdot c_{p_i}) = x_{H_2} \cdot c_{p_{H_2}} + x_{CO} \cdot c_{p_{CO}} + x_{CO_2} \cdot c_{p_{CO_2}} + x_{CH_4} \cdot c_{p_{CH_4}} + x_{C_2H_6} \cdot c_{p_{C_2H_6}} + x_{N_2} \cdot c_{p_{N_2}} + x_{O_2} \cdot c_{p_{O_2}}$$

$$= 0,0113(15,105) + 0,2112(1,1985) + 0,2656(1,253) + 0,0121(4,6515) + 0,0003(4,2364) + 0,4753(1,182) + 0,0241(1,1) = 1,403 \text{ KJ/Kg K}$$

Δηλαδή  $c_{pgas} = 1,403 \text{ KJ/Kg K}$

Αν θεωρηθεί θερμοκρασία περιβάλλοντος 20 °C τότε  $\Delta T = 780 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Θεωρώντας το παραγόμενο αέριο ως τέλειο αέριο η παροχή μάζας του παραγόμενου αερίου  $M_{pg}$  ορίζεται ως εξής

$$M_{pg} = (V_{pg} \cdot W_{pg}) / (R \cdot T) \quad \text{εξ 2.13}$$

όπου

$W_{pg}$  : το μοριακό βάρος του παραγόμενου αερίου (26,509kg/kmol)

R : η σταθερά αερίων (0.08205 m<sup>3</sup>/kmol K)

T : Η θερμοκρασία της ζώνης αναγωγής (1073 K)

$V_{pg}$  : Η ογκομετρική παροχή του παραγόμενου αερίου

$$\text{Συνεπώς} \quad M_{pg} = 0.1204 \text{ kg/min}$$

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση 3.12 η αισθητή ενθαλπία  $HS_{pg}$  είναι:



$$HS_{pg} = 0,1204 \cdot 1,403 \cdot 780/1000 = 0,13175 \text{ MJ/min}$$

και για 120 min

$$HS_{pg} = 0,13175 \cdot 120 = 15,8 \text{ MJ}$$

### Ενέργεια συμπυκνώματος

Η ενέργεια του υδατικού ατμού στο παραγόμενο αέριο είναι η ενέργεια του νερού που συμπυκνώνεται και της αισθητής θερμότητας του ατμού. Θεωρείται ότι ο παραγόμενος ατμός συμπυκνώνεται εξ' ολοκλήρου.

Η ενέργεια του συμπυκνόμενου νερού είναι:

$$E_{cww} = M_{wv} \cdot (h_{T_{reduction}} - h_{T_{ambient}}) / 1000 \quad \text{εξ 3.14}$$

όπου,

$M_{wv}$  = η μάζα του συμπυκνώματος

$h_{T_{reduction}}$  = Η ενθαλπία του ατμού στους 1073 K (4823.3kJ/kg)

$h_{T_{ambient}}$  = Η ενθαλπία του νερού στους 293 K (83.9 kJ/kg)

Εαν υπολογιστεί το συμπύκνωμα του νερού για χρονική διάρκεια 120 min πρόκειται 2 Kg συμπύκνωμα και από την εξ. 3.14 η ενέργεια του συμπυκνώματος είναι:

$$E_{cww} = 2 \cdot (4823.3 - 83.9) / 1000 = 9.47 \text{ MJ}$$

Αν θεωρηθεί ότι

$c_{p_{wv}}$  = η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού στους 1073 K (2.3405 kJ/kg K)

$\Delta T$  = Η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της ζώνης αναγωγής και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος (780 °C) τότε η αισθητή θερμότητα του νερού είναι:

$$HS_{wv} = M_{wv} \cdot c_{p_{wv}} \cdot \Delta T / 1000 = 2 \cdot 2,34 \cdot 780 / 1000 = 3,65 \text{ MJ}$$

Η συνολική ενέργεια  $E_{wv}$  λόγω του ατμού είναι:

$$E_{wv} = E_{cww} + HS_{wv} = 9.47 + 3.65 = 13.12 \text{ MJ} \quad \text{εξ 3.15}$$

### Ενέργεια από την τέφρα

Η ενέργεια από την τέφρα είναι η χημική ενέργεια σχηματισμού της στάχτης και η αισθητή της θερμότητας.

$$E_{\text{char}} = \text{LHV}_{\text{char}} \cdot M_{\text{char}} + M_{\text{char}} \cdot c_{p_{\text{char}}} \cdot \Delta T / 1000 \quad \text{εξ 3.16}$$

Εντούτοις η ποσότητα της στάχτης που απομένει είναι πολύ μικρή και έτσι το ενεργειακό αυτό ποσό παραγράφεται και θεωρείται ότι παραμένει μόνο κάποια ποσότητα τέφρας.

### Ενέργεια από την πίσσα

Η ενέργεια από την πίσσα είναι η χημική ενέργεια σχηματισμού της στάχτης και η αισθητή της θερμότητα.

$$E_{\text{tar}} = \text{LHV}_{\text{tar}} \cdot M_{\text{tar}} + M_{\text{tar}} \cdot c_{p_{\text{tar}}} \cdot \Delta T / 1000 \quad \text{εξ 3.17}$$

Κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας η πίσσα που παράγεται συμπυκνώνεται και παγιδεύεται στις συσκευές ψύξης και καθαρισμού του συστήματος. Είναι πάντως δύσκολο να καθοριστεί το ποσό της πίσσας. Στους αεριοποιητές κατερχόμενης ροής το ποσό της παραγόμενης πίσσας είναι της τάξης του 0,1% του βάρους του ξύλου. Άρα για 30 Kg ξύλου το ποσό της πίσσας εκτιμάται σε 0,03 Kg.

Σημειώνεται ότι

$$\text{LHV}_{\text{tar}} = 35.14 \text{ MJ/kg and } c_{p_{\text{tar}}} = 2.73 \text{ kJ/kg K} \quad (\text{Hoi, 1993})$$

Η ενέργεια λόγω της πίσσας όπως δίδεται από την εξίσωση 3.16 είναι:

$$E_{\text{tar}} = 35,14 \cdot (0,03) + 0,03 \cdot (2,73) \cdot 780 / 1000 = 1,118 \text{ MJ}$$

### Απώλειες θερμότητας από τον αεριοποιητή

Οι θερμικές απώλειες HL από τον αεριοποιητή οφείλονται στην συναγωγή και ακτινοβολία γύρω από τη συσκευή.

$$HL = Q_{\text{radiation}} + Q_{\text{convection}} \quad \text{εξ 3.18}$$

Ο υπολογισμός της θερμικής απώλειας λόγω ακτινοβολίας γίνεται μέσω της εξίσωσης:

$$Q_{\text{radiation}} = A \cdot \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_s^4 - T_a^4) \quad \text{εξ 3.19}$$

Όπου

A: Η εξωτερική επιφάνεια του αεριοποιητή

$\sigma$ : Σταθερά Steffan-Boltzman

$\varepsilon$ : Συντελεστής εκπομπής

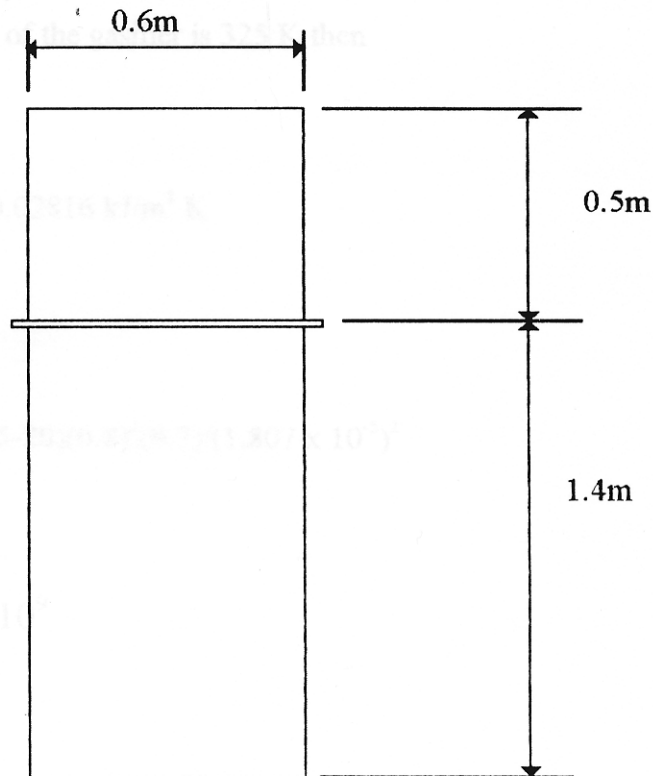
$T_s$ : Επιφανειακή θερμοκρασία σε K

$T_a$ : Θερμοκρασία περιβάλλοντος σε K

Ο υπολογισμός της θερμικής απώλειας λόγω συναγωγής γίνεται μέσω της εξίσωσης:

$$Q_{\text{convection}} = h \cdot A \cdot \Delta T = h \cdot A \cdot (T_s - T_a) \quad \text{εξ 3.20}$$

Όπως φαίνεται στο σχήμα για τον υπολογισμό ο αεριοποιητής χωρίζεται σε δύο ζώνες. Το πάνω μέρος του αεριοποιητή έχει ύψος 0,5 m και μέση επιφανειακή θερμοκρασία 85 °C ενώ το κάτω μέρος έχει ύψος 1,4m και μέση θερμοκρασία 170 °C.



Σχήμα 3.3:Ενδεικτικό σχήμα αεριοποιητή για τον υπολογισμό των θερμικών απωλειών  
Ο αναλυτικός υπολογισμός παρουσιάζεται πιο στις επόμενες παραγράφους.

### Απώλειες θερμότητας στο άνω μέρος του αεριοποιητή

Εμβαδό επιφάνειας του άνω μέρους  $A_1=0,942 \text{ m}^2$

#### Α<sub>α</sub>. Λόγω φυσικής συναγωγής

Θερμοκρασία στρώματος  $T_f = (85 + 20)/2 = 52.5 \text{ }^\circ\text{C} = 325.5 \text{ K}$

Για αυτή τη θερμοκρασία το κινηματικό ιξώδες είναι  $\nu = 1,807 \times 10^5 \text{ m}^2/\text{s}$

Εαν η μέση επιφανειακή θερμοκρασία είναι 325 K

$$\beta = 1/325 = 0.003072$$

και  $Pr = 0.7$  και  $k = 0.02816 \text{ kJ/m}^2 \text{ K}$

Είναι:

$$Gr \cdot Pr = g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L^3 \cdot Pr / \nu^2 \quad \text{εξίσωση 3.21}$$

$$\text{και } Gr \cdot Pr = (9,81)(0,003072)(85-20)(0,8)^3(0,7)/(1,807 \cdot 10^{-5})^2 = 1,44 \cdot 10^9$$

$$\text{Έτσι } Gr \cdot Pr = 1,44 \cdot 10^9$$

Επίσης

$$\text{Ο αριθμός Nusselt είναι. } \sqrt{Nu} = 0,825 + \frac{0,387(Gr \cdot Pr)^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{8/27}} \quad \text{εξίσωση 3.22}$$

$$\text{Δηλαδή } \sqrt{Nu} = 11,72$$

$$\text{Έτσι } Nu = 137,2$$

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας υπολογίζεται:

$$h = Nu(k/L_1) = 137,2(0,02816/0,8) \quad \text{εξίσωση 3.23}$$

$$\text{και } h = 5,52 \text{ W/m}^2\text{C}$$

Ο ρυθμός θερμικών απωλειών λόγω συναγωγής είναι για το άνω τμήμα του αεριοποιητή είναι:

$$\begin{aligned} Q_{\text{convection-top}} &= h \cdot A \cdot \Delta T \\ &= 5,52(1,036)(65) \\ &= 317,7 \text{ W και} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{convection-top}} = 0,0223 \text{ MJ/min}$$

**A<sub>β</sub> Λόγω ακτινοβολίας**

$$Q_{\text{radiation-top}} = h \cdot A \cdot \epsilon \cdot (T_s^4 - T_a^4) \quad \text{εξίσωση 3.24}$$

$a =$  σταθερά Stefan -Boltzmann  $= 5.669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

$\epsilon = 0,31$  (Για οξειδομένη σκούρα γκρι επιφάνεια βαμμένη με χρώμα αλουμινίου)

$$\begin{aligned} \text{και } Q_{\text{radiation.top}} &= 1,036(5,669 \times 10^{-8})(0,31)(358^4 - 293^4) \\ &= 164 \text{ W} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{radiation-top}} = 0,01 \text{ MJ/min}$$

**Απώλειες θερμότητας στο κάτω μέρος του αεριοποιητή**

Εμβαδό επιφανείας του άνω μέρους  $A_2 = 2,64 \text{ m}^2$

**B<sub>α</sub>. Λόγω ελεύθερης συναγωγής**

Θερμοκρασία στρώματος  $T_f = (170 + 20)/2 = 95 \text{ }^\circ\text{C} = 368 \text{ K}$

Επαναλαμβάνοντας την προηγούμενη διαδικασία

$$\nu = 2,317 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\beta = 1/368 = 0.00272 \quad \text{και}$$

$$\text{Pr} = 0,692, \quad k = 0,03186 \text{ kJ/m}^2 \text{ K}$$

Έτσι

$$\begin{aligned} \text{Gr Pr} &= g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L_1 \cdot \text{Pr} / \nu^2 \\ &= (9,81)(0,00272)(170-20)(1,7)^3(0,692)/(2,317 \times 10^{-5})^2 \end{aligned}$$

$$\text{και } \mathbf{GrPr = 2,564 \cdot 10^{10}}$$

$$\text{Ξανά ο αριθμός Nusselt } \sqrt{Nu} = 0,825 + \frac{0,387(\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{\text{Pr}}\right)^{9/16}\right]^{8/27}}$$

$$\sqrt{Nu} = 18,4$$

και έτσι

$$\mathbf{Nu = 338,9}$$

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας είναι

$$h = \text{Nu}(k/L_1) = 338,9(0,03186/1,7) \quad \text{και}$$

$$h = 6.35 \text{ W/m}^2\text{C}$$

Η απώλεια θερμότητας με ελεύθερη συναγωγή από το κάτω μέρος του αεριοποιητή είναι:

$$\begin{aligned} Q_{\text{convection-bottom}} &= h \cdot A \cdot \Delta T \\ &= 6,35 (2.92)(150) \\ &= 2781,3 \text{ W} \end{aligned}$$

και  $Q_{\text{convection-bottom}} = 0,167 \text{ MJ/min}$

### **Ββ. Λόγω ακτινοβολίας**

Με υπολογισμό όμοιο του υπολογισμού που έγινε για το άνω τμήμα

$$\begin{aligned} Q_{\text{radiation-bottom}} &= A \cdot \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_s^4 - T_a^4) \\ Q_{\text{radiation-bottom}} &= 2,92(5.669 \cdot 10^{-8})(0.31)(443^4 - 293^4) \\ &= 1598 \text{ W και} \\ Q_{\text{radiation-bottom}} &= 0,096 \text{ MJ/min} \end{aligned}$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι μετά το πείραμα ο αεριοποιητής εξακολουθεί να είναι ζεστός. Ο χρόνος που χρειάζεται για να κρυώσει η συσκευή σε θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι περίπου ο διπλάσιος του χρόνου λειτουργίας.

### **ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΠΩΛΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΤΗ**

$$\begin{aligned} HL &= Q_{\text{convection-top}} + Q_{\text{convection-bottom}} + Q_{\text{radiation-top}} + Q_{\text{radiation-bottom}} \\ HL &= 0.0223 + 0.167 + 0.01 + 0.096 \\ \text{Και } HL &= 0.2953 \text{ MJ/min} \end{aligned}$$

Θεωρώντας ότι μετά την λειτουργία οι απώλειες λόγω ψύξης του αεριοποιητή αντιστοιχούν σε απώλειες θερμότητας του διπλασίου του χρόνου λειτουργίας τότε για 120 min λειτουργίας ο υπολογισμός αφορά 240 min είναι

$$HL = 0,2953 \cdot 240 = 76,77 \text{ MJ}$$

Η συνολική εξαγωγή ενέργειας από τον αεριοποιητή δίδεται από την εξίσωση 2.8 και είναι

$$E_{out} = 387,6 + 15,8 + 13,12 + 1,12 + 76,77 = 494,44 \text{ MJ}$$

Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον πιο κάτω πίνακα

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΙΣΡΟΗ	MJ	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΕΚΡΟΗ	MJ
Ξύλο (30 kg)	490.2	Ψυχρό αέριο	387.6
Ξυλοκάρβουνο (1.5 kg)	49.65	Αισθητή θερμότητα	15.8
Αέρας (400 l/min)	0.8	Νερό	9.81
		πίσσαρ	1.12
		Απώλειες	76.77
Σύνολο	540.65		494.44

Πίνακας 3.3 : Ενεργειακό ισοζύγιο του αεριοποιητή για χρονική διάρκεια λειτουργίας 120 min

Η διαφορά της τάξης του 10% μεταξύ της εισερχόμενης και της εξερχόμενης ενέργειας μπορεί να προέρχεται από το ότι η ψύξη του αεριοποιητή μετά τη λειτουργία του διαρκεί περισσότερο από το διπλάσιο του χρόνου.

### 3.3 Το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος

#### 3.3.1 Μηχανή της πειραματικής εργασίας.

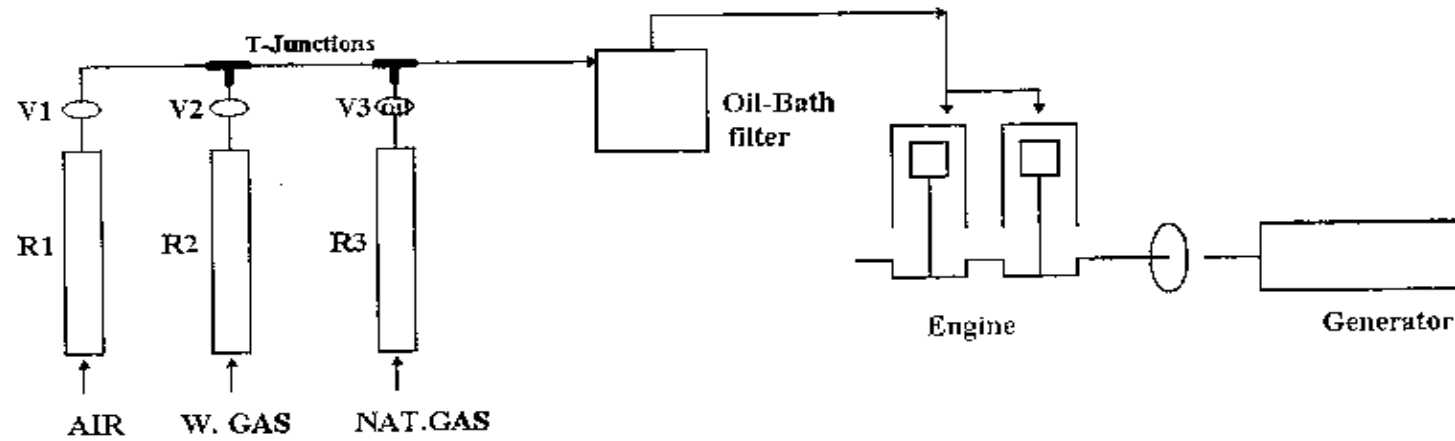
Η μηχανή που θα χρησιμοποιηθεί είναι μία δυκύλινδρη αερόψυκτη πρώην πετρελαιομηχανή του οίκου LISTER που μετατράπηκε σε μηχανή SI για να χρησιμοποιεί φυσικό αέριο. Με αυτές τις συνθήκες (SI και καύσιμο φυσικό αέριο) παρήγαγε 20 KW ισχύος με λόγο συμπίεσης 10:1.

Ένα μεγάλο ερωτηματικό ήταν η συμπεριφορά της μηχανής με καύσιμο παραγόμενο αέριο, που προερχόταν από ένα αεριοποιητή. Δηλαδή αν θα εκκινούσε ομαλά και πως θα συμπεριφερόταν κατά τη διάρκεια της λειτουργίας με εστίαση σε πιθανή ύπαρξη φαινομένου fuel knock ή detonation. Έχοντας υπ' όψη όσα αναφέρονται στη βιβλιογραφία [βιβλ 16 και 17] αποφασίστηκε η ανάμειξη του παραγόμενου αερίου με τον αέρα να γίνει



μέσω ενός συνδέσμου ταυ όπως φαίνεται στο σχήμα 3.4. Οι εισοδοί του ταυ είναι συνδεδεμένοι σε ροόμετρα και βαλβίδες ελέγχου της ροής. Η έξοδος του συνδέσμου ταυ είναι συνδεδεμένη σε ένα φίλτρο bath oil μέσω ενός εύκαμπτου σωλήνα σχετικά μικρού μήκους με πολύ τραχεία εσωτερική επιφάνεια. Η όλη διάταξη εξασφαλίζει υψηλή τύρβη απαραίτητη για την καλή ανάμιξη του παραγόμενου αερίου με τον αέρα.

Ο σύνδεσμος ταυ είναι ο απλούστερος τρόπος ανάμιξης δύο αερίων. Δεδομένης της χρήσης της μηχανής ο έλεγχος δεν απαιτεί γρήγορες ενέργειες και μπορεί να γίνει χειροκίνητα μέσω των βαλβίδων είτε ποσοτικά είτε ποιοτικά.



Σχήμα 3.4 :Σύνδεση της μηχανής εσωτερικής καύσης στον αεριοποιητή και στο δίκτυο φυσικού αερίου

R1, R2,R3: Ροόμετρα

V1,V2,V3 : Ρυθμιστικές βαλβίδες

Θα ήταν χρήσιμο να υπενθυμιστεί ότι:

- Ως ειδική κατανάλωση καυσίμου  $sfc$  ορίζεται ο λόγος

$$sfc = \frac{m_f}{P} \quad \text{σε gr/(KW}\cdot\text{sec)}$$

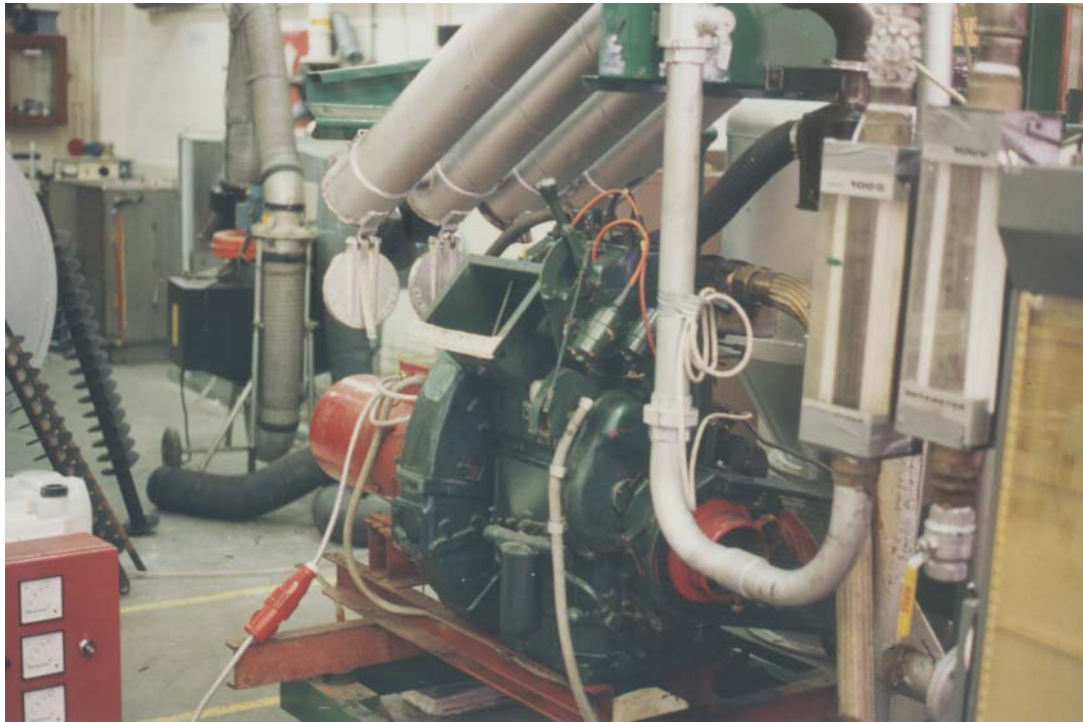
$m_f$  : παροχή μάζας καυσίμου (gr/sec)     $P$ : παραγόμενη ισχύς (KW)

- Ως θερμικός βαθμός  $n_f$  απόδοσης ορίζεται ο λόγος

$$n_f = \frac{P}{m_f \cdot Q_{HV}}$$

όπου  $Q_{HV}$ : θερμογόνος δύναμη του καυσίμου (MJ/Kg)

Στο σχήμα 4.2 φαίνεται η μηχανή πάνω στην πειραματική διάταξη



Εικόνα 3.2 : Το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος της πειραματικής διαδικασίας

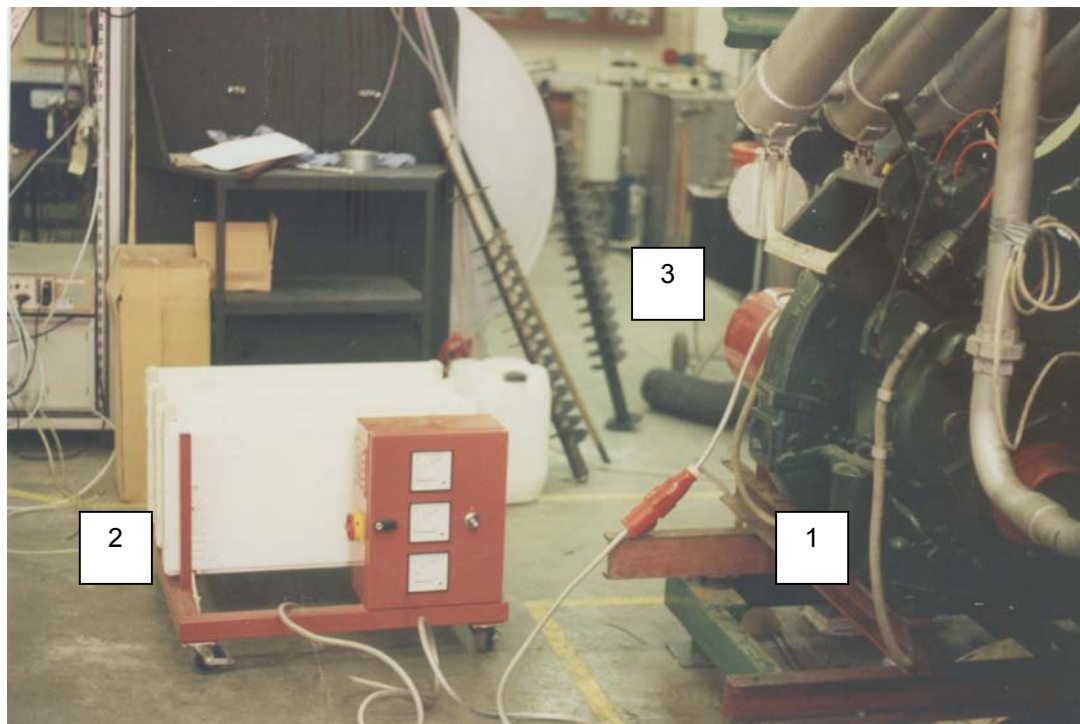
### 3.3.2 Η γεννήτρια και το ηλεκτρικό φορτίο

Η γεννήτρια που είναι συνδεδεμένη στη μηχανή είναι τριφασική γεννήτρια με τα εξής χαρακτηριστικά

ΤΡΕΙΣ ΦΑΣΕΙΣ- ΣΥΝΔΕΣΗ ΑΣΤΕΡΑΣ	
Τάση ανα φάση (Volt)	230 - 240
Ένταση ανά φάση (Amp)	17.4
Στροφές λειτουργίας RPM	1500
Συχνότητα (Hz)	50
Ονομαστική ισχύς (KVA)	12.5

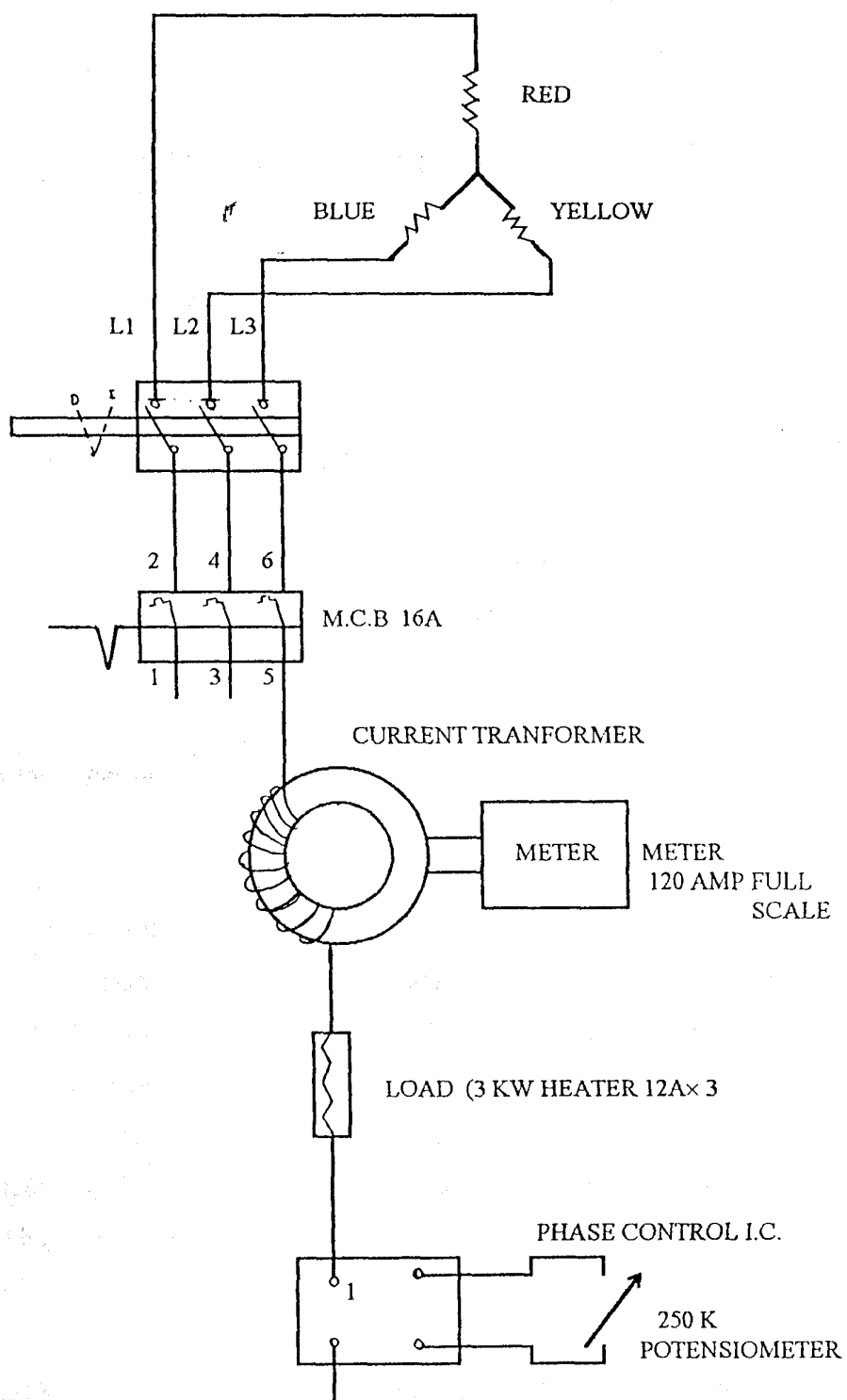
**Πίνακας 3.4:** Κύρια χαρακτηριστικά της γεννήτριας

Το ηλεκτρικό φορτίο αποτελείται από τρεις θερμαντήρες 3 KW ο κάθε ένας που συνδέονται σε κάθε φάση της γεννήτριας . Η επιλογή της χρήσης θερμαντήρων (δηλαδή αντιστάσεων) έγινε ώστε να μην υπάρχουν φαινόμενα αυτεπαγωγών ή αβατικής ισχύος που συνοδεύουν τα πηνία και απαιτούν πρόσθετες διατάξεις πυκνωτών. Το μέγεθος τους (9 KW) είναι λίγο μικρότερο από την ονομαστική ισχύ της γεννήτριας για να προστατευθεί η γεννήτρια απο πιθανή υπερφόρτωση. Η όλη διάταξη μελετήθηκε και κατασκευάστηκε από τους ηλεκτρολόγους του Πανεπιστημίου. Μια εικόνα της ηλεκτρικής διάταξης φαίνεται στην εικόνα 3.3 ενώ το σχέδιο του φορτίου φαίνεται στο σχήμα 3.5



**Εικόνα 3.3 :** Διάταξη ηλεκτρικού φορτίου πειραματικής διάταξης

- 1 Μηχανή και γεννήτρια
- 2 Πίνακας με τα αμπερόμετρα και θερμαντικά σώματα
- 3 Σπειροειδείς διαδορμές σωλήνων ψύξης συμπύκνωσης



Σχήμα 3.5 : Σχήμα διάταξης ηλεκτρικού φορτίου

### 3.4 Παρελκόμενες συσκευές

#### 3.4.1. Γενικές πληροφορίες

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία [βιβλ. 7,8,9,12,15,16,17] για τον καθαρισμό και την ψύξη του αερίου αναπτύσσονται οι ακόλουθες μηχανικές (όχι συσκευές χημικών διεραγσιών) συσκευές

- Ένα **φίλτρο κατακόρυφου όγκου** που περιέχει διαδοχικά στρώματα ξύλου ή ξυλοκάρβουνου. Το ξύλο αλλοιώνεται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί αργότερα ως καύσιμο. Το μέγεθος των κοματιών του ξύλου είναι της τάξης του  $1 \text{ cm}^3$ . Τα κομμάτια ξύλου και ξυλοκάρβουνου είναι ξηρά και σκοπός της συσκευής είναι η παρακράτηση ινώδων καταλοίπων που μπορεί να υπάρχουν στο αέριο. Στο τέλος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ύφασμα το οποίο καθαρίζει ακόμη καλύτερα το αέριο αλλά αυξάνει τις απώλειες πίεσης δια μέσω του συστήματος.

- **Κυκλώνες** χρησιμοποιούνται μετα τους αεριοποιητές για την απομάκρυνση μεγάλων σωματιδίων σκόνης αναμεμιγμένων με υδρατμούς.

- **Συμπυκνωτές** ή/και **ψύκτες** χρησιμοποιούνται για το διαχωρισμό πίσσας και υγρασίας από το αέριο και την ψύξη του αερίου αντίστοιχα.

- Έχει αναφερθεί επίσης η χρήση **απλών φίλτρων υφάσματος** τοποθετημένων πριν το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος.

- Σε κάποιες περιπτώσεις έχουν χρησιμοποιηθεί και ηλεκτροστατικά φίλτρα σε παραγωγή αερίου μεγάλης κλίμακας.

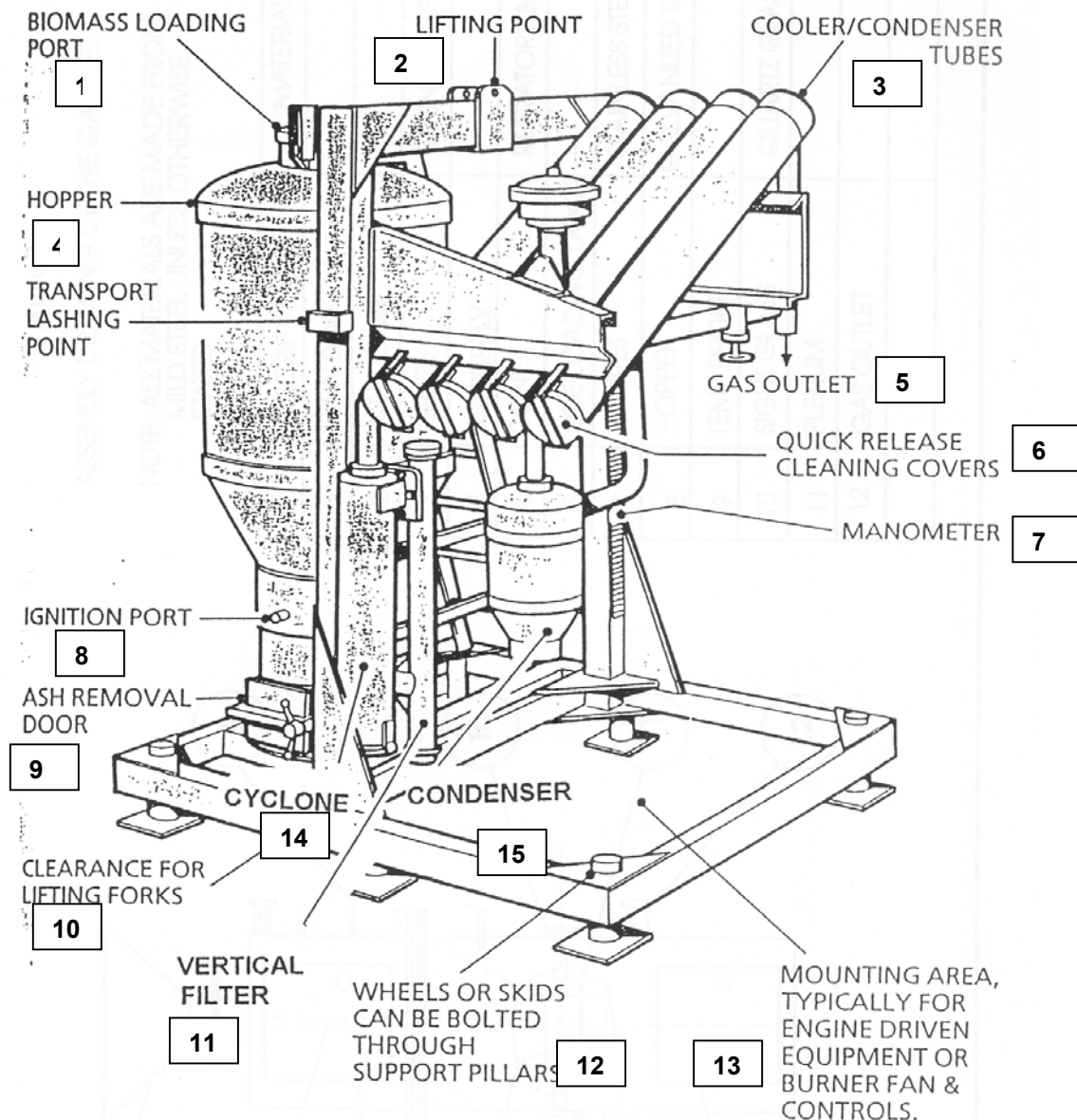
Εάν το παραγόμενο αέριο χρησιμοποιηθεί σε μηχανές προτείνεται ένας συνδυασμός των παραπάνω συσκευών , για την απομάκρυνση οργανικών ενώσεων με μεγάλο μοριακό βάρος. Φυσικά με την προϋπόθεση ότι θα πρέπει οι απώλειες πίεσης κατά μήκος της διαδρομής διέλευσης του αερίου να είναι οι λιγότερες δυνατές. Μία μεγάλη πτώση πίεσης θα προκαλούσε δυσκολίες στη ροή του αερίου και συνεπώς και διαταραχή στη διαδικασία.

#### 3.4.2 Η πειραματική διάταξη

Τα παρελκόμενα της πειραματικής διάταξης προέχονται ως επί το πλείστον από μια αντίστοιχη διάταξη παραγωγής αερίου από το εμπόριο. Σε αυτά συνδέονται ο αεριοποιητής που έχει κατασκευαστεί στο Πανεπιστήμιο και το

ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος. Έχει ήδη κριθεί αναγκαία η τοποθέτηση ενός επιπλέον ψύκτη που θα βοηθήσει την ψύξη του αερίου. Κάποιες πληροφορίες για αυτόν τον ψύκτη θα δοθούν αργότερα σε αυτή την παράγραφο.

Η θέση των συσκευών πάνω στη διάταξη πριν την τροποποίησή της φαίνεται στο σχήμα 3.6.



Σχήμα 3.6 : Πειραματική διάταξη της παρούσας εργασίας πριν την τροποποίησή της [Βιβλ. 15]

- 1 Θύρα προσαγωγής βιομάζας
- 2 Σημείο πρόσδεσης γερανού για τη μεταφορά
- 3 Πολυσωλήνιος συμπύκνωσης-ψύκτης
- 4 Αεριοποιητής
- 5 Εξαγωγή αερίου
- 6 Καπάκια γρήγορου καθαρισμού σωλήνων ψύξης συμπύκνωσης
- 7 Μανόμετρο
- 8 Θύρα έναυσης
- 9 Θύρα απομάκρυνσης τέφρας
- 10 Κενό για παλετοφόρο μεταφοράς
- 11 Κατακόρυφο φίλτρο
- 12 Σημεία πρόσδεσης ποδαρικών ή τροχών για μετακίνηση
- 13 Περιοχή τοποθέτησης της μηχανής
- 14 Κυκλώνας
- 15 Συμπυκνωτής



Κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας ο αέρας εισέρχεται στον αεριοποιητή από το αντιστοιχο δίκτυο του Εργαστηρίου και η φόρτωση με βιομάζα γίνεται από την πόρτα στο άνω μέρος του αεριοποιητή.

Ένα διάγραμμα της τροποποιημένης διάταξης όπου περιλαμβάνονται ο αεριοποιητής, το φίλτρο κατακόρυφου όγκου, ένας κυκλώνας, και τρεις συμπυκνωτές-ψύκτες φαίνεται στο σχήμα 3.7.

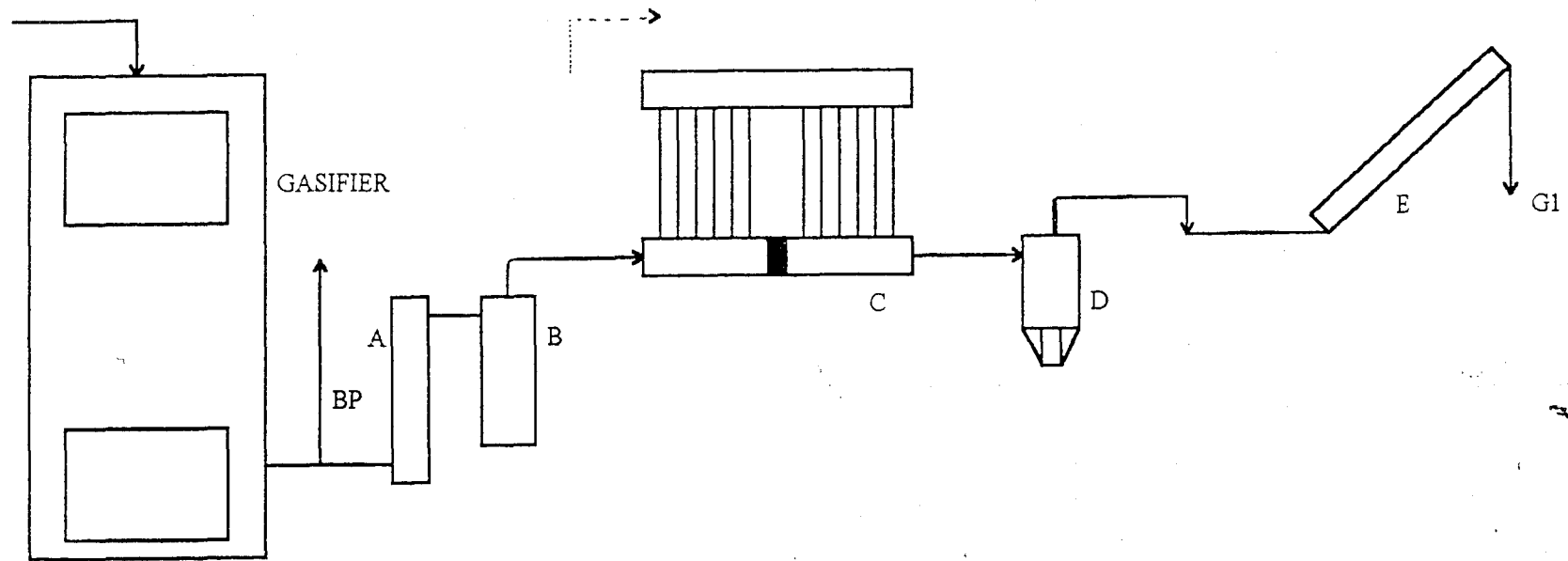
Μεταξύ της εξόδου του αερίου και του πρώτου φίλτρου που είναι το φίλτρο κατακόρυφου όγκου υπάρχει μία **bypass εξάτμιση** η οποία είναι ανοιχτή για όση ώρα βγαίνει καπνός και όχι αέριο. Δηλαδή κατά την εκκίνηση μέχρι να διαμορφωθούν οι ζώνες. Αυτό διαρκεί για περίπου 15 min . Επίσης αυτή η εξάτμιση χρησιμοποιείται ως ανακουφιστική σε περίπτωση ανάγκης.

Το **φίλτρο κατακόρυφου όγκου** περιέχει, κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας , μικρά κομμάτια ξύλου και στη κορυφή ένα λεπτό στρώμα υφάσματος.

Ο **κυκλώνας** είναι η επόμενη συσκευή και απομακρύνει όποια σωματίδια μπορεί να διέφυγαν του φίλτρου κατακόρυφου όγκου

Η γενικότερη κατασκευή του **συμπυκνωτή** της εμπορικής μονάδας δίνει την εντύπωση ότι η συσκευή αυτή αναμένεται να συνεισφέρει πιο πολύ στην συμπύκνωση του νερού, με λειτουργία που θυμίζει κυκλώνα, παρά στην ψύξη του αερίου.

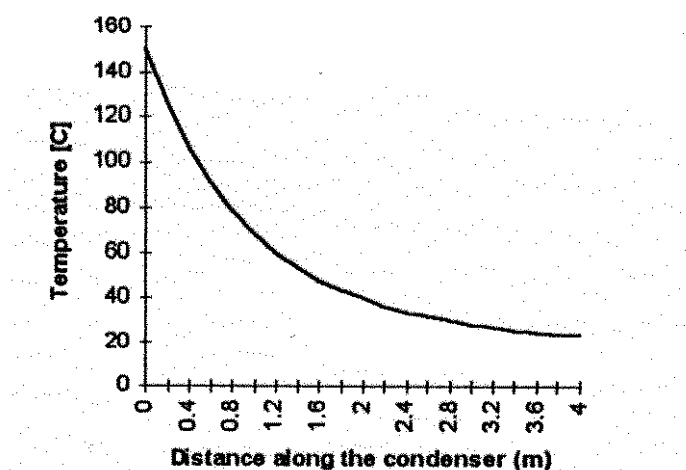
Ο **πολυσωλήνιος συμπυκνωτής-ψύκτης**, τμήμα της εμπορικής μονάδας, αποτελείται από τέσσερις φαρδείς κεκλιμένους σωλήνες σε σειριακή σύνδεση. Κάθε σωλήνας περιέχει στο εσωτερικό του μια κοχλιωτή διάταξη που υποβάλλει το αέριο σε σπειροειδή κίνηση. Η σππειροειδής κίνηση σπρώχνει τα σωματίδια του νερού και της πίσσας προς τα τοιχώματα του σωλήνα. Πρόκειται για μια διαδρομή αρκετού μήκους που έχει σαν αποτέλεσμα την απομάκρυνση αρκετού νερού και πίσσας. Στην προσαγωγή και την έξοδο κάθε συσκευής υπάρχουν θυρίδες για τη μέτρηση της πίεσης και της θερμοκρασίας.



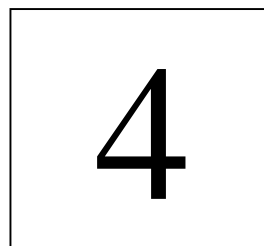
Σχήμα 3.7 : πειραματική διάταξη της παρούσας εργασίας μετά την τροποποίηση  
 A: φίλτρο κατακόρυφου όγκου  
 B: κυκλώνας  
 C: πολυσωληνωτός ψύκτης  
 E: πολυσωλήνιος συμπυκνωτής ψύκτης  
 BP: εξάτμιση by pass  
 G1: έξοδος προς τον σύνδεσμο του και την μηχανή

Ο πολυσωληνωτός ψύκτης σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε εντός του Πανεπιστημίου και δεν αποτελούσε τμήμα της εμπορικής διάταξης. Η μελέτη και κατασκευή κρίθηκε απαραίτητη για την καλύτερη ψύξη του παραγόμενου αερίου. Περιλαμβάνει μια διπλή διαδρομή από σωλήνες χαλκού και λειτουργεί βασισμένο στις αρχές της μεταφοράς θερμότητα μέσω φυσικής συναγωγής και ακτινοβολίας.

Το παρακάτω σχήμα δείχνει την αναμενόμενη πτώση θερμοκρασίας κατά μήκος της διαδρομής μέσα στον ψύκτη. Η συνολική διαδρομή έχει μήκος 2 m και η αναμενόμενη πτώση θερμοκρασίας είναι περίπου 110 °C με αρχική θερμοκρασία 150 °C. Αν η διαδρομή είχε μήκος 4 m τότε η πρόσθετη πτώση της θερμοκρασία θα ήταν 20 °C. Αφού είναι και η πρώτη από τις τρεις μονάδες ψύξης το μήκος των 2 m δείχνει επαρκές.



Σχήμα 3.8: Διάγραμμα θερμοκρασίας αερίου συναρτήσει του μήκους της διαδρομής του αερίου εντός του πολυσωληνωτού ψύκτη



## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

### 4.1 Εισαγωγή

Ο σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι να καθορίσει τα βήματα της πειραματικής διαδικασίας. Επίσης γίνεται αναφορά σε παρατηρήσεις που συλλέγησαν κατά την πειραματική διαδικασία.

### 4.2 Βήματα της πειραματικής διαδικασίας

#### 4.2.1 Έλεγχος διάταξης παραγωγής και ποιότητας παραγόμενου αερίου

Αφορά τον αεριοποιητή και τις συσκευές ψύξης και καθαρισμού του αερίου: Περιλαμβάνονται :

- οπτικός έλεγχος.
- λειτουργικός έλεγχος.

Ο **οπτικός έλεγχος** επαναλαμβάνονταν πριν από κάθε πείραμα. Το αντικείμενό του ήταν ο εντοπισμός πιθανών ρωγμών ή σημείων προς καθαρισμό

Κατά τη διάρκεια του οπτικού ελέγχου δε βρέθηκαν ρωγμές ή φραγμένα σημεία που θα προκαλούσαν δυσλειτουργία ούτε στον αεριοποιητή ούτε σε κάποια άλλη συσκευή της διάταξης παραγωγής παραγόμενου αερίου

Με τον όρο **λειτουργικός έλεγχος** εννοείται μια δοκιμαστική λειτουργία της διάταξης παραγωγής που έγινε στην αρχή της εργασίας με αντικείμενο την πιστοποίηση της καλής λειτουργίας της διάταξης παραγωγής αερίου. Αυτή η ενέργεια βοήθησε δε, και τους χειριστές να εξοικειωθούν με τη λειτουργία της μονάδας και τη διαδικασία της αεριοποίησης.

Έτσι η διάταξη παραγωγής του αερίου συνδέθηκε στον καυστήρα (swirl burner) και έγινε μιά δοκιμαστική λειτουργία. Η φλόγα που προέκυψε ήταν μια σταθερή μπλέ διαυγής φλόγα, χωρίς σπινθήρες που θα ήταν ενδεικτικοί της

ύπαρξης σωματιδίων μέσα στο αέριο. Δε διαπιστώθηκε διαφυγή αερίου σε κάποια από τις συσκευές. Η διάταξη βρέθηκε σε καλή κατάσταση.

Από γενικότερης άποψης κατά τη λειτουργία της διάταξης παραγωγής αερίου παρατηρήθηκαν τα εξής

Ο αεριοποιητής κατά τη διάρκεια της σειράς των πειραμάτων λειτούργησε καλώς και η γενικότερη συμπεριφορά του ήταν ικανοποιητική. Όπως ήδη έχει αναφερθεί το αέριο ήταν καλής ποιότητας. Η μονάδα μπλοκάρισε δύο φορές λόγω ανωμαλιών στο ξυλοκάρβουνο αλλά μετά τον καθαρισμό επανήλθε κανονικά.

Στο φίλτρο κάθετου όγκου έγιναν αρκετές δοκιμές για υλικά φιλτραρίσματος. Αρχικά μικρά κομμάτια ξύλου και επείτα συνδυασμός μικρών κομματιών ξύλου πάχους 50 cm και υφάσματος πάχους 5 cm . Το υφασματινο κομμάτι δεν μπορούσε αρχικά να σταθεροποιηθεί επαρκώς. Όταν σταθεροποιήθηκε επαρκώς τότε προκαλούσε μεγάλη πτώση πίεσης επηρεάζοντας την κυκλοφορία του αερίου. Το ύφασμα τοποθετήθηκε σε διάφορες θέσεις χωρίς ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Τελικά αφαιρέθηκε αφού η συνεισφορά του δεν ήταν αξιόλογη. Το ξύλο εντός του φίλτρου επηρεαζόταν από την υψηλή θερμοκρασία του αερίου και μετατρεπόταν μερικώς σε ξυλοκάρβουνο. Το κατάλοιπο χρησιμοποιείται ως καύσιμο στο επόμενο πείραμα.

Ο πολυσωληνωτός ψύκτης ελέγχθηκε μετά τον κύκλο πειραμάτων. Στην εσωτερική επιφάνεια των χαλκοσωληνών βρέθηκε ένα λεπτό στρώμα πίσσας που αποτέθηκε κατά τη διάρκεια των πειραμάτων.

Ο πολυσωληνιος συμπυκνωτής ψύκτης ελέγχονταν μετά από κάθε πείραμα αφού έπρεπε να συλλεγούν οι ποσότητες νερού και όση πίσσα ήταν δυνατό να συλλεγεί.

Αρκετή πίσσα βρέθηκε μέσα στην ελαιολεκκάνη του bath oil φίλτρου δηλαδή κοντά στην πολλαπλής εισαγωγής. Εδώ φάνηκε ότι η ανάγκη μιας άλλης προσέγγισης του διαχωρισμού της πίσσας και του υδρατμού.

#### **4.2.2 Προετοιμασία και έλεγχοι της μηχανής**

Περιλαμβάνουν τεχνική επιθεώρηση της μηχανής πριν συνδεθεί στη διάταξη. Αντικαθίστανται τα λάδια, το φίλτρο λαδιού και καθαρίζεται το φίλτρο αέρος το οποίο θα χρησιμοποιηθεί μόνο για τις δοκιμές. Ελέγχεται το κάλυμα

των βαλβίδων για αποφυγή πιθανής διαροής λαδιού και ελέγχονται οι συσφίξεις των πολλαπλών εισαγωγής και εξαγωγής και του μάντα του δυναμό. Συνδέονται τα ροόμετρα του αέρα και του αερίου καυσίμου. Η μηχανή είναι αποσυνδεδεμένη και μακριά από τη διάταξη και ο μόνος τρόπος λειτουργικής δοκιμής ήταν με χρήση προπανίου που βρίσκεται σε φιάλη. Μετά τον τεχνικό έλεγχο έγινε δοκιμή λειτουργίας κατά την οποία η μηχανή λειτούργησε για 20 min με καύσιμο βουτάνιο δίνοντας την ευκαιρία της εξοικίωσης των χειριστών. Κατά τη λειτουργία αυτή σε συνθήκες εκτός φορτίου η μηχανή ανέπτυξε άνετα και γρήγορα το maximum των στροφών της και γενικότερα βρέθηκε σε καλή κατάσταση

Έπειτα η μηχανή τοποθετήθηκε πάνω στη βάση της, στη διάταξη και συνδέθηκε με την προσαγωγή μίγματος αλλά και με το δίκτυο φυσικού αερίου. Μετά το τέλος των εργασιών έγινε μια σύντομη δοκιμαστική λειτουργία με φυσικό αέριο.

#### **4.2.3. Λειτουργία της μηχανής με καύσιμο παραγόμενο αέριο**

Περιλαμβάνει όλους τους ελέγχους και δοκιμές με καύσιμο παραγόμενο αέριο. Όπως φαίνεται παρακάτω η εκκίνηση της μηχανής γίνεται με φυσικό αέριο και έπειτα γίνεται εν λειτουργία εναλλαγή καυσίμου σε παραγόμενο αέριο. Αυτό έγινε διότι λόγω της χαμηλής ενεργειακής πυκνότητας του αερίου δεν ήταν δυνατή η απ' ευθείας εκκίνηση της μηχανής με παραγόμενο αέριο. Αυτός ο χειρισμός ήταν και ο καθοριστικός για την επιτυχία των πειραμάτων. Για δέκα συνολικά ώρες η μηχανή τρέχει χωρίς φορτίο με καύσιμο παραγόμενο αέριο για να δοκιμαστεί η μονάδα με τη μηχανή συνδεδεμένη.

#### **4.2.4 Λειτουργία υπο φορτίο**

Το πιο σημαντικό στάδιο όλης της εργασίας. Εδώ τελικά θα φανεί η ποσότητα και η ποιότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τη διάταξη. Με την κατάσκευή της μονάδας φορτίου η διάταξη μπορούσε να δοκιμαστεί υπό πραγματικές συνθήκες. Η μονάδα μπορούσε να καλύψει με άνεση τα 9 KWatt της ονομαστικής ισχύος των θερμαντήρων όχι όμως για πολύ ώρα επειδή σε περίπτωση παρατεταμένης χρήσης οι θερμοστάτες των θερμαντήρων διέκοπταν τη λειτουργία τους. Έτσι η συνήθης ηλεκτρική ισχύς δεν ξεπερνούσε τα 7 Kwatt

#### 4.2.5 Συλλογή δεδομένων απο τη λειτουργία της διάταξης

Συλλέγονται δεδομένα όπως οι διακυμάνσεις θερμοκρασίας και πίεσης εντός του αεριοποιητή και κατά μήκος του δικτύου , η σύνθεση του παραγόμενου αερίου , η ποσότητα πίσσας και νερού που συλλέγεται απο κάθε συσκευή του δικτύου. Επίσης η εισερχόμενη ποσότητα αέρα και καυσίμου εντός της μηχανής , οι στροφές της μηχανής και η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς.

Με βάση αυτά τα δεδομένα θα χαρακτηριστεί η διάταξη και θα γίνουν παρατηρήσεις για πιθανές βελτιώσεις.

#### 4.3 Συλλογή δεδομένων.

Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας μέσα στον αεριοποιητή λαμβάνονται από έξι θερμοστοιχεία που είναι συνδεδεμένα σε Η/Υ. Τα σημεία τοποθέτησης των θερμοστοιχείων βρίσκονται στην κορυφή του αεριοποιητή, στην ζώνη ξήρανσης , στη ζώνη πυρόλησης, στη ζώνη καύσης, στη ζώνη αναγωγής και στην έξοδο του παραγόμενου αερίου. Κάποιες φορές στη ζώνη καύσης λαμβάνονται μετρήσεις σε δύο σημεία (άνω ζώνη καύσης και κάτω ζώνη καύσης) για να υπάρχει σωστή αντίληψη του εύρους της ζώνης καύσης.

Θερμοστοιχεία έχουν τοποθετηθεί κατα μήκος της διάταξης στα ίδια σημεία όπου μετράται και η πίεση.

Για τη μέτρηση της πίεσης εντός του αεριοποιητή έχει προσαρμοστεί κοντά στην κορυφή του ένα μανόμετρο.

Οι τιμές της πίεσης κατά μήκος της διαδρομής λαμβάνονται από ένα διαφορικό μανόμετρο πολλών σωλήνων που περιέχει νερό και με διάταξη σωλήνων τετοια ώστε να διαβάζονται τα ύψη στάθμης με την βοήθεια προσαρμοσμένης μετρητικής ρίγας. Στην έξοδο του φίλτρου κάθετου όγκου η τιμή της πίεσης λαμβάνεται από μανόμετρο επειδή είναι τόση ώστε το διαφορικό μανόμετρο να μη μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Η ανάλυση της σύστασης του αερίου γίνεται μέσω δειγμάτων παραγόμενου αερίου που λαμβάνονται λίγο πριν το σύνδεσμο ανάμιξης του αερίου με τον αέρα.

Στο τέλος κάθε πειραματικής λειτουργίας συλλέγονται τα κατάλοιπα υδρατμού και πίσσας από κάθε συσκευή καθαρισμού και ζυγίζονται.

Η ροή αερίου και αέρα μετράται με ροόμετρα πριν την προσαγωγή στη μηχανή.

Οι στροφές της μηχανής μετρώνται με ειδικό ταχύμετρο.

Θεωρώντας ότι η τάση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος είναι 240 Volt το φορτίο λαμβάνεται μέσω των αμπερομέτρων που είναι συνδεδεμένα σε κλαθε φάση. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας διατηρούνται οι στροφές σταθερές στα 1500 rpm αφού αυτή η ταχύτητα απαιτείται για την παραγωγή ικανοποιητικής ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος. Στην επόμενη παράγραφο δίνονται περισσότερες λεπτομέρειες για την πειραματική διαδικασία.

Πάρθηκαν επίσης μερικά δείγματα καυσαερίων της μηχανής.

Οι πειραματικές λειτουργίες χαρακτηρίζονται ως σύντομες όταν διαρκούν λιγότερο από δύο ώρες, μέσης διάρκειας όταν διαρκούν από δύο ως τέσσερις ώρες και μακράς διάρκειας όταν διαρκούν περισσότερο από τέσσερις ώρες. Οι λειτουργίες χωρίς φορτίο ήταν σύντομες ενώ οι λειτουργίες υπο φορτίο ήταν όλων των ειδών.

Οι μετρήσεις θερμοκρασίας είναι συνεχείς ενώ οι υπόλοιπες μετρήσεις λαμβάνονται ανά είκοσι λεπτά για τις σύντομες λειτουργίες και κάθε μισή ώρα για τις λειτουργίες μέσης και μακράς διάρκειας.

#### 4.4 Πηγές σφαλμάτων των συλλεγόμενων τιμών

Η παράγραφος αυτή αναφέρει τα κυριότερα σφάλματα των μετρήσεων που λαμβάνονται.

1. **Ροόμετρο για τον αέρα:** Τα ροόμετρα που χρησιμοποιούνται είναι βαθμονομημένα για αέρα συνθηκών αναφοράς (15 °C). Η θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια των πειραμάτων είναι περίπου 20 °C. Επίσης υπάρχει και μία διακυμανση της τιμής που φαίνεται της τάξης των  $\pm 100$  l/min

2. **Ροόμετρο για το παραγόμενο αέριο:** Είναι ροόμετρο για αέρα υπό συνθήκες αναφοράς. Το αέριο έχει θερμοκρασία περίπου 45 °C και η πυκνότητά του διαφέρει αρκετά από αυτή του αέρα. Επι πλέον επικάθεται μικρή ποσότητα πίσσας και υγρασίας πάνω στην κεφαλή του ροομέτρου ενώ παρατηρείται διακυμανση της τιμής που φαίνεται της τάξης των  $\pm 50$  l/min



3. **Μέτρηση πίεσης:** Παρατηρείται διακυμανση της τιμής που διαβάζεται της τάξης των  $\pm 1$  cm γύρω από τη μέση τιμή κάθε στήλης νερού. Η πίεση μέσα στον αεριοποιητή είναι σχετικά χαμηλή (λιγότερο από  $1 \text{ lb/in}^2$ ) . Έτσι αναμένεται ένα σφάλμα ανάγνωσης της τάξης των  $0,2 \text{ lb/in}^2$ .

4. **Θερμοκρασία:** Οι μετρήσεις μέσα στον αεριοποιητή λαμβάνονται με Η/Υ και συνεπώς τα σφάλματα περιορίζονται. Για την θερμοκρασία κατα μήκος της διαδρομής καθαρισμού και ψύξης απαιτείται κάποιος χρόνος (5 min) ώστε το probe να εισέλθει σε κάθε σημείο διαδοχικά από το σημείο 1 ως το σημείο 6 για τη μέτρηση. Έτσι οι τιμές δεν είναι ταυτόχρονες είναι όμως κοντά η μία στην άλλη. Δεν επηρεάζεται περισσότερο  $\pm 2$  °C για κάθε σημείο.

#### 4.5 Προετοιμασία της διάταξης

Πριν από κάθε πείραμα οι θυρες κάθε συσκευής στεγανοποιούνται με συλλοκνή για να μην διαρρεύσουν αέρια ή νερό προς το περιβάλλον.

Μία ποσότητα ξυλοκάρβουνου (1-2 Kg) εισάγεται στον αεριοποιητή για να επιταχυνθεί η δημιουργία των ζωνών..

Δοκιμάζονται όλα τα όργανα μετρήσεων.

Αντικαθίστανται τα υλικά φιλτραρίσματος του φίλτρου καθέτου όγκου. Το απομακρυνθέν από το φίλτρο ξύλο εισάγεται στον αεριοποιητή ως μέρος του καυσίμου.

#### 4.6 Οδηγίες χρήσης

Τα βήματα εκκίνησης κάθε πειράματος είναι τα εξής:

1. Ο αεριοποιητής ξεκινάει με καύση και εγχύεται ελεγχόμενη ποσότητα αέρα σε παροχή  $200 \text{ l/min}$  .Έπειτα εισάγεται ποσότητα  $35 \text{ Kg}$  ξύλου, σε τεμάχια ενδεικτικού μεγέθους  $125\text{-}150 \text{ cm}^3$  το καθένα. Η ποσότητα επαρκεί για παραγωγή αερίου για δύο περίπου ώρες.
2. Η μηχανή εκκινεί με φυσικό αέριο και προθερμαίνεται
3. Η πόρτα του αεριοποιητή κλείνει και η παροχή του αέρα αυξάνεται σε  $400 \text{ l/min}$ . Ο αρχικός καπνός απομακρύνεται μέσω της by pass εξατμίσσης και μετά από  $15 \text{ min}$  αρχίζει να εξέρχεται αέριο
4. Ελέγχεται η θερμοκρασία των ζωνών εντός του αεριοποιητή και αν η θερμοκρασία στις διάφορες ζώνες είναι η απαιτούμενη τότε η λειτουργική

ισσοροπία του κυκλώματος έχει αποκατασταθεί. Με σπιν-θουριστή ελέγχεται αν το αέριο που βγαίνει από την εξάτμιση είναι καύσιμο.

5. Γίνεται σταδιακή αντικατάσταση του καυσίμου στη ΜΕΚ. Η όλη διαδικασία διαρκεί λιγότερο από 5 min. Η εξάτμιση είναι κλειστή και όλο το αέριο κατευθύνεται προς τη ΜΕΚ.

6. Τότε οι βαλβίδα V1 είναι κλειστή ενώ οι V2 και V5 (βλ. σχήμα 5.1 ) πρέπει να είναι ανοικτές.

7. Η εναλλαγή του καυσίμου γίνεται ως εξής. Ενώ η μηχανή λειτουργεί με φυσικό αέριο η σταδιακή εισαγωγή του παραγόμενου αερίου προκαλεί αύξηση των στροφών. Οι στροφές μειώνονται στις απαραίτητες με μείωση της ποσότητας του φυσικού αερίου. Η ροή του φυσικού αερίου τελικά μηδενίζεται

8. Τίθεται εντός η διάταξη φορτίου με τους θερμαντήρες και η βάνα V5 ανοίγει πλήρως.

Για να προστεθεί ξύλο για συνέχιση του πειράματος ακολουθείται η εξής διαδικασία.

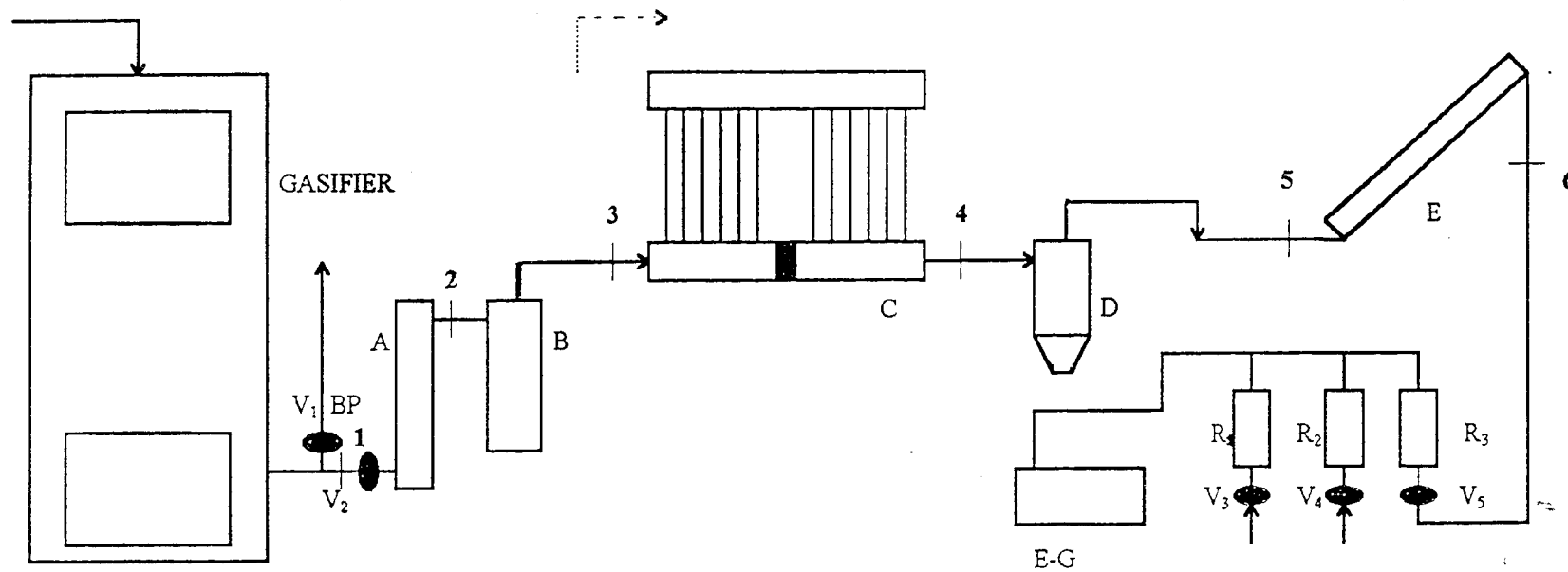
1. Ανοίγει η άνω θύρα του αεριοποιητή χωρίς καμία άλλη κίνηση. Εκείνη τη στιγμή η ροή του αέρα στον αεριοποιητή μειώνεται στα 200 l/min.

2. Η ισοροπία τότε διαταράσσεται μερικώς και είναι πιθανό να χρειαστεί να προστεθεί λίγο φυσικό αέριο αν χρειάζεται να διατηρηθεί το φορτίο.

3. Μετά το κλείσιμο της θύρας η ισοροπία εντός του αεριοποιητή αποκαθίσταται πολύ γρήγορα και η μηχανή συνεχίζει χωρίς φυσικό αέριο.

4. Τότε η βάνα του φυσικού αερίου κλείνει εντελώς.

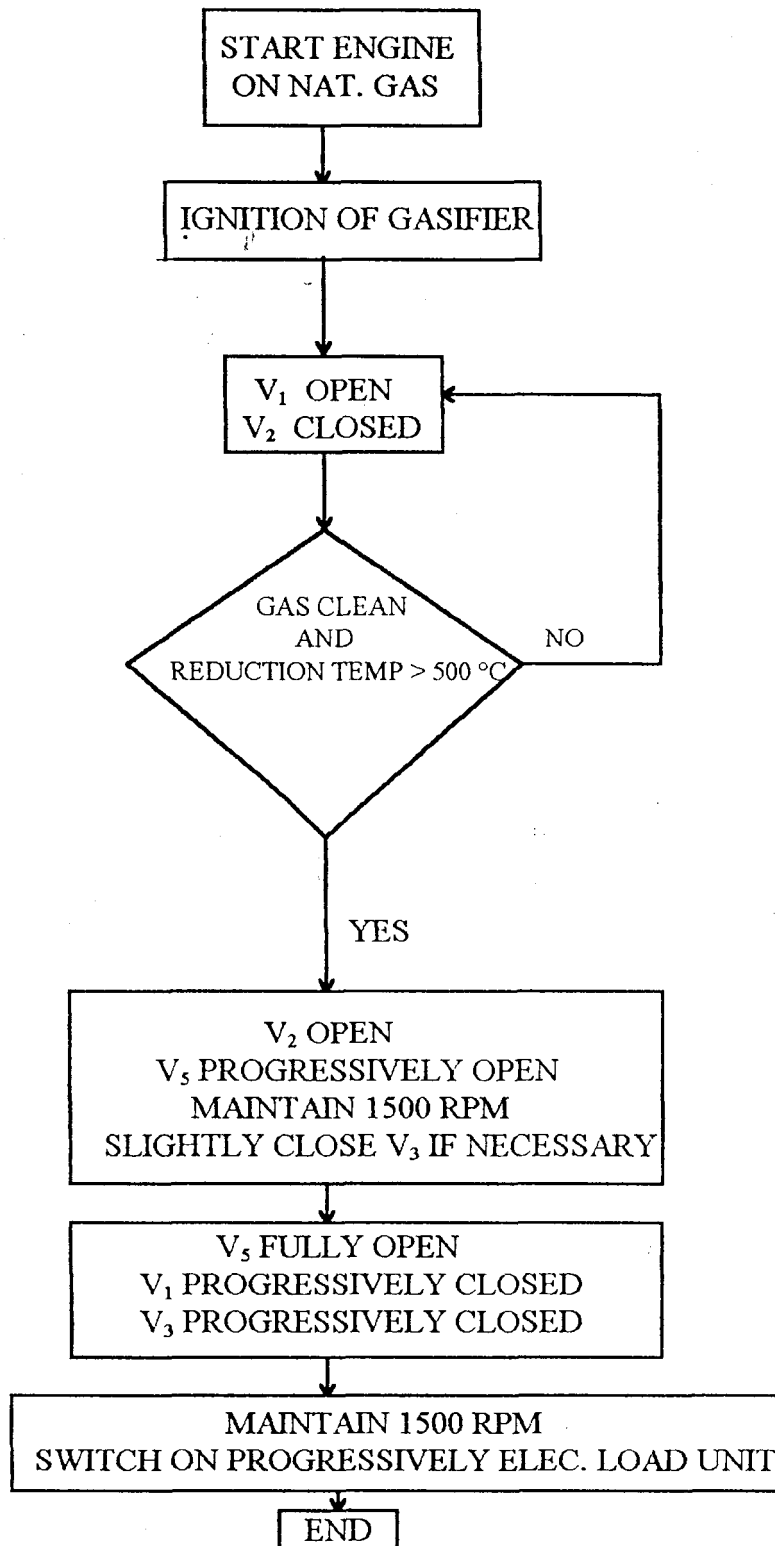
Όλες οι παραπάνω πληροφορίες αποτυπώνονται στο σχήμα 4.1 και στα λειτουργικά διαγράμματα των σχημάτων 4.2 και 4.3



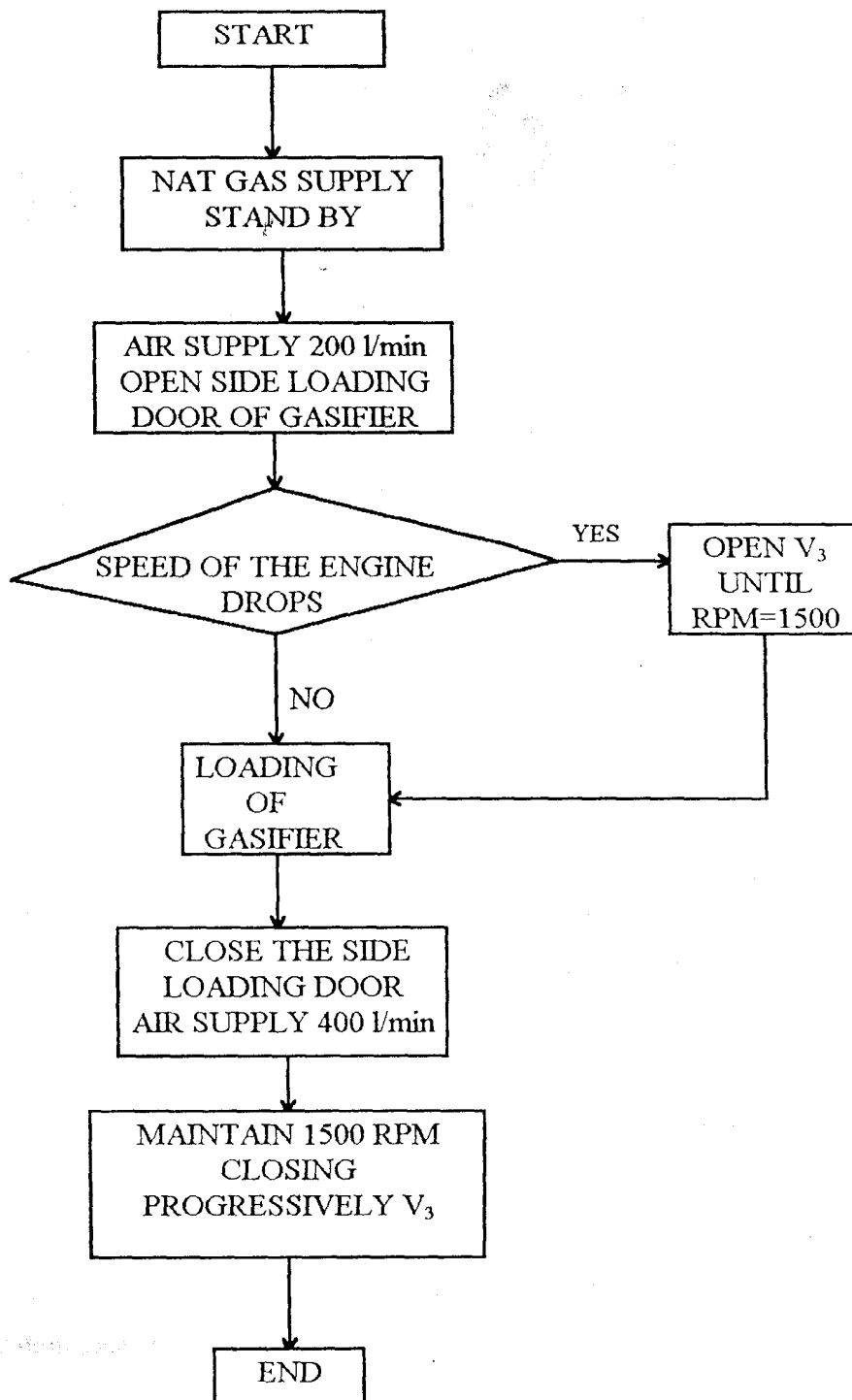
Σχήμα 4.1: Πειραματική διάταξη και χειρισμός της [Βιβλ. 25]

A: Φίλτρο καθέτου όγκου  
 B: κυκλώνας  
 C: Πολυσωληνωτός ψύκτης-συμπυκνωτής  
 D: συμπυκνωτής  
 E: σωλήνες συμπίκνωσης-ψύξης  
 1-6: Σημεία μέτρησης

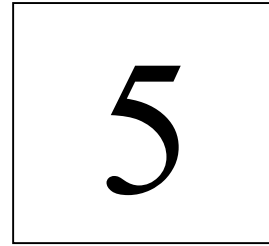
BP: By pass εξάτμιση  
 R1: ροόμετρο φυσικού αερίου  
 R2: ροόμετρο αέρος  
 R3: ροόμετρο παραγόμενου αερίου  
 V1 – V6: Ρυθμιστικές βάνες



Σχήμα 4.2 : Εκκίνηση πειράματος [Βιβλ. 25]



Σχήμα 4.3: Λειτουργικό διάγραμμα της ενδιάμεσης πλήρωσης με ξύλο [Βιβλ. 25]



## ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται οι διαδικασίες επεξεργασίας των πειραματικών δεδομένων.

### 5.1 Πτώση πίεσης και θερμοκρασίας

#### 5.1.1 Πτώση πίεσης

Όπως έχει αναφερθεί η πίεση μετράται σε έξι διαφορετικά σημεία, κατά μήκος της διαδρομής του παραγόμενου αερίου, που αντιπροσωπεύουν την είσοδο και την έξοδο κάθε συσκευής. Για παράδειγμα το σημείο 1 αντιστοιχεί στη είσοδο του φίλτρου κατακόρυφου όγκου ενώ το σημείο 2 αντιστοιχεί στην έξοδο του φίλτρου κατακόρυφου όγκου και την είσοδο του κυκλώνα. Θεωρείται ότι η πτώση πίεσης στον αγωγό που συνδέει κάθε συσκευή με μια άλλη είναι πολύ μικρή σε σχέση με την πτώση πίεσης που προκαλεί η ίδια η συσκευή. Είναι μια λογική παραδοχή για τα σημεία 1 ως 6

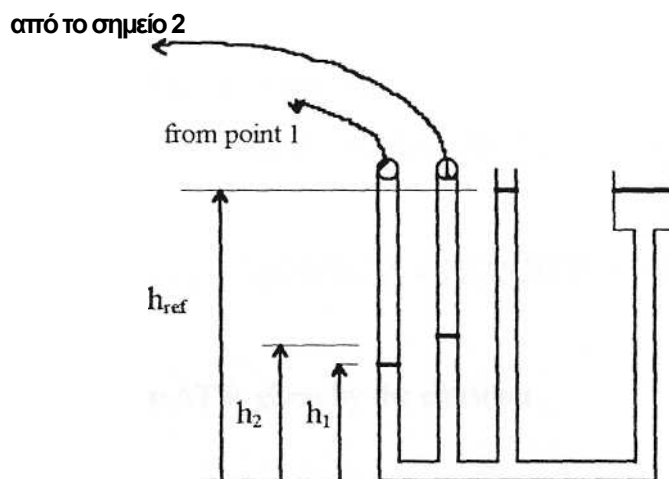
Το διαφορικό μανόμετρο λειτουργεί όπως το αντίστοιχο απλό μανόμετρο και δείχνει τη διαφορά στη στάθμη του ύδατος για κάθε σημείο του δικτύου. Μέσα στο διαφορικό μανόμετρο η πίεση μεταξύ της άγνωστης πίεσης  $p$  και της ατμοσφαιρικής  $p_a$  είναι συνάρτηση του ύψους στάθμης ως εξής. Εάν η πυκνότητα του υγρού που περιέχει το μανόμετρο είναι  $\rho_f$  και το υγρό αυτό είναι το νερό τότε  $\rho_f=1000 \text{ Kg/m}^3$ . Μετά:

$$p_a + \rho \cdot g \cdot h = p + \rho_f \cdot g \cdot h \quad \text{ή}$$

$$p = p_a + (\rho_f - \rho) \cdot g \cdot h \quad \text{εξ 5.1}$$

$$\mu\epsilon \quad h = h_{\text{ref}} - h_i \quad i=1 \text{ ως } 6$$

$h_{\text{ref}}$ : ύψος αναφοράς  $h_i$  : ύψος πίεσης στο σημείο 1



Σχήμα 5.1: Διαφορικό μανόμετρο και ύψη

Εαν θεωρηθεί ότι το υγρό που μεταφέρει την πίεση είναι το παραγόμενο αέριο με πυκνότητα πολύ χαμηλότερη του νερού τότε η εξίσωση 5.1 γίνεται:

$$p_i = p_a + (h_{\text{ref}} - h_i) \cdot g \cdot \rho \quad \text{εξ 5.2}$$

Αν  $p_a = 100000 \text{ N/m}^2$ ,  $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$  και τα ύψη μετρώνται σε cm τότε από την εξ 7.2

$$p_i = p_a + (h_{\text{ref}} - h_i) \cdot g \cdot \rho = 100000 + 98,1 \cdot (h_{\text{ref}} - h_i) \quad \text{εξ 5.3}$$

με  $h_i$  σε cm και  $p_i$  σε Pa και  $i=2$  ως 6 (το  $i$  αντιστοιχεί σε σημείο στο δίκτυο). Στο σημείο 1 έχει ήδη αναφερθεί ότι η πίεση δίνεται μέσω μανομέτρου λόγω μεγέθους της τιμής της πίεσης στο σημείο εκείνο.

Τελικά η πτώση πίεσης  $\Delta p$  μεταξύ δύο σημείων δίδεται από την εξίσωση:

$$\Delta p = p_i - p_{i+1} \quad \mu\epsilon \quad i=2 \text{ ως } 5$$

Για παράδειγμα το ύψος αναφοράς είναι  $h_{\text{ref}} = 77,5 \text{ cm}$  και στο σημείο 2 το ύψος είναι  $h_2 = 40 \text{ cm}$ . Μέσω της εξίσωσης 7.3

$$p_2 = 100000 + 98,1 (77,5 - 40) = 103678,75 \text{ Pa}$$

Εαν στο σημείο 3 το ύψος  $h_3 = 40,5 \text{ cm}$  τότε με όμοιο τρόπο

$$p_3 = 100000 + 98,1 (77,5 - 40,5) = 103629,7 \text{ Pa}$$

Η πτώση πίεσης μεταξύ των σημείων 2 και 3 είναι:

$$\Delta p = p_2 - p_3 = 103678,75 - 103629,7 = 49,05 \text{ Pa}$$

### 5.1.2 Θερμοκρασιακή πτώση

Η θερμοκρασιακή πτώση δίδεται από την εξίσωση

$$\Delta T = T_i - T_{i+1}$$

### 5.2 Θερμογόνος δύναμη και αποδοτικότητα της αεριοποίησης

- Η θερμογόνος δύναμη υπολογίζεται από τη σύνθεση του αερίου μέσω της εξίσωσης 2.10

- Η απόδοση της αεριοποίησης σε μια δεδομένη στιγμή είναι ο λόγος του ποσού της ενέργειας που ανακτάται από την διαδικασία της αεριοποίησης σε αυτή τη δεδομένη στιγμή εαν το ποσό αυτό ήταν το ίδιο σε όλη τη διαδικασία από την αρχή μέχρι το τέλος προς τη μέση ενεργεια που περιέχεται στο ξύλο.

Έτσι εάν

$m$  : η μάζα του ξύλου (Kg)

$t$  : η χρονική διάρκεια της αεριοποίησης (min)

$LHV_g$  : Η θερμογόνος δύναμη του αερίου ( MJ/m<sup>3</sup>)  $LHV_w$ : Η θερμογόνος δύναμη του αερίου ( MJ/Kg)

$Q$  : η παροχή μάζας του αερίου (m<sup>3</sup>/ min)

$n$  : ο βαθμός απόδοσης

τότε

$$n = \frac{Q \cdot LHV_g \cdot t}{LHV_w \cdot m}$$

Η πιο πάνω εξίσωση χρησιμοποιείται για το βαθμό απόδοσης της αεριοποίησης ως εξής:



Ένα για το ξύλο  $m=40 \text{ Kg}$  και  $LHV_w = 16,5 \text{ MJ/m}^3$  το πείραμα διαρκεί  $t=120\text{min}$  και το παραγόμενο αέριο έχει θερμογόνο δύναμη  $LHV_g = 4,8 \text{ MJ/m}^3$  και παροχή  $Q=550 \text{ l/min}$  ή  $0,55 \text{ m}^3/\text{min}$  τότε

$$n = \frac{0,55 \cdot 4,8 \cdot 120}{16,5 \cdot 30} = 0,65 \text{ ή } 65\%$$

### 5.3 Υπολογισμοί ισχύος και ειδικής κατανάλωσης καυσίμου

Η θεωρητική ογκομετρική ροή αερίου  $V_{pg}$  υπολογίζεται από το περιεχόμενο του αερίου σε άζωτο με χρήση της εξίσωσης 2.11. Έτσι εάν σε μία δεδομένη στιγμή το περιεχόμενο του παραγόμενου αερίου σε άζωτο είναι **45%** για παροχή αέρα **400 l/min** ή **0,4 m<sup>3</sup>/min**, η θεωρητική παροχή παραγόμενου αερίου είναι:

$$V_{pg} = 0,4 \cdot (0,79 / 0,45) = 0,7 \text{ m}^3/\text{min} \text{ ή } 0,011 \text{ m}^3/\text{sec}$$

Με αυτό τον τρόπο διορθώνεται το σφάλμα του ροομέτρου μέτρησης της παροχής παραγόμενου αερίου.

Με αυτή την παροχή αερίου και θερμογόνο δύναμη αερίου  $4,6 \text{ MJ/m}^3$  ή  $4600 \text{ KJ/m}^3$  ή εισροή ισχύος  $P_{th}$  στη μηχανή είναι:

$$P_{th} = V_{pg} \cdot LHP_{pg} = 0,011 \text{ m}^3/\text{sec} \cdot 4800 \text{ KJ/m}^3 = 56 \text{ KW}$$

Ο υπολογισμός της μετρούμενης ισχύος  $P_m$  βασίζεται σε μετρούμενη παροχή αερίου από το ροόμετρο πριν το σύνδεσμο T

$$P_m = V_m \cdot LHV_{pg}$$

Ο όγκος  $V_m$  λαμβάνεται από τα πειραματικά δεδομένα που συλλέγονται.

Η παραγόμενη ενέργεια είναι το άθροισμα της ηλεκτρικής ενέργειας που μετράται στη διάταξη του ηλεκτρικού φορτίου. Η τάση της παραγόμενης ισχύος είναι  $240 \text{ V}$ . Έτσι το ρεύμα για κάθε φάση είναι  $12 \text{ A}$  για κάθε φάση. Εάν το μετρούμενο ρεύμα έχει ένταση  $8 \text{ A}$  η ισχύς σε κάθε φάση είναι:

$$P_{ph} = 3 \text{ KW} \cdot 8 / 12 = 2 \text{ KW} \text{ και το σύνολο γιατί τρεις φάσεις } P_{out} = 6 \text{ KW}$$

Εάν  $n_{th}$  είναι ο βαθμός απόδοσης σύμφωνα με τη θεωρητική ροή, τότε

$$n_{th} = \frac{P_{out}}{P_{th}}$$

Ενώ αν  $n_m$  είναι ο βαθμός απόδοσης με βάση τη μετρούμενη παροχή τότε

$$n_m = \frac{P_{out}}{P_m}$$

Οι υπολογισμοί των βαθμών απόδοσης δείχνουν καθαρά πόσο επηρεάζεται ο βαθμός απόδοσης από την ανακρίβεια μέτρησης της παροχής του παραγόμενου αερίου.

Η ειδική κατανάλωση  $sfc$  ορίζεται ως ο όγκος του παραγόμενου αερίου που απαιτείται για την παραγωγή ενός KW ηλεκτρικής ισχύος υπολογίζεται διαιρώντας της παροχή του αερίου  $V_{pg}$  με την παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ όπως αυτή υπολογίζεται από τη μετρούμενη ένταση.

Για παράδειγμα σε μια δεδομένη στιγμή όπου το παραγόμενο αέριο περιέχει 45% άζωτο και η παροχή αέρα στον αεριοποιητή είναι 400 l/min ή 6,66 l/sec από την εξίσωση 2.11

$$V_{pg} = 6,66 \cdot (0,79/0,45) = 11,7 \text{ l/sec}$$

Αν η μετρούμενη ισχύς από τα αμπερόμετρα είναι 6,5 KW τότε

$$sfc^* = 11,7 / 6,5 = 1,8 \text{ l/(KW} \cdot \text{sec)}$$

Για αέριο θερμογόνου δύναμης  $LHV_{pg} = 5 \text{ MJ/m}^3 = 5 \text{ KJ/l}$  και μια θερμογόνο δύναμη του ξύλου  $LHV_w = 16,02175 \text{ MJ/Kg} = 16021,75 \text{ KJ/Kg}$  και βαθμό απόδοσης της αεριοποίησης  $n=0,9$  (90%) η ειδική κατανάλωση της μονάδας σε όρους κατανάλωσης ξύλου  $sfc^{**}$  υπολογίζεται ως εξής

$$sfc^{**} = \frac{sfc^* \cdot LHV_{gas} \cdot 3600}{LHV_w \cdot n} \text{ σε Kg/kW} \cdot \text{hr}$$

Το αποτέλεσμα με βάση τις παραπάνω τιμές είναι

$$sfc^{**} = (1,8 \cdot 5 \cdot 3600) / (16021,75 \cdot 0,9) = 2,13 \text{ Kg/KW} \cdot \text{hr}$$

Δεν νοείται ειδική κατανάλωση για συνθήκες λειτουργία χωρίς φορτίο

Η ανάλυση των δειγμάτων αερίου για τον καθορισμό της σύστασης του παραγόμενου αερίου και των καυσαερίων της μηχανής χρησιμοποιείται η μέθοδος του χρωματογράφου μάζας.

#### 5.4 Κατανομές θερμοκρασίας

Χρησιμοποιώντας τα πειραματικά δεδομένα που συλλέγησαν από τα θερμοστοιχεία που μετρούν θερμοκρασία εντός του αεριοποιητή και διαμορφώνονται οι θερμοκρασιακές κατανομές στις διάφορες ζώνες

Τα γραφήματα περιλαμβάνονται στο παραρτημα

#### 5.5 Γενικά αποτελέσματα

Αν και στο παράρτημα υπάρχουν αναλυτικοί πίνακες αποτελεσμάτων μια γενική εικόνα μπορεί να δοθεί από τους παρακάτω πίνακες:

##### 5.5.1 Αεριοποιητής

ΜΕΣΗ ΠΑΡΟΧΗ ΑΕΡΑ	400 l/min
ΜΕΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΞΥΛΟΥ	15 Kg/hr (λειτουργία μικρής διάρκειας) 11.5 Kg /hr (λειτουργία μακράς διάρκειας )
ΠΙΕΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΜΕΧΡΙ 1 lb/in <sup>2</sup>
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ : κορυφή του αεριοποιητή	150 °C
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ: ζώνη ξύρασης	150 °C
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ: ζώνη πυρόλυσης	300 - 400 °C
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ : Ζώνη καύσης	ΑΝΩ: 1100 °C ΚΑΤΩ: 900 °C
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ: Ζώνη αναγωγής	730 - 810 °C
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ: Έξοδος	380-400 °C

Πίνακας 5.1:Ενδεικτικά μεγέθη λειτουργίας του αεριοποιητή

##### 5.5.2 Φίλτρο κάθετου όγκου

ΜΕΣΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΞΥΛΟΥ	800 gr
ΜΕΣΗ ΜΕΙΩΣΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΞΥΛΟΥ	UP TO 15%
ΜΕΣΗ ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ	1800 Pa
ΕΥΡΟΣ ΠΤΩΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ	1000 - 2700 Pa
ΜΕΣΗ ΠΤΩΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	57 °C
ΕΥΡΟΣ ΠΤΩΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	53 - 70 °C

Πίνακας 5.2:Ενδεικτικά μεγέθη λειτουργίας του φίλτρου κάθετου όγκου

### 5.5.3 Κυκλώνας

ΜΕΣΗ ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ	65 Pa
ΕΥΡΟΣ ΠΤΩΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ	50 -100 Pa
ΜΕΣΗ ΠΤΩΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	40 °C
ΕΥΡΟΣ ΠΤΩΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	30 - 50 °C
ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΠΙΣΣΑΣ	Πολύ χαμηλή ποσότητα – βρέθηκαν μικρα κομμάτια ξύλου

Πίνακας 5.3:Ενδεικτικά μεγέθη λειτουργίας του κυκλώνα

### 5.5.4 Πολυσωληνωτός ψύκτης

ΜΕΣΗ ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ	830 Pa
ΕΥΡΟΣ ΠΤΩΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ	700-1200 Pa
ΜΕΣΗ ΠΤΩΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	80 °C
ΕΥΡΟΣ ΠΤΩΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	70 -100 °C
ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΠΙΣΣΑΣ	ως 50 gr (Λειτουργία μακράς διάρκειας)

Πίνακας 5.4:Ενδεικτικά μεγέθη λειτουργίας του συμπυκνωτή-ψύκτη πολλαπλών σωλήνων

### 5.5.5 Συμπυκνωτής

ΜΕΣΗ ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ	75 Pa
ΕΥΡΟΣ ΠΤΩΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ	50 - 80 Pa
ΜΕΣΗ ΠΤΩΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	6 °C
ΕΥΡΟΣ ΠΤΩΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	3 -12 °C
ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΠΙΣΣΑΣ	ως 150 gr (Λειτουργία μακράς διάρκειας)

Πίνακας 5.5:Ενδεικτικά μεγέθη λειτουργίας του συμπυκνωτή

### 5.5.6. Πολυσωλήνιος ψύκτης-συμπυκνωτής

ΜΕΣΗ ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ	240 Pa
ΕΥΡΟΣ ΠΤΩΣΗΣ ΠΙΕΣΗΣ	150-300 Pa
ΜΕΣΗ ΠΤΩΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	6.5 °C
ΕΥΡΟΣ ΠΤΩΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	5-8 °C
ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΑΠΟΘΕΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΠΙΣΣΑΣ	ΩΣ 700 gr

Πίνακας 5.6:Ενδεικτικά μεγέθη λειτουργίας των σωλήνων ψύξης- συμπύκνωσης

# 6

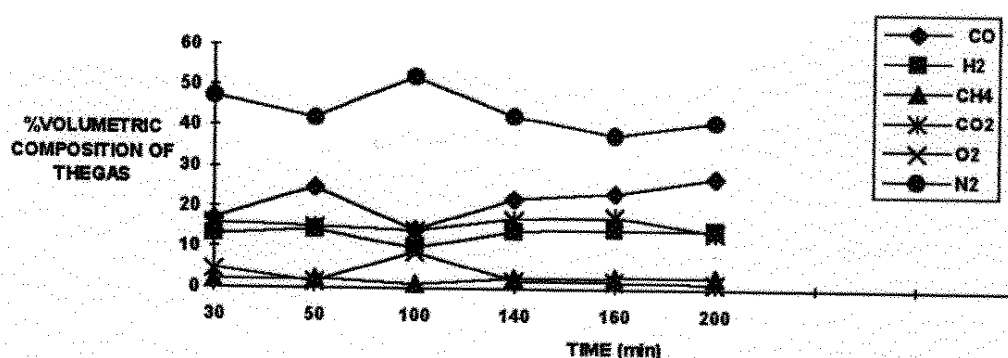
## ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ

### 6.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται συζήτηση πάνω στα αποτελέσματα και τις εμπειρίες της πειραματικής διαδικασίας και μελετώνται κάποιες βελτιώσεις του τμήματος παραγωγής αερίου.

### 6.2 Αεριοποιητής

Όπως φαίνεται απο τα αποτελέσματα η γενική λειτουργία του αεριοποιητή εί-ναι καλή και παράγεται αέριο καλής ποιότητας με θερμογόνο δύναμη που αγγίζει τα  $5,2 \text{ MJ/m}^3$ . Η σύνθεση του αερίου και η θερμογόνος του δύναμη αυξάνονται κατά τα πρώτα 30-45 min και μετά σταθεροποιούνται ως 20-40 min πριν το τέλος της διαδικασίας όπου το συνολικό περιεχόμενο του αερίου σε καύσιμα αερια μειώνεται. Κατά τη διάρκεια του ενδιάμεσου γεμίσματος με ξύλο η διαδικασία της αεριοποίησης δε σταματά αν και διαταράσσεται προσωρινά λόγω του ανοίγματος της θύρας και της μείωσης του παρεχόμενου αέρα.



Σχήμα 6.1: Σύνθεση αερίου συναρτήσει του χρόνου

Στο σχήμα 6.1 φαίνεται η εκατοστιαία ογκομετρική σύσταση του παραγόμενου αερίου για το πείραμα 8. Σε αυτό το πείραμα το ενδιάμεσο γέμισμα έγινε 100 min μετά την εκκίνηση του πειράματος. Τη στιγμή εκείνη

παρατηρείται μείωση των ποσοστών  $H_2$ ,  $CO$  και  $CH_4$  και παράλληλη αύξηση στο περιεχόμενο σε  $O_2$  και  $N_2$  ενώ το ποσοστό του  $CO_2$  παραμένει σταθερό πράγμα που με την καλή λειτουργία της ζώνης αναγωγής κατά τη διάρκεια του ενδιάμεσου γεμίσματος.

Γενικά η μακράς διάρκειας λειτουργία είναι πιο αποδοτική από τη λειτουργία μικρής διάρκειας. Αυτό φαίνεται από τη μειωμένη ειδική κατανάλωση ξύλου κατά τη λειτουργία μακράς διάρκειας. Μετά από 60-90 min η δομή του αεριοποιητή σταματά να απορροφά ενέργεια αποκτά μια steady state λειτουργία και έτσι μειώνεται η κατανάλωση ξύλου για παραγωγή θερμότητας στη αντίστοιχη ζώνη καύσης. Η ποσότητα αποθηκευμένης ενέργειας είναι αρκετά μειωμένη σε σχέση με τις απώλειες.

Το θερμοκρασιακό προφίλ του αεριοποιητή δείχνει ότι η θερμοκρασία στο πάνω μέρος του αεριοποιητή και στη ζώνη ξήρανσης είναι η ίδια και δεν ξεπερνάει τους  $180\text{ }^\circ\text{C}$  κατά την κανονική λειτουργία. Τα peak που παρατηρούνται στην αρχή, το ενδιάμεσο γέμισμα και το τέλος οφείλονται στην πρόσκαιρη ανάπτυξη φλόγας λόγω της διαταραχής στην παροχή του αέρα σε σχέση με την ποσότητα ξύλου. Εκείνες τις χρονικές στιγμές η ζώνη καύσης διευρύνεται. Η ζώνη πυρόλυσης επηρεάζεται και η θερμοκρασία αναγωγής και εξόδου του αερίου μειώνεται. Όταν η θύρα του αεριοποιητή είναι κλειστή και υπάρχει επαρκής ποσότητα ξύλου στον αεριοποιητή οι ζώνες αποκαθίστανται.

Παρατηρείται μια διακυμανση θερμοκρασίας στη ζώνη καύσης η οποία οφείλεται στο ότι ζεστά κομμάτια ξύλου ακουμπούν τα θερμοστοιχεία. Η θερμοκρασία της ζώνης αναγωγής και της ζώνης εξόδου είναι αρκετά σταθερές δεδομένου ότι στην μεν ζώνη αναγωγής τα σωματίδια στάχτης είναι μικρότερα και ακουμπούν συνεχώς τα θερμοστοιχεία ενώ στη έξοδο μετράται καθαρά αέριο. Η θερμοκρασία εξόδου είναι αρκετά μικρότερη από τη θερμοκρασία της ζώνης αναγωγής.

Η μανομετρική πίεση λειτουργίας συνήθως είναι  $1\text{ lb/in}^2$  ( $0,07\text{ at}$ ). Όταν η πίεση λειτουργίας υπερβαίνει τις  $1,2\text{ lb/in}^2$  ( $0,085\text{ at}$ ) η ροή καύσιμου αερίου είναι μικρή. Περισσότερες λεπτομέρειες δίνονται αργότερα.

### 6.3 Φίλτρο καθετου όγκου και κυκλώνας

Αυτές οι δύο συσκευές είναι τοποθετημένες κοντά η μία στην άλλη. Ο κυκλώνας διαχωρίζει όσα σωματίδια ξύλου έχουν παρασυρθεί είτε κατά τη διάρκεια της διεργασίας είτε από τη διέλευση του αερίου στο φίλτρο κάθετου όγκου.

Διαπιστώθηκε ότι η λειτουργία του κάθετου φίλτρου επηρεάζει τη λειτουργία ολόκληρης της διάταξης. Όταν η πτώση πίεσης στο φίλτρο είναι μεγάλη τότε η ροή του αερίου είναι μικρή ενώ αυξάνει και η πίεση εντός του αεριοποιητή. Αυτό προκαλούσε διαφοροποίηση των ζωνών με αποτέλεσμα αντίστοιχη διαφοροποίηση στη σύσταση του αερίου. Ένα τυπικό παράδειγμα τέτοιας περίπτωσης είναι το πείραμα 3. Συγκρίνοντας τα προφίλ θερμοκρασίας του αεριοποιητή για το πείραμα 3 με τα αντίστοιχα προφίλ των άλλων πειραμάτων προκύπτει ότι η θερμοκρασία στη ζώνη αναγωγής ήταν μικρότερη με διακυμάνσεις. Στη ζώνη αναγωγής όμως παράγονται το CO και το H<sub>2</sub> άρα φαίνεται και η επίπτωση στη σύσταση του αερίου.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την πτώση πίεσης δια μέσου του φίλτρου καθετου όγκου είναι η ποσότητα του ξύλου και το μέγεθος των τριμάτων ξύλου καθώς και το πάχος του υφάσματος. Μια προσεκτική εξέταση του υφάσματος μετά τα πειράματα έδειξε ότι στο εσωτερικό του δεν υπήρχε πίσσα. Αυτό σήμαινε ότι αέριο πέρναγε περιφερειακά και όχι διαμέσω του υφάσματος. Τοποθετήθηκε λοιπόν, στο πείραμα 3, διαμέσω της μάζας ξύλου με τα γνωστά αποτελέσματα. Έτσι ξανατοποθετήθηκε στο τέλος της ξύλινης μάζας με την προοπτική να διερευνηθεί πόσο πραγματικά συνέειφερε στον καθαρισμό του αερίου. Από τη στιγμή όμως που βρέθηκαν, επανειλημένα, κομμάτια ξύλου στον κυκλώνα αποφασίστηκε η κατάργησή του. Αυτό έγινε στα πειράματα 10 και 11.

Ένα τμήμα ξύλινης μάζας του ξύλου αλλοιώνόταν σε ξυλοκάρβουνο χωρίς αυτό να προκαλεί επιπτώσεις είτε στην πίεση λειτουργίας είτε στη σύσταση του αερίου. Η αλλοίωση της σύστασης του ξύλου απικονίζεται πειραματικά από τη βαθμιαία πτώση πίεσης διαμέσω του φίλτρου.

Το αέριο εισερχόταν στο φίλτρο υπό θερμοκρασία 250 °C (το φίλτρο βρισκόταν σε απόσταση 2m) από την έξοδο του αεριοποιητή. Είναι πιθανό κατά την πυρόλυση του ξύλου μέσα στο φίλτρο να παραγόταν κάποια μικρή

ποσότητα πίσσας κοντά στην είσοδο του αερίου στη συσκευή. Έτσι ίσως έπρεπε να διερευνηθεί η χρήση ξυλοκάρβουνο ως μέσο φιλτραρίσματος.

Αν θεωρηθεί ότι ο μηχανισμός αυτού του φίλτρου στηρίζεται στην αρχή του υφασματοφίλτρου τότε η πτώση πίεσης του όπως προκύπτει από τη βιβλιογραφία είναι ευθέως ανάλογη του πάχους του μέσου φιλτραρίσματος. Στην προκειμένη περίπτωση το πάχος του μέσου είναι το ύψος του φίλτρου που περιέχει τα κομμάτια βιομάζας.

Αρα λοιπόν ο σκοπός αυτού του φίλτρου είναι η κατακράτηση ινωδών υπολειμάτων και μεγάλων σωματιδίων τότε πρέπει να επανακαθοριστούν το ύψος βιομάζας εντός του φίλτρου καθώς και το είδος της ύλης (ξύλο ή ξυλοκάρβουνο).

#### 6.4 Πολυσωληνωτός ψύκτης

Ο ψύκτης αυτός διαπιστώθηκε ότι μειώνει τη θερμοκρασία του αερίου κατά  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  δηλαδή από θερμοκρασία εισόδου  $135\text{ }^{\circ}\text{C}$  σε θερμοκρασία εξόδου  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Κατά το σχεδιασμό προβλεπόταν μείωση θερμοκρασίας κατά  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  με θερμοκρασία εισόδου  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  και θερμοκρασία εξόδου  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Κάποιες στιγμές που το αέριο εισερχόταν υπο θερμοκρασία εισόδου  $160\text{ }^{\circ}\text{C}$  η αντίστοιχη θερμοκρασιακή πτώση ήταν  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Δηλαδή φαίνεται ότι ο ψύκτης απορροφά το 85% περίπου της θεωρητικής θερμότητας υπολογισμού.

Η απόκλιση αυτή οφείλεται μερικώς στη μειωμένη θερμοκρασία εισαγωγής αλλά και στο σχηματισμό λεπτών στρωμάτων πίσσας και υδρατμού πάνω στην εσωτερική επιφάνεια των χαλκοσωλήνων που επηρέαζαν την μεταφορά θερμότητας.

Ακόμη όμως και με αυτή την απόκλιση η συνεισφορά της συσκευής στην ψύξη του αερίου κρίνεται σημαντική. Η πιθανή τοποθέτηση ενός ανεμιστήρα που θα δημιουργεί ρεύμα σταυροροής στους χαλκοσωλήνες θα βελτίωνε την ψύξη του αερίου.

Οι ποσότητες νερού και πίσσας που συλλέγονται είναι σχετικά μικρές λόγω της λειτουργίας της συσκευής υπό σχετικά ψηλές θερμοκρασίες.

#### 6.5 Συμπυκνωτής

Η συνεισφορά της συσκευής στην ψύξη του αερίου είναι μικρή (πτώση θερμοκρασίας ως  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$  με μέση πτώση θερμοκρασίας  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Ωστόσο έχει



καλύτερη απόδοση στη συλλογή πίσσας και αερίου (ως 150 gr/hr). Όπως η μέγιστη θερμοκρασιακή πτώση μετρήθηκε στη μέγιστη θερμοκρασία εισαγωγής (65 °C) . Η συνήθης θερμοκρασία εισόδου 55 °C ενώ η θερμοκρασία εξόδου περίπου 50 °C). Από τη γενικότερη κατασκευή της συσκευής, αλλά και τα πειραματικά δεδομένα, φαίνεται ότι η θερμοκρασιακή πτώση ήταν προορισμένη πιο πολύ για να διαχωρίζει τα συμπυκνώματα μέσω μιας λειτουργίας που θύμιζε πιο πολύ κυκλώνα παρα ψύκτη.

### 6.6 Πολυσωλήνιος συμπυκνωτής ψύκτης και bath oil φίλτρο

Και αυτή η συσκευή οφείλει την πολύ καλή συμπεριφορά στη συλλογή πίσσας και νερού στην φυγοκέντρωση του αερίου η οποία γίνεται σε χαμηλή σχετικά θερμοκρασία, η οποία κυμάνθηκε στους 50 °C (είσοδος) και 45°C (έξοδος). Φαίνεται ότι το νερό και η πίσσα αρχίζουν να συμπυκνώνονται περίπου στους 55 °C. Η συμπύκνωση επιταχύνεται στους 45-50 °C. Η περισσότερη ποσότητα νερού και πίσσας συμπυκνώνεται στους δύο πρώτους σωλήνες. Γι αυτό η εντύπωση ότι το μέγεθος της συσκευής είναι αρκετά μεγάλο σε σχέση με αυτό που αποδίδει.

Ο οπτικός έλεγχος του λαδιού του bath oil φίλτρου δείχνει ότι και σε αυτό το φίλτρο κατακρατείται αρκετή πίσσα και νερό.

Άρα ο ογκώδης πολυσωλήνιος συμπυκνωτής δεν επαρκεί για να απομακρύνει πλήρως την πίσσα και πιθανώς και την υγρασία. Η παρατήρηση αυτή ενισχύεται από τη θεωρία που έχει ήδη αναφερθεί στο κεφάλαιο 2 αναφορικά με το σημείο δρόσου της πίσσας. Όσο ψύχεται το αέριο τόσο συμπυκνώνεται πίσσα. Για το λόγο αυτό στο bath oil φίλτρο όπου φιλτράρεται μίγμα αερίου/αέρα με θερμοκρασία αρκετά χαμηλότερη της θερμοκρασίας του αερίου παρατηρείται κατακράτηση πίσσας.

Πρέπει να μελετηθεί περισσότερο η συμπεριφορά της μηχανής απέναντι στην παραγόμενη πίσσα ώστε να καθοριστεί και ο τρόπος αντίδρασης. Αν δηλαδή απαιτείται χημικός καθαρισμός του αερίου ή είναι καλύτερο σε τακτά χρονικά διαστήματα να γίνεται καθαρισμός της μηχανής και σε ποιο επίπεδο.

### 6.7 Μηχανή, γεννήτρια και φορτίο

Απο τη στιγμή που ξεπεράστηκε το πρόβλημα της εκίνησης που αναφέρθηκε προηγουμένως η λειτουργία του συστήματος ήταν καλή.

Οι λόγοι αέρα καυσίμου δεν υπολογίζονται άμεσα , αναφέρονται όμως οι ογκομετρικές παροχές. Απο αυτά τα δεδομένα και έχοντας υπ' όψη ότι η στοιχειομετρική ανάμειξη για αέρα/καυσίμου για το παραγόμενο αέριο είναι περίπου ένα προς ένα φαίνεται ότι η μηχανή λειτούργησε υπο φτωχό μίγμα και συνεπώς με περιθώρια βελτίωσης της αποδιδόμενης ισχύος δεδμένου του αναγκαστικά μειωμένου φορτίου. Η μηχανή μπορεί να αποδώσει 20 KW όταν η γεννήτρια παράγει μόλις 12,5 KW αφήνοντας περιθώριο για σύνδεση πρόσθετων συσκευών όπως ανεμιστήρας για τον αεριοποιητή. Η μέγιστη εισροή μίγματος στις 1500 στροφές μετρήθηκε στα 2400 l/min (800 l/min και 1600 l/min αέρα).

Οι ώρες λειτουργίας δεν είναι τόσες πολλές ώστε να βγεί ασφαλές συμπέρασμα για τις ανάγκες συντήρησης της μηχανής. Και απαιτείται περαιτέρω μελέτη επ' αυτού.

### 6.8 Η πειραματική διάταξη συνολικά

Η παράγραφος αυτή αναφέρεται στη συνολική λειτουργία της διάταξης.

Η πρώτη παράγραφος αναφέρεται στην ανεξαρτησία της μονάδας από εξωτερικούς παράγοντες. Τα πειράματα έγιναν χρησιμοποιώντας αέρα που εγχύετο στον αεριοποιητή μέσω σχετικού δικτύου του εργαστηρίου. Εάν στις 1500 RPM η μέγιστη ογκομετρική παροχή εισόδου στους κυλίνδρους της μηχανής είναι 2400 l/min και η στοιχειομετρική αναλογία παραγόμενου αερίου/αέρα είναι 1:1 τότε από τη μηχανή μπορούν να αξιοποιηθούν 1200 l/min παραγόμενου αερίου και από την εξίσωση 2.11 και για 45% N<sub>2</sub> κατ' όγκον τότε απαιτούνται 680 l/min αέρα. Εάν η πίεση λειτουργίας του αεριοποιητή εί-ναι 7 KPa τότε ο φυσητήρας θα πρέπει να υποστηρίζει 700 l/min στα 14 KPa. Ο τύπος καθορίζεται από τις συσκευές που υπάρχουν διαθέσιμες στο εμπόριο.

Το υποσύνολο φίλτρο καθέτου όγκου – κυκλώνα θα μπορούσε να είναι πιο κοντά στον αεριοποιητή και το φίλτρο να περιέχει ξυλοκάρβουνο ως μέσο φιλτραρίσματος. Εάν παρατηρείται αλλοίωση του μέσου φιλτραρίσματος τότε σε λειτουργίες μακράς διάρκειας τότε θα μπορούσε να τοποθετηθεί ένα αντίστοιχο φίτρο παράλληλα στο πρώτο. Το αλλοιωμένο υλικό θα μπορούσε να εισάγεται στον αεριοποιητή.

Η επίδοση του πολυσωληνωτού ψύκτη παρά την απόκλιση των τιμών μελέτης σε σχέση με τις μετρούμενες τιμές δείχνει ότι οι συσκευές ψύξης

μπορούν να είναι μικρότερες και ελαφρότερες ενώ θα μπορούσαν να υπάρχουν διατάξεις βεβιασμένης κυκλοφορίας του αέρα με τοποθέτηση ανεμιστήρα που θα παίρνει κίνηση από τον στροφαλοφόρο της μηχανής. Ο συμπυκνωτής της διάταξης υπο αυτές τις συνθήκες θα μπορούσε και να μην υπάρχει καθώς και ένα μεγάλο κομμάτι των σωλήνων συμπύκνωσης.

Η μηχανή θα πρέπει να τοποθετηθεί διαφορετικά πάνω στη διάταξη ώστε να έχει καλύτερη πρόσβαση για τις ανάγκες συντήρησης. Επίσης θα χρειαστεί μία μελέτη για ένα πίνακα ελέγχου ώστε να διευκολύνεται ο χειριστής. Σημειώνεται ότι κατά τη διάρκεια των πειραμάτων εργάστηκαν δύο χειριστές.

### 6.9 Τα αποτελέσματα

Τα **θερμοκρασιακά προφίλ** του αεριοποιητή έχουν ήδη συζητηθεί.

Σύμφωνα με τα **θερμοκρασιακά προφίλ του δικτύου** η θερμοκρασία κατά μήκος του δικτύου σταθεροποιείται όσο περνάει ο χρόνος ,ενώ πιθανές διακυμάνσεις μεταδίδονται ανάλογα και ομοιόμορφα. Η θερμοκρασία δια μέσω του δικτύου δε μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του ενδιάμεσου γεμίσματος του αεριοποιητή επειδή αυτή γίνεται γρήγορα.

Η **πίεση** διαμέσω του δικτύου όταν μεταβάλλεται αυτό γίνεται ανάλογα και ομοιόμορφα ενώ μειώνεται κατα το ενδιάμεσο γέμισμα. Ενδεικτικά αναφέρεται το ενδιάμεσο γέμισμα των πειραμάτων 10 και 11 όπου η διαδικασία πλέον έχει σταθεροποιηθεί. Η πίεση γενικά επηρεάζεται από την αναρρόφηση της μηχανής και στην πίεση εντός του αεριοποιητή. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων γινόταν συστηματική προσπάθεια βέλτιστης χρήσης του αέρα για να προαχθεί η βάλτιστη λειτουργία και να χρησιμοποιούνται αποδοτικά όλοι οι πόροι. Στο πείραμα 11 προς το τέλος της διαδικασίας έγινε μία προσπάθεια παράτασης της λειτουργίας αυξάνοντας την παροχή του αέρα. Η πρόσθεση του αέρα συντέλεσε στην χρονική επιμήκυνση της διεργασίας αλλά αύξησε τη πίεση εντός του δικτύου.

Οι τιμές της **ειδικής κατανάλωσης** δεν είναι ακριβείς αφού το φορτίο δεν αξιοποιείται πλήρως λόγω των φαινομένων υπερθέρμανσης των θερμαντήρων που οδηγούσε σε απενεργοποίησή τους μέσω των θερμοστατών. Στο πείραμα 10 (βλ 165<sup>ο</sup> λεπτό) έγιναν προσπάθειες στιγμιαίας μέγιστης φόρτισης όπου η ειδική κατανάλωση μειώθηκε κατά 25% σε σχέση με την κανονική λειτουργία του πειράματος αυτού.

### 6.10 Προτάσεις για βελτίωση

Οι όποιες βελτιώσεις πρέπει να έχουν σαν στόχο τη βελτίωση του θερμικού βαθμού απόδοσης και γενικότερα της διάταξης μειώνοντας τον όγκο της διάταξης και βελτιώνοντας την παρακράτησης υδρατμών και συμπυκνωμάτων πίσσας.

Σε ότι αφορά το θερμικό βαθμό απόδοσης πιθανή βελτίωσή του θα οφείλεται σε:

- ανάκτηση θερμότητας που αποβάλλεται κατά την ψύξη του αερίου
- σε μείωση των θερμικών απωλειών του αεριοποιητή.

#### 6.10.1 Ανάκτηση αισθητής θερμότητας.

Πρακτικά η θερμότητα που θα μπορούσε να ανακτηθεί είναι αυτή που αποβάλλεται μετά την έξοδο του αεριοποιητή και ειδικά αυτή που αποβάλλεται από τον ψύκτη

Με βάση τους υπολογισμούς για την αισθητή θερμότητα που γίνονται στο κεφάλαιο 3 ανακτήσιμο μπορεί να θεωρηθεί μόνο ένα ποσό αισθητής θερμότητας από θερμοκρασιακή πτώση  $\Delta T=200$  °C που αντιστοιχεί περίπου στο 25% της αισθητής θερμότητας του συνόλου του αερίου και υδρατμού δηλαδή περίπου 6,3 MJ για 240 min λειτουργίας θερμότητας δηλαδή 1% του εισερχόμενου ενεργειακού ποσού.

Επειδή οι εναλλάκτες θερμότητας είναι συσκευές κάποιου σχετικού κόστους αυτό το ενεργειακό κέρδος είναι μάλλον φτωχό.

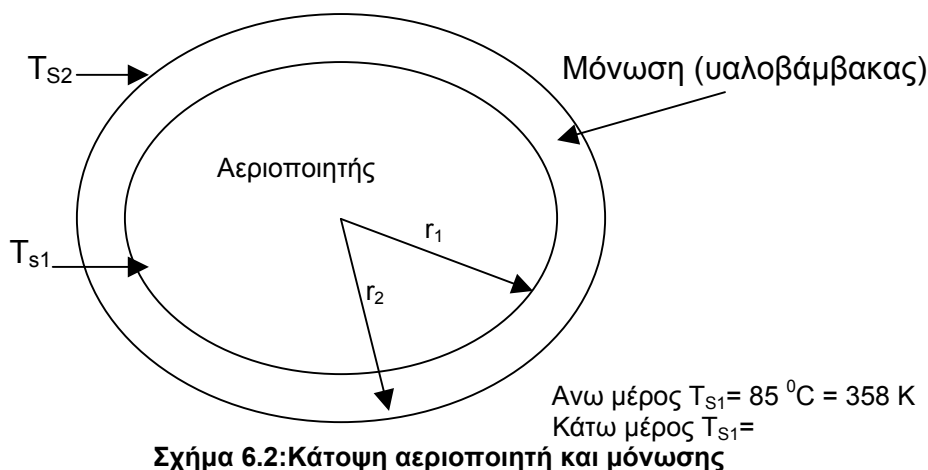
#### 6.10.2 Μείωση θερμικών απωλειών του αεριοποιητή

Μπορούσε να γίνει με τοποθέτηση θερμομόνωσης γύρω από τον αεριοποιητή.

Το μονωτικό υλικό θα μπορούσε να είναι υαλοβάμβακας με ειδική θερμική αγωγιμότητα  $\kappa=0,021$  W/mK

Θα θεωρηθεί ότι οι θερμοκρασίες εντός του αεριοποιητή δε μεταβάλλονται και συνεπώς και οι επιφανειακές θερμοκρασίες στο άνω και κάτω μέρος της μόνωσης δε μεταβάλλονται. Αυτό επιτυγχάνεται με μείωση της ποσότητας του ξύλου που καταναλώνεται στην ζώνη καύσης για την εξασφάλιση της απαιτούμενης θεμότητας για την παραγωγή του αερίου.

Ο υπολογισμός βασίζεται στα σχήματα 6.1 και 3.3



Τώρα οι θερμικές απώλειες είναι λόγω μεταφοράς δια μέσου του υαλοβάμβακα, ελεύθερης συναγωγής και ακτινοβολίας.

Ο νέος αναλυτικός υπολογισμός παρουσιάζεται στις επόμενες παραγράφους.

Οι παραδοχές που γίνονται είναι οι εξής

- Η ειδική θερμική αγωγιμότητα του υαλοβάμβακα είναι σταθερή σε όλο το πάχος της μόνωσης.
- Το πάχος της μόνωσης είναι 10 cm = 0,1 m
- Η επικάλυψη της μόνωσης υαλοβάμβακα είναι πολύ μικρού πάχους και τέτοιας φύσης ώστε να μην διαφοροποιεί το συντελεστή εκπομπής
- Μόνιμα φαινόμενα
- Θερμοκρασία  $T_{s2}$  για το κάτω τμήμα  $T_{s2} = 35 \text{ }^\circ\text{C} = 308 \text{ K}$
- Θερμοκρασία  $T_{s2}$  για το άνω τμήμα  $T_{s2} = 50 \text{ }^\circ\text{C} = 323 \text{ K}$

### Απώλειες θερμότητας στο άνω μέρος του αεριοποιητή

Εμβαδό επιφανείας του άνω μέρους  $A_1 = 0,942 \text{ m}^2$

#### A<sub>α</sub>. Λόγω μεταφοράς δια μέσω της μόνωσης

Για τον υπολογισμό της θερμότητας Q χρησιμοποιείται η σχέση

$$Q_c = \frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L_1}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} (T_{s_1} - T_{s_2}) \quad \text{εξίσωση 6.1}$$

και

$$Q_c = \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,021 \cdot 0,5_1}{\ln\left(\frac{0,4}{0,3}\right)} (358 - 308) = 11,46W = 0,00068MJ / \text{min}$$

και για 240 min λειτουργίας

$$Q_{c\text{-top}} = 0,165 \text{ MJ}$$

### Αβ. Λόγω φυσικής συναγωγής

Θερμοκρασία στρώματος  $T_f = (85 + 20)/2 = 52.5 \text{ }^\circ\text{C} = 300.5 \text{ K}$

Για αυτή τη θερμοκρασία το κινηματικό ιξώδες είναι  $\nu = 1,6 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

Εαν η μέση επιφανειακή θερμοκρασία είναι 300,5 K

$$\beta = 1/300,5 = 0.003328$$

και  $Pr = 0.705$  και  $k = 0.0266 \text{ kJ/m}^2 \text{ K}$

Είναι:

$$Gr Pr = g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L^3 \cdot Pr / \nu^2$$

$$\text{και } Gr Pr = (9,81)(0,003328)(35-20)(0,8)^3(0,705)/(1,6 \cdot 10^{-5})^2 = 1.44 \cdot 10^9$$

$$\text{Έτσι } Gr Pr = 1.69 \cdot 10^8$$

Επίσης

$$\text{Ο αριθμός Nusselt είναι. } \sqrt{Nu} = 0,825 + \frac{0,387(Gr \cdot Pr)^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr}\right)^{9/16}\right]^{8/27}}$$

$$\text{Δηλαδή } \sqrt{Nu} = 8,45$$

$$\text{Έτσι } Nu = 71,33$$

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας υπολογίζεται:

$$h = Nu(k/L_1) = 71,33(0,02666/0,8)$$

$$\text{και } h = 3,79 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

Ο ρυθμός θερμικών απωλειών λόγω συναγωγής είναι για το άνω τμήμα του αεριοποιητή είναι:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{convection-top}} &= h \cdot A \cdot \Delta T \\
 &= 5.52(1.036)(65) \\
 &= 317.7 \text{ W και}
 \end{aligned}$$

$$Q_{\text{convection-top}} = \mathbf{0,0223 \text{ MJ/min}}$$

### A<sub>γ</sub> Λόγω ακτινοβολίας

$$Q_{\text{radiation-top}} = \sigma \cdot A \cdot \epsilon \cdot (T_s^4 - T_a^4) \quad \text{εξίσωση 3.24}$$

$\sigma$  = σταθερά Stefan -Boltzmann =  $5.669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

$\epsilon = 0,31$  (Για οξειδομένη σκούρα γκρι επιφάνεια βαμμένη με χρώμα αλουμινίου)

$$\begin{aligned}
 \text{και } Q_{\text{radiation.top}} &= 1,036(5,669 \times 10^{-8})(0,31)(308^4 - 293^4) \\
 &= 29,66 \text{ W}
 \end{aligned}$$

$$Q_{\text{radiation-top}} = \mathbf{0,00178 \text{ MJ/min}}$$

Απώλειες θερμότητας στο κάτω μέρος του αεριοποιητή

Εμβαδό επιφανείας του άνω μέρους  $A_2 = 2,64 \text{ m}^2$

### B<sub>α</sub>. Λόγω μεταφοράς δια μέσω της μόνωσης

Ομοίως με την παράγραφο A<sub>α</sub>

$$Q_c = \frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L_1}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} (T_{s_1} - T_{s_2}) \quad \text{εξίσωση}$$

και

$$Q_c = \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,021 \cdot 1,4}{\ln\left(\frac{0,4}{0,3}\right)} (443 - 323) = 77,05 \text{ W} = 0,00468 \text{ MJ / min}$$

και για 240 min λειτουργίας

$$Q_{\text{c-bottom}} = \mathbf{1,27 \text{ MJ}}$$

### B<sub>β</sub>. Λόγω ελεύθερης συναγωγής

Θερμοκρασία στρώματος  $T_f = (323 + 293)/2 = 95 \text{ }^\circ\text{C} = 308 \text{ K}$

Επαναλαμβάνοντας την προηγούμενη διαδικασία



$$v = 1,7 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\beta = 1/308 = 0.00324 \quad \text{και}$$

$$\text{Pr} = 0,703, \quad k = 0,028 \text{ kJ/m}^2 \text{ K}$$

Έτσι

$$\begin{aligned} \text{Gr Pr} &= g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L^3 \cdot \text{Pr} / v^2 \\ &= (9,81)(0,00324)(50-20)(1,4)^3(0,703)/(1,7 \times 10^{-5})^2 \end{aligned}$$

$$\text{και } \text{GrPr} = 6,02 \cdot 10^9$$

$$\text{Ξανά ο αριθμός Nusselt } \sqrt{Nu} = 0,825 + \frac{0,387(\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{\text{Pr}}\right)^{9/16}\right]^{8/27}}$$

$$\sqrt{Nu} = 14,65$$

$$\text{και έτσι} \quad Nu = 214,65$$

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας είναι

$$h = Nu(k/L_1) = 214,65(0,028/1,4) \quad \text{και}$$

$$h = 4,29 \text{ W/m}^2\text{C}$$

Η απώλεια θερμότητας με ελεύθερη συναγωγή από το κάτω μέρος του αεριοποιητή είναι:

$$\begin{aligned} Q_{\text{convection-bottom}} &= h \cdot A \cdot \Delta T \\ &= 4,29 (2,92)(30) \\ &= 376,1 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\text{και} \quad Q_{\text{convection-bottom}} = 0,0226 \text{ MJ/min}$$

### **Βγ. Λόγω ακτινοβολίας**

Με υπολογισμό όμοιο του υπολογισμού που έγινε για το άνω τμήμα

$$Q_{\text{radiation-bottom}} = A \cdot \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_s^4 - T_a^4)$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{radiation-bottom}} &= 2,92(5,669 \cdot 10^{-8})(0,31)(323^4 - 293^4) \\ &= 1598 \text{ W και} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{radiation-bottom}} = 0,096 \text{ MJ/min}$$

**ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΠΩΛΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΤΗ**

$$HL = Q_{c-top} + Q_{c-bottom} + Q_{convection-top} + Q_{convection-bottom} + Q_{radiation-top} + Q_{radiation-bottom}$$

$$HL = 0,0007 + 0,046 + 0,0035 + 0,022 + 0,0018 + 0,0011$$

$$\text{Και } HL = 0.044 \text{ MJ/min}$$

Για χρόνο 240 min όπως έχει οριστεί στο κεφάλαιο 3

$$HL = 0,044 \cdot 240 = 10,56 \text{ MJ}$$

Το ποσό της θερμότητας που εξοικονομείται είναι 60,54 MJ και αντιστοιχεί σε ποσοστό 11% της εισερχόμενης ενέργειας.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία **[βιβλ 1]** μία απώλεια θερμότητας της τάξης του 10% μπορεί να προκαλέσει αισθητή μεταβολή της σύστασης του αερίου και παρατίθενται ενώ αναφέρει επίσης ότι αν παρέχεται θερμότητα από εξωτερική πηγή τότε καταναλώνεται λιγότερη βιομάζα. Αυτό προφανώς ισχύει εμμέσως και για την περίπτωση της μόνωσης.

Αφού απαιτείται λιγότερη θερμότητα λόγω του περιορισμού των απωλειών τότε καίγεται πλήρως λιγότερη βιομάζα και απαιτείται και λιγότερος αέρας για την σχετική καύση. Αρα αναμένεται, μείωση της περιεκτικότητας του αερίου σε CO<sub>2</sub>, αύξηση της περιεκτικότητας σε CO και H<sub>2</sub>.

Όλα αυτά όμως με τον περιορισμό ότι η έκταση της ζώνης καύσης δε μειώνεται και δεν επηρεάζεται το περιεχόμενο της πίσσας στο αέριο.

Μιά μείωση κατά 10% της ειδικής κατανάλωσης σημαίνει ότι μία εννιάωρη λειτουργία χωρίς μόνωση παρατείνεται κατά περίπου μία ώρα αν προστεθεί μόνωση

**6.10.3 Βελτίωση διάταξης πίσσας καθαρισμού του αερίου**

Το αέριο με βάση τις μετρήσεις της πειραματικής διαδικασίας εισέρχεται στην πρώτη συσκευή σε θερμοκρασία της τάξης των 230 °C και εξέρχεται σε θερμοκρασία περίπου 170 °C. Προτείνεται η μείωση του ύψους πλήρωσης με βιομάζα κατά 65% ώστε η πτώση πίεσης να μειωθεί κατά 1000-1200 Pa.

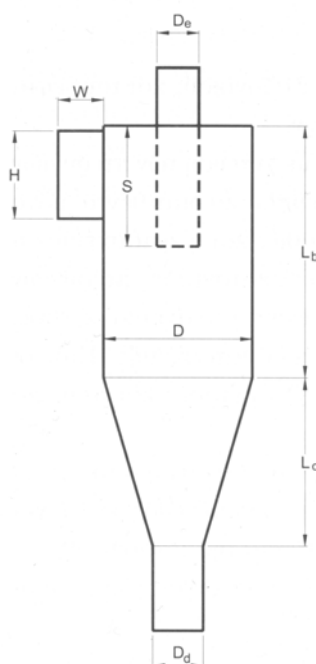
Το αέριο από εξέρχεται τον κυκλώνα στους 135 °C και σε αυτή τη θερμοκρασία εισέρχεται στον ψύκτη. Επειδή το θερμικό φαινόμενο γίνεται στη

είσοδο του φίλτρου δεν αναμένεται διαφοροποίηση στην θερμοκρασιακή πτώση.

Προτείνεται η επιμήκυνση του ψύκτη κατά 1m δεδομένου ότι οι 8°C επιπλέον βαθμοί που θα ψυχθεί το αέριο επιταχύνουν σύμφωνα με τα πειραματικά δεδομένα την συμπύκνωση του υδρατμού και της πίσσας. Η επιμήκυνση αυτή θα επιβαρύνει την πτώση πίεσης κατά περίπου 400 Pa με βάση τα πειραματικά δεδομένα.

Αντί του συμπυκνωτή και του πολυσωλήνιου συμπυκνωτή ψύκτη προτείνεται η τοποθέτηση ενός κυκλώνα υψηλής απόδοσης με αντικειμενικό σκοπό τη συλλογή σωματιδίων νερού και πίσσας. Έτσι μειώνεται δραστικά το μέγεθος της διάταξης ενώ διατηρείται η φυγοκέντρωση ως μηχανισμός διαχωρισμού.

Η μεθοδολογία υπολογισμού περιγράφεται στη βιβλιογραφία **[βιβλ 23]**



**Σχήμα 6.3:Τυπικό σχέδιο κυκλώνα και ονοματολογία διαστάσεων**

Στο σχήμα 6.3 φαίνεται ο συμβολισμός για κάθε διάσταση

Για τον υπολογισμό των διαστάσεων ακολουθείται η ακόλουθη σειρά

$$H/D = 0,44$$

$$D_e/D = 0,4$$

$$S/D = 0,5$$

$$L_b/D = 1,5$$

$$L_c/D = 2,5$$

$$D_d/D = 0,4$$

Επίσης είναι  $W/D=0,2$  Άρα και  $H/W = 2$

Για παροχή αερίου 700 l/min και διαστάσεις διατομής  $W=0,02\text{m}$  και  $H=0,04$  η ταχύτητα προσαγωγής στον κυκλώνα είναι  $V_g = 14,6 \text{ m/sec}$ .

Οι διαστάσεις του κυκλώνα προκύπτουν ως εξής σε m

$$D_e=0,036 \quad D=0,09 \quad L_b = 0,136 \quad L_c=0,227 \quad D_d=0,036 \quad S=0,045$$

Αν θεωρηθούν ως πυκνότητες

- νερού  $\rho_{\text{νερού}}=1000 \text{ Kg/m}^3$
- πίσσας  $\rho_{\text{πίσσας}} = 900 \text{ Kg/m}^3$
- αερίου  $\rho_{\text{αερίου}}=1 \text{ Kg/m}^3$

και  $d_{\text{crit}}$  :διάμετρος οριακού σωματιδίου σε m

$\mu_g$  : συνεκτικότητα καυσαερίων σε kg/ms

$N_e$  : ο αριθμός των αποτελεσματικών περιστροφών . Εδώ  $N_e=5$

$d_{50}$  : η διάμετρος των σωματιδίων στην οποία ο κυκλώνας έχει απόδοση 50%

$$\text{Τότε } d_{50} = [9 \cdot \mu_g W / (2 N_e \pi \cdot \rho_p \cdot V_g)]^{1/2}$$

$$\text{Και } d_{\text{pcrit}} = [9 \cdot \mu_g W / (N_e \pi \cdot \rho_p \cdot V_g)]^{1/2}$$

Με  $\rho_p$ : η πυκνότητα του υλικού σωματιδίων σε  $\text{Kg/m}^3$

Για το νερό προκύπτει  $d_{\text{pcrit-νερού}} = 3,43 \text{ } \mu\text{m}$

Ενώ για την πίσσα  $d_{\text{pcrit-πίσσας}} = 2,56 \text{ } \mu\text{m}$

Η πτώση πίεσης της συσκευής υπολογίζεται από τη σχέση

$$\Delta P = \zeta \frac{\rho_g \cdot V_g^2}{2}$$

$\Delta P$ : η πτώση πίεσης σε Pa

$\rho_g$ : η πυκνότητα των αερίων  $\text{Kg/m}^3$

$V_g$ : η ταχύτητα των αερίων στην είσοδο του κυκλώνα σε m/sec

$\zeta$ : ο συντελεστής απωλειών ως εξής

$$\zeta = K \frac{H \cdot W}{D_e^2}$$

K: μια εμπειρική σταθερά με τιμή 16 για κυκλώνα με εφαπτομενική είσοδο και 7,5 για κυκλώνα με αξονική είσοδο.

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής των παραπάνω σχέσεων πινακοποιούνται πιο κάτω:

ΠΑΡΟΧΗ (l/MIN)	700
ΠΑΡΟΧΗ (m <sup>3</sup> /sec)	0,011667
ΠΛΑΤΟΣ ΕΙΣΟΔΟΥ <b>W</b> (m)	0,02
ΥΨΟΣ ΕΙΣΟΔΟΥ <b>H</b> (m)	0,04
ΕΜΒΑΔΟ ΔΙΑΤΟΜΗΣ m <sup>2</sup>	0,0008
ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΠΑΕΡΙΩΝ $\mu_g$ (Kg/m s)	<b>0,000015</b>
ΑΡ. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΩΝ Ne	5
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΥΛΙΚΟΥ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ (ΝΕΡΟ) (kg/m <sup>3</sup> )	1000
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΥΛΙΚΟΥ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ (ΠΙΣΣΑ) (kg/m <sup>3</sup> )	900
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΕΡΙΟΥ (kg/m <sup>3</sup> )	<b>1</b>
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΙΟΥ $V_g$ (m/sec)	14,6
D (m)	0,090909
D <sub>e</sub> (m)	0,041
L <sub>b</sub> (m)	0,136
L <sub>c</sub> (m)	0,227
D <sub>d</sub> (m)	0,0364
S (m)	0,0455
<b>ΝΕΡΟ</b>	
d <sub>pcrit</sub> (m)	3,43E-06
d <sub>50</sub> (m)	2,43E-06
<b>ΠΙΣΣΑ</b>	
d <sub>pcrit</sub> (m)	3,62E-06
d <sub>50</sub> (m)	2,56E-06
<b>ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ</b>	
K	16
ζ	7,64
ΔP (Pa)	1029,34

**Πίνακας 6.1:Υπολογισμός κυκλώνα**

Με βάση όσα αναφέρονται παραπάνω γίνονται συγκριτικοί πίνακες για την πτώση πίεσης και θερμοκρασίας σε κάθε συσκευή για τη σύγκριση της πειραματικής διάταξης και της προτεινόμενης διάταξης.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ		ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	
ΣΥΣΚΕΥΗ	ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ (Pa)	ΣΥΣΚΕΥΗ	ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ (Pa)
ΚΑΘΕΤΟ ΦΙΛΤΡΟ	1800	ΚΑΘΕΤΟ ΦΙΛΤΡΟ	800
ΚΥΚΛΩΝΑΣ	65	ΚΥΚΛΩΝΑΣ	65
ΨΥΚΤΗΣ	830	ΨΥΚΤΗΣ	1245
ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ	75	ΚΥΚΛΩΝΑΣ ΥΨ. ΑΠΟΔΟΣΗΣ	815
ΨΥΚΤΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ	240		
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>3010</b>	<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>3025</b>

Πίνακας 6.2: Συγκριτικός πίνακας πτώσης πίεσης υπάρχουσας και προτεινόμενης πειραματικής διάταξης

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ		ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	
ΣΥΣΚΕΥΗ	ΠΤΩΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ (0C)	ΣΥΣΚΕΥΗ	ΠΤΩΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ (0C)
ΚΑΘΕΤΟ ΦΙΛΤΡΟ	57	ΚΑΘΕΤΟ ΦΙΛΤΡΟ	57
ΚΥΚΛΩΝΑΣ	40	ΚΥΚΛΩΝΑΣ	40
ΨΥΚΤΗΣ	80	ΨΥΚΤΗΣ	88
ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ	6	ΚΥΚΛΩΝΑΣ ΥΨ. ΑΠΟΔΟΣΗΣ	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΕΚΤΙΜΗΘΕΙ
ΨΥΚΤΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ	6,5		
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>189,5</b>	<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>185</b>

Πίνακας 6.3: Συγκριτικός πίνακας πτώσης θερμοκρασίας υπάρχουσας και προτεινόμενης πειραματικής διάταξης

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Syred N., "*Short Course on Waste Energy Utilisation Technology*", School of Engineering, UWCC
2. Heywood J.B. , 1988, "*Internal combustion engine fundamentals*", McGraw –Hill International editions. Automotive Technology Series
3. Maleev V.L , 1945, "*Internal combustion engines* ".Second edition, McGraw –Hill International editions, Automotive Technology Series
4. Twidel J - Weir T ,1986,"*Renewable Energy Resources*", E&FN SPON
5. Holman J.P. ,1992, "*Heat transfer*", Seventh edition, McGraw -Hill Metric editions,Mechanical Engineering Series
6. Zainal Z.A, Syred N.S and Griffiths A.J., 1994. "*Review of current design of fixed-bed biomass gasifier*", Renewable Energy,Vol 5, Part HI, pp.2076-2078. ElsevierScience, Pergamon
7. Barbucci P., Trebbi G. ,1994, "*Biomass based systems for the generation or cogeneration of electricity*", Int. J. Solar Energy , Vol 15, pp 171-178
8. Hoi W.K., 1992 , "*Gasification of rubberwood in a downdraught gasifier*" , Ph.D. Dissertation , The University of Aston in Binninghantm
9. Hoi W Kong, Abdul Razak Mohd Ali, Azizol Abdul Kadir, 1992, "*Gasification of rubberwood for electrical power generation in a dowdraught gasifier*", Conference3rd Asean Science and technology September, p. 100-104
- 10.Hoi W.K., Bridgwater AY, 1989. "*Gasification of charcoal in Malaysia*", PYROLYSIS AND GASIFICATION, p. 598

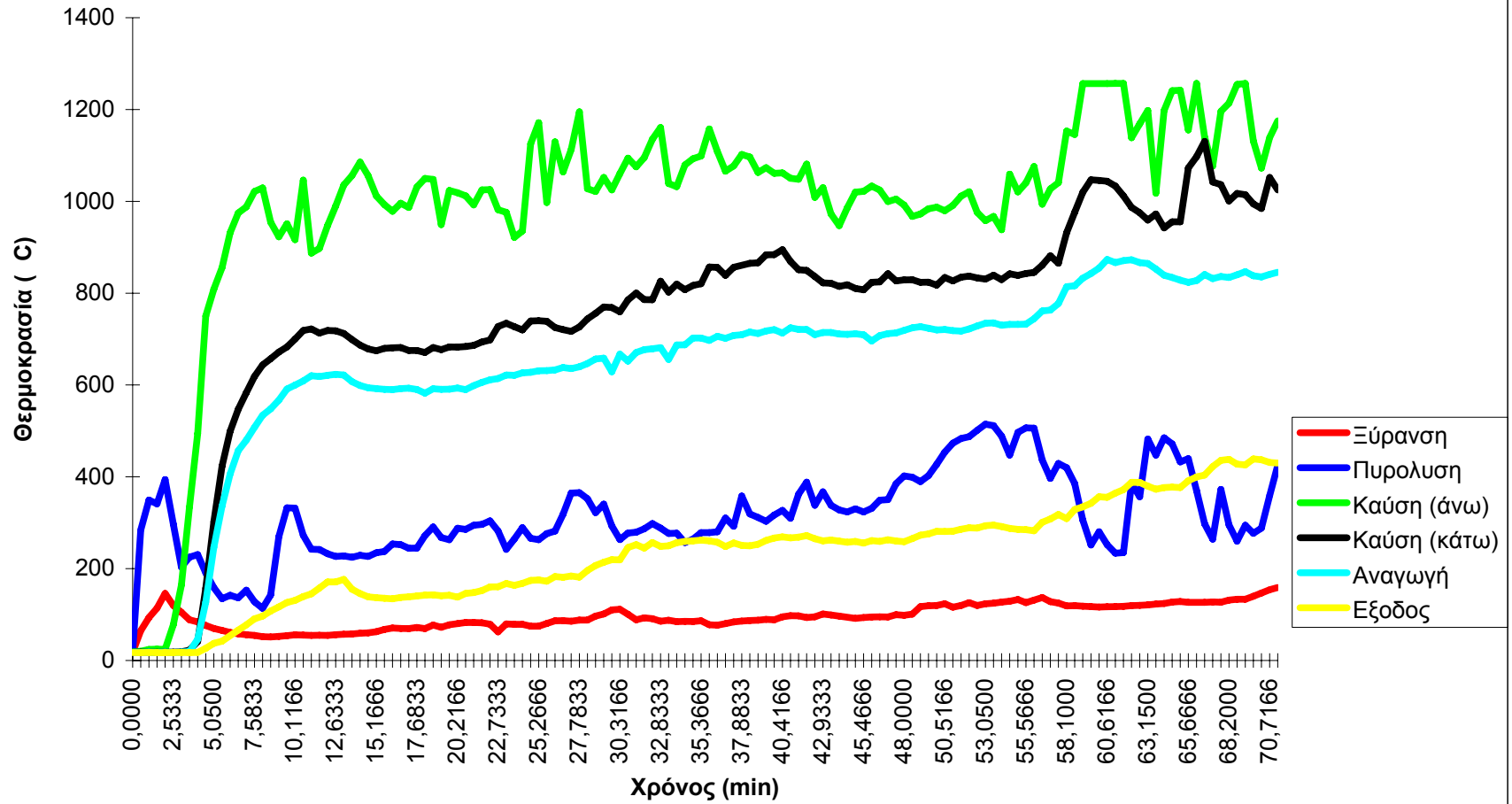
11. Klose W., Parish P.P. ,1994, "*Development of a 15 KW Spark ignition producer gas engine and some investigations of its in-cylinder processes*", Renewable Energy, Vol 5, Part II, pp. 835-837, Elsevier Science, Pergamon
12. Hollingdale A.C., Breag G.R., Pearce D., 1988, "*Producer gas fuelling of a 20 KW Output engine by gasification of solid biomass* ", Overseas Development Natural Resources Institute. Bulletin No. 17
13. Parikh P.P., Kamat P.P "*Wear and maintenance of biomass-based producer gas dual-fuel engines effect of tars and particulates.* ", Editor: Klaus Donald, 16th IGT Conference on Energy from biomass and Waste , Washington D.C. , Mar 2-6 Inst of Gas Technology IIT, p.921-957
14. Carre J., 1989, "*Biomass fuels and gasification*", Pyrolysis and gasification, p.93.Editors Ferrero , Maniatis, Buekens, Bridgwater Elsevier Appliance
15. SELTEC 50 Gasification unit manual and brochures
16. Hollingdale A.C., Krishnan R., Robinson A.P. , 1991. "*Charcoal Production : a handbook*", National Resources Institute, Commonwealth Science Council
17. Brewer M. K., Brown R. C, Anderson I. C ., Hall R. B., Woolsey E. L.; "*Performance of a downdraught biomass gasifier coupled to an internal combustion engine*", Editor: Klaus Donald, 16th IGT Conference on Energy from biomass and Waste , Washington D.C. , Mar 2-6 Inst of Gas Technology IIT, p.957-972
18. Holman J.P., 1994, "*Experimental methods for engineers*". 6th edition, McGraw Hill International Editions
19. Mook Tzeng Lim , Zainal Alimuddin "*Bubbling Fluidized bed biomass gasification-Performance, process findings and energy analysis*" ,2008, Elsevier, Science Direct, Renewable Energy



20. Jun Han, Heejoon Kim “*The reduction and control technology of tar during biomass gasification/ pyrolysis:An overview*” , 2008, Elsevier, Renewable and Sustainable Energy Reviews 12, 397-416
21. Chunshan Li, Kenzi Suzuki “*Tar property, analysis, reforming mechanism and model for biomass gasification-An overview*”, 2008 , Elsevier, Renewable and Sustainable Energy Reviews
- 22 Florin N.H, Harris A. T “*Hydrogen production from biomass coupled with carbon dioxide capture : The implications of Thermodynamic Equilibrium*” , 2007, Elsevier , International Journal of Hydrogen Energy 32
23. Μπεργελές Γ. «*Πηγές, διασπορά και έλεγχος ατμοσφαιρικής ρύπανσης*», 2006, Πανεπιστημιακές εκδόσεις ΕΜΠ,
24. Κακάτσιος Ξ. Κ. «*Μετάδοση θερμότητας*», 2004, Κλειδαριθμός
25. Kyriotakis G. “*Adaptation of an IC engine to a gasifier and electricity generation*” , 1995, Dissertation, University of Wales-Cardiff, School of Engineering
26. Eke PWA, Walker J.H, Williams M.A, “*Critical factors in the application of Dual-Fuel engines*”,1970, Inst Mech Engrs,Vol 184 Pt 3P.
27. Richa Kothari, D Buddhi, R.L Sawhney “*Comparison of environmental and economic aspects of various hydrogen production methods*”, 2008 , Elsevier, Renewable and Sustainable Energy Reviews
28. Bergman Patrick C.A, Van Passen Sander V.B., Boerrigter Harold “*The Novel “OLGA” technology for complete tar removal from biomass producer gas*” , 2002, ECN of the Netherlands

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### ΠΕΙΡΑΜΑ 1: ΠΡΟΦΙΛ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΖΩΝΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΟΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΤΗ



## ΠΕΙΡΑΜΑ 1

ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ: 50 min

ΦΟΡΤΙΟ ΞΥΛΟΥ : 20 Kg

ΦΟΡΤΙΟ ΞΥΛΟΚΑΒΟΥΝΟΥ: 1.5 Kg

ΠΑΡΟΧΗ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ ΣΤΟΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΤΗ : 400 l/min

### ΥΨΗ ΠΙΕΣΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ (min)	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>
20	42	76	77	79.1	79.5
35	43	63.5	64.5	73	73.5
50	31	51	51.5	59	59.5

(Χρησιμοποιείται διαφορικό πολυμανόμετρο που λειτουργεί με νερό)

ΥΨΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ: 82 : Όλα τα υψη σε cm

### ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ (min)	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
20	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
35	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
50	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

n/a: τιμή που δεν είναι διαθέσιμη

### ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΕΡΙΟΥ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ (min)	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
20	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
35	20.91	11.86	1.39	14.02	2.81	49.01
50	19.94	13.34	2.05	16.69	2.24	45.73

% ογκομετρικές συστάσεις παραγόμενου αερίου

### ΠΑΡΟΧΕΣ ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΣΤΡΟΦΕΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ (min)	ΠΑΡΟΧΗ ΑΕΡΑ	ΠΑΡΟΧΗ ΑΕΡΙΟΥ	ΠΑΡΟΧΗ ΦΥΣ. ΑΕΡΙΟΥ	RPM
20	800 +50	600 +50	22 +1	1100
35	1400 + 100	500 +20	0	1300
50	125 +50 0	475 +20	0	1100

Όλες οι παροχές σε l/min – χρόνος σε min – RPM : στροφές ανα λεπτό

### ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΠΙΣΣΑ ΠΟΥ ΣΥΛΛΕΓΗΣΑΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

ΣΥΣΚΕΥΗ	A	B	C	D	E
	-200	85	254	194	242

Όλες οι τιμές σε gr ΑΠΟ ΑΛΛΑ ΣΗΜΕΙΑ: 100 gr

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ 1

### ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ ΚΑΘΕ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΚΑΘ. ΦΙΛΤΡΟ	ΚΥΚΛΩΝΑΣ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 1	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 2	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 3
20	3335.4	98.1	255.6	39.24	n/a
35	2011.05	98.1	833.9	49.05	n/a
50	1962	49.05	735.8	49.05	n/a

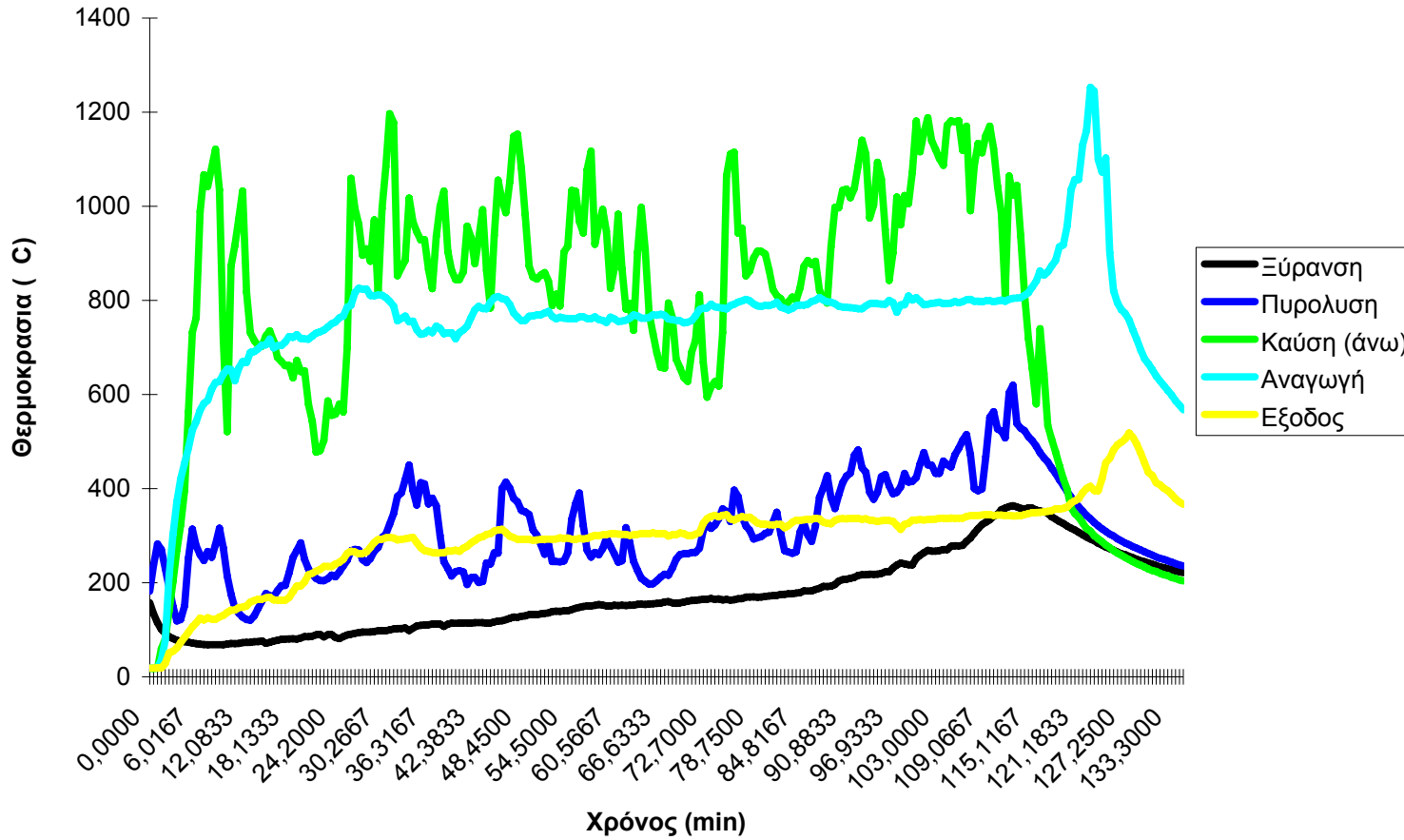
Οι τιμές πίεσης σε Pa

### ΠΤΩΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΘΕ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΚΑΘ. ΦΙΛΤΡΟ	ΚΥΚΛΩΝΑΣ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 1	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 2	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 3
20	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
35	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
50	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

Χρόνος σε min - n/a: τιμή που δεν είναι διαθέσιμη

### ΠΕΙΡΑΜΑ 2 : ΠΡΟΦΙΛ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΖΩΝΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΟΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΤΗ



## ΠΕΙΡΑΜΑ 2

ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ : 95 min

ΦΟΡΤΙΟ ΞΥΛΟΥ: 20 Kg

ΦΟΡΤΙΟ ΞΥΛΟΚΑΒΟΥΝΟΥ: 2.3 Kg

ΠΑΡΟΧΗ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ ΣΤΟΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΤΗ: 400 l/min

### ΥΨΗ ΠΙΕΣΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>
10	42	69	69	79.5	80.5	n/a
30	42	64	64.5	73.1	73.5	n/a
50	46	71.5	72	80.5	81	n/a
75	45	69.5	70	77.5	77.5	n/a
90	54	76.5	77	81	83.5	n/a

(Χρησιμοποιείται διαφορικό πολυμανόμετρο που λειτουργεί με νερό)

ΥΨΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ: 82 : Όλα τα υψή σε cm

### ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
10	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
30	320	n/a	148	130	n/a	n/a
50	195	n/a	110	56	54	40
75	205	n/a	104	50	48	25
90	208	n/a	110	44	43	23

Όλες οι τιμές σε °C - n/a: τιμή που δεν είναι διαθέσιμη

### ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΕΡΙΟΥ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
10	13.87	8.41	1.89	12.69	6.15	59.96
30	20.27	12.26	2.55	16.80	1.59	46.48
50	14.67	10.48	1.56	15.86	4.58	52.74
75	22.91	12.8	2.12	9.68	2.35	50.13
90	17.78	9.36	0.6	9.88	5.37	57

% ογκομετρικές συστάσεις παραγόμενου αερίου

### ΠΑΡΟΧΕΣ ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΣΤΡΟΦΕΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ (min)	ΠΑΡΟΧΗ ΑΕΡΑ	ΠΑΡΟΧΗ ΠΑΡ.	RPM
10	1000 ±50	600 ± 50	1200
30	1100 ±80	400 ±50	1300
50	1000 ±50	700 ±80	1200
75	1500 ±70	550 ±50	1300
90	700 ± 50	500 ±50	1000

Όλες οι παροχές σε l/min – χρόνος σε min – RPM : στροφές ανα λεπτό

### ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΠΙΣΣΑ ΠΟΥ ΣΥΛΛΕΓΗΣΑΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

ΣΥΣΚΕΥΗ	A	B	C	D	E
	-100	80	450	445	690

Όλες οι τιμές σε gr

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ 2

### ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ ΚΑΘΕ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΚΑΘ. ΦΙΛΤΡΟ	ΚΥΚΛΩΝΑΣ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 1	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 2	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 3
0	2648.7	49.05	981	98.1	n/a
20	2158.2	49.05	844	39.3	n/a
40	2501.55	49.05	834	49	n/a
65	2403.45	49.05	736	49	n/a
80	2207.26	49.05	394	245	n/a

Οι τιμές πίεσης σε Pa

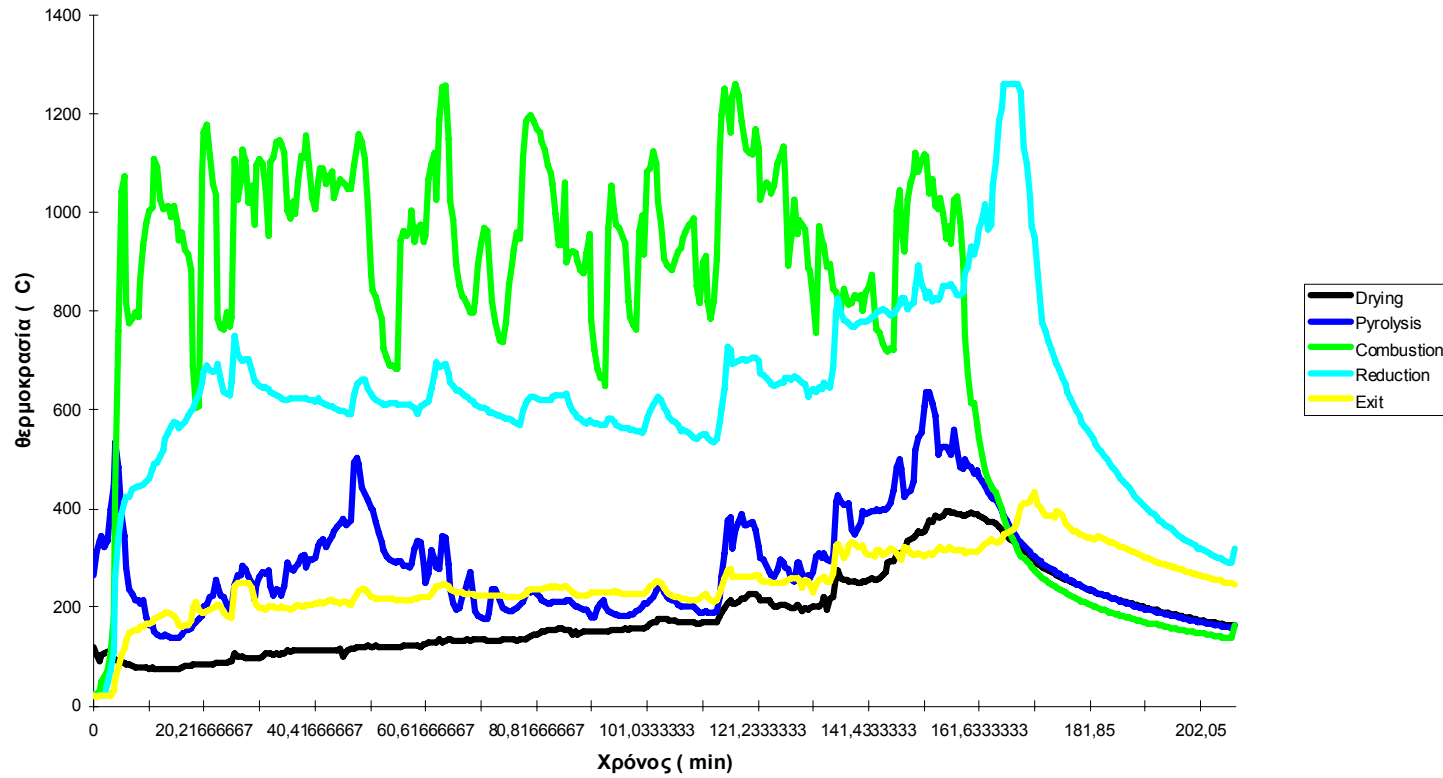
### ΠΤΩΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΘΕ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΚΑΘ. ΦΙΛΤΡΟ	ΚΥΚΛΩΝΑΣ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 1	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 2	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 3
0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
20	n/a	n/a	18	n/a	n/a
40	n/a	n/a	54	2	n/a
65	n/a	n/a	54	2	n/a
80	n/a	n/a	66	1	n/a

Οι τιμές σε °C - Χρόνος σε min - n/a: τιμή που δεν είναι διαθέσιμη



### ΠΕΙΡΑΜΑ 3 - ΠΡΟΦΙΛ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΖΩΝΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΟΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΤΗ



### ΠΕΙΡΑΜΑ 3

ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ: 120 min

ΦΟΡΤΙΟ ΞΥΛΟΥ: 20 Kg

ΦΟΡΤΙΟ ΞΥΛΟΚΑΒΟΥΝΟΥ: 1.5 Kg

ΠΑΡΟΧΗ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ ΣΤΟΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΤΗ: 400 l/min

#### ΥΨΗ ΠΙΕΣΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>
0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
20	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
45	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
70	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
90	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
120	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

n/a: τιμή που δεν είναι διαθέσιμη

#### ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
20	100	60	51.5	42.5	30.4	n/a
45	101	54	46	35	29.5	n/a
70	103	48	42	30	29	n/a
90	94	45	37	29	28	n/a
120	112	35	31	27	26	n/a

Όλες οι τιμές σε °C - n/a: τιμή που δεν είναι διαθέσιμη- Χρόνος σε min

#### ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΕΡΙΟΥ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
0	0.21	0	0	0	20.74	79.05
20	0.28	0	0	0	20.66	79.06
45	0.21	0	0	0	20.79	79
70	1.09	1.13	0.11	0	20.01	77.67
90	1.39	0	0	0	19.69	78.91
120	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

% ογκομετρικές συστάσεις παραγόμενου αερίου - Χρόνος σε min

#### ΠΑΡΟΧΕΣ ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΣΤΡΟΦΕΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ (min)	ΠΑΡΟΧΗ	ΠΑΡΟΧΗ ΠΑΡ.	RPM	ΧΡΟΝΟΣ
0	1500 +50	0	70 ± 5	1200
20	700 ± 50	600 ± 50	30 ± 1	1100
45	600 ± 20	450 ± 50	40 ± 2	1000
70	1000 +30	300 ± 50	50 ± 2	1100
90	800 ± 50	400 ± 20	49 ± 1	1200
120	650 ± 50	400 ± 50	48.5 ± 1	1000

Όλες οι παροχές σε l/min

#### ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΠΙΣΣΑ ΠΟΥ ΣΥΛΛΕΓΗΣΑΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

ΣΥΣΚΕΥΗ	A	B	C	D	E
	200	60	330	300	50

Όλες οι τιμές σε gr

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ 3

#### ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ ΚΑΘΕ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

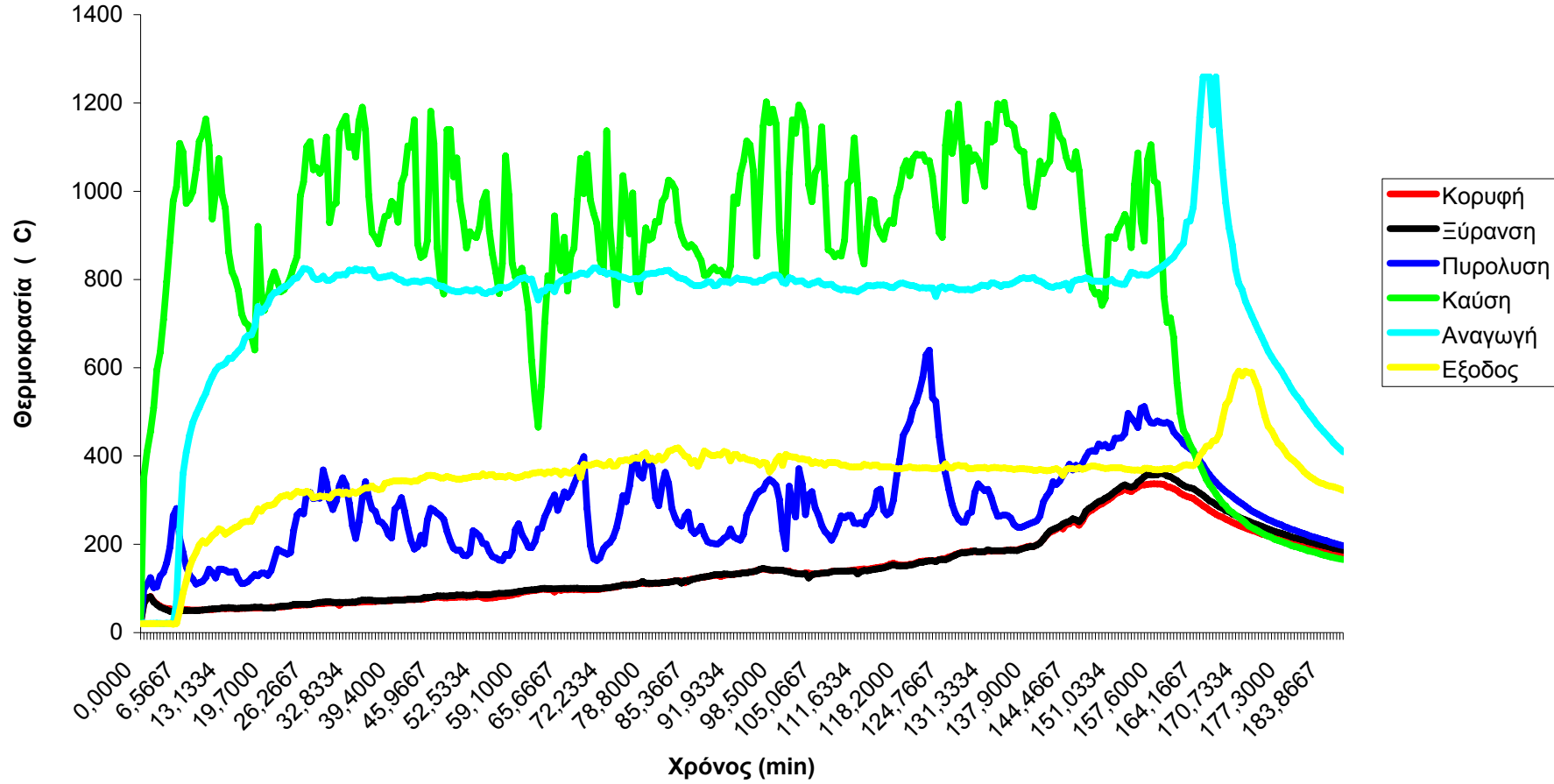
ΧΡΟΝΟΣ	ΚΑΘ. ΦΙΛΤΡΟ	ΚΥΚΛΩΝΑΣ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 1	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 2	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 3
0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
20	n/a	n'a	n/a	n'a	n/a
45	n/a	n/a	n'a	n/a	n/a
70	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
90	n/a	n/a	n/a	n/a	n'a
120	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

#### ΠΤΩΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΘΕ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΚΑΘ. ΦΙΛΤΡΟ	ΚΥΚΛΩΝΑΣ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 1	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 2	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 3
0	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
20	40	8.5	9	12.1	n/a
45	47	8	11	5.5	n/a
70	55	6	12	1	n/a
90	49	8	8	1	n/a
120	77	4	4	1	n/a

Οι τιμές σε °C - Χρόνος σε min - n/a: τιμή που δεν είναι διαθέσιμη

### ΠΕΙΡΑΜΑ 4: ΠΡΟΦΙΛ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΖΩΝΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΟΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΤΗ



## ΠΕΙΡΑΜΑ 4

ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ : 140 min

ΦΟΡΤΙΟ ΞΥΛΟΥ: 30 Kg

ΦΟΡΤΙΟ ΞΥΛΟΚΑΡΒΟΥΝΟΥ: 1.5 Kg

ΠΑΡΟΧΗ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ ΣΤΟΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΤΗ: 400 l/min

ΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΥΨΗ ΠΙΕΣΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	P <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>
0	0.2 lb/in <sup>2</sup>	75.5	76	78.5	85.5	n/a
20	0.1 lb/in <sup>2</sup>	71	72	76	82	n/a
40	0.1 lb/in <sup>2</sup>	76.5	77	78	84	n/a
60	0.1 lb/in <sup>2</sup>	75	75.5	77	82	n/a
80	0.8 lb/in <sup>2</sup>	33.5	34	36	43	n/a
100	0.6 lb/in <sup>2</sup>	41	41.5	46	53	n/a
120	0.1 lb/in <sup>2</sup>	70.5	71	72.8	81	n/a

ΥΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ: 86.5,87,86.5,86.5,91,90,87 Όλες οι τιμές σε cm H<sub>2</sub>O – n/a: τιμή που δεν είναι διαθέσιμη

### ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
0	168	116	70	53	48	40
20	169	154	114	56	53	45
40	255	185	137	57	56	48
60	267	205	150	59	56	48
80	255	197	147	58	54	40
100	253	194	142	52	50	45
120	253	197	147	42	40	40

Όλες οι τιμές σε °C - n/a: τιμή που δεν είναι διαθέσιμη- Χρόνος σε min

### ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΕΡΙΟΥ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
0	13.49	9.06	1.33	9.68	7.66	58.77
20	19.36	12.89	1.77	14.89	2.0	49.09
40	20.85	13.27	2.31	14.28	2.91	46.38
60	21.06	13.99	2.62	15.90	1.88	44.51
80	24.90	15.09	2.76	16.09	1.75	39.41
100	24.21	13.90	2.37	12.41	2.26	44.85
120	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

% ογκομετρικές συστάσεις παραγόμενου αερίου - Χρόνος σε min

### ΠΑΡΟΧΕΣ ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΣΤΡΟΦΕΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ ΑΕΡΑ	ΠΑΡΟΧΗ ΠΑΡ.	ΠΑΡΟΧΗ	RPM
0	1300 ±50	700 ±50	0	1250
20	1500 ±50	550 ±50	0	1500
40	1300 ±50	550 ±50	0	1400
60	1400 ±50	600 ±50	0	1400
80	1500 ±50	400 ± 10	0	1400
100	1500 ±20	450 ±50	0	1400
120	1300 ±50	600 ±50	0	1300

Όλες οι παροχές σε l/min - Χρόνος σε min in

### ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΠΙΣΣΑ ΠΟΥ ΣΥΛΛΕΓΗΣΑΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

ΣΥΣΚΕΥ	A	B	C	D	E
	n/a	60	230	490	1390

Όλες οι τιμές σε gr

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ 4

### ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ ΚΑΘΕ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΚΑΘ. ΦΙΛΤΡΟ	ΚΥΚΛΩΝΑΣ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 1	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 2	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 3
0	n/a	49.05	245.25	686.7	n/a
20	n/a	98.1	392.5	588.6	n/a
40	n/a	49.05	20	588.6	n/a
60	n/a	49.05	50	490.5	n/a
80	n/a	49.05	1765	686.7	n/a
100	n/a	49.05	1275	686.7	n/a
120	n/a	49.05	176.58	804.42	n/a

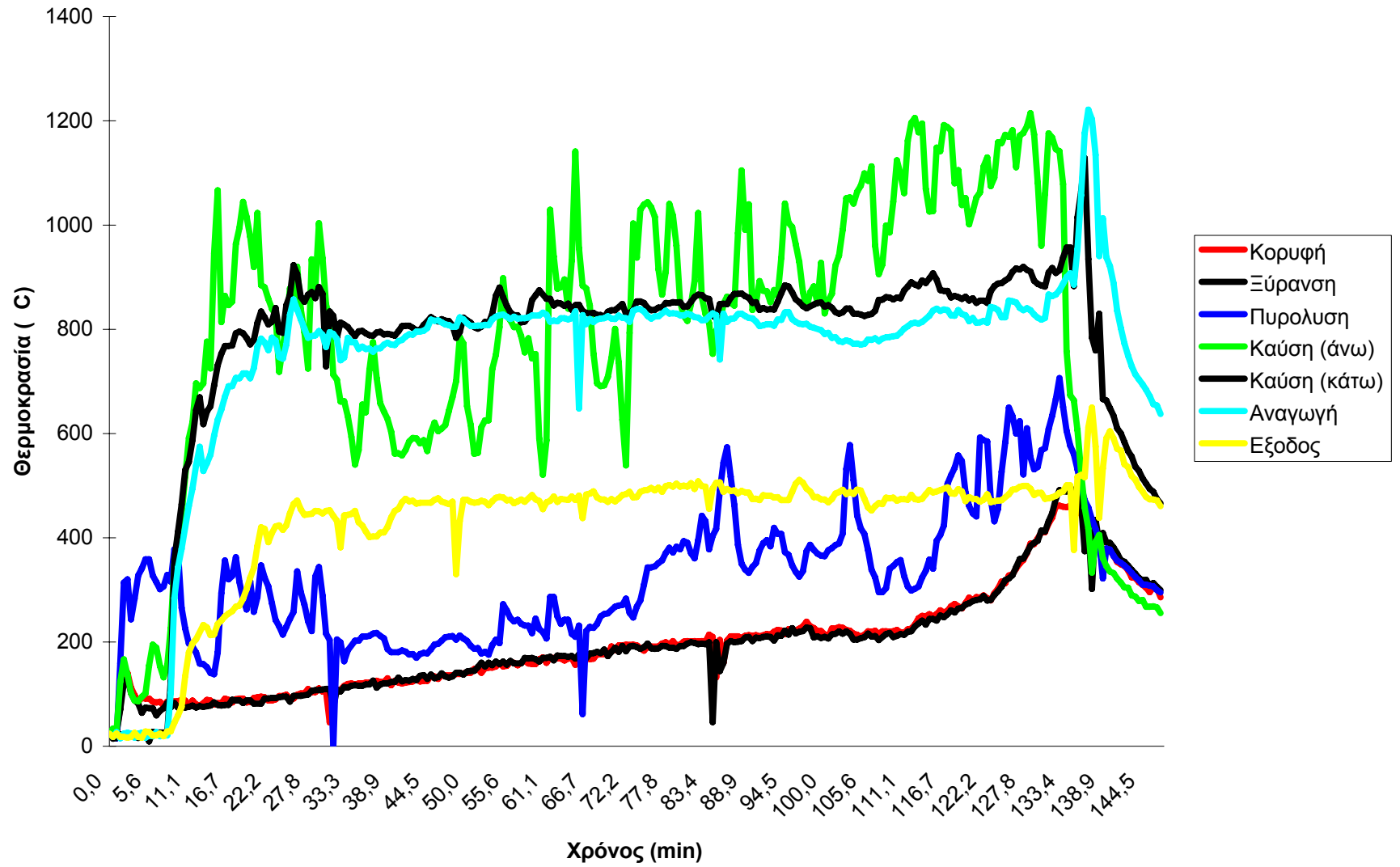
Τιμές πίεσης σε Pa – Χρόνος σε min

### ΠΤΩΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΘΕ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟ	ΚΑΘ.	ΚΥΚΛΟΝ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗ
0	52	46	17	5	8
20	15	40	58	3	8
40	70	48	80	1	8
60	62	55	91	3	8
80	58	50	99	4	8
100	59	52	90	2	5
120	56	50	105	2	0

Οι τιμές σε °C - Χρόνος σε min - n/a: τιμή που δεν είναι διαθέσιμη

### ΠΕΙΡΑΜΑ 5: ΠΡΟΦΙΛ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΖΩΝΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΟΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΤΗ



## ΠΕΙΡΑΜΑ 5

ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ : 120 min

ΦΟΡΤΙΟ ΞΥΛΟΥ: 35 Kg

ΦΟΡΤΙΟ ΞΥΛΟΚΑΡΒΟΥΝΟΥ: 1.5 Kg

ΠΑΡΟΧΗ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ ΣΤΟΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΤΗ: 400 l/min

### ΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΥΨΗ ΠΙΕΣΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	H <sub>1</sub> ,	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	P <sub>g</sub> lb/in <sup>2</sup>
5	2	51	51.5	60	60.5	63	1.2
25	1	58.5	59.5	69	70	73	1.2
45	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	1.2
65	n/a	n/a	42	51	52	54	1.2
100	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

ΥΨΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ: 90 cm - Όλες οι τιμές σε cm H<sub>2</sub>O – n/a: τιμή που δεν είναι διαθέσιμη  
P<sub>g</sub>: η πίεση εντός του αεριοποιητή

### ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
5	230	175	123	57	55	48
25	265	198	154	60.5	58	50
45	285	223	172	72	57	51.5
65	290	230	178	74	72	49
100	285	225	174	73	66	50

Όλες οι τιμές σε °C - n/a: τιμή που δεν είναι διαθέσιμη- Χρόνος σε min

### ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΕΡΙΟΥ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
5	10.67	7.17	1.24	6.46	11.49	62.9
25	23.15	12.72	2.55	14.40	1.93	45.2
45	25.95	13.67	1.78	12.77	1.44	44
65	24.60	12.92	1.92	11.18	2.57	46.8
100	18.50	6.02	0.21	9.55	3.01	62.7

% ογκομετρικές συστάσεις παραγόμενου αερίου - Χρόνος σε min

### ΠΑΡΟΧΕΣ ΑΕΡΑ ,ΣΤΡΟΦΕΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΟ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ ΑΕΡΑ	ΠΑΡΟΧΗ ΠΑΡ. ΑΕΡΙΟΥ	ΠΑΡΟΧΗ Φ.ΑΕΡΙΟΥ	RPM	ΦΑ	ΣΕΙΣ		
						1	2	3
5	500±20	550±20	0	1500	10	10	11	
25	700±20	650±30	0	1500	10	10	1	
45	600±20	650±50	0	1600	12	12	11	
65	650±20	600±20	0	1600	11	11	10	
100	500±30	400± 10	0	1300	08	08	7.	

Όλες οι παροχές σε l/min - Χρόνος σε min in - Οι φάσεις μετρώνται σε Amps

### ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΠΙΣΣΑ ΠΟΥ ΣΥΛΛΕΓΗΞΑΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

ΣΥΣΚΕΥΗ	A	B	C	D	E
	-300	20	30	40	800

Όλες οι τιμές σε gr



## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ 5

### ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ ΚΑΘΕ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΚΑΘ. ΦΙΛΤΡΟ	ΚΥΚΛΩΝΑΣ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 1	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 2	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 3
5	4806	49	833.85	49.05	245
25	5640	98	932	98	294
45	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
65	n/a	n/a	882.5	98	196
100	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

Τιμές πίεσης σε Pa – Χρόνος σε min

### ΠΤΩΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΘΕ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΚΑΘ. ΦΙΛΤΡΟ	ΚΥΚΛΩΝΑΣ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 1	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 2	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 3
5	55	21	97	2.	7
25	67	26	112	2.5	8
45	62	51	100	15	5.5
65	60	52	104	2	23
100	60	51	101	7	16

Οι τιμές σε °C - Χρόνος σε min - n/a: τιμή που δεν είναι διαθέσιμη

### ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ ΑΕΡΙΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΗΣ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ	ΑΠΟΔΟΣΗ %
5	2.431	29.97
25	4.937	84.72
45	5.108	89.45
65	4.917	81.57
100	2.90	35.93

Θερμογονος δυναμη σε MJ/m<sup>3</sup> - Χρόνος σε min

### ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΣΧΥΟΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΡΟΗ ΑΕΡΙΟΥ	ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΡΟΗ ΑΕΡΙΟΥ	P <sub>th</sub> (ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ)	P <sub>m</sub> (ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΗ)	P <sub>out</sub>	η <sub>th</sub> %	η <sub>m</sub> %
5	627.18	550	25.41	22.28	7.8	30.69	35.00
25	872.92	650	71.82	53.48	7.8	10.85	14.58
45	890.84	650	75.83	55.33	<b>8.8</b>	11.60	15.90
65	<b>843.83</b>	600	69.15	49.16	7.6	10.99	15.45
100	629.88	400	30.45	19.33	<b>8</b>	26.26	41.36

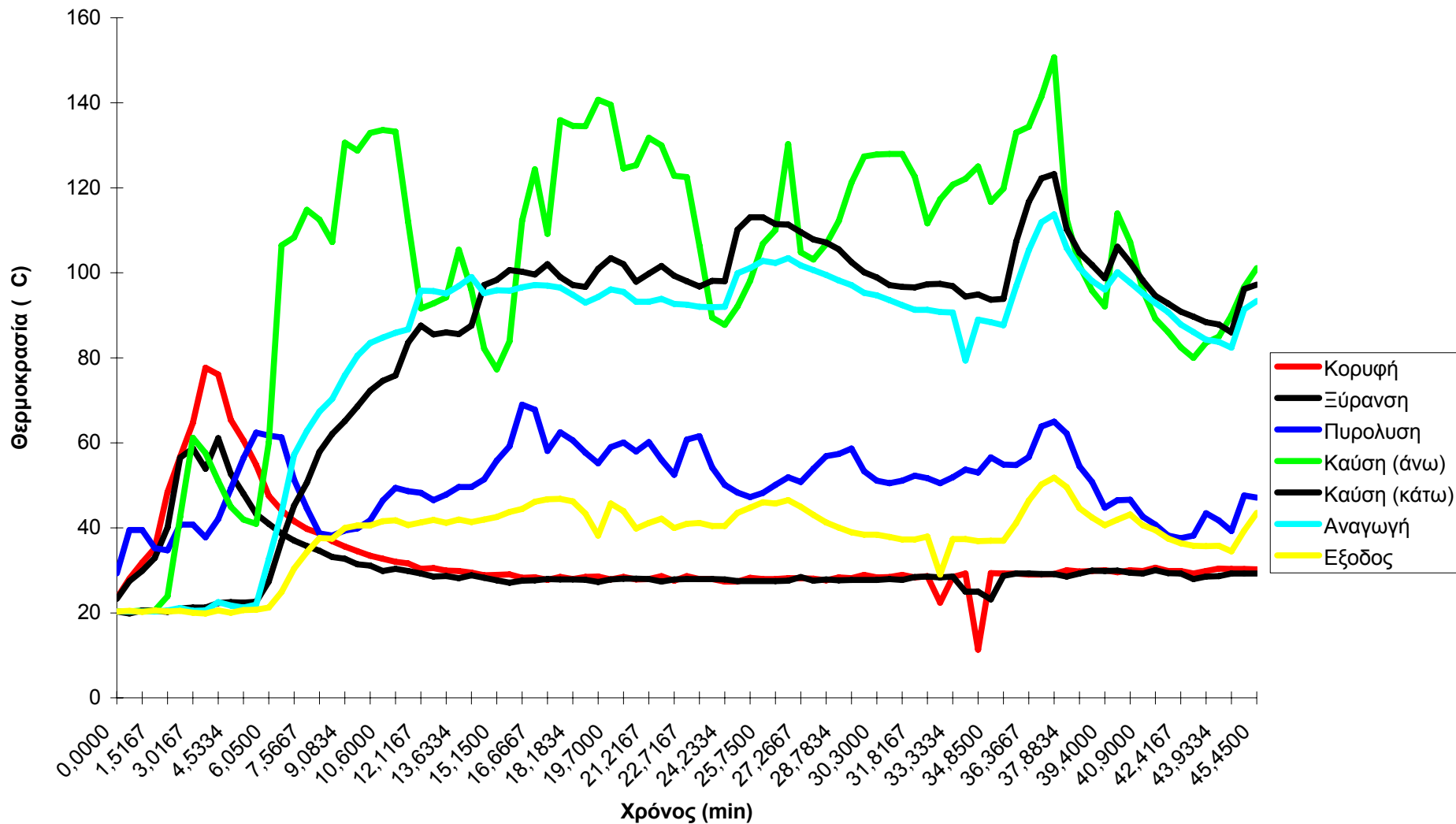
Χρόνος σε min – Ροή σε l/min – Τιμές ισχύος σε kW

### ΕΙΔΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

ΧΡΟΝΟΣ	sfc*	sfc**
5	1.34	2.44
25	1.87	2.44
45	1.69	2.16
65	1.85	2.50
100	1.31	2.38

\* Τιμές σε l/kW-sec    \*\* Τιμές σε Kg/kW-hr

### ΠΕΙΡΑΜΑ 6: ΠΡΟΦΙΛ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΖΩΝΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΟΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΤΗ



## ΠΕΙΡΑΜΑ 6

ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ : 120 min

ΦΟΡΤΙΟ ΞΥΛΟΥ: 35 Kg

ΦΟΡΤΙΟ ΞΥΛΟΚΑΡΒΟΥΝΟΥ: 1.5 Kg

ΠΑΡΟΧΗ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ ΣΤΟΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΤΗ: 400 l/min

### ΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΥΨΗ ΠΙΕΣΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	P <sub>1</sub> σε Pa	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	P <sub>g</sub> lb/in <sup>2</sup>
10	22	56.5	57.2	70.5	71.2	74	0.8
45	2	23.5	24	34	34.8	38	1
60	1	23	24	32.5	33	36	1
75	2	25.5	26	33.5	34	36	1
90	0.5	15	16	25	25.5	28	1.1
105	10.5	33.5	34	41	43.5	44	1
120	23.5	55	56	70	71	74.5	0.9

ΥΨΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ: 77.5 - Όλες οι τιμές σε cm H<sub>2</sub>O - Χρόνος σε min

### ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
10	230	164	108	53	50.5	36
45	240	187	146	60.2	<b>52.5</b>	47.8
60	245	214	160	58	<b>51</b>	47
75	265	223	166.	65	52	46.7
90	270	205	162	65.5	50	45.5
105	275	211	162	64	44	40
120	280	215	165	75.5	51	35

Όλες οι τιμές σε °C - Χρόνος σε min

### ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΕΡΙΟΥ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
10	21.10	13.15	1.46	8.29	3.8	52.2
45	20.87	14.21	2.13	12.45	1.67	48.67
60	28.45	14.30	1.81	7.99	1.37	46.09
75	26.55	15.08	2.74	10.09	1.56	43.98
90	20.03	14.07	1.83	9.90	6.69	47.47
105	23.90	9.62	0.42	9.74	4.1	52.22
120	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

% ογκομετρικές συστάσεις παραγόμενου αερίου - n/a: τιμή που δεν είναι διαθέσιμη  
Χρόνος σε min

### ΠΑΡΟΧΕΣ ΑΕΡΑ ,ΣΤΡΟΦΕΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΚΑ Ι ΦΟΡΤΙΟ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ ΑΕΡΑ	ΠΑΡΟΧΗ ΠΑΡ. ΑΕΡΙΟΥ	ΠΑΡΟΧΗ Φ.ΑΕΡΙΟΥ	RPM	ΦΑΣΕΙΣ		
					1	2	3
10	750 +20	650 +20	0	1600	11	11	11
45	1700 ±50	550 ±20	0	1500	07	07	07
60	1700 +100	520 +20	0	1600	07	07	07
75	1700 ±100	500 ±20	0	1600	07	07	07
90	1700 ±100	450 ±10	0	1600	7.8	7.8	7.8
105	1400 +50	450 + 20	0	1300	6.5	0.8	0.8
120	900 ± 20	700 ± 50	0	n/a	n/a		

Όλες οι παροχές σε l/min - Χρόνος σε min - Οι φάσεις μετρώνται σε Amps

## ΠΕΙΡΑΜΑ 6

ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΠΙΣΣΑ ΠΟΥ ΣΥΛΛΕΓΗΣΑΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

ΣΥΣΚΕΥΗ	A	B	C	D	E
	-200	25	33	40	585

Όλες οι τιμές σε gr

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ 6

### ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ ΚΑΘΕ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΚΑΘ. ΦΙΛΤΡΟ	ΚΥΚΛΩΝΑΣ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 1	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 2	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 3
10	3384.5	68.7	1305	68.7	275
45	2109.2	98.1	981	78.5	314
60	2158	68.7	834	49.05	294
75	2305.4	49	736	49.05	196
90	1422.5	98	883	49.05	245
105	2305.4	49	687	245.3	49
120	3090.15	98	1373	98	343

Τιμές πίεσης Pa – Χρόνος σε min

### ΠΤΩΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΘΕ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΚΑΘ. ΦΙΛΤΡΟ	ΚΥΚΛΩΝΑΣ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 2	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 3
10	66	56	55	2.5	14.5
45	53	41	86	7.7	4.7
60	92	54	102	7	4
75	92	56.5	101.5	13	5
90	65	43	97	15.5	4.5
105	74	49	98	20	4
120	65	50	89.5	24.5	16

Οι τιμές σε °C - Χρόνος σε min

### ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ ΑΕΡΙΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΗΣ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ	ΑΠΟΔΟΣΗ %
10	2.74	35.04
45	4.36	64.92
60	4.67	74.59
75	5.47	92.32
90	5.65	99.76
105	4.45	72.92
120	3.98	65.22

### ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΣΧΥΟΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΡΟΗ ΑΕΡΙΟΥ	ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΡΟΗ ΑΕΡΙΟΥ	$P_{th}$ (ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ)	$P_m$ (ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΗ)	$P_{out}$	$\eta_{th}$ %	$\eta_m$ %
10	649.1667	650	29.71	29.75	8.25	27.76	27.731
45	756.6818	550	55.04	40.00	5.25	9.53	13.12
60	811.6563	550	63.24	42.85	5.25	8.30	12.25
75	857.1116	500	78.27	45.66	5.25	6.70	11.4
90	898.132	450	84.58	42.37	5.85	6.91	13.80
105	832.1142	450	61.82	33.43	5.1	8.24	15.25!
120	832.1142	700	55.29	46.51	5	9.04	10.74j

Χρόνος σε min – Ροή σε l/min – Τιμές ισχύος σε kW

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ 6

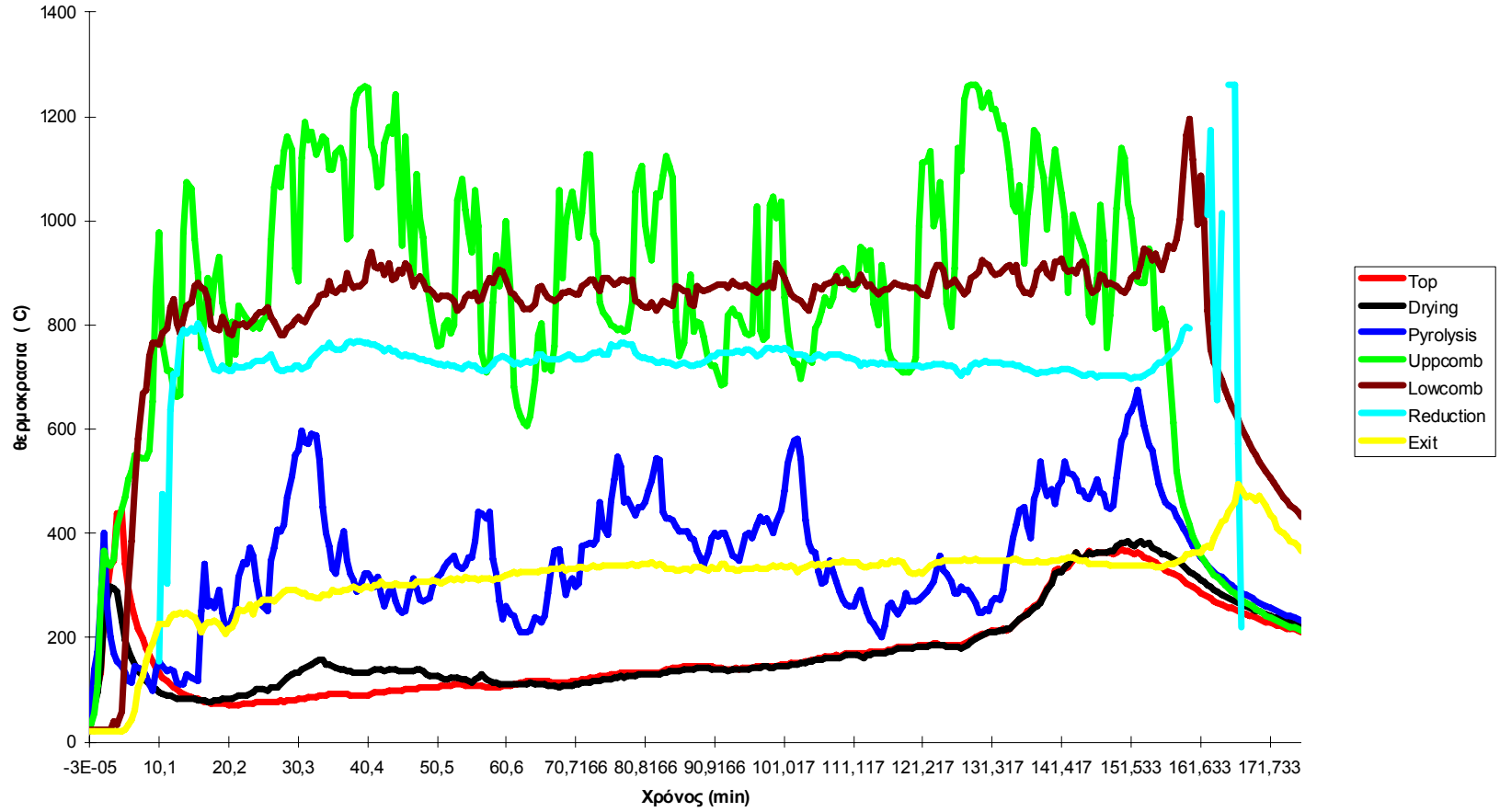
### ΕΙΔΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

ΧΡΟΝΟΣ	sfc*	sfc**
10	1.52	2.30
45	2.57	3.62
60	2.72	3.62
75	2.85	3.62
90	2.64	3.62
105	2.40	3.62
120	n/a	n/a

\* Τιμές σε l/kW-sec

\*\* Τιμές σε Kg/kW-hr

ΠΕΙΡΑΜΑ 7: ΠΡΟΦΙΛ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΖΩΝΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΟΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΤΗ



## ΠΕΙΡΑΜΑ 7

ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ: 140 min

ΦΟΡΤΙΟ ΞΥΛΟΥ: 30 Kg

ΦΟΡΤΙΟ ΞΥΛΟΚΑΡΒΟΥΝΟΥ: 1.5 Kg

ΠΑΡΟΧΗ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ ΣΤΟΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΤΗ: 400 l/min

### ΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΥΨΗ ΠΙΕΣΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	P <sub>1</sub> σε Pa	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>s</sub>	P <sub>g</sub> lb/in <sup>2</sup>
10	4500	64	65	73.5	74.2	76.5	0.8
30	5550	46	46.5	55.8	56.4	59.5	0.8
50	6200	34	34.6	41	41.8	43.8	0.95
65	6250	33	33.5	40.8	41.8	43.6	0.95
85	6500	28	28.5	36.5	37.2	41.2	1
105	6600	21	21.5	29	29.5	32	1
125	6500	30	30.5	39	39.5	41	1
140	6500	25	25.5	32	32.8	35	1

ΥΨΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ: 77.5 - Όλες οι τιμές σε cm H<sub>2</sub>O - Χρόνος σε min

### ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
10	162	96	63	57	52.5	25.7
30	190	137	96	54.3	53.8	40
50	205	157	118.5	54.8	53.8	46.7
65	213	162	124.5	54.8	53.1	48.4
85	227	171.6	131.5	56.1	54.5	47.6,
105	221	173	135	52	50	47
125	223	171	132	54.5	45	44
140	227	172	133	56	46.5	39.5

Όλες οι τιμές σε °C - Χρόνος σε min

### ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΕΡΙΟΥ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
10	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
30	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
50	23.88	14.71	2.16	11.07	1.37	46.81
65	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
85	28.38	11.31	1.15	8.55	2.2	48.4
105	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
125	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
140	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

% ογκομετρικές συστάσεις παραγόμενου αερίου - Χρόνος σε min

### ΠΑΡΟΧΕΣ ΑΕΡΑ ,ΣΤΡΟΦΕΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΚΑ Ι ΦΟΡΤΙΟ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ ΑΕΡΑ	ΠΑΡΟΧΗ ΠΑΡ. ΑΕΡΙΟΥ	ΠΑΡΟΧΗ Φ.ΑΕΡΙΟΥ	RPM	ΦΑΣΕΙΣ		
					1	2	3
10	1100+100	700 ± 20	0	1300	7	7	7
30	1300+100	550 + 20	0	1400	8	8	8
50	1450 ±100	550 ± 20	0	1300	8.	8.5	
65	1450+100	550 + 20	0	1500	9	9	8
85	1500+ 100	500 ± 20	0	1450	9	9	9
105	1500 ±100	500 + 20	0	1450	8	8	8
125	1450+50	500 + 20	0	1450	8	8	7.5
140	1000 + 50	500 + 20	0	1450	8	8.2	8

Όλες οι παροχές σε l/min - Χρόνος σε min - Οι φάσεις μετρώνται σε Amps



## ΠΕΙΡΑΜΑ 7

ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΠΙΣΣΑ ΠΟΥ ΣΥΛΛΕΓΗΣΑΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

ΣΥΣΚΕΥΗ	A	B	C	D	E
	-100	240	210	600	1400

Όλες οι τιμές σε gr

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ 7

### ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ ΚΑΘΕ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΚΑΘ. ΦΙΛΤΡΟ	ΚΥΚΛΩΝΑΣ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 2	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 3
10	3178	98.1	834	68.7	225.7
30	2360	49	912	58.86	304
50	1904	58	627	78.48	196
65	1858	49	716	98.1	177
85	1615	49	785	68.7	392
105	1015	49	736	49	245
125	1805	49	834	49	147
140	1350	49	637	78	215

Τιμές πίεσης σε Pa – Χρόνος σε min

### ΠΤΩΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΘΕ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΚΑΘ. ΦΙΛΤΡΟ	ΚΥΚΛΩΝΑΣ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 3
10	66	33	6	4.5	<b>26.8</b>
30	53	41	41.7	0.5	4.8
50	48	38.5	63.7	1	7.1
65	51	37.5	69.7	1.7	4.7
85	55.4	40.1	75.4	1.6	<b>6.9</b>
105	48	38	83	2	3
125	52	39	77.5	9.5	1
140	55	39	77	9.5	<b>7</b>

Οι τιμές σε °C - Χρόνος σε min

### ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ ΑΕΡΙΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΗΣ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ	ΑΠΟΔΟΣΗ %
50	5.095118	84.52237
85	4.043393	79.31144

Θερμογόνος δύναμη σε MJ/m<sup>3</sup>

### ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΣΧΥΟΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΡΟΗ ΑΕΡΙΟΥ	ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΡΟΗ ΑΕΡΙΟΥ	P <sub>th</sub> (ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ)	P <sub>m</sub> (ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΗ)	P <sub>out</sub>	η <sub>t</sub> h %	η <sub>m</sub> %
50	843.83	650	71.65	55.19	8.25	11.5	14.94
85	816.11	550	67.23	45.31	5.25	7.80	11.58

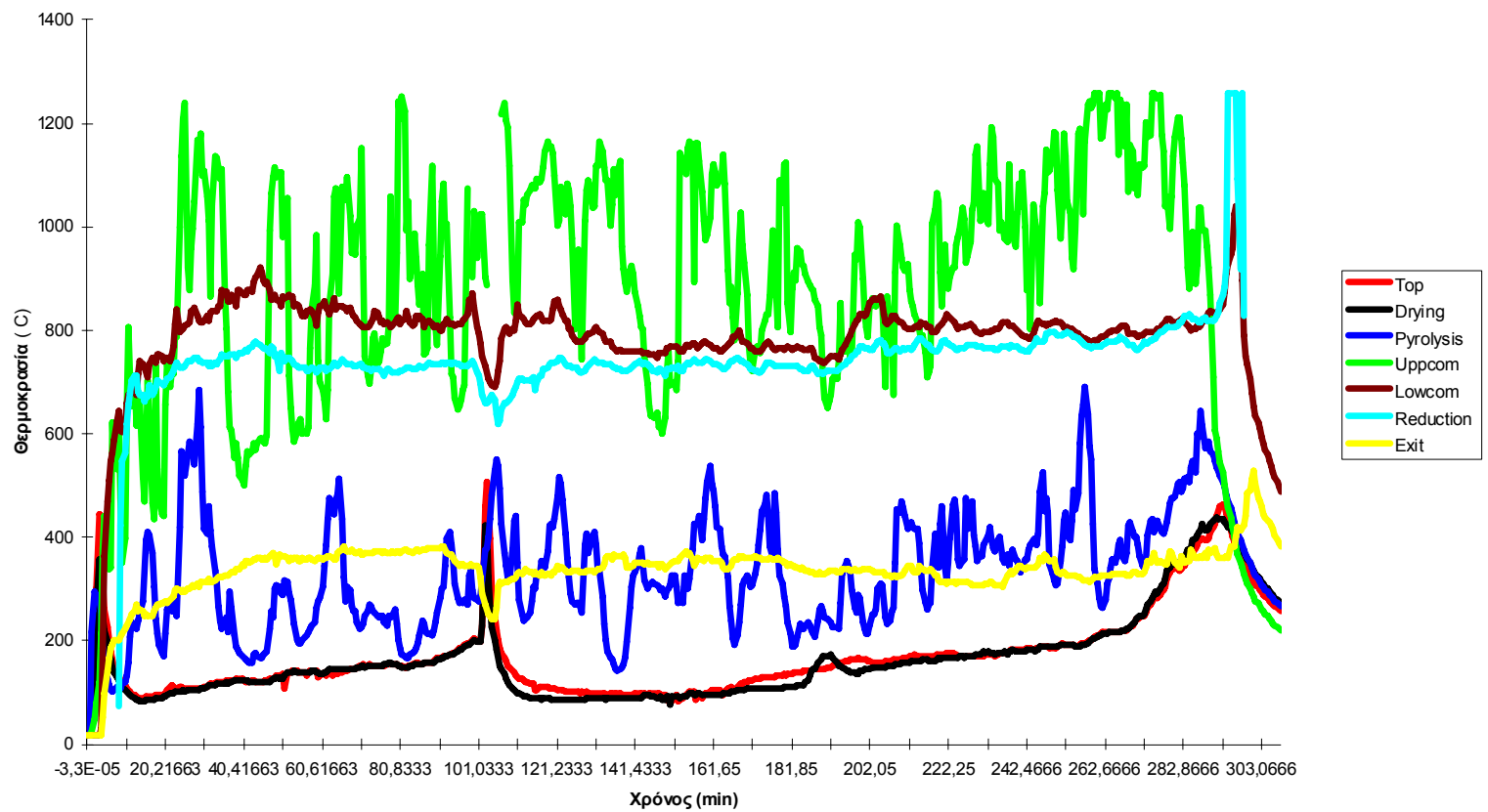
Χρόνος σε min – Ροή σε l/min – Τιμές ισχύος σε kW

### ΕΙΔΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

ΧΡΟΝΟΣ	sfc*	sfc**
50	1.70	2.30
85	2.59	3.62

\* Τιμές σε l/kW-sec    \*\* Τιμές σε Kg/kW-hr

### ΠΕΙΡΑΜΑ 8: ΠΡΟΦΙΛ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΖΩΝΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΟΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΤΗ



## ΠΕΙΡΑΜΑ 8

ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ : 240 min

ΦΟΡΤΙΟ ΞΥΛΟΥ: 70 Kg

ΦΟΡΤΙΟ ΞΥΛΟΚΑΡΒΟΥΝΟΥ: 2.5 Kg

ΠΑΡΟΧΗ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ ΣΤΟΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΤΗ: 400 l/min

### ΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΥΨΗ ΠΙΕΣΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	P <sub>1</sub> σε Pa	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>s</sub>	P <sub>g</sub> lb/in <sup>2</sup>
15	5200 Pa	60	61	73	74	78.5	0.8 lb/in <sup>2</sup>
30	5200	61	61.5	73	74	78.5	0.8
50	5200	57	57.5	67	67.8	70	0.8
70	5350	55	55.5	63	63.5	65	0.8
100	4100	55	55.5	63	63.5	65	0.6
120	3850	62.5	63.1	73.4	74	76.8	0.6
140	5200	47	47.5	56	56.8	58.5	0.8
160	5600	43.8	44.4	55	56	58.2	0.9
180	5250	46	46.5	56	57	59	0.9
200	5200	48	48.5	56	57	59	0.8
220	5100	50	50.5	58	58.5	60	0.8
240	4700	60	60.5	72	72.8	75	0.7

ΥΨΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ: 77.5 - Όλες οι τιμές σε cm H<sub>2</sub>O – Χρόνος σε min

### ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
15	215	155.5	110	57.5	57	50
30	238	180	138	58.5	56.5	49.5
50	245	189	147.5	60.5	53.5	48.7
70	230	187	144.5	59	49.1	44.5
100	220	163	125	50	43.8	40.5
120	230	176	139	54.5	52.6	45
140	228	171	141	60.5	52	47
160	231	176	142	60	52.2	49
180	244	169.5	146	62	54	48.5
200	222	170	140	59	47.5	44
220	234	171	135	55	45.3	40.5
240	260	176	147	57.5	43.3	37.7

Όλες οι τιμές σε °C

### ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΠΙΣΣΑ ΠΟΥ ΣΥΛΛΕΓΗΣΑΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

ΣΥΣΚΕΥΗ	A	B	C	D	E
	-77	140	190	770	2720

Όλες οι τιμές σε gr

## ΠΕΙΡΑΜΑ 8

### ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΕΡΙΟΥ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
30	17.10	13.2	1.91	15.92	4.61	47.22
50	24.94	14.35	2.29	15.09	1.31	42.02
100	14.43	9.84	0.93	14.06	8.67	52.07
140	21.95	14.23	2.46	17.07	1.87	42.39
160	23.52	14.67	2.71	17.73	1.62	39.74
200	27.47	14.45	2.71	13.91	1.19	40.93

% ογκομετρικές συστάσεις παραγόμενου αερίου - Χρόνος σε min

### ΠΑΡΟΧΕΣ ΑΕΡΑ ,ΣΤΡΟΦΕΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΚΑΙ Ι ΦΟΡΤΙΟ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ ΑΕΡΑ	ΠΑΡΟΧΗ ΠΑΡ. ΑΕΡΙΟΥ	ΠΑΡΟΧΗ Φ.ΑΕΡΙΟΥ	RPM	ΦΑΣΕΙΣ		
					1	2	3
15	1300 ±100	700 ±50	0	1550	8.5	8.5	8.5
30	1400 ±100	700 ±50	0	1500	8.7	8.5	8.5
50	1300 ±50	600 ±50	0	1400	8.5	8.5	8.0
70	1600 ±50	500 ±10	0	1500	8	8	8
100	1400 ± 100	550 ±20	0	1300	8	8	8
120	1200 ±100	600 ±50	0	1450	8.5	8.5	8.5
140	1500 ±100	500 ±50	0	1500	8	8	8
160	1500 ±50	500 ±10	0	1450	8	8	8
180	1450 ±50	550 ±20	0	1500	8.5	8.5	8.5
200	1500 ± 100	500 ± 10	0	1450	9	9	9
220	1500 ±50	500 ±20	0	1450	8.5	8.5	8
240	1400 ±50	550 ±30	0	1500	8.5	8.5	8

Όλες οι παροχές σε l/min - Χρόνος σε min - Οι φάσεις μετρώνται σε Amps

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ 8

### ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ ΚΑΘΕ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΚΑΘ. ΦΙΛΤΡΟ	ΚΥΚΛΩΝΑΣ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 1	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 2	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 3
15	3483	98.1	1177	98	441.5
30	3581	49	1128	98	441.5
50	3189	49	912	78	216
70	3143	49	735	49	147
100	1893	49	735	49	147
120	2378	59	1010	59	275
140	2208	49	814	78.5	167
160	2294	59	1039	69	216
180	3042	49	1275	98	275
200	2306	49	736	49	196
220	2402	49	736	78	147
240	2983	98	1128	98	215

Τιμές πίεσης σε Pa – Χρόνος σε min

### ΠΤΩΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΘΕ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΚΑΘ. ΦΙΛΤΡΟ	ΚΥΚΛΩΝΑΣ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 1	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 2	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 3
15	59.5	45.5	52.3	0.7	7
30	58	42	79.5	2	7
50	56	41.5	87	7	4.8
70	43	42.5	85	9.9	4.6
100	57	38	75	6.2	3.3
120	54	37	84.5	1.9	7.6
140	57	30	80.5	8.5	5
160	55	34	82	7.8	3.2
180	74.5	23	84.2	8	5.5
200	52	30	81	11.5	3.5
220	63	35.5	80.5	9.5	5
240	84	29	89.5	14.25	5.6j

Οι τιμές σε °C - Χρόνος σε min °C

### ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ ΑΕΡΙΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΗΣ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ	ΑΠΟΔΟΣΗ %
30	4.04	59.84554
50	5.22	86.95601
100	3.04	40.90996
140	4.91	81.04676
160	5.23	92.03847
220	5.68	97.051

Θερμογόνος δύναμη σε MJ/m<sup>3</sup>

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ 8

### ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΣΧΥΟΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΡΟΗ ΑΕΡΙΟΥ	ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΡΟΗ ΑΕΡΙΟΥ	$P_{th}$ (ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ)	$P_m$ (ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΗ)	$P_{out}$	$\eta_{th}$ %	$\eta_m$ %
30	836.51	650	56.38	43.81	6.5	11.	14.83
50	940.02	550	81.928	47.93	6.5	7.9	13.55
100	758.59	550	38.544	27.94	6	15.5	21.46
140	931.82	500	76.36	40.97	6	7.85	14.64
160	993.96	450	86.71	39.25	6	6.91	15.28
220	965.06	450	91.43	42.63	6.5	7.1	15.24

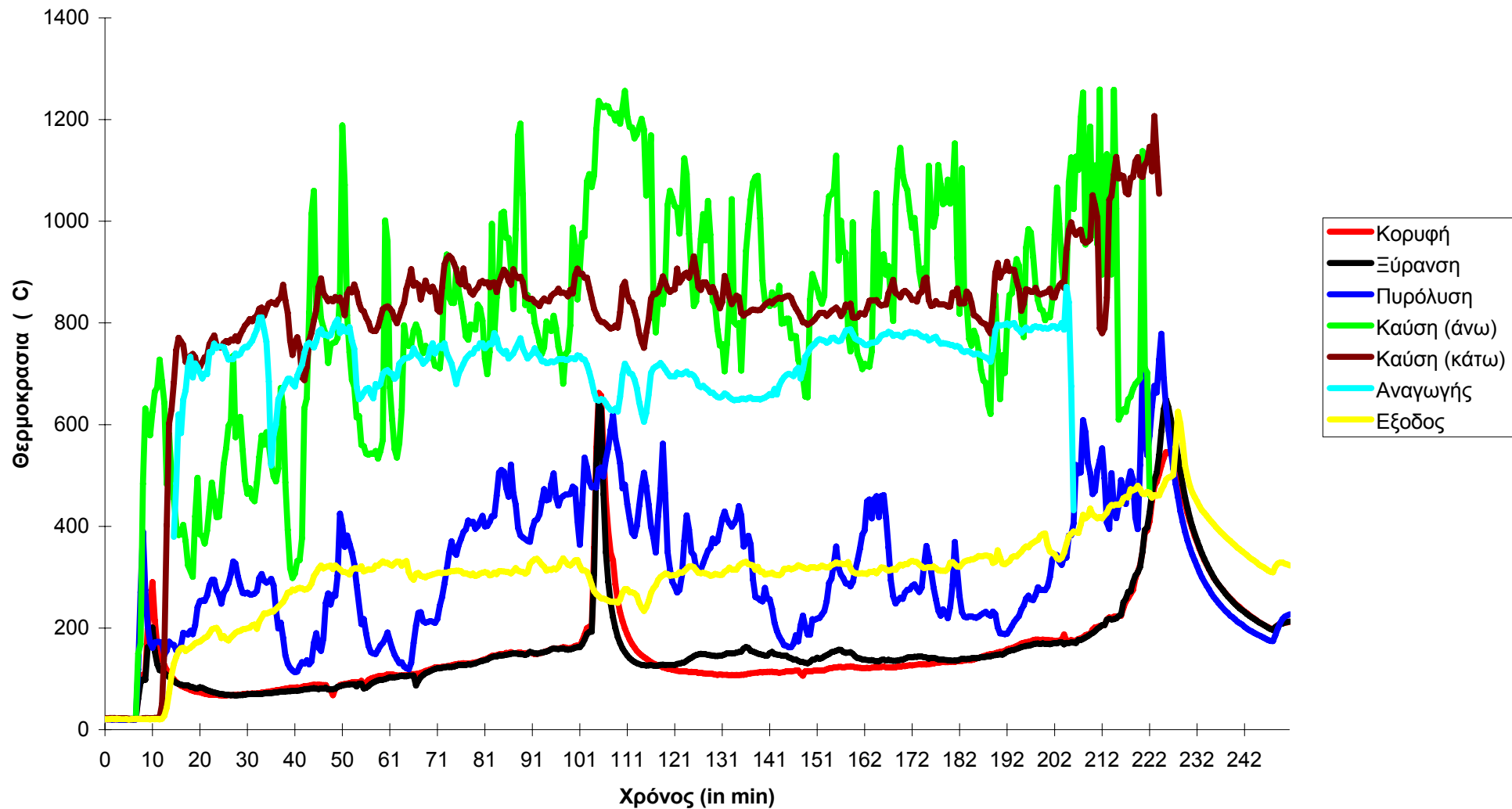
Χρόνος σε min – Ροή σε l/min – Τιμές ισχύος σε kW

### ΕΙΔΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

ΧΡΟΝΟΣ	sfc*	sfc**
30	2.14	3.26
50	2.41	3.26
100	2.11	3.53
140	2.59	3.53
160	2.76	3.53
220	2.47	3.26

\* Τιμές σε l/kW-sec    \*\* Τιμές σε Kg/kW-hr

### ΠΕΙΡΑΜΑ 9 - ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΤΩΝ ΖΩΝΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΟΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΤΗ





## ΠΕΙΡΑΜΑ 9

ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ: 180 min

ΦΟΡΤΙΟ ΞΥΛΟΥ: 60 Kg

ΦΟΡΤΙΟ ΞΥΛΟΚΑΡΒΟΥΝΟΥ: 0 Kg

ΠΑΡΟΧΗ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ ΣΤΟΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΤΗ: 400 l/min

### ΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΥΨΗ ΠΙΕΣΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	P <sub>1</sub> σε Pa	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	P <sub>a</sub> lb/in <sup>2</sup>
15	5000 Pa	54	55	72	73	76.5	0.6
30	5250	42	43	54	55	59.5	0.8
50	5300	30	31	39	40	43	0.9
70	5200	38.5	39	49	49.5	53	0.9
100	3500	56.5	56.5	64	64.5	65.8	0.5
120	4100	52	52.5	60	60.5	61.5	0.5
140	2600	63	63.5	70	70.8	73	1
160	2300	66	66.5	72	72.5	74	1.2

ΥΨΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ: 77.5 - Όλες οι τιμές σε cm H<sub>2</sub>O – Χρόνος σε min

### ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
15	195	126	81	60	57	36.5
30	235	163	127	60	57	49
50	230	170	135.5	56.2	53.5	47.5
70	220	165	134.5	55	53	47.5
100	187	143	108.5	50	46	36.2
120	212	165	125	52	51	43.5
140	198	160	123	51	50	42.3
160	206	157	122	50.9	47.5	41.5

Όλες οι τιμές σε °C

### ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΕΡΙΟΥ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
15	17.08	13.06	1.91	15.96	4.61	47.38
45	20.96	15.09	2.39	15.09	1.90	44.57
75	16.80	11.04	0.90	14.06	8.44	48.76
105	21.55	14.21	2.47	17.07	1.86	42.78
135	22.82	14.67	2.74	17.73	1.62	40.42
150	25.70	14.90	2.10	13.91	1.21	42.19

% ογκομετρικές συστάσεις παραγόμενου αερίου - Χρόνος σε min

### ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΠΙΣΣΑ ΠΟΥ ΣΥΛΛΕΓΗΞΑΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

ΣΥΣΚΕΥΗ	A	B	C	D	E
	-70	50	50	620	2000

Όλες οι τιμές σε gr

## ΠΕΙΡΑΜΑ 9

ΠΑΡΟΧΕΣ ΑΕΡΑ ,ΣΤΡΟΦΕΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΚΑ Ι ΦΟΡΤΙΟ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ  
ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ ΑΕΡΑ	ΠΑΡΟΧΗ ΠΑΡ. ΑΕΡΙΟΥ	ΠΑΡΟΧΗ Φ.ΑΕΡΙΟΥ	RPM	ΦΑΣΕΙΣ		
					1	2	3
15	1500 ±100	700 ±50	0	1500	8	8	8
30	1600 ± 100	600 ±20	0	1500	8.5	8.5	8.5
50	1600 ±100	550 ±10	0	1500	8	8	8
70	1600 ± 100	550 ±20	0	1500	8	8	8
100	1600 ± 100	560 ±20	0	1500	8	8	8
120	1700 ± 100	450 ±10	0	1500	8	8	8
140	1600 ±50	500 ± 10	0	1500	8	8	8
160	1600 ±50	500 ±20	0	1500	8	8	8

Όλες οι παροχές σε l/min - Χρόνος σε min - Οι φάσεις μετρώνται σε Amps

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ 9

### ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ ΚΑΘΕ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΚΑΘ. ΦΙΛΤΡΟ	ΚΥΚΛΩΝΑΣ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 1	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 2	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 3
15	2694	98	1668	98	343
30	1767	98	1079	98	441.5
50	640	49	785	98	294
70	1374	49	981	49	343
100	1439	49	687	49	128
120	1598	49	736	49	98
140	1177	49	638	78	215
160	1171	49	540	49	147.2

Τιμές πίεσης σε Pa – Χρόνος σε min

### ΠΤΩΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΘΕ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΚΑΘ. ΦΙΛΤΡΟ	ΚΥΚΛΩΝΑΣ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 1	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 2	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 3
15	69	45	21	3	20.5
30	72	36	67	3	8
50	60	34.5	79	2.5	6.2
70	55	30.5	79.5	2	5.5
100	44	34.5	58.5	4	9.8
120	47	40	73	1	7.5
140	38	37	72	1	7.7
160	49	35	71	3.4	6

Οι τιμές σε °C - Χρόνος σε min °C

### ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ ΑΕΡΙΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΗΣ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ	ΑΠΟΔΟΣΗ %
15	4.02	61.43
45	4.86	8.84
75	3.44	51.06
105	4.87	82.28
135	5.16	92.28
150	5.31	90.99

Θερμογόνος δύναμη σε MJ/m<sup>3</sup>

### ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΣΧΥΟΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΡΟΗ ΑΕΡΙΟΥ	ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΡΟΗ ΑΕΡΙΟΥ	P <sub>th</sub> (ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ)	P <sub>m</sub> (ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΗ)	P <sub>out</sub>	n <sub>t</sub> %	n <sub>m</sub> %
15	666.94	650	44.77	43.63	8.2	18.	18.90
45	708.99	550	57.45	44.57	5.2	9.1	11.77
75	648.07	500	37.20	28.70	5.2	14.	18.2
105	738.66	500	59.95	40.58	5.2	8.7	12.93
135	781.79	500	67.24	43.00	5.25	7.8	12.20
150	748.99	500	66.31	44.26	5.2	7.9	11.85

Χρόνος σε min – Ροή σε l/min – Τιμές ισχύος σε kW

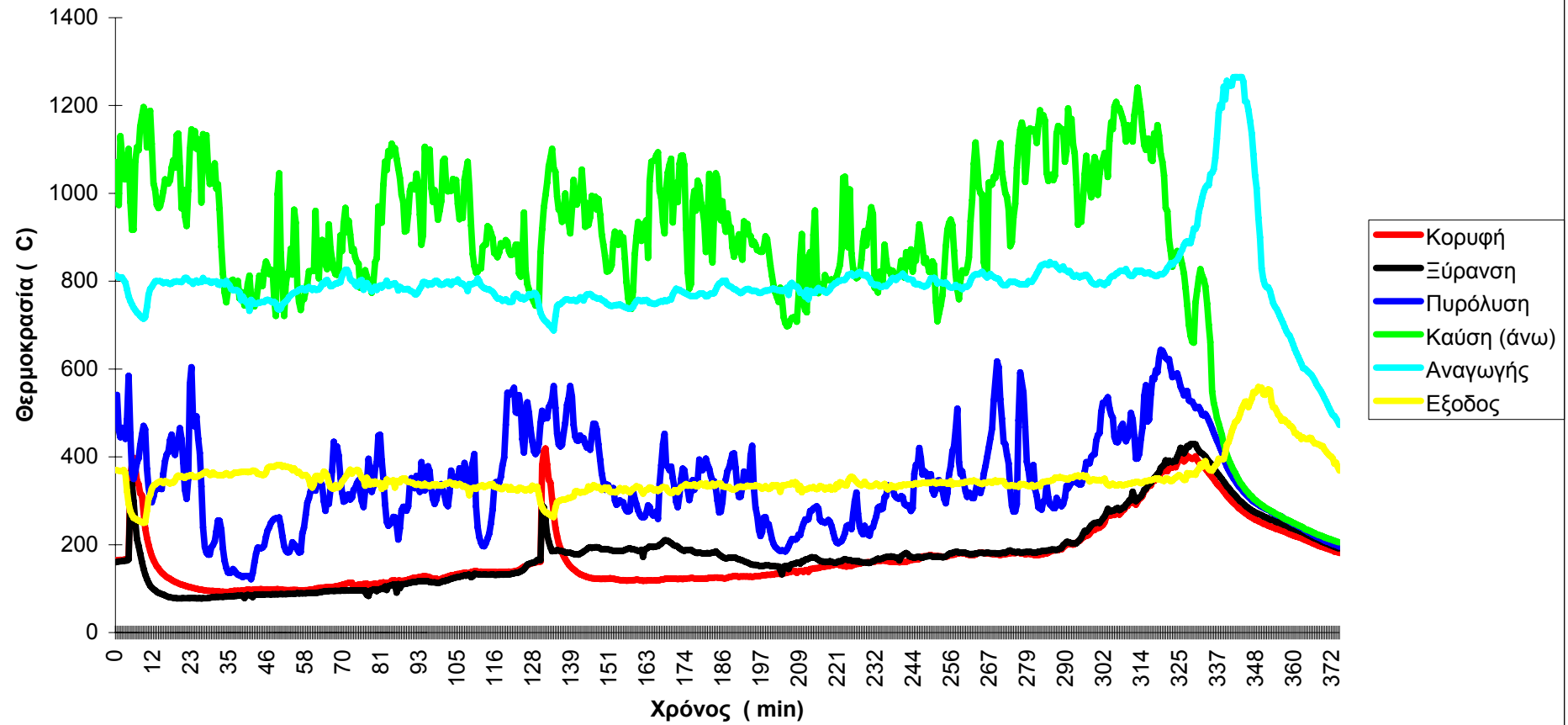
## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ 9

### ΕΙΔΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

ΧΡΟΝΟΣ	sfc*	sfc**
15	1.34	1.98
45	2.25	3.11
75	2.05	3.11
105	2.34	3.11
135	2.48	3.11
150	2.37	3.11

\* Τιμές σε l/kW-sec    \*\* Τιμές σε Kg/kW-hr

### ΠΕΙΡΑΜΑ 10 - ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΤΩΝ ΖΩΝΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΟΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΤΗ



## ΠΕΙΡΑΜΑ 10

ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ : 400 min

ΦΟΡΤΙΟ ΞΥΛΟΥ: 80 KG

ΦΟΡΤΙΟ ΞΥΛΟΚΑΡΒΟΥΝΟΥ: 3 Kg

ΠΑΡΟΧΗ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ ΣΤΟΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΤΗ: 400 l/min

### ΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΥΨΗ ΠΙΕΣΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	P <sub>1</sub> σε Pa	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	P <sub>a</sub> lb/in <sup>2</sup>
20	4600	61	61.8	75	76	76.5	0.3
45	4500	58	58.5	67.5	68	71	0.3
65	4450	62	62.5	74.5	75	76.5	0.4
85	4400	61.5	62	71.8	72.2	75	0.4
105	3200	66	66.5	74.5	75	76	0.1
125	3400	65	65.9	73.5	74	76.8	0.6
145	3820	62.5	63	72.5	73	76	0.6
165	5000	58	59	75	76	77.5	0.8
185	5100	58	58.5	73.5	74	73	0.5
205	4650	54	54.5	61.5	62	64	0.5
235	3300	65	65.5	73.5	74	75.5	0.1
255	4300	50	56.5	65.5	66.2	68.8	0.2
285	5000	44	44.5	53	53.5	55	0.5
305	5200	43	43.5	53	53.5	57	0.5
330	6000	25	25.5	33.5	34	36	0.9
350	5200	45	45.5	55.2	55.8	59	0.5
370	5300	45	45.5	55	55.4	58	0.5
390	5000	45	45.4	56.5	57	58.5	0.5

ΥΨΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ: 77.5 - Όλες οι τιμές σε cm H<sub>2</sub>O – Χρόνος σε min

### ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
20 J	241	175.5	128	58	5/	51.5
45	245	184	139	58	55	48S
65	240	185	146	59	57.5	52
85	234	175.5	145	58	51	46
105	210	154	121	49	41	40.3
125	230	170	130	53	49	40.8
145	230	177	142	62	59	51.6
165	230	183	145	63	50	47
185	237	183	140	63	51	46
205	220	170	140	61	50.5	45.5
235	212	155	125	51	47	43.5
255	220	160	130	55	52	46
285	218	165	132	57	49	44.5
305	219	169	135	56	53	46
330	215	167	138	59.5	49.5	46.5
350	200	170	137	59	47	45
370	225	171	139	60	47	43
390	230	172	140	58	47	40

Όλες οι τιμές σε °C

### ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΠΙΣΣΑ ΠΟΥ ΣΥΛΛΕΓΗΣΑΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

ΣΥΣΚΕΥΗ	A	B	C	D	E
	-150	0	300	700	2850

Όλες οι τιμές σε gr

## ΠΕΙΡΑΜΑ 10

### ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΕΡΙΟΥ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
20	8.87	6.40	1.18	7.75	12.36	63.43
45	20.25	13.19	2.69	17.79	2.04	43.81
135	20.68	13.5	2.28	16.01	2.53	44.94
165	24.51	13.71	2.21	14.67	1.69	43.21
210	24.63	13.42	1.93	14.73	1.31	43.98
260	24.32	13.93	2.25	15.52	1.28	42.7
335	26.07	12.91	1.87	14.18	1.21	43.76

% ογκομετρικές συστάσεις παραγόμενου αερίου - Χρόνος σε min

### ΠΑΡΟΧΕΣ ΑΕΡΑ ,ΣΤΡΟΦΕΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΚΑ Ι ΦΟΡΤΙΟ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ ΑΕΡΑ	ΠΑΡΟΧΗ ΠΑΡ. ΑΕΡΙΟΥ	ΠΑΡΟΧΗ Φ.ΑΕΡΙΟΥ	RPM	ΦΑΣΕΙΣ		
					1	2	3
20	1300 ±100	700 ± 20	0	1450	8.5	8.5	8.5
45	1500 ±100	500 ± 50	0	1500	8	8	8
65	1500 ± 50	550 ± 30	0	1500	8	8	8
85	1600 ±100	500 ± 20	0	1500	8	8	8
105	1600 ±100	500 ± 20	0	1500	8	8	8
125	1500 ±100	500 ± 50	0	1500	8	7.5	7.5
145	1500 ±100	550 + 50	0	1500	8	8	7.5
165	1100 ±100	500 + 50	0	1500	11	11	11
185	1600 ±100	550 ± 50	0	1500	8	8	8
205	1600 ±100	550 ± 50	0	1500	8	8	8
235	1500 ±100	600 ± 20	0	1500	8	8	8
255	1700 ±100	500 ± 20	0	1500	8	8	8
285	1700 ±100	550 ± 20	0	1500	7.5	7.5	7.5
305	1700 ±100	480 ± 20	0	1500	8	8	8
330	1750	550 ± 30	0	1500	8	8	8
350	1600 ±100	500 ± 30	0	1500	7.5	7.5	7.5
370	1600 ±100	500 ± 30	0	1500	7.5	7.5	7.5
390	1600 +100	500 ± 30	0	1500	7.5	7.5	7.5

Όλες οι παροχές σε l/min - Χρόνος σε min - Οι φάσεις μετρώνται σε Amps

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ 10

### ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ ΚΑΘΕ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΚΑΘ. ΦΙΛΤΡΟ	ΚΥΚΛΩΝΑΣ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 1	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 2	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 3
20	2981.35	78.48	1294.92	98.1	49.05
45	2587.05	49.05	882.9	49.05	294.3
65	2929.45	49.05	1177.2	49.05	147.15
85	2830.4	49.05	961.38	39.24	274.68
105	2071.85	49.05	784.8	49.05	98.1
125	2173.75	88.29	745.56	49.05	274.68
145	2348.5	49.05	931.95	49.05	294.3
165	3087.05	98.1	1569.6	98.1	392.4
185	3187.05	49.05	1471.5	49.05	196.2
205	2344.65	49.05	686.7	49.05	196.2
235	2073.75	49.05	784.8	49.05	147.15
255	1602.25	637.65	882.9	68.67	255.06
285	1713.65	49.05	833.85	49.05	343.35
305	1815.55	49.05	931.95	49.05	343.35
330	849.75	49.05	784.8	49.05	196.2
350	2011.75	49.05	951.57	58.86	313.92
370	2111.75	49.05	931.95	39.24	255.05
390	1811.75	39.24	1088.91	49.05	147.15

Τιμές πίεσης σε Pa – Χρόνος σε min

### ΠΤΩΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΘΕ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΚΑΘ. ΦΙΛΤΡΟ	ΚΥΚΛΩΝΑΣ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 1	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 2	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 3
20	65.5	35	70	1	55
45	61	47.5	81	3	6.5
65	55	45	87	1.5	5.5
85	58.5	39	87	7	5
105	56	30.5	72	8	0.7
125	60	33	77	4	8.2
145	53	40	80	3	7.4
165	47	35	82	13	3
185	54	38	77	12	5
205	50	43	79	10.5	5
235	57	30	74	4	3.5
255	60	30	75	3	6
285	53	30	75	8	4.5
305	50	33	79	3	7
330	48	34	78.5	10	3
350	30	29	78	12	2
370	54	33	79	13	4
390	58	32	82	11	7

Οι τιμές σε °C - Χρόνος σε min °C



## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ 10

### ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ ΑΕΡΙΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΗΣ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ	ΑΠΟΔΟΣΗ
20	2.11	24.31
45	4.71	78.41
135	4.65	75.53
165	5.08	85.74
210	4.97	82.41
260	5.09	86.99
335	5.07	84.48

Θερμογόνος δύναμη σε MJ/m<sup>3</sup>

### ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΣΧΥΟΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΡΟΗ ΑΕΡΙΟΥ	ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΡΟΗ ΑΕΡΙΟΥ	P <sub>th</sub> (ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ)	P <sub>m</sub> (ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΗ)	P <sub>out</sub>	η <sub>th</sub> %	η <sub>m</sub> %
20	498.18	700.00	17.57	24.69	5.00	28.45	20.25
45	721.29	500.00	56.69	39.30	6.00	10.58	15.27
135	703.15	500.00	54.60	38.83	6.00	10.99	15.45
165	731.31	700.00	61.98	59.33	8.50	13.71	14.33
210	718.50	550.00	59.58	45.60	6.00	10.07	13.16
260	740.04	500.00	62.89	42.49	6.00	9.54	14.12
335	722.123	480	61.08	40.60	6.00	9.82	14.78

Χρόνος σε min – Ροή σε l/min – Τιμές ισχύος σε kW

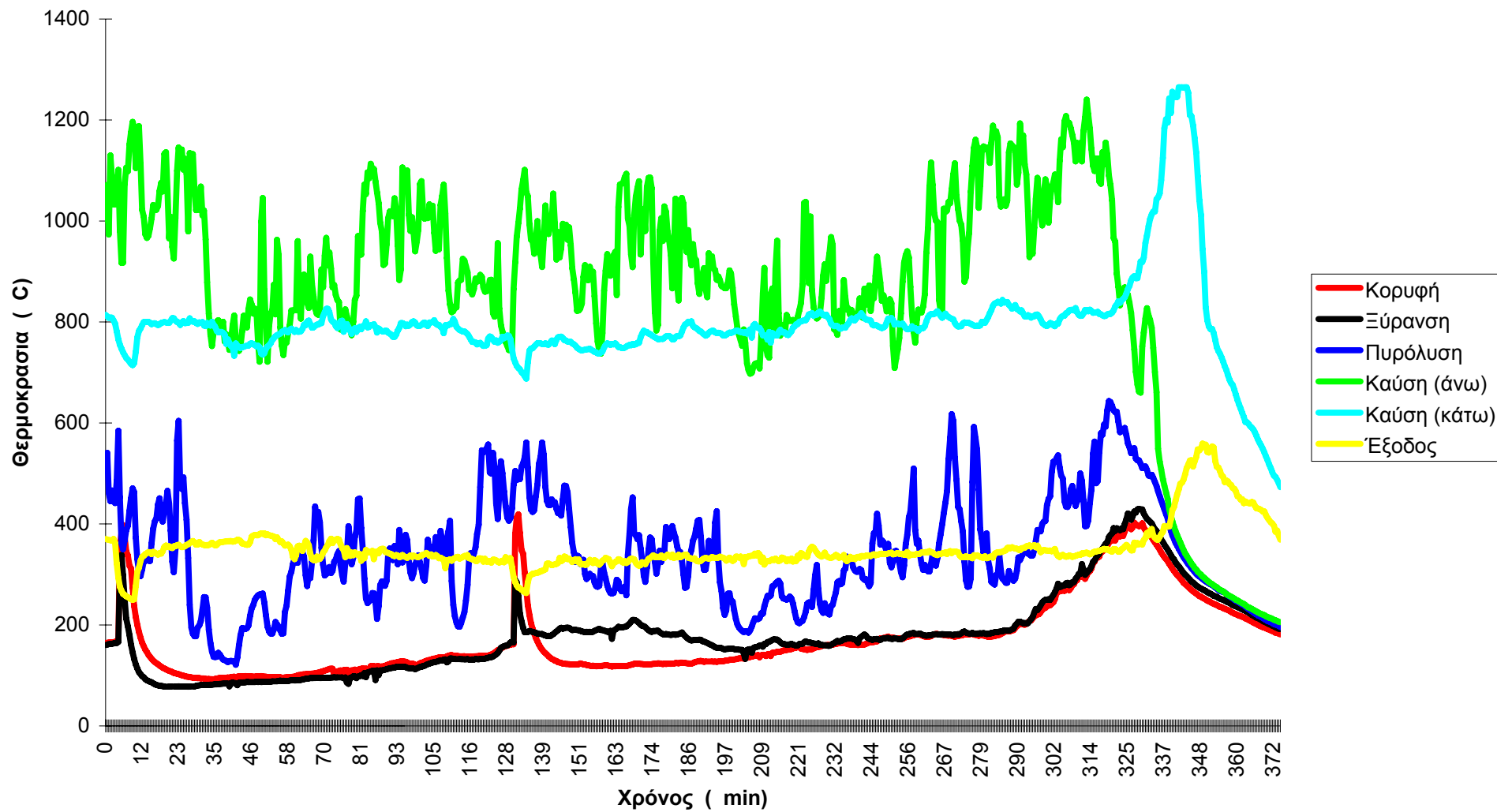
### ΕΙΔΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

ΧΡΟΝΟΣ	sfc*	sfc**
20	1.66	3.25
45	2.00	2.71
135	1.95	2.71:
165	1.43	1.91
210	2.00	2.71
260	2.06	2.71
335	2.01	2.71

\* Τιμές σε l/kW-sec

\*\* Τιμές σε Kg/kW-hr

### ΠΕΙΡΑΜΑ 11 : ΠΡΟΦΙΛ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΖΩΝΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΟΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΤΗ



## ΠΕΙΡΑΜΑ 11

ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ: 310 min

ΦΟΡΤΙΟ ΞΥΛΟΥ: 65 Kg

ΦΟΡΤΙΟ ΞΥΛΟΚΑΡΒΟΥΝΟΥ: 2.8 Kg

ΠΑΡΟΧΗ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ ΣΤΟΝ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΤΗ :400 l/min (350 l/min μετα την ενδιάμεση τροφοδότηση)

### ΠΙΕΣΗ ΚΑΙ ΥΨΗ ΠΙΕΣΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	P <sub>1</sub> σε Pa	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	P <sub>g</sub> lb/in <sup>2</sup>
25	4050	51	51.5	66	66.5	70	0.2
45	3400	58.5	59	70.5	71.2	73	0.1
65	6300	21	21.5	31	31.5	34	0.8
90	6200	21.5	22	31.5	32	35	0.8
115	2300	62	62.5	72	72.5	74.5	0.1
135	2900	58	58.5	69	69.8	72.2	0.2
155	4200	44	44.5	54	55	57	0.2
175	4150	45.5	46	58	58.8	60.2	0.2
195	5600	25	25.5	35	36	38	0.8
215	5400	28	28.5	38	38.5	40	0.9
235	4350	41	41.5	52	52.8	55	0.5
255	5000	40	40.5	50	50.5	51	0.5
280	4700	37	37.5	48	48.8	51.2	0.2
300	3000	58	59	72.8	73.4	75	0.8
315	7000	23	24	46	47	52	1

ΥΨΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ: 77.5 - Όλες οι τιμές σε cm H<sub>2</sub>O – Χρόνος σε min

### ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>
25	158	98	67	54.5	53.5	44.5
45	175	127	97	54	51	44
65	196	148	115	50.6	50	45
90	205	151	121	51.5	51	45.2
115	200	148	111	40.4	40	37
135	210	157	120	48.7	46.5	46.5
155	212	163	126	55.5	52.5	43.5
175	210	161	129	53.5	51.8	43.2
195	220	163	126	55.5	52.2	43.2
215	210	160	124	54.5	52.2	45
235	215	162	124	51	45	42
255	210	160	123	50	43.9	39.4
280	215	159	125	50	41	37
300	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
315	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

Όλες οι τιμές σε °C

### ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΠΙΣΣΑ ΠΟΥ ΣΥΛΛΕΓΗΣΑΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

ΣΥΣΚΕΥΗ	A	B	C	D	E
	-150	0	300	800	2770

Όλες οι τιμές σε gr

## ΠΕΙΡΑΜΑ 11

### ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΕΡΙΟΥ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
200	23.03	13.95	3.36	18.49	1.58	39.59
230	24.81	13.99	2.53	16.05	2.16	40.45
260	24.82	13.1	1.67	14.67	1.63	44.11
290	25.96	12.74	2.07	12.18	1.85	45.21
314	18.14	9.00	0.17	11.88	1.58	59.22

% ογκομετρικές συστάσεις παραγόμενου αερίου - Χρόνος σε min

### ΠΑΡΟΧΕΣ ΑΕΡΑ ,ΣΤΡΟΦΕΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΚΑ Ι ΦΟΡΤΙΟ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΠΑΡΟΧΗ ΑΕΡΑ	ΠΑΡΟΧΗ ΠΑΡ. ΑΕΡΙΟΥ	ΠΑΡΟΧΗ Φ.ΑΕΡΙΟΥ	RPM	PHASES		
					1	2	3
25	1600 ±100	550 ±20	0	1500	8	8	8
45	1500 ±100	600 ±20	0	1500	8	8	8
65	1800 +100	500 ± 10	0	1500	8.5	8.5	8.5
90	1700 ±100	550 ± 10	0	1500	8	8	8
115	1600 ±100	600 ±20	0	1500	8	8	8
135	1600 +100	550 ±20	0	1500	8	8	8
155	1600 ±100	500 ±20	0	1500	8	8	8
175	1600 ±100	550 ±20	0	1500	8	7.5	7.5
195	1500 ±100	550 ± 20	0	1500	7.5	7.5	7,5
215	1500 ±20	500 ±20	0	1500	8	8	7.8
235	1500 ±50	550 ±50	0	1500	8	8	8
255	1600 +50	550 ±20	0	1500	8.	8.5	8
280	1550 ±100	550 ±20	0	1500	8.2	8.2	8
300	1300 ±100	650 i 20	0	1500	8.5	8.5	8
315	1000 ± 100	800 ±20	0	1500	8	8	8

Όλες οι παροχές σε l/min - Χρόνος σε min - Οι φάσεις μετρώνται σε Amps

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ 11

### ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ ΚΑΘΕ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΚΑΘ. ΦΙΛΤΡΟ	ΚΥΚΛΩΝΑΣ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 1	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 2	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 3
25	1450.35	49.05	1422.45	49.05	343.35
45	1536.1	49.05	1128.15	68.67	176.58
65	757.35	49.05	931.95	49.05	245.25
90	706.4	49.05	931.95	49.05	294.3
115	779.45	49.05	931.95	49.05	196.2
135	987.05	49.05	1030.05	78.48	235.44
155	913.65	49.05	931.95	98.1	196.2
175	1010.8	49.05	1177.2	78.48	137.34
195	449.75	49.05	931.95	98.1	196.2
215	544.05	49.05	931.95	49.05	147.15
235	769.35	49.05	1030.05	78.48	215.82
255	1321.25	49.05	931.95	49.05	49.05
280	726.95	49.05	1030.05	78.48	235.44
300	1087.05	98.1	1353.78	58.86	156.96
315	1653.55	98.1	2158.2	98.1	490.5

Τιμές πίεσης σε Pa – Χρόνος σε min

### ΠΤΩΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΘΕ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΣΤΙΓΜΕΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΚΑΘ. ΦΙΛΤΡΟ	ΚΥΚΛΩΝΑΣ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 2	ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ 3
25	60	31	12.5	1	9
45	48	30	43	3	7
65	48	33	64.4	0.6	5
90	54	30	69.5	0.5	5.8
115	52	37	70.6	0.4	3
135	53	37	71.3	2.2	0
155	49	37	70.5	3	9
175	49	32	75.5	1.7	5.8
195	57	37	70.5	3.3	9
215	50	36	69.5	2.3	7.2
235	53	38	73	6	3
255	50	37	73	6.1	4.5
280	56	34	75	9	4
300	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
315	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

Οι τιμές σε °C - Χρόνος σε min °C

### ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ ΑΕΡΙΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΗΣ ΑΕΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ	ΑΠΟΔΟΣΗ %
200	5.32	95.62
230	5.25	92.45
260	4.87	78.62
290	5.11	80.41
314	3.14	37.81

Θερμογόνος δύναμη σε MJ/m<sup>3</sup>

# ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ 11

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΙΣΧΥΟΣ

ΧΡΟΝΟΣ	ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΡΟΗ ΑΕΡΙΟΥ	ΜΕΤΡΗΜΕΝΗ ΡΟΗ ΑΕΡΙΟΥ	$P_{th}$ (ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ)	$P_m$ (ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΜΕΤΡΟΥΜΕΝΗ)	$P_{out}$	$\eta_{th}$ %	$\eta_m$ %
200	698.40	650	61.96	57.66	6	9.6	10.4
230	683.56	550	59.90	48.20	6	10.0	12.44
260	626.84	500	50.94	40.63	6	11.7	14.76
290	611.59	500	52.10	42.60	6	11.51	14.08
314	466.90	500	24.50	26.24	6	24.4	22.8

Χρόνος σε min – Ροή σε l/min – Τιμές ισχύος σε kW

## ΕΙΔΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

ΧΡΟΝΟΣ	sfc*	sfc**
200	1.94	2.42
230	1.89	2.42
260	1.741	2.42
290	1.69	2.42
314	1.29	2.42

\* Τιμές σε l/kW-sec

\*\* Τιμές σε Kg/kW-hr