ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΠΕΡΑΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Κατασκευή αεριοποιητή βιομάζας μικρής κλίμακας για οικιακή χρήση

Τομέας: Θερμότητας

Επιβλέπων: Σωτήριος Καρέλλας, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα 2021

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη (Abstract) 5
Ευχαριστίες 6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ 7
1.1 Πλαίσιο – Σκοπός διπλωματικής εργασίας 7
1.1.1 Σκοπός εργασίας 7
1.1.2 Οριοθέτηση της εργασίας και βιβλιογραφίας 7
1.1.3 Διάρθρωση της εργασίας 8
1.2Βιομάζα 9
1.3 Αεριοποίηση βιομάζας 10
1.3.1 Ορισμός -βασικά χαρακτηριστικά 10
1.3.2 Αεριοποίηση αντί για καύση 10
1.3.3 Ιστορική αναδρομή 11
1.4Αεριοποιητές Βιομάζας & Αεριοποιητές Βιομάζας Μικρής Κλίμακας 12
1.4.1ΑεριοποιητέςΟμορροής (DowndraftGasifier) 14
1.4.2 Τα στάδια της αεριοποίησηςεντός ΑΒ ομορροής 16
Κεφάλαιο 2. Σχεδιασμός της Οικιακής Μονάδας Παραγωγής Ενέργειας από Βιομάζα 19
2.1 Αρχές & Κριτήρια σχεδιασμού 19
2.2 Παρουσίαση Σχεδίων ΟΜΠΕΒ 20
2.2.1 Σχέδιο ΟΜΠΕΒ 23
2.2.3 Λογική σχεδιασμού 28
2.2.4 Επισημάνσεις 29
2.3 Εισαγωγή στην αξιολόγηση απόδοσης ΑΒ 29
2.3.1 Κριτήρια απόδοσης ΑΒ μικρής κλίμακας 30
2.3.2 Επεξήγηση των κριτηρίων απόδοσης ΑΒΜΚ 30
Κεφάλαιο 3. Κατασκευή του Αεριοποιητή Βιομάζας 35
3.1Εισαγωγή στα σχέδια της τελικής κατασκευής και τον τύπο ΑΒ 35
3.2 Παρουσίαση και περιγραφή σχεδίων 38
3.3 Κόστος υλικών 42

3.4Επιλογή υλικών κατασκευής-Μεταλλικά μέρη εστίας (Heart) ΑΒ 43
3.5Διαστασιολόγηση βασικών τμημάτων ΑΒ 45
3.5.1Δεξαμενή καυσίμου 45
3.5.2 Κώνος - Λαιμός 46
3.5.3 Φλογοσωλήνας.....53
3.5.4 Σχάρα 57
3.5.5 Κώνος.....58
3.5.6 Ακροφύσια παροχής αέρα 58
3.5.7 Ανεμιστήρας- απαγωγός 59
3.5.8 Αγωγός εισόδου αέρα 59
3.5.9 Αγωγός εξόδου ΑΣ 60
3.5.10 Φίλτρο 62
3.6 Ηλεκτρολογικός και μετρητικός εξοπλισμός 63
3.6.1 Ηλεκτρικός εξοπλισμός 63
3.6.2 Μετρητικός Εξοπλισμός 65
Κεφάλαιο 4. Πειραματική Λειτουργία Αεριοποιητή Βιομάζας 67
4.1 Πλαίσιο - Σκοπός πειραμάτων 68
4.2 Διάρθρωση πειραματικής διαδικασίας 68
4.3 Χαρακτηριστικά καυσίμου 70
4.3.1Ονομαστικές τιμές.....70
4.3.2Μετρηθείσες τιμές 70
4.3.3Γιατί πέλλετ 71
4.4.Δοκιμαστικό στάδιο 72
4.4.1 Διαδικασία δοκιμαστικού σταδίου 72
4.4.2 Αρχικές Δοκιμές και αλλαγές εξοπλισμού 74
4.4.3 Γενικά συμπεράσματα δοκιμαστικού σταδίου 84
4.5 Πειραματικό στάδιο 86
4.5.1Παράμετροι που μετρήθηκαν. 86
4.5.2 Αλλαγές στην μεθοδολογία σε σχέση με το δοκιμαστικό στάδιο 90
4.6 Περιγραφή και αποτελέσματα των τριών πειραματικών λειτουργιών του ΑΒ 90
4.6.1 Πειραματική λειτουργία 1η 91

4.6.2 Πειραματική λειτουργία 2η 95
4.6.3 Πειραματική λειτουργία 3η 99
4.7 Ζεύξη ΑΒ με ηλεκτρογεννήτρια 111
5. Συμπεράσματα - προτάσεις μελλοντικής εξέλιξης 119
5.1 Συμπεράσματα 119
5.2Προτάσεις εξέλιξης 122
Συντομεύσεις 128
Λίστα Εικόνων 128
Λίστα Πινάκων 130
Βιβλιογραφία 131
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ (Appendix) ..... **Error! Bookmark not defined.**

Σύνοψη

Αυτή η εργασία χωρίζεται ουσιαστικά σε τρία μέρη. Το πρώτο μέρος αφορά στη σύλληψη και τον σχεδιασμό μιας μονάδας αεριοποίησης Βιομάζας η οποία θα μπορούσε να καλύψει, τις ενεργειακές ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια και ζεστό νερό μιας οικίας στην επαρχία. Η μονάδα αυτή αποτελείται από τον αεριοποιητή βιομάζας, κυκλώνα αποκονίωσης, φίλτρο, δίδυμους εναλλάκτες θερμότητας, απαγωγό και τέλος ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος στο οποίο καταλήγει το παραγόμενο Αέριο Σύνθεσης. Στο δεύτερο μέρος γίνεται βιβλιογραφική μελέτη, διαστασιολόγηση, σχεδιασμός και κατασκευή του κεντρικού μέρους αυτής που είναι ο Αεριοποιητής Βιομάζας Μικρής Κλίμακας (ΑΒ - ΜΚ). Με βάση σχετικές βιβλιογραφικές αναφορές και βασικούς υπολογισμούς γίνεται η διαστασιολόγηση και η επιλογή υλικών κατασκευής. Ακολουθεί η κατασκευή και αναφορά στο συνολικό κόστος υλικών αλλά και στο εκτιμόμενο κόστος κατασκευής. Στο τρίτο και τελευταίο μέρος διενεργούνται μικρής κλίμακας και έκτασης πειραματικές / δοκιμαστικές λειτουργίες προκειμένου να εξαχθούν βασικές παρατηρήσεις, διαπιστώσεις και συμπεράσματα σε σχέση με τις κύριες παραμέτρους λειτουργίας του ΑΒ. Επίσης, γίνεται προσπάθεια ζεύξης και λειτουργίας ηλεκτρογεννήτριας με το παραγόμενο ΑΣ από τον ΑΒ. Οι παράμετροι λειτουργίας που καταγράφηκαν σε συνδυασμό με αντίστοιχες παρατηρήσεις σχετικές με κριτήρια επίδοσης του ΑΒ-ΜΚ και σημαντικές διαπιστώσεις πάνω στα προηγούμενα, αφέθηκαν ως παρακαταθήκη για εξέλιξη της διάταξης του ΑΒΜΚ υπό τη μορφή συμπερασμάτων και προτάσεων βελτίωσης.

Abstract

This thesis is consisted of three main parts. In the first part is presented an original design of a biomass gasifing unit coupled with an electric generator that could cover the energy needs, in form of electricity and hot water, of a provicial residence. This uniy is consisted of a biomass gasifier, a cyclone filter, sawdust filter, two tubular heat excangers in parallel, a suction fan and an electric generator to which the producer gas is fed. In the senond part is presented the bibliographic study, the dimensioning, the final design and the construction of the basic part of the aforementioned unit. This is the small scale biomass gasifier. The final choice of dimensions and materials of the gasifier parts is based on informations, data and guides from relative published experimental studies and books. At the end of the second thesis part is mentioned the cost of materials and labor needed for the gasifier construction. In the third and last part of the thesis are carried out a series of experimental operations of the gasifier. During this operations, using measuring equipment, several operational parameters of the gasifier are recorded and obderved in order to evaluate its performance. Aditionally, after the tests, the gasifier, in operation, was coupled with the electric generator. At the end, all the

results, the recorded values of the gasifier operational parameters and the observations are evaluated and the coclusions are presented among with suggestions for further optimisation og the whole unit.

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ τον καθηγητή μου Σωτήρη Καρέλλα για την τόλμη και τη σκέψη έξω από καλούπια που τον χαρακτηρίζει. Αυτό του το χαρακτηριστικό είναι που μου έδωσε την ευκαιρία να ξεκινήσω αυτή την πρωτότυπη εργασία προχωρώντας, καθώς ο κ. Καρέλλας μου έδωσε την ελευθερία κινήσεων και τη δυνατότητα λήψης πρωτοβουλιών καθοδηγώντας με παράλληλα και δίνοντας μου άπλετη βοήθεια και πρόσβαση σε πηγές γνώσης σε σχέση με τους αεριοποιητές βιοάζας. Επιπρόσθετα μου έδωσε τη δυνατότητα να "γνωρίσω" από κοντά ένα πραγματικά μεγάλης κλίμακας και τεχνολογίας αιχμής αεριοποιητή βιομάζας που κατασκεύασε το τμήμα του στο ΚΑΠΕ. Κατά τη διάρκεια των επισκέψεων μου εκεί μπόρεσα να αποκτήσω μιά πολύ ευρύτερη και βαθύτερη εικόνα των προοπτικών που έχει η χρήση της τεχνολογίας αεριοποίησης βιομάζας στο παρόν και στο μέλλον. Επίσης, ευχαριστώ τη Δρ. Ευθυμία Ιωάννα Κουτσούμπα για όλη την επιστημονική συμβουλευτική και την υποστήριξη που μου παρείχε προκειμένου να ολοκληρωθεί αυτή η εργασία.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Πλαίσιο – Σκοπός διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στον σχεδιασμό, την κατασκευή και πρακτική εφαρμογή διάταξης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση βιομάζας σε μικρή κλίμακα. Η κεντρική ιδέα της εργασίας είναι η δημιουργία μιας οικονομικής και βιώσιμής μονάδας παραγωγής ενέργειας για την τροφοδότηση μιας συνήθους οικίας στην επαρχία με δασικής προέλευσης βιομάζας υπό τη μορφή συμπιεσμένων κυλινδρικών τεμαχίων μικρών διαστάσεων (pellets).

1.1.1 Σκοπός εργασίας

Η τεχνολογία της αεριοποίησης, που αφορά την παραγωγή αερίου σύνθεσης (syngas)από βιομάζα,εφαρμόζεται τουλάχιστον 200 χρόνια τώρα (1). Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η δημιουργία μιας πρότυπης μικρής κλίμακας μονάδας παραγωγής αερίου σύνθεσης (syngas) και τροφοδότησης αυτού σε ηλεκτρογεννήτρια που θα καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες ενός νοικοκυριού στην επαρχία.

Ο σχεδιασμός, η μελέτη και η κατασκευή αποτελούν το κύριο έργο της εργασίας, ενώ παρουσιάζονται και πειραματικά αποτελέσματα από τη διάταξη. Η διάταξη είναι κατάλληλα σχεδιασμένη για τροποποιήσεις και αλλαγές προκειμένου να χρησιμοποιηθεί στο μέλλον από άλλους φοιτητές για τη διεξαγωγή περαιτέρω πειραματικών αναλύσεων.

Συνοψίζοντας λοιπόν, ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι να κατασκευασθεί μια διάταξη ΑΒ, η οποία μπορεί μελλοντικά να χρησιμοποιηθεί από φοιτητές και ερευνητές στον τομέα θερμότητας ΕΜΠ και να αποτελέσει εφαλτήριο για γνώση και απόκτηση πρακτικής εμπειρίας αλλά και εφαρμογής και εμπορευματοποίησης της Οικιακής Μονάδας Παραγωγής Ενέργειας από Βιομάζα(ΟΜΠΕΒ).

1.1.2 Οριοθέτηση της εργασίας και βιβλιογραφίας

Στην παρούσα εργασία, παρουσιάζεται και χρησιμοποιείται ένα επιλεκτικά διαλεγμένο εύρος βιβλιογραφίας σχετικά με το σχεδιασμό και την κατασκευή της μικρής πρότυπης μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη βιομάζα ως καύσιμο. Συνακόλουθα, παρουσιάζονται πηγές από βιβλία και μελέτες που χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα ως βάση για κατασκευές ΑΒ σχετική με:

- Θεωρητικό υπόβαθρο σχετικά με την τεχνολογία αεριοποίησης βιομάζας.

- Βασικοί κανόνες σχεδίασης ΑΒ και ειδικά ΑΒ για παραγωγή ΑΣ κατάλληλο για τροφοδότηση κινητήρων εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρογεννήτριες.

- Παράμετροι, μεγέθη και ιδιαιτερότητες που καθορίζουν την καλή λειτουργία των προαναφερθέντων τύπων ΑΒ καθώς και την ποιότητα του παραγόμενου ΑΣ από αυτούς.

- Δημοσιεύσεις και μελέτες που κινούνται σε παρόμοια πλαίσια με την παρούσα εργασία προκειμένου να γίνουν συγκρίσεις και τελικές αποτιμήσεις.

- Πρόσφατες μελέτες που αναφέρονται σε νέες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την βελτιστοποίηση των χαρακτηριστικών λειτουργίας παρόμοιων ΑΒ.

1.1.3 Διάρθρωση της εργασίας

Στο 1ο εισαγωγικό κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην αεριοποίηση βιομάζας ως τεχνολογία, στα πλεονεκτήματά της και στις βασικές αρχές θερμοδυναμικής και χημικών αντιδράσεων. Κατόπιν παρουσιάζονται οι διάφοροι τύποι αεριοποιητών βιομάζας, οι βασικές αρχές λειτουργίας τους και τα ειδικά τους χαρακτηριστικά. Αναλύονται επίσης συγκριτικά πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε τεχνολογίας, σε σχέση με συγκεκριμένες παραμέτρους που θεωρούνται βασικές τόσο για την καταλληλότητα του κάθε τύπου αεριοποιητή για συγκεκριμένες χρήσεις αλλά και οικονομικά μεγέθη που σχετίζονται με την οικονομική τους βιωσιμότητα.

Στο 2ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η ΟΜΠΒΕ. Στις πρώτες ενότητες παρουσιάζεται ο σκοπός και η ειδική εφαρμογή της ΟΜΠΕΒ, οι γενικές αρχές οι οποίες καθόρισαν το σχεδιασμό της και η βιβλιογραφία πάνω στις οποίες βασίστηκαν. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα σχέδια της, αναλυτική περιγραφή του κάθε τμήματος της και η συσχέτιση της με τις παραμέτρους λειτουργίας που καθορίζει την ολική απόδοση της μονάδας.

Στο 3ο κεφάλαιο παρουσιάζεται το τμήμα της ΟΜΠΒ που κατασκευάστηκε τελικά δηλαδή ο Αεριοποιητής Βιομάζας. Παρουσιάζονται τα σχέδια εφαρμογής του ΑΒ και γίνεται τεχνική ανάλυση τους, σε αντιπαραβολή με σχετικές μελέτες και βιβλιογραφία. Με βάση την προορισμένη χρήση του ΑΒ και τα προαναφερθέντα γίνεται λεπτομερής θεμελίωση της επιλογής των υλικών και των διαστασιολογικών παραμέτρων που επιλέχθηκαν. Επίσης γίνεται αναφορά σε συγκεκριμένες παραμέτρους, οι οποίες κατά τη διάρκεια δοκιμαστικών λειτουργιών που έγιναν, οδήγησαν σε κατασκευαστικές τροποποιήσεις με στόχο την καλύτερη λειτουργία του ΑΒ.

Στο 4ο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική παρουσίαση της μεθοδολογίας, των πειραματικών λειτουργιών του ΑΒ που έγιναν. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των παραμέτρων που μετρήθηκαν και των συμπερασμάτων που εξήχθησαν. Επίσης, στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται αναφορά στο κόστος των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν, στα μηχανήματα που χρειάστηκαν και στις εργατοώρες που απαιτήθηκαν για την ολοκλήρωση τις κατασκευής του ΑΒ.

Στο 5ο και τελευταίο κεφάλαιο γίνονται σημαντικές παρατηρήσεις και αναφορές σε επόμενα βήματα και τεχνικές βελτιώσεις που μπορούν να γίνουν προκειμένου όχι μόνο να βελτιωθεί σημαντικά η απόδοση του ΑΒ αλλά και να ολοκληρωθεί η ΟΜΠΕΒ.

1.2Βιομάζα

Παρότι ο όρος "Βιομάζα" για επιστημονικούς τομείς όπως η βιολογία αναφέρεται στο σύνολο των ζώντων οργανισμών, όπως φυτά, ζώα, μικροοργανισμοί (2), στον τομέα της ενέργειας (3)θεωρείται το σύνολο του μη απολιθωμένου-βιοαποικοδομήσιμου οργανικού υλικού από φυτά, ζώα και μικροοργανισμούς.

Σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό, οι πηγές βιομάζας ταξινομούνται σε δύο βασικές κατηγορίες (4) με βάση την πηγή προέλευσής τους:

α) Υπολειμματικές μορφές βιομάζας. Αυτές οι μορφές συμπεριλαμβάνουν αγροτικής και ζωικής προέλευσης υποπροϊόντα όπως κλαδοδέματα, πυρήνες διάφορων καρπών και υπολείμματα σφαγείων. Επίσης περιλαμβάνουν δασικής προέλευσης υπολείμματα κοπής δένδρων είτε στην αρχική του μορφή (πριονίδια) είτε σε μορφή πέλλετ. Στην συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιούνται πέλλετ δασικής προέλευσης.

β) Ενεργειακές καλλιέργειες. Αυτής της μορφής η βιομάζα δεν είναι παραπροϊόν αλλά προέρχεται από επί σκοπού καλλιέργεια διάφορων τύπων πολυετών ή ετήσιων καλλιεργειών δένδρων ή φυτών με σκοπό την εκμετάλλευή τους αποκλειστικά για το ενεργειακό περιεχόμενο τους. Τέτοιου τύπου καλλιέργειες είναι ο Ηλίανθος η Ελαιοκράμβη, η Γιατρόφα και άλλα φυτά ή δένδρα. Οι περισσότερες από αυτές τις καλλιέργειες γίνονται με στόχο την παραγωγή βιο-ντίζελ .Δε γίνεται περαιτέρω αναφορά σε αυτές τις μορφές βιομάζας καθώς δεν αφορούν την παρούσα εργασία, αφού όπως προαναφέρθηκε σε αυτήν γίνεται χρήση υπολειμματικών μορφών βιομάζας.

1.3 Αεριοποίηση βιομάζας

Ιστορική αναδρομή

Η αεριοποίηση βιομάζας είναι μια τεχνολογία που πρωτοεμφανίστηκε στα μέσα του 19ου αιώνα. Αναφορές για τη χρήση αυτής της τεχνολογίας ξεκινούν από το 1839 όταν κατασκευάστηκε ο πρώτος ΑΒ από την εταιρία "Biscof" στην Γερμανία (5). Στη (5) αναφέρεται ως πρώτη χρήση βιοαερίου το 1840 για θέρμανση στην Ευρώπη και το 1884 για καύσιμο σε μηχανές (6). Τον καιρό της πετρελαϊκής κρίσης κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου πολέμου το 95% όλων των μέσων κίνησης στην Αμερική και το 45% στην Σουηδία λειτουργούσαν με ΑΣ.

1.3.1 Ορισμός -βασικά χαρακτηριστικά

Αεριοποίηση βιομάζας ονομάζεται η θερμική διάσπαση στερεών καυσίμων βιομάζας, σε υπο-στοιχειομετρικό περιβάλλον, για την παραγωγή αερίων καυσίμων (7). Συνήθεις λόγοι αέρα καύσης κυμαίνονται από λ=0,2 εώς λ=0,4 (8), οι οποίοι εξαρτώνται άμεσα από τη σύσταση του καυσίμου αλλά και τη θερμοκρασία του εισαγόμενου αέρα (8).

Κατά τη διαδικασία της αεριοποίησης βιομάζας ουσιαστικά ένα μέρος του καυσίμου καίγεται προκειμένου να παρέχει τη θερμική ενέργεια που απαιτείται για να αεριοποιηθεί το υπόλοιπο. Με βάση την (8), σε μία αδρή προσέγγιση για συγκεκριμένα καύσιμα και λόγους αέρα - καυσίμου, περίπου το 30% του καυσίμου καίγεται για να αεριοποιηθεί το υπόλοιπο 70%.

Τα κύρια παράγωγα της αεριοποίησης βιομάζας είναι καύσιμα αέρια και μη-χρήσιμα παραπροϊόντα όπως πίσσες και αιθάλη. Τα κύρια καύσιμα αέρια που παράγονταιμε αέρα ως οξειδωτικό μέσο, με τις αντίστοιχες αναλογίες, είναι(8) (9) (7) (10):

H_2: 10 - 13% CO: 13 - 26% O_2: 0 - 2,6% CH_4: 1,5 - 4,8%

(τα εύρη των αναλογιών προέκυψαν από τις ακρότατες τιμές που δίνουν οι σχετικές αναφορές σε παλαιές και νεότερες μελέτες)

Παράλληλα στο εξερχόμενο αέριο βρίσκονται σε μεγάλες αναλογίες και μη καύσιμα αέρια όπως:

N_2: 50 - 56% CO_2: 10 - 19,1%

1.3.2 Αεριοποίηση αντί για καύση

Από ενεργειακής άποψης η απλή καύση βιομάζας αποδίδει, μόνο από τη μορφή αισθητής θερμότητας, το 30% του θερμικού της περιεχομένου. Το ποσό της

ενέργειας που δεν δύναται να αξιοποιηθεί ενεργειακά σε λέβητες χάνεται στην ατμόσφαιρα δια μέσω του καπνού που παράγεται (9). Αντίθετα στην αεριοποίηση, με βάση διάφορες μελέτες, η ανάκτηση του θερμικού περιεχομένου της βιομάζας κυμαίνεται μεταξύ του 60% - 90% (8) με μέσο όρο το 75% (5) ειδικά για συμπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας.Το κύριο πλεονέκτημα της αεριοποίησης είναι πολλαπλές χρήσεις και εφαρμογές του παραγόμενου αερίου, ακόμα και με ενδιάμεση αποθήκευση και μεταφορά αυτού. Η καύση βιομάζας περιορίζεται σε παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, η οποία λαμβάνει χώρα την ίδια χρονική στιγμή.

Ένας επίσης πολύ σημαντικός παράγοντας που καθιστά το ΑΣ πολύ πιο χρήσιμο σε εφαρμογές που απαιτείται υψηλή παροχή θερμικής ενέργειας σε κάποια διάταξη, είναι ότι μπορεί να αποδώσει το θερμικό του περιεχόμενο σχεδόν ακαριαία μέσω ανάφλεξης όπως σε μηχανές εσωτερικές καύσης (ΜΕΚ). , Σε αντίθεση με την απλή καύση βιομάζας, η οποία γίνεται με πολύ μικρότερο ρυθμό, το ΑΣ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ΜΕΚ και αεροστροβίλους με πολύ πιο γρήγορους βαθμούς απόκρισης. Αυτό συμβαίνει γιατί στην απλή καύση το οξειδωτικό μέσο δεν μπορεί να αναμιχθεί με το καύσιμο σε όλη του την έκταση μονομιάς άλλα μόνο στην επιφάνεια του καυσίμου που είναι εκτεθειμένη σε αυτό. Αυτό σημαίνει ότι η ισχύς που μπορεί να παρέχει το ΑΣ είναι τάξεις μεγαλύτερη (10). Απλό παράδειγμα είναι η χρήση του ΑΣ σε μηχανές εσωτερικής καύσης.

Επίσης, το προϊόν της αεριοποίησης, δηλαδή το ΑΣ (Syngas), μπορεί να μεταφερθεί πολλά χιλιόμετρα μακριά από τον τόπο παραγωγής του, αντίθετα με την θερμότητα

1.3.3 Ιστορική αναδρομή

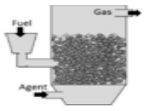
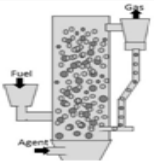
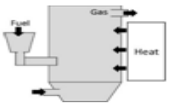
Η τεχνολογία της αεριοποίησης βιομάζας χρησιμοποιείται πάνω από 200 χρόνια τώρα (1), η χρήση της τεχνολογίας αυτής και η παραγωγή Αερίου Σύνθεσης (Syngas) για την τροφοδότηση κινητήρων εσωτερικής καύσης άρχισε να εξελίσσεται κατά τη διάρκεια της κρίσης πετρελαίου στο Δεύτερο Παγκόσμιο πόλεμο (11). Στα χρόνια που ακολούθησαν, από το 1940 μέχρι την δεκαετία του 90’, κυρίως κρατικά ινστιτούτα και πανεπιστήμια ασχολήθηκαν πειραματικά με την τεχνολογία της παραγωγής Αερίου Σύνθεσης (εφεξής «**ΑΣ**») και κατέληξαν σε διάφορους γενικούς κανόνες διαστασιολόγησης Αεριοποιητών Βιομάζας (εφεξής «**ΑΒ**») αναλόγως με την επιθυμητή παραγόμενη ισχύ από την καύση του ΑΣ (8) (12). Επίσης, παλαιότερα έχουν δημοσιευθεί και βιβλία από διάφορους με πιο συγκεκριμένες οδηγίες και σκαριφήματα ή φωτογραφίες για την κατασκευή ΑΒ (6). Παρόλα αυτά μέχρι και σήμερα δημοσιεύσεις που αφορούν κατασκευές πειραματικών ΑΣ βασίζονται σε σχέδια και εκτιμήσεις βιβλιογραφίας της περιόδου 1940-1945, στην οποία «λόγω ανάγκης» έγινε σχεδόν παγκόσμια ερευνητική έκρηξη στον τομέα αυτό και στην

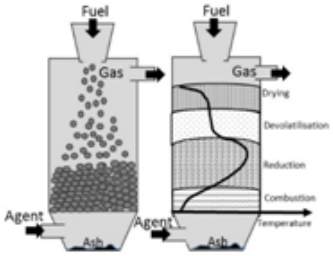
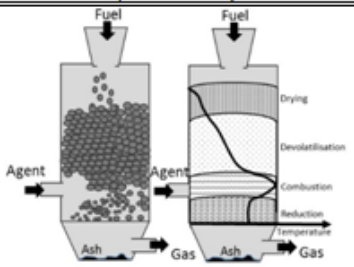
δεκαετία του 90’ (13). Ακόμα και μελέτες της τελευταίας δεκαετίας (4) (9) βασίζονται, σε επίπεδο σχεδιασμού, σε μελέτες που έγιναν το 1941 (14).

Μετά τη λήξη του Β' παγκόσμιου πόλεμου και την αφθονία ορυκτών καυσίμων η εξέλιξη των ΑΒ μικρής κλίμακας σε ερευνητικό - τεχνολογικό επίπεδο, με εξαίρεση κάποιες μελέτες που έγιναν σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, σχεδόν σταμάτησε στο δυτικό κόσμο. Το πολύ φθηνό πετρέλαιο κατέστησε τη χρήση των ΑΒ για παραγωγή ενέργειας και αυτοκίνηση ασύμφορους οικονομικά (7). Κατά τις πετρελαϊκές κρίσεις του 70' και του 80' ξαναέφεραν προσωρινά την αεριοποίηση βιομάζας στο προσκήνιο και έγιναν προσπάθειες για εξέλιξη των ΑΒ σε επίπεδο απόδοσης, μείωσης ρύπων και γενικότερα μοντελοποίησης για μαζική παραγωγή (8). Μετά τη λήξη των δύο προαναφερθέντων πετρελαϊκών κρίσεων η ερευνητική δραστηριότητα τις δεκαετίες που ακολούθησαν πάνω στους ΑΒ μικρής κλίμακας πέρασε σχεδόν αποκλειστικά στις αναπτυσσόμενες χώρες λόγω της αυξανόμενης ενεργειακής ζήτησης (7). Πρωταγωνιστές μέχρι και σήμερα στην έρευνα και ανάπτυξη ΑΒ είναι κυρίως η Ινδία και σε δεύτερο βαθμό η Αφρική. Μια μικρή ανασκόπηση στη βιβλιογραφία και τις δημοσιευμένες μελέτες τα τελευταία 20 - 30 χρόνια δείχνει ότι στη συντριπτική τους πλειοψηφία προέρχονται από Ινδικά πανεπιστήμια και ερευνητές.

1.4Αεριοποιητές Βιομάζας & Αεριοποιητές Βιομάζας Μικρής Κλίμακας

Οπως παρουσιάζονται και στην εικόνα (15) υπάρχουν πολοί τύποι Αεριοποιητών Βιομάζας. Αναλόγως με τις απαιτήσεις παραγώμενης ισχύος, ύψους οικονομικής επένδυσης, προορισμένη χρήση του παραγώμενου ΑΣ και άλλους παράγοντες επιλέγεται ο τύπος αεριοποιητή που θα κασκευαστεί. Ετσι υπάρχουν ΑΒ ρευστοποιημένης κλίνης, ανακυκλοφορούσας ρευστοποιημένης κλίνης, διπλής ανακυκλοφουρούσας κλίνης, κινούμενης κλίνης ή σταθερής κλίνης.

Type	Bubbling Fluidised Bed	Circulating Fluidised Bed	Dual fluidised bed (Dual FB)
Configuration /Zones/ Temperature Profile			
Fuel Particle Size	0.5 – 1cm	0.5 – 1 cm	0.5 – 1 cm
Scale(Nm^3/h syngas dry)	335-8793	1181-12500	
Tar Content	⊙<10 g/Nm^3	⊙<10 g/Nm^3	⊙<10 g/Nm^3
Control	○	○	○
Ash conditioning	Agglomerates	Agglomerates	Agglomerates
Critical Issues	Bypass via large bubble agglomeration	agglomeration	agglomeration
Pressurised Operation	Yes	Yes	No
Technology	Carbona (Andritz), Foster Wheeler Energy, Energy Products of Idaho	Foster Wheeler Energy, Växjö Värnamo (CHRISGAS), VTT Technical Research Centre	REPOTEC/ TUV (Vienna University of Technology), SilvaGas, Taylor

Type	Updraft Moving Bed (Counter-current)	Downdraft Moving Bed (Co-current)
Configuration /Zones/ Temperature Profile		
Fuel Particle Size	0.5 – 20 cm	2 – 20 cm
Scale($1000Nm^3$/day syngas dry)	2750	1.31
Tar Content (Biomass)	×<100 g/Nm^3	●<1 g/Nm^3
Control	⊖	⊙
Ash conditioning	Dry	Slag
Critical Issues	High tar content	Unconverted char, low moisture in

Εικόνα 1:Τύποι Αεριοποιητών βιομάζας (15)

Όμως στην πράξη οι ΑΒ μικρής κλίμακας για ιδιωτική χρήση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αυτοκίνησης ή απλής θέρμανσης περιορίζονται σε τρείς τύπους. Αυτοί είναι η ΑΒ αντιρροής (Updraft), οι ΑΒ διασταυρούμενης ροής (Cross draft) και ΑΒ ομορροής (Downdraft). Οι ΑΒ, όπως φαίνεται στην εικόνα 1 ομορροής έχουν αποδειχτεί κατάλληλοι για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω μηχανής εσωτερικής καύσης που κινεί ηλεκτρογεννήτρια καθότι, υπό συνθήκες καλής λειτουργίας και σωστού καθαρισμού του παραγόμενου αερίου, μπορούν να παράγουν αέριο σύνθεσης ελεύθερο πισσών (tar free) και υψηλού ενεργειακού περιεχομένου, χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση αποκλειστικά κάρβουνου όπως

στους ΑΒ διασταυρούμενης ροής (7). Όσο για τους ΑΒ αντιρροής θεωρούνται οι πλέον ακατάλληλοι για χρήση σε μηχανές εσωτερικής καύσης καθώς το παραγόμενο αέριο του έχει υψηλή συγκέντρωση σε πίσσες καθώς δεν περνάει μέσα από την ζώνη οξείδωσης προκειμένου αυτές να διασπαστούν (1) (9) (12). Στην εργασία αυτή γίνεται σχεδόν αποκλειστική αναφορά στους ΑΒ ομορροής αφού το αντικείμενο της βασίζεται στην χρήση του παραγόμενου αερίου σύνθεσης για τροφοδοσία μηχανών εσωτερικής καύσης σε ζεύξη με ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος.

1.4.1ΑεριοποιητέςΟμορροής (DowndraftGasifier)

Παρότι υπάρχουν πολλές παραλλαγές σχεδιασμού στους ΑΒ ομορροής, τα τμήματα τους βασίζονται στις ίδιες αρχές λειτουργίας. Το πιο διαδεδομένο μοντέλο είναι το "Imbertdesign" το οποίο περιγράφεται παρακάτω.

Βασικά μέρη ενός ΑΒ ομορροής

Ενας ΑΒ ομορροής όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2 ουσιαστικά αποτελείται (16):

- Από ένα κύλινδρο ομοαξονικά τοποθετημένο μέσα σε ένα άλλο. Στον εσωτερικό κύλινδρο μπαίνει το καύσιμο το οποίο ρέει από πάνω προς τα κάτω με την επίδραση της βαρύτητας. Η ροή του αερίου ακολουθεί και αυτή καθοδική πορεία μέχρι να εξέλθει από το κατώτερο μέρος του εσωτερικού κυλίνδρου και να περάσει στον εξωτερικό και κατόπιν να εξέλθει από τον ΑΒ δια κατάλληλου αγωγού. Η *όμοια* καθοδική πορεία οξειδωτικού μέσου και καυσίμου είναι αυτή που περιγράφει και η λέξη ΑΒ "*ομορροής*".

- Επίσης ένα άλλο σημαντικό τμήμα του ΑΒ ομορροής είναι ο "λαιμός" (throat) και ακολούθως ο ανάποδος κώνος. Με τον όρο λαιμός δεν περιγράφεται κάποιο εξάρτημα αλλά η κωνικής γεωμετρίας μείωση της διαμέτρου του εσωτερικού κυλίνδρου στο ύψος στο οποίο ορίζουμε ως κάτω τέλος της δεξαμενής καυσίμου. Στη συνέχεια ακολουθεί μία αύξηση της διαμέτρου πάλι κωνικής γεωμετρίας. Η διαμόρφωση αυτή είναι που οδηγεί στην απότομη αύξηση της ταχύτητας του αέρα προκειμένου να επιτευχθεί η μερική οξείδωση του καυσίμου η οποία παράγει το ποσό θερμότητας που απαιτείται να καταναλωθεί προκειμένου να ανακτηθεί το υπόλοιπο ενεργειακό περιεχόμενο της βιομάζας με την όλη διαδικασία της αεριοποίησης

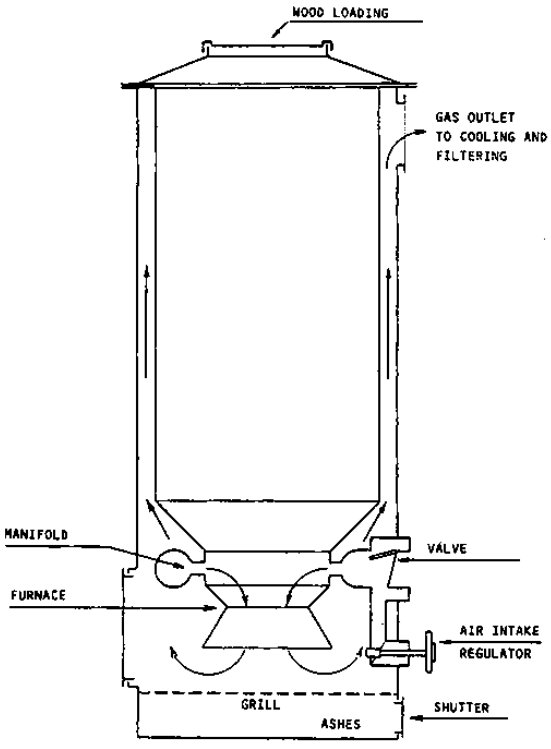
- Στο ύψος της στένωσης υπάρχει και το τμήμα της εισόδου αέρα ο οποίος οδηγείται κατευθείαν στον εσωτερικό κύλινδρο ελάχιστα χαμηλότερα από την ελάχιστη διάμετρο του προαναφερθέντος τμήματος. Το ύψος αυτό είναι στο οποίο δημιουργείται η ζώνη της μερικής οξείδωσης του καυσίμου.

- Κάτω από το τέλος της κωνικής αύξησης της διαμέτρου υπάρχει η σχάρα. Η σχάρα είναι κατάλληλα διαμορφωμένη με κενά μικρότερα από την τελική διάσταση των καμένων πλέον τεμαχίων βιομάζας ώστε να επιτρέπει την διέλευση μόνο στάχτης. Επίσης είναι τοποθετημένη (συνήθως αναρτημένη με αλυσίδες) σε απόσταση αρκετά μικρή από το κάτω μέρος του έσω κυλίνδρου ώστε να μην επιτρέπει την πλευρική διαρροή των τεμαχίων βιομάζας στο κενό ανάμεσα στο τέλος του κώνου και αυτής.

- Το προφορτισμένο με ελατήρια ερμητικά κλειδωμένο καπάκι της δεξαμενής καυσίμου. Το καπάκι πρέπει να κλείνει ερμητικά προκειμένου να μην εισέρχεται στον έσω κύλινδρο πέραν αυτού στη ζώνη οξείδωσης. Η διάταξη ελατηριακής προφόρτησης υπάρχει για λόγους ασφαλείας σε περίπτωση οπισθανάφλεξης (backfire) η οποία μπορεί να προκληθεί σε περίπτωση λάθους σφράγισης του ΑΒ ή κακής ρύθμισης αναλογίας παροχής αέρα - καυσίμου.

- Τον απαγωγό ή φυσητήρα ο οποίος δημιουργεί την εξαναγκασμένη ροή αέρα/αερίου δια της όλης διάταξης.

- Τα δύο στόμια εισόδου αέρα και εξόδου αερίου.



Εικόνα 2: Βασικά μέρη ενός ΑΒ ομορροής (8)

1.4.2 Τα στάδια της αεριοποίησηςεντός ΑΒ ομορροής

Με βάση την Εικόνα 3 η καύσιμη ύλη σε ένα ΑΒ ομορροής ακολουθεί μία καθοδική πορεία εντός του εσωτερικού κυλίνδρου στην οποία περνάει από τέσσερα διαφορετικά στάδια. Τα στάδια αυτά είναι αλληλένδετα μεταξύ τους καθώς τα πρώτα δύο στάδια δημιουργούν τα παράγωγα που χρησιμοποιούν τα δύο επόμενα στάδια. Αυτά τα στάδια, μέσα στην στήλη του ΑΒ, αντιστοιχούν σε ζώνες διαφορετικού ύψους το οποίο με βάση πρόσφατες μελέτες (17) καθορίζεται από παράγοντες όπως η αναλογία αέρα καυσίμου και θερμοκρασία. Το πρώτο στάδιο, ψηλότερα στη δεξαμενή καυσίμου, είναι το στάδιο της ξήρανσης και παράλληλα δημιουργίας του κύριου μέρους των πισσών που παράγονται. Η θερμότητα για αυτήν τη διεργασία παρέχεται από το επόμενο στάδιο της μερικής πυρόλυσης. Καθώς τα τεμάχια βιομάζας δια συναγωγής και ακτινοβολίας απορροφούν θερμότητα από την κάτωθεν ζώνη της μερικής πυρόλυσης, η υγρασία εντός της βιομάζας απομακρύνεται και ακολούθως αρχίζει η παραγωγή πισσών καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται.

Το επόμενο στάδιο είναι της μερικής πυρόλυσης ή αλλιώς "φλογώδους πυρόλυσης" (flamingpyrolisis) και λαμβάνει χώρα σε θερμοκρασίας μεταξύ 350^{o}Cκαι 500^{o}C. Οι προαναφερθέντες όροι χρησιμοποιούνται αντί της απλής πυρόλυσης διότι αυτή συμβαίνει κατά τη διαδικασία απλής καύσης βιομάζας υπό άφθονο αέρα και διατηρείται από την καύση των πτητικών αναφλέξιμων ουσιών που παράγονται από τη θέρμανση της βιομάζας. Στην περίπτωση του ΑΒ ομορροής ο περιορισμένος αέρας που εισέρχεται στο ύψος της ζώνης ημι-πυρόλησης αρκεί για να τη διατηρεί χωρίς όμως να επαρκεί για την καύση των παραγώγων της. Ετσι σε αυτήν την ειδικού τύπου πυρόλυση παράγεται το μεγαλύτερο ποσοστό των αερίων και πτητικών ουσιών εντός της διαδικασίας αεριοποίησης, ενώ παράλληλα καταναλώνεται σχεδόν το 99% το πισσών που έχουν παραχθεί (8).

Η ζώνη της οξείδωσης ή ανάφλεξης (combustion) που ακολουθεί (τα όρια της με αυτά της ημι-πυρόλησης είναι ασαφή και αλληλοκαλύπτονται), σε θερμοκρασίες μεταξύ 700^{o}C και 900^{o}C χαρακτηρίζεται από την καύση ποσοστού των αναφλέξιμων ουσιών που έχουν παραχθεί εφόσον το καύσιμο πλέον βρίσκεται για περισσότερη ώρα σε επαφή με τον εισαγόμενο αέρα. Μακροσκοπικά, αντίδραση που χαρακτηρίζει αυτήν τη ζώνη είναι η:

$C + O_2 \rightarrow CO_2$η οποία είναι εξώθερμη και είναι αυτή που παρέχει την απαιτούμενη ποσότητα θερμότητας τόσο για την άνωθεν ζώνη της ημι-πυρόλυσης τόσο και για τη ζώνη της αναγωγής ή αεριοποίησης που ακολουθεί. Στο τέλος αυτής της ζώνης η βιομάζα έχει μετατραπεί σε κάρβουνο.

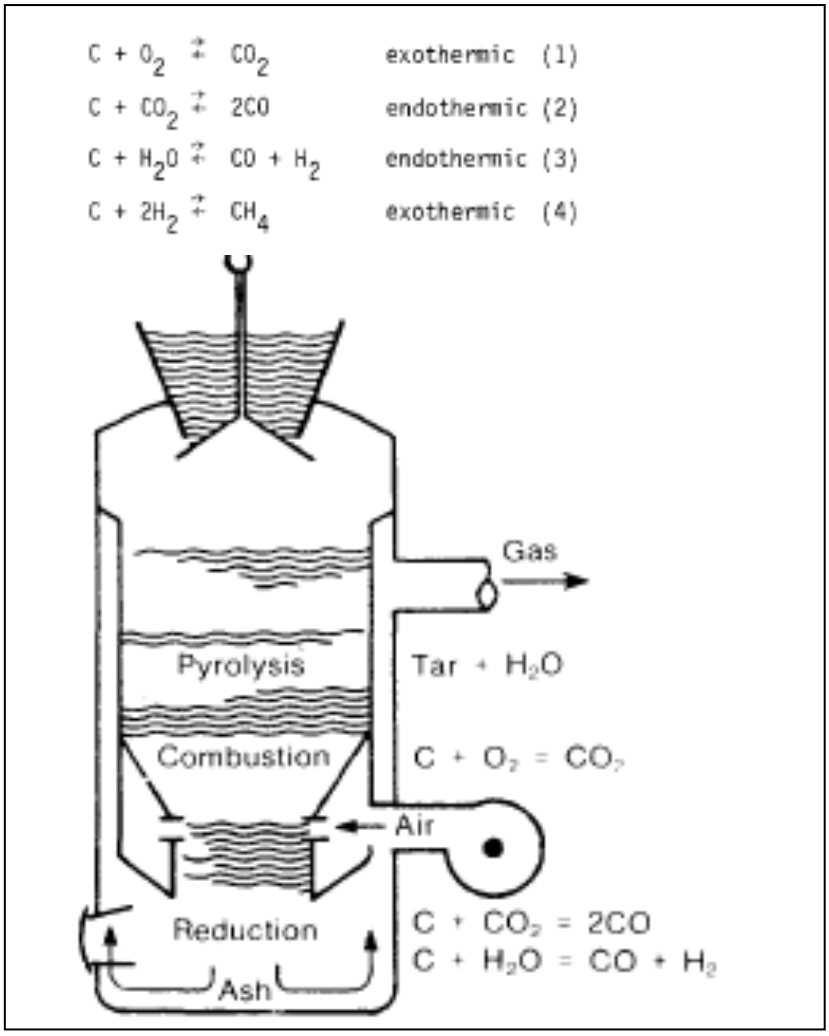
Η τελευταία ζώνη είναι η ζώνη της αναγωγής η οποία χαρακτηρίζεται από τις αντιδράσεις:

$C + CO_2 \rightarrow 2CO$ (ενδόθερμη)

$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$ (ενδόθερμη)

$C + 2H_2 \rightarrow CH_4$ (εξώθερμη - ελάχιστο ποσοστό)

Όπως βλέπουμε στις παραπάνω αντιδράσεις στη ζώνη αναγωγής ο άνθρακας από το κάρβουνο αντιδρά με το διοξείδιο του άνθρακα που έρχεται από τη ζώνη οξείδωσης και τον ατμό από την εξατμισθείσα υγρασία που περιείχε η βιομάζα αρχικά παράγοντας τα κύρια συστατικά του αερίου σύνθεσης τα οποία είναι μονοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο. Δευτερευόντως, μέρος του υδρογόνου που παράγεται αντιδρά με τον άνθρακα παράγοντας μεθάνιο το οποίο βρίσκεται σε μικρά ποσοστά στο αέριο σύνθεσης. Σημειώνεται ότι επειδή οι αντιδράσεις στη ζώνη αναγωγής είναι ενδόθερμες η θερμοκρασία του εξερχόμενου αερίου πέφτει γύρω στους 500^oC με 700^oC.



Εικόνα 3: ΑΒ ομορροήςμε ζώνες αντίδρασης (8)

Υπολογισμός υποστοιχειομετρικου λόγο Αέρα-καυσίμου στην αεριοποίηση

Για το υπολογισμό του λόγου αέρα-καυσίμου γίνεται η παραδοχή οτι ο αέρας αποτελειταί απο 21% Οξυγόνο και 79% Αζωτο σε μοριακό επίπεδο. Η ακόλουθη απλουστευμένη χημική αντίδραση χρησημοποιείται για την στοιχειομετρική καύση του καυσίμου (15):

$$\boldsymbol{C_cH_hO_oS_s + X\left(O_2 + \frac{0.79}{0.21}N_2\right) \leftrightarrow \left(\frac{h}{2}\right)H_2O + cCO_2 + sSO_2 + \frac{0.79}{0.21}\cdot XN_2}$$

όπου $X = 0.5 \cdot (2 \cdot c + \frac{h}{2} - o + n + 2 \cdot s)$

C_c *είναι ο άνθρακας* (C)*στο καύσιμο και* c *σε moles*

$$c = \frac{(\text{κλάσμα μάζας του } c \text{ στην τελική } (ultimate) \text{ ανάλυση}) \cdot M_{fuel}}{12.0107}$$

H_h*είναι το υδρογόνο*(H) *στο καύσιμο με* h *τα moles του μέσα σε αυτό*

$$h = \frac{(\text{κλάσμα μάζας του } h \text{ ιστην τελική ανάλυση}) \cdot M_{fuel}}{1.00794}$$

O_o *είναι το οξυγόνο*(O)*στην μάζα του καυσίμου σε* o *moles καυσίμου*

$$o = \frac{(\text{κλάσμα μάζας } o \text{ στην τελική ανάλυση}) \cdot M_{fuel}}{15.994}$$

S_s *είναι το Θείο* (S) *στο καύσιμο ορισμένο σε* s *moles καυσίμου*

$$s = \frac{(\text{κλάσμα μάσας } s \text{ στην τελική ανάλυση}) \cdot M_{fuel}}{32.065}$$

Ο στοιχειομετρικός λόγος Αέρα - καυσίμου ($ATFR_{stoic}$) ορίζεται ώς την μάζα αέρα προς την μάζα καυσίμου. Σε όλους τους υπολογισμούς μάζας καυσίμουη ροή μάζας αυτού "όπως παραλήφθηκε" (as received) είναι η βάση των υπολογισμών. Η εξίσωση του $ATFR_{stoic}$ στην απλουστευμένη της εκδοχή παρακάτω:

$$ATFR_{stoic} = \frac{M_{air,stoic}}{M_{fuel}} = \frac{\left[0.5\cdot(2\cdot c + \frac{h}{2} - o + n + 2\cdot s)\right]\cdot\frac{MW_{air}}{0.21}\cdot M_{fuel,ar}}{M_{fuel,ar}}$$

Οπου:

MW_{air} *είναι το μοριακό βάρος του αέρα βασιζμένο σε* 21% $mol\ O2 = 28.85\ kg/kmol$

Τονίζεται οτι κατα την διαδικασία της αεριοποίησης οι αντιδράσειςτων ατόμων Θείου ακολουθούν διαφορατική διαδρομή (regime), έτσι στην έκφραση του ATFR χρησημοποιείται η ακόλουθη εξίσωση (15):

$$ATFR_{stoic,gasif} = \frac{M_{air,stoic}}{M_{fuel}} = \frac{\left[0.5\cdot(2\cdot c+\frac{h}{2}-o)\right]\cdot\frac{MW_{air}}{0.21}\cdot M_{fuel,ar}}{M_{fuel,ar}}$$

- Ετσι ο ισοδύναμοςλόγος αέρα-καυσίμου λ (lambda), ορίζεται ο λόγος λ που αντιστοιχεί στον λόγο ATFR προς το αντίστοιχο στοιχιομετρικό λόγο αέρα καυσίμου για ένα δεδομένο μείγμα. Ο λόγος λ=1 σημαίνει οτι ο εισερχόμενος αέρας είναι στοιχειομετρικός σε σχέση με το εν λόγω καύσιμο ενό λόγοι λ<1 και λ>1 αφορούν πλούσια ή υποστοιχειμετρικά μείγματα αντίστοιχα.

$$\lambda = \frac{ATFR}{ATFR_{stoic}} = \frac{ATFR}{ATFR_{stoic}}$$

Κεφάλαιο 2. Σχεδιασμός της Οικιακής Μονάδας Παραγωγής Ενέργειας από Βιομάζα

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται ο σχεδιασμός της ΟΜΠΕΒ. Στις πρώτες ενότητες γίνεται αναφορά στη λογική πάνω στην οποία βασίστηκε ο σχεδιασμός της και κατόπιν παρουσιάζεται σε τρισδιάστατη μορφή το σχέδιο της τελικής μορφής που θα μπορούσε να έχει μια ΟΜΠΕΒ. Κατόπιν ακολουθεί βιβλιογραφική αναφορά στις βασικές παραμέτρους που καθορίζουν την απόδοση ενός ΑΒ ως εισαγωγή στο 3ºκεφάλαιο στο οποίο παρουσιάζεται η τελική κατασκευή που έγινε βασισμένη τόσο σε αυτές τις παραμέτρους όσο και στις κατασκευαστικές προδιαγραφές.

2.1 Αρχές & Κριτήρια σχεδιασμού

Ο σχεδιασμός της Οικιακής Μονάδας Παραγωγής Ενέργειας από Βιομάζα έγινε με κεντρικό άξονα τη δημιουργία μιας Μικρής Κλίμακας ΑΒ η οποία θα αποτελεί μία λύση για οποιονδήποτε ιδιώτη που διαμένει στην επαρχία* με σκοπό την ανεξαρτητοποίηση από το δίκτυο της ΔΕΗ ή ως μονάδα έκτακτης ανάγκης.

Με βάση τα παραπάνω η ΟΜΠΕΒ πρέπει:

- Να είναι συμπαγής τόσο σε διαστάσεις όσο και σε πλήθος μερών που την αποτελούν.

- Να μην απαιτεί ιδιαίτερες τεχνικές γνώσεις από το χρήστη προκειμένου να τη χειρίζεται αποτελεσματικά και με ασφάλεια.

- Στα πλαίσια των παραπάνω, η ΟΜΠΕΒ πρέπει να διαθέτει τους απαραίτητους αυτοματισμούς οι οποίοι να ελέγχουν και να ρυθμίζουν τις βασικές παραμέτρους λειτουργίας προκειμένου να επιτυγχάνεται σταθερή, αποδοτική και ασφαλής λειτουργία της μονάδας. Παράλληλα οι αυτοματισμοί αυτοί πρέπει να είναι απλοί και αξιόπιστοι, καθώς η υπερβολική και μη λειτουργική πολυπλοκότητα των αυτοματισμών οδηγεί σε απρόβλεπτες δυσλειτουργίες.

- Η δομή της ΟΜΠΕΒ και τα υλικά της πρέπει να εξασφαλίζουν την ελάχιστη κατά το δυνατόν συντήρηση και φθορές, ώστε ο ιδιοκτήτης να νιώθει την ίδια ή ακόμα και μεγαλύτερη ασφάλεια από πλευράς ετοιμότητας της μονάδας να του παρέχει την ενέργεια που χρειάζεται σε σχέση με το δίκτυο της ΔΕΗ.

- Η αυτονομία της ΟΜΠΕΒ, για κάθε πλήρωση της δεξαμενής με καύσιμο, πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να καλύπτει συνήθεις κύκλους ενεργειακής κατανάλωσης κατά τη διάρκεια μιας ημέρας. Για παράδειγμα, αυτονομία 8 ωρών θα ήταν ιδανική αφού καλύπτει τις ζώνες πρωί - μεσημέρι και απόγευμα - βράδυ.

** Η δυνατότητα χρήσης μόνο σε επαρχιακές αραιοκατοικημένες περιοχές αφορά μη διασυνδεδεμένες περιοχές ή κάτοικους που θέλουν να ανεξαρτητοποιηθούν από το δίκτυο έχοντας αυτονομία.*

2.2 Παρουσίαση Σχεδίων ΟΜΠΕΒ

Στην Εικόνα 4παρουσιάζεται η κεντρική ιδέα της μορφής της ΟΜΠΕΒ εξωτερικά.

Με βάση την λογική ότι πρέπει να είναι μια συμπαγής έτοιμη μεταφερόμενη κατασκευή, όλα τα επιμέρους τμήματα της ΟΜΠΕΒ στηρίζονται σε μεταλλικό περιμετρικό πλαίσιο απόδοκούς οι οποίες απεικονίζονται με γκρι χρώμα. Οι διαστάσεις του πλαισίου είναι 183cmX 100cmX 90cm (ύψος x πλάτος xβάθος). Όπως δείχνουν και οι σχολιασμοί στο σχέδιο, στο δεξί μέρος της κατασκευής υπάρχει ο ΑΒ ο οποίος χωρίζεται σε δύο μέρη καθ΄ύψος. Το άνω μέρος αποτελείται από τη δεξαμενή καυσίμου (χρώμαcyan) και το καπάκι της (χρώμα κόκκινο). Το κάτω μέρος είναι η εστία του ΑΒ. Το κέλυφος της (πράσινο χρώμα) εφαρμόζει στεγανά με τη δεξαμενή, ενώ στο άνω του δεξί μέρος φέρει οπή με αντίστοιχο αγωγό εισόδου αέρα (airinlet). Στο ίδιο ύψος αριστερά βρίσκεται η οπή και ο αγωγός εξόδου παραγόμενου αερίου (χρώμα κόκκινο). Κάτω από τη δεξαμενή υπάρχει αφαιρούμενη δεξαμενή συλλογής τέφρας (χρώμα magenta) πάνω σε

οδηγούς (χρώμα μπλε). Όπως φαίνεται στη λεπτομέρεια στην Εικόνα 5, στον πάτο της εστίας υπάρχει οπή η οποία δια ειδικού μαστού (χρώμα γκρι) συνδέεται με τη δεξαμενή συλλογής τέφρας στεγανά. Για το άδειασμα της δεξαμενής ξεβιδώνεται ο μαστός και αυτή αφαιρείται, μόνο εφόσον ο ΑΒ δε βρίσκεται σε λειτουργία καθώς σε αντίθετη περίπτωση θα έφευγαν τα αέρια του ΑΒ στο περιβάλλον και θα εισερχόταν επιπρόσθετος αέρας από αυτόν που πρέπει (μέσω του αγωγού εισόδου). Επίσης στην Εικόνα 5 φαίνεται ο σαρωτής (scrubber) της επιφάνειας του πάτου της εστίας (χρώμα σκούρο πορτοκαλί, ο οποίος, καθώς είναι κολλημένος πάνω στον κεντρικό άξονα που εξέρχεται από το κάτω μέρος της εστίας, περιστρέφεται κινούμενος από την αλυσίδα (χρώμα κόκκινο) η οποία είναι σε ζεύξη με μοτέρ που βρίσκεται εντός του κιβωτίου της ηλεκτρογεννήτριας). Κατά την περιστροφική κίνηση του ο σαρωτής συλλέγει την τέφρα που επικάθεται στον πάτο της εστίας οδηγώντας την προς τηνδεξαμενή συλλογής της δια της προαναφερθείσας οπής. Παράλληλα, ο ίδιος άξονας (χρώμα γκρι) που κινείται από το μοτέρ εντός του κιβωτίου της ηλεκτρογεννήτριας, όχι μόνο στηρίζει αλλά περιστρέφει και τη σχάρα (επίσης χρώματος γκρι) αναγκάζοντας το απανθρακωμένο καύσιμο να τη διαπεράσει και να απομακρυνθεί γρηγορότερα δίνοντας τη θέση του σε νέο. Αυτό συμβαίνει καθώς η σχάρα κατά την περιστροφή της καθαρίζεται από το δεύτερο σαρωτή (χρώμα cyan) που φαίνεται στην Εικόνα 5 και στην Εικόνα 6. Ο σαρωτής αυτός είναι κολλημένος επάνω στο λαιμό της εστίας, άρα είναι σταθερός. Η ταχύτητα περιστροφής του άξονα άρα και των δύο σαρωτών, μπορεί να μεταβάλλεται προκειμένου να αλλάζει η παροχή καυσίμου σε συνάρτηση με την παροχή αέρα και άλλες παραμέτρους που έχουν να κανουν με την ποιότητα του καυσίμου.

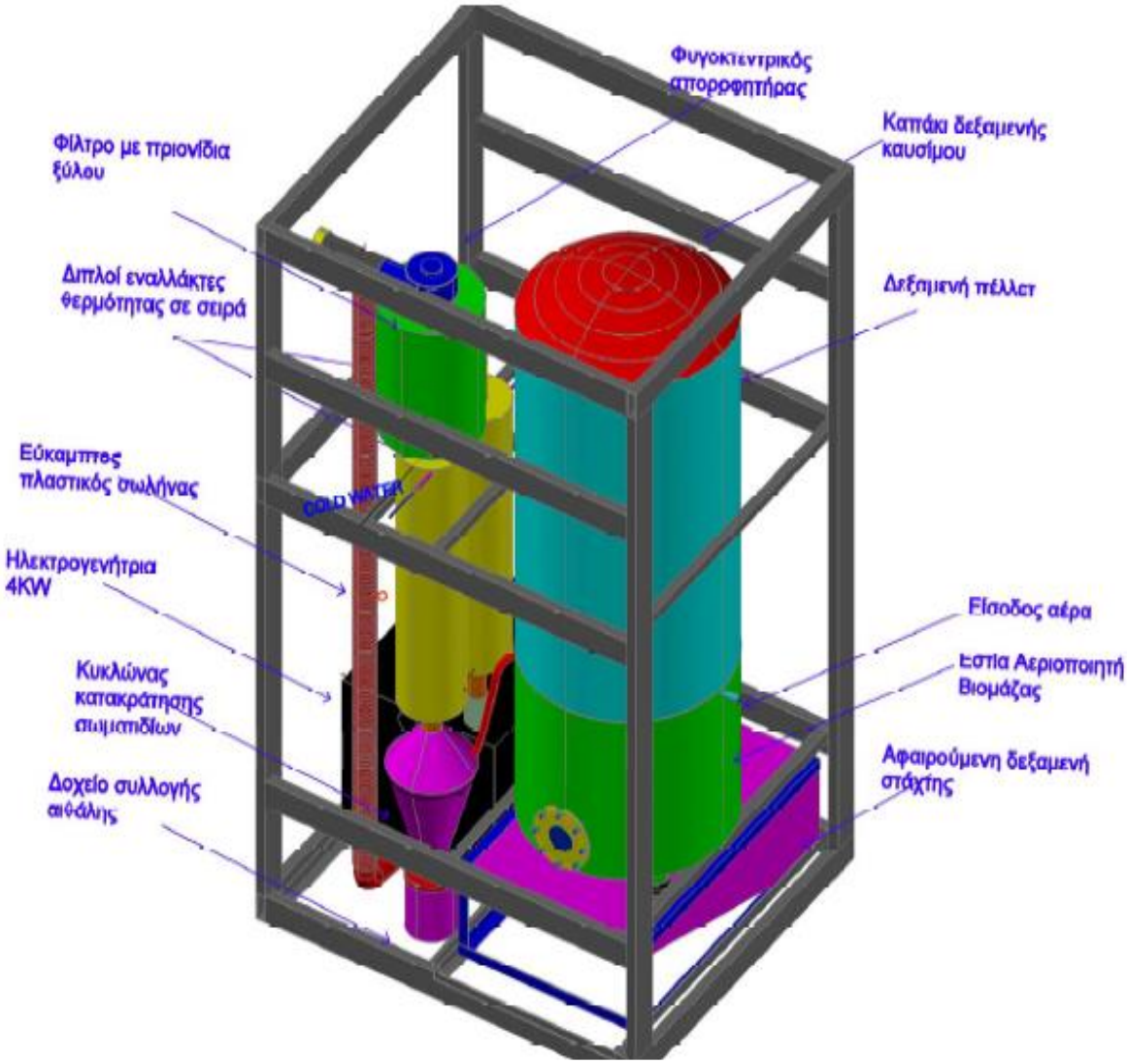
Στην Εικόνα 6 και στην Εικόνα 7 απεικονίζεται το εσωτερικό της εστίας, αφού για λόγους ορατότητας έχουν σβηστεί από το σχέδιο τα τμήματα του ΑΒ που την εμποδίζουν. Στην Εικόνα 7 αίνεται λεπτομερώς η εσωτερική δομή της εστίας. Ο αέρας εισέρχεται στον εξωτερικό κυαθιόμορφο κώνο και κατανέμεται στο εσωτερικό του περιμετρικά του εσωτερικού κώνου στο οποίο βρίσκεται το καύσιμο υπό μορφή πέλλετ. Κατόπιν δια των ακροφυσίων (χρώμα κίτρινο) που παρουσιάζονται στην Εικόνα 8ο αέρας εισέρχεται στο εσωτερικό του έσω-κώνου κατευθείαν στο όριο μεταξύ ζώνης ημι-πυρόλυσης και οξείδωσης ακολουθώντας καθοδική πορεία προς τον απαγωγό. Ο αέρας περνώντας μέσα από τον σωλήνα της εστίας (χρώμα πορτοκαλί), που φαίνεται στην Εικόνα 6, και τον ανάποδο κώνο διεύρυνσης της διατομής πλέον έχει μετατραπεί σε αέριο.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5, το αέριο εξέρχεται από την εστία μέσω του αγωγού εξόδου αέρα (χρώμα κόκκινο) και εισέρχεται στον κυκλώνα αποκονίωσης (Εικόνα 9). Στον κυκλώνα αποκονίωσης, η φυγοκέντριση του αερίου, σε συνδυασμό με την βαρύτητα, οδηγεί ακόμα και τα πιο ελαφρά σωματίδια τέφρας σε καθοδική πορεία. Έτσι τα σωματίδια καταλήγουν στο γυάλινο διαφανές δοχείο στην κάτω έξοδο του κυκλώνα. Η επιλογή διαφανούς συλλέκτη γίνεται συχνά για να παρακολουθείται η

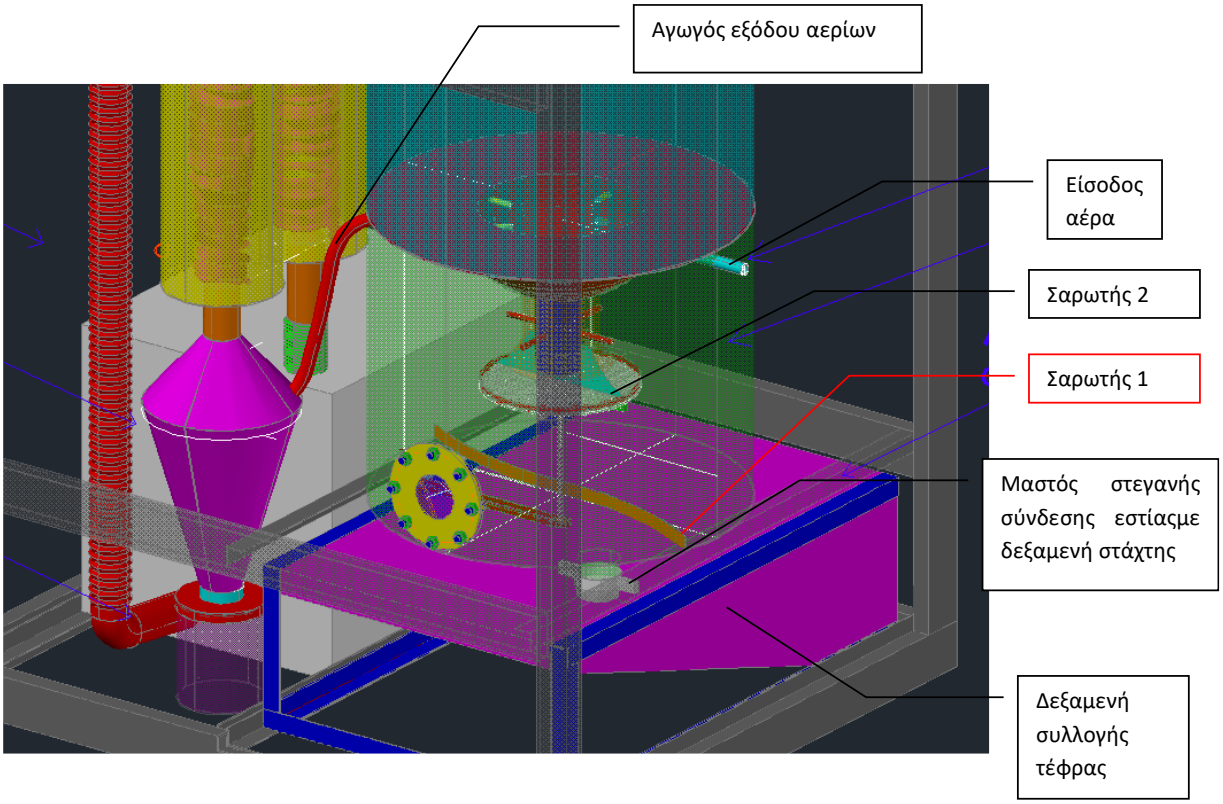
ταχύτητα συσσώρευσης τέφρας και άκαυστων σωματιδίων σε αυτόν. Από την πάνω έξοδο του κυκλώνα εξέρχεται το αέριο το οποίο οδηγείται στους εν σειρά εναλλάκτες θερμότητας (Εικόνα 10). Οι εναλλάκτες, για την αποφυγή συσσώρευσης πισσών, αποτελούνται από ομοαξονικούς σωλήνες εκ των οποίων οι εσωτερικοί είναι αυτοί που περνάει το αέριο χωρίς να επιβραδύνεται από αλλαγές πορείας ή σημεία ανακοπής. Γύρω από τους εσωτερικούς σωλήνες υπάρχει σπειροειδώς τυλιγμένη εύκαμπτη χαλκοσωλήνα η οποία διαρρέεται από νερό. Η όλη διάταξη σφραγίζεται εντός των δύο εξωτερικών σωλήνων (χρώμα κίτρινο).

Μετά τους εναλλάκτες το αέριο οδηγείται στο φίλτρο δύο στρωμάτων, το πρώτο από ροκανίδια ξύλου και το δεύτερο από ενεργό άνθρακα (Εικόνα 11) για το τελικό του φιλτράρισμα. Στην έξοδο του φίλτρου, όπως φαίνεται επίσης στην Εικόνα 11 υπάρχει μεταλλική έξοδος τύπου {Τ}. Στο οριζόντιο της άκρο υπάρχει αφαιρούμενη τάπα και στο κάθετο είναι προσαρμοσμένη η εύκαμπτη σωλήνα που οδηγεί στην ΜΕΚ. Όσο ακόμα ο ΑΒ βρίσκεται σε διαδικασία προθέρμανσης, η τάπα είναι αφαιρεμένη ώστε το μη κατάλληλο ακόμα αέριο να διαφεύγει στο περιβάλλον. Όταν πλέον ο ΑΒ έχει φτάσει σε σταθερή λειτουργία η τάπα τοποθετείται αναγκάζοντας το αέριο να οδηγηθεί στη ΜΕΚ η οποία εκκινείται και θέτει σε περιστροφή την ηλεκτρογεννήτρια παράγοντας ρεύμα.

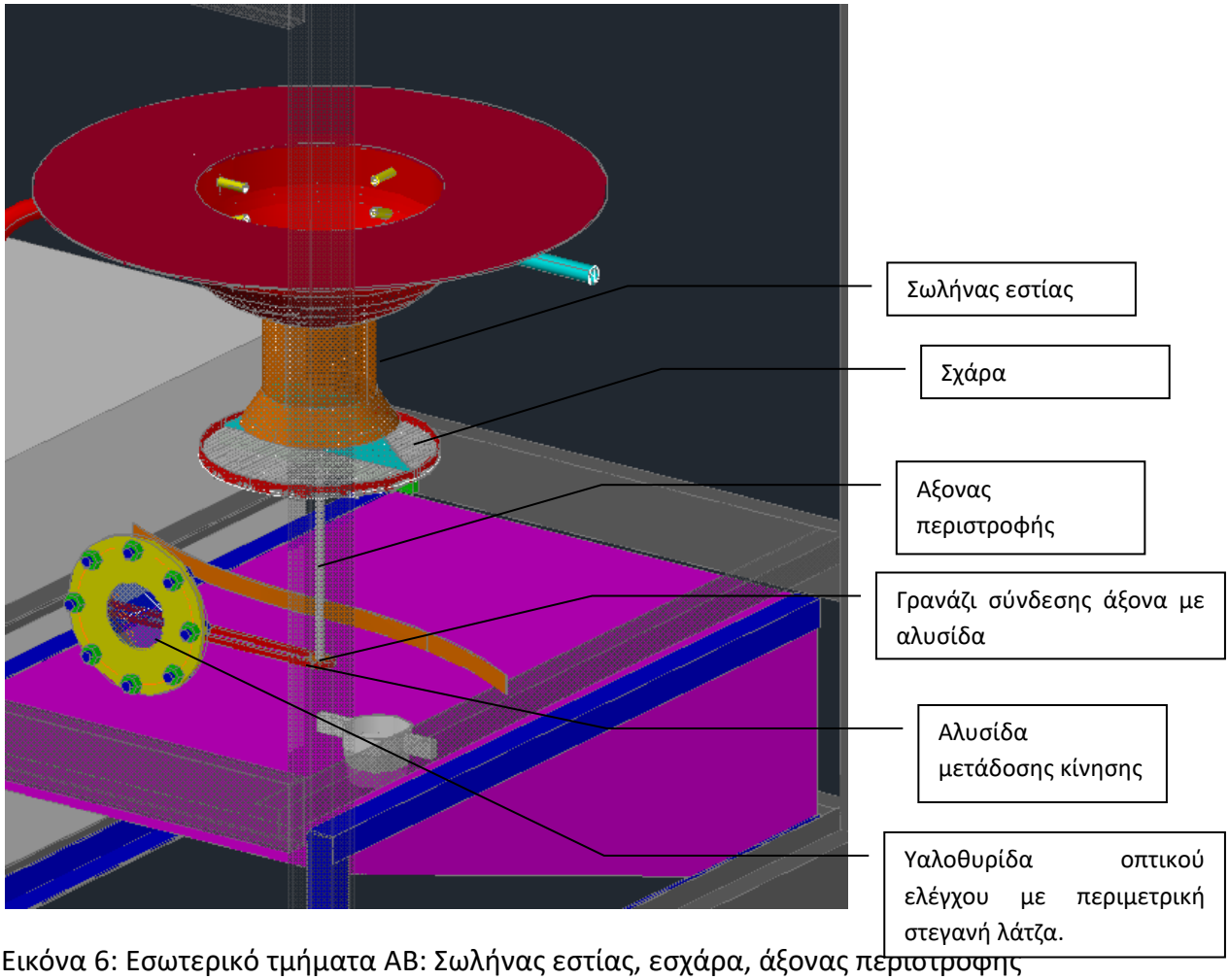
2.2.1 Σχέδιο ΟΜΠΕΒ



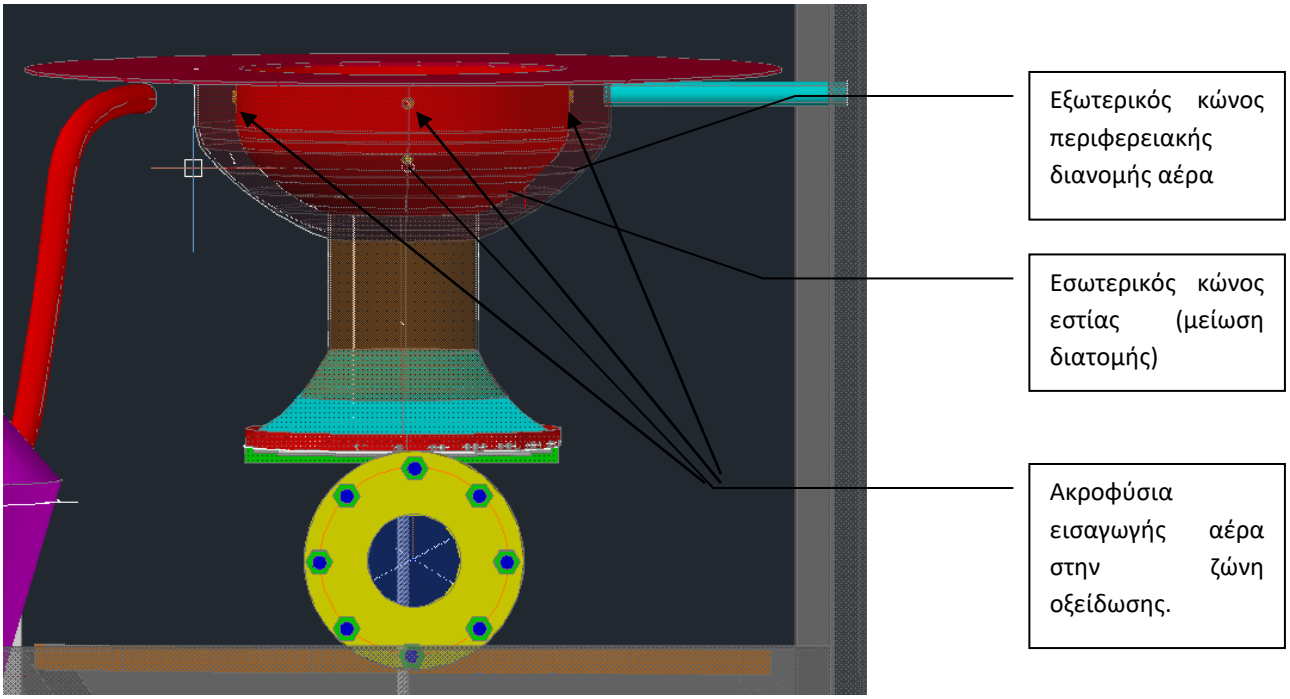
Εικόνα 4: Αεριοποιητής βιομάζας μικρής κλίμακας που κατασκευάστηκε στα πλαίσια της διπλωματικής



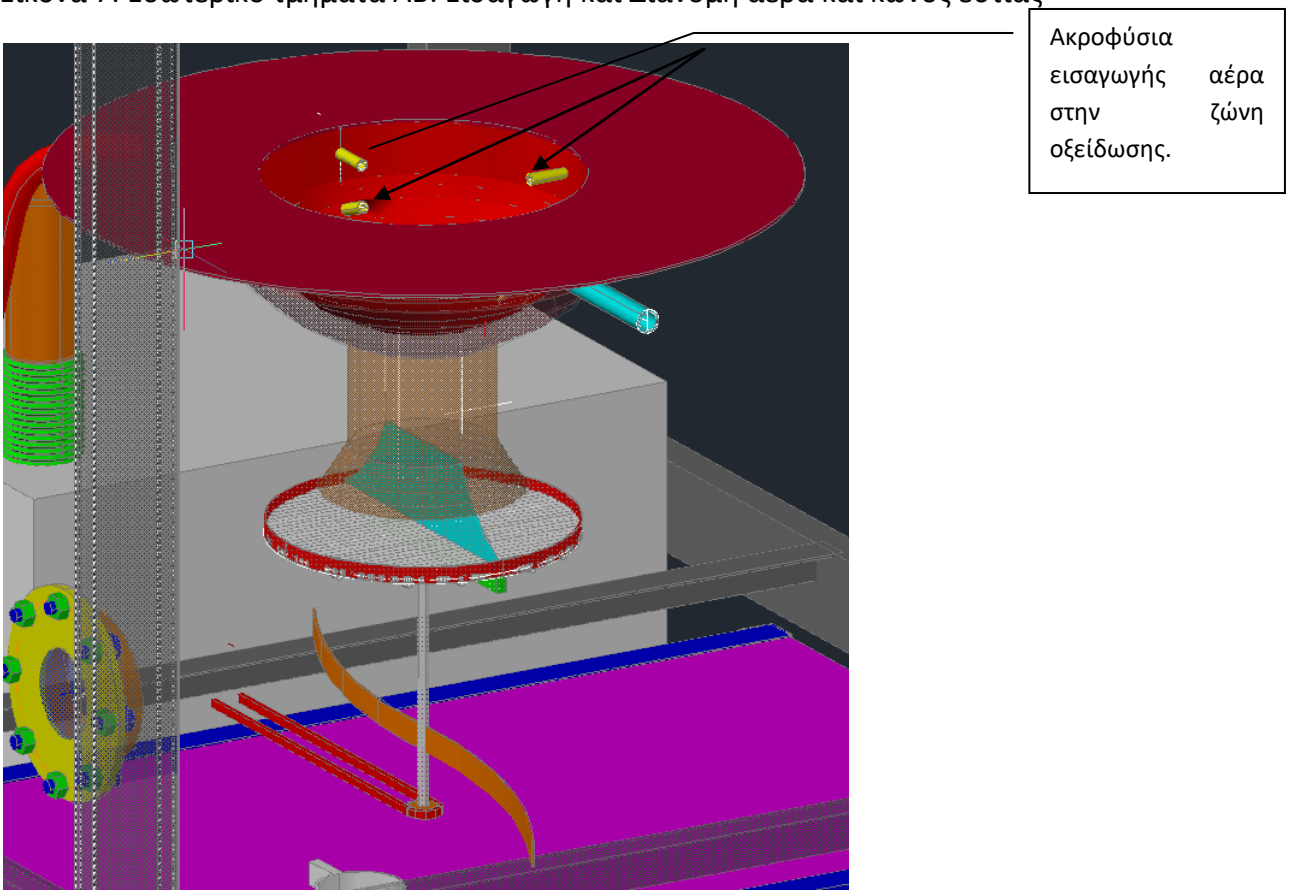
Εικόνα 5: Τμήματα εισόδου και εξόδου ροών στον ΑΒ



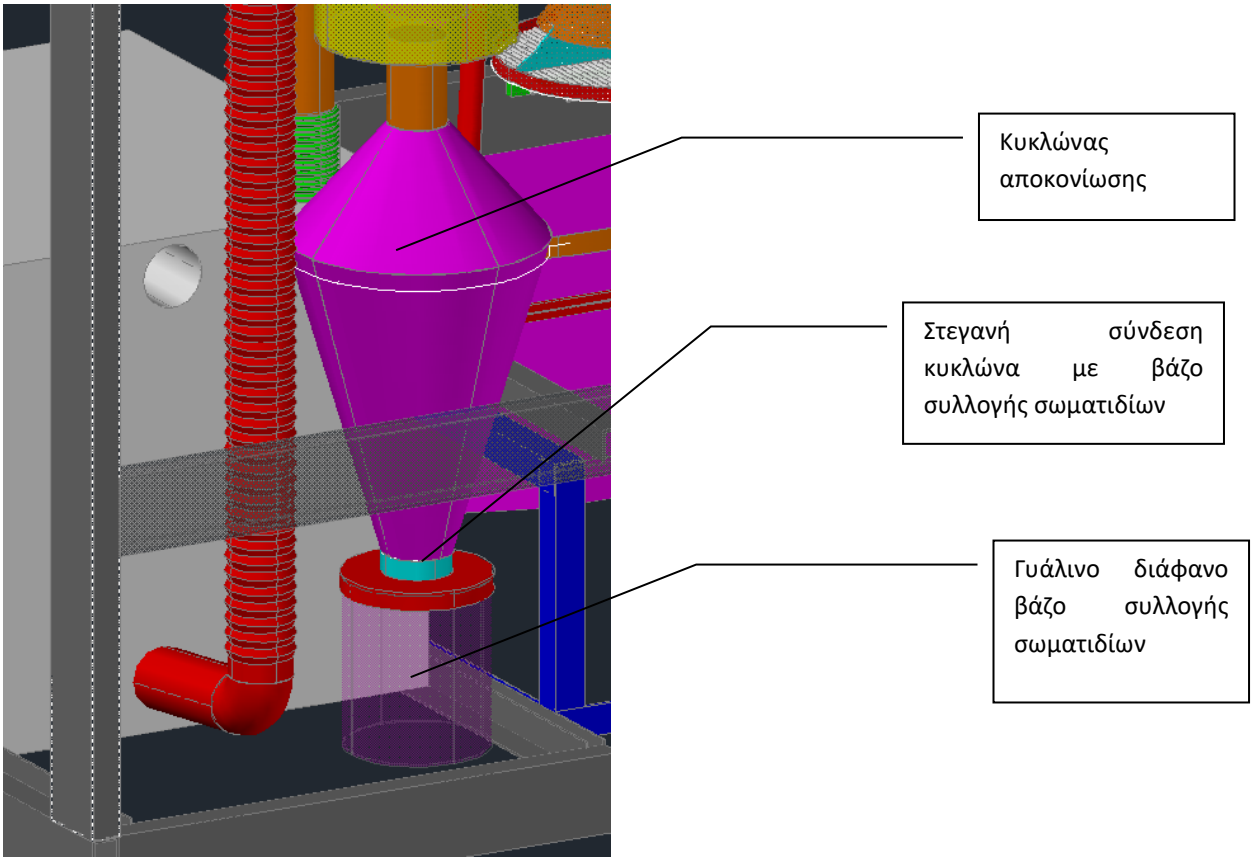
Εικόνα 6: Εσωτερικό τμήματα ΑΒ: Σωλήνας εστίας, εσχάρα, άξονας περιστροφής



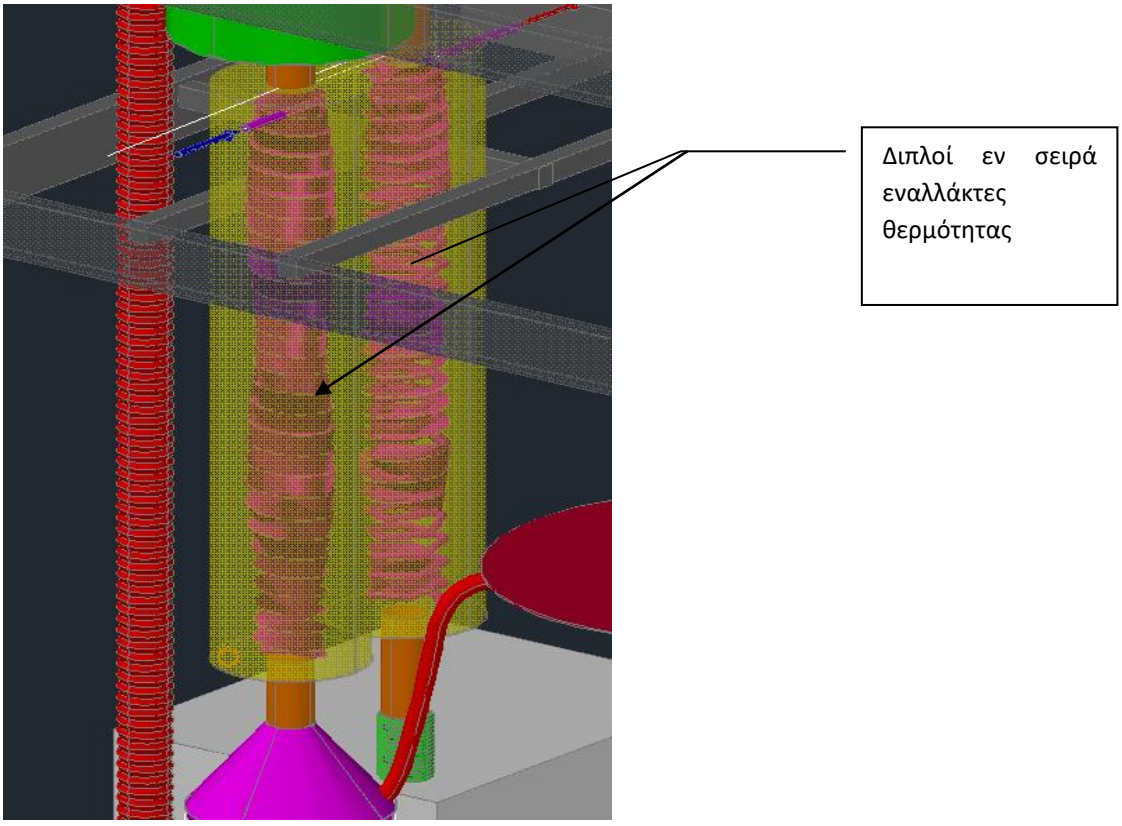
Εικόνα 7: Εσωτερικό τμήματα ΑΒ: Εισαγωγή και Διανομή αέρα και κώνος εστίας



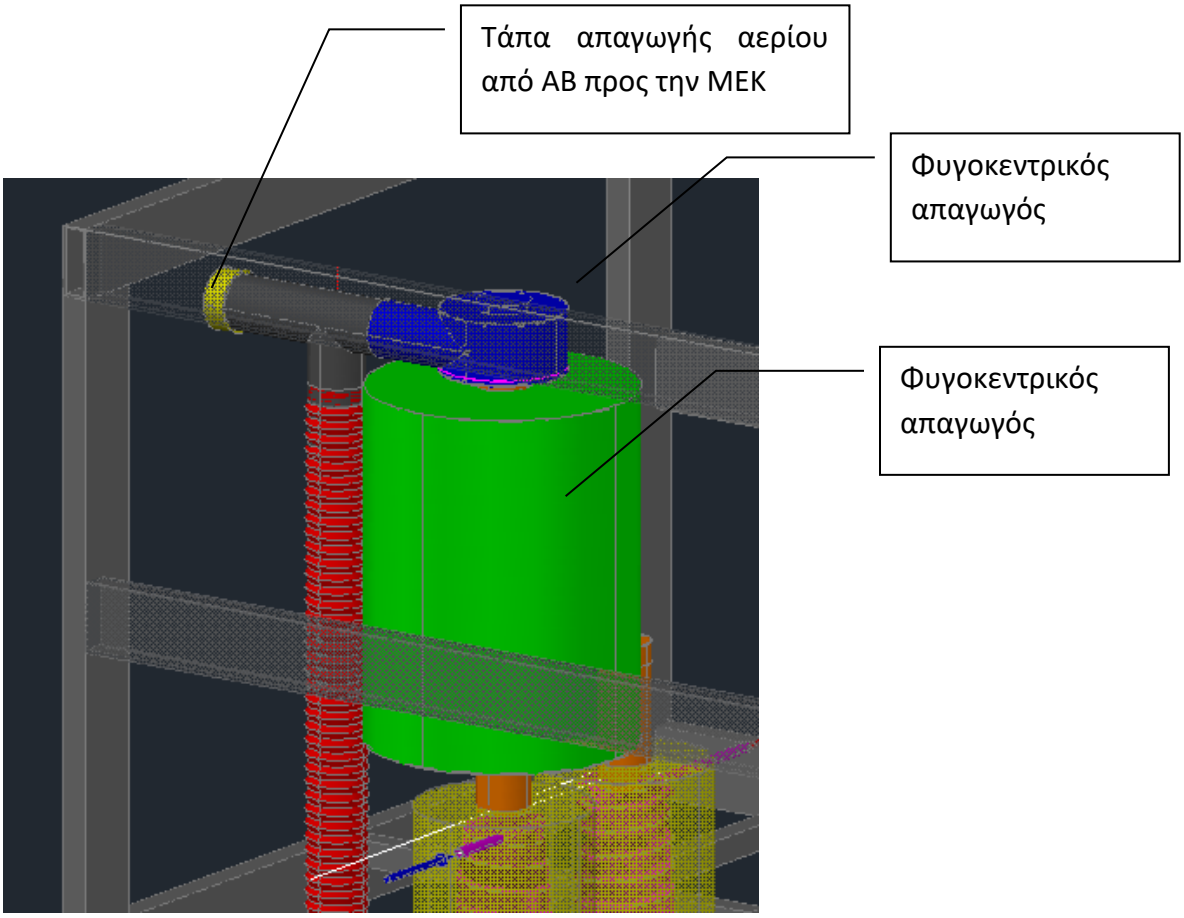
Εικόνα 8: Ακροφύσια εισαγωγής αέρα στην ζώνη οξείδωσης



Εικόνα 9: Κυκλώνας απομάκρυνσης σωματιδίων



Εικόνα 10: Διπλοί εναλλάκτες θερμότητας σε σειρά



Εικόνα 11: Σύστημα απαγωγής αερίου από ΑΒ προς ΜΕΚ

Όπως έχει αναφερθεί στις προηγούμενες ενότητες, ο αρχικός σχεδιασμός της ΟΜΠΕΒ έγινε με βάση βιβλιογραφικές αναφορές και στόχος του είναι η απεικόνιση μιας μονάδας παραγωγής κυρίως ηλεκτρικής ενέργειας και δευτερεύοντως ζεστού νερού από τουςίδιους εν σειρά εναλλάκτες.

2.2.3 Λογική σχεδιασμού

Η διαστασιολόγηση και η θέση των επιμέρους τμημάτων έγινε με βάση προσεγγιστικούς υπολογισμούς βασισμένους σε αντίστοιχη βιβλιογραφία. Οι αρχική βιβλιογραφική διερεύνηση, έγινε στην έκταση και στο βάθος που απαιτούνταν μόνο για να δημιουργηθεί μια αρχική εικόνα του συνολικού εκτοπίσματος και όγκου, των επιμέρους τμημάτων που πρέπει να κατασκευαστούν, της εργασίας και του κόστους υλικών που θα απαιτούνταν για την υλοποίηση τους. Χαρακτηριστικά, οι διαστάσεις δεξαμενής και εστίας βασίστηκαν σε υπολογισμούς και παραδοχές σε σχέση με τις ώρες συνεχούς λειτουργίας, την θερμογόνο δύναμη του καυσίμου, την απόδοση του ΑΒ. Παράλληλα ο σχεδιασμός και η διαστασιολόγηση της ηλεκτρογεννήτριας βασίστηκαν στο παραγόμενο από τον ΑΒ αέριο και έτσι επιλέχθηκε το κατάλληλο μοντέλο. Οι διαστάσεις που δίνονται βασίζονται σε τεχνικά φυλλάδια κατασκευαστών. Οι διαστάσεις του κυκλώνα παρομοίως (για το αρχικά υπολογισμένο εύρος παροχών) και οι διαστάσεις των εναλλακτών θερμότητας. Οι διαστάσεις των αγωγών έχουν καθαρά απεικονιστικό στόχο και δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.

Συνοψίζοντας , το αρχικό συνολικό σχέδιο της ΟΜΠΕΒ δημιουργήθηκε απλά για να αποτελέσει μια αρχική κατεύθυνση προς τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν και τις κρίσιμες παραμέτρους του τελικού σχεδιασμού και υλοποίησης των τμημάτων που κατασκευάστηκαν στη συνέχεια.

Άλλωστε, για τους μηχανολόγους ειδικά, τα προσχέδια μιας πρωτότυπης κατασκευής συνήθως γίνονται για να θέσουν τα θεμελιώδη προβλήματα που πρέπει να επιλυθούν για να καταλήξουμε στα τελικά σχέδια εφαρμογής.

2.2.4 Επισημάνσεις

Σε συνέχεια της προηγούμενης παραγράφου, χαρακτηριστικά παραδείγματα που καταδεικνύουν τη διαφορά μεταξύ αρχικών προσχέδιων και τελικών κατασκευαστικών σχεδίων είναι:

- Σε όλες τις εικόνες της προηγούμενης ενότητας απεικονίζεται μια υαλοθυρίδα πρόσβασης - οπτικής παρατήρησης του εσωτερικού της εστίας (κίτρινο χρώμα). Στην πράξη η κατασκευή της είναι άνευ λόγου εφόσον μετά από λίγα λεπτά λειτουργίας, όπως προέκυψε στην τελική ανασκόπηση των σχεδίων, σε λίγα λεπτά λειτουργίας του ΑΒ το πυρίμαχο τζαμάκι θα είχε μαυρίσει από επικαθούμενη τέφρα με πίσσες. Συνήθως όμως τέτοιες οπές χρησιμοποιούνται για πρόσβαση μετρητικού εξοπλισμού στην εστία.

- Οι εναλλάκτες θερμότητας θα έπρεπε να τοποθετηθούν μετά από θερμαινόμενο φίλτρο ροκανιδίων - ενεργού άνθρακα, καθότι στην πράξη όλοι οι ΑΒ κατά την εκκίνηση του και για αρκετή ώρα μέχρι να περάσουν σε σταθερή λειτουργία παράγουν αρκετές πίσσες ώστε να δημιουργήσουν ένα μονωτικό στρώμα από αυτές στα τοιχώματα των εσωτερικών σωλήνων.

- Η τροφοδοσία αερίου σύνθεσης από ΑΒ, έστω και ομορροής που υποτίθεται ότι παράγει το καθαρότερο δυνατό, το οποίο έχει περάσει μόνο μέσα από ένα φίλτρο στερεών (ροκανίδια - άνθρακας) είναι ριψοκίνδυνη καθότι η περιεκτικότητα του σε άλλες πτητικές ενώσεις και οξέα μπορεί να καταστρέψει την ΜΕΚ.

Η λίστα αυτή θα μπορούσε να περιέχει πολλές ακόμα αναφορές αλλά αυτές θα αναλυθούν στο 3^{ο} κεφάλαιο στο οποίο γίνεται ανάλυση της τελικής κατασκευής και των αλλαγών που έγιναν σε σχέση με τα αρχικά σχέδια του ΑΒ.

2.3 Εισαγωγή στην αξιολόγηση απόδοσης ΑΒ

Στο υπόλοιπο του κεφαλαίου αυτού αναλύονται τα χαρακτηριστικά λειτουργίας ενός ΑΒ που καθορίζουν την απόδοση και την καλή λειτουργία του. Η ανάλυση των χαρακτηριστικών αυτών είναι εστιασμένη στους ΑΒ μικρής κλίμακας στους οποίους αναφέρεται και η παρούσα εργασία. Τα κριτήρια αυτά εξετάζουν ένα ΑΒ

μακροσκοπικά χωρίς να εισέρχονται στο κομμάτι του σχεδιασμού και των συνθηκών που επικρατούν εντός του ΑΒ, καθώς η λεπτομερής περιγραφή αυτών παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο.

2.3.1 Κριτήρια απόδοσης ΑΒ μικρής κλίμακας

Η παρακάτω ανάλυση των κριτηρίων απόδοσης ΑΒ μικρής κλίμακας βασίζεται στα κριτήρια που θέσπισε ένας φορέας του ΟΗΕ με την ονομασία "Πρόγραμμα Ανάπτυξης Ηνωμένων Εθνών" (United Nations Development Program / UNDP) το1983 (7). Το πρόγραμμα αυτό ονομάστηκε "Προγραμμα Παρακολούθησης Αεριοποιητών Βιομάζας Μικρής Κλίμακας" (BiomassGasifierMonitoringProgramme / BGMP). Σκοπός αυτού του προγράμματος ήταν η αξιολόγηση των ΑΒ μικρής κλίμακας σε σχέση με τις προδιαγραφές των κατασκευαστών (άρα και τις προσδοκίες των αγοραστών) στις αναπτυσσόμενες χώρες. Άλλωστε τα κριτήρια που παρατίθενται παρακάτω είναι τα ίδια με αυτά που χρησιμοποιούνται από την συντριπτική πλειοψηφία των μελετών που γίνονται παγκοσμίως.

Τα κριτήρια αυτά χωρίζονται σε τρείς κατηγορίες:

1. Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά και απόδοση των ΑΒ μικρής κλίμακας των κύριων παραμέτρων λειτουργίας των ΑΒΜΚ (Μικρής Κλίμακας). Στα πλαίσια των "λειτουργικών αποδόσεων" συμπεριλαμβανόταν μεγέθη όπως η μέγιστη παραγόμενη ισχύς του ΑΒΜΚ, ειδική κατανάλωση καυσίμου, απόδοση και επίδοση σε μίξη με ορυκτά καύσιμα, συγκεκριμένα πετρέλαιο, σε κινητήρες ΜΕΚ.

2. Ποιοτικά χαρακτηριστικά ΑΒ. Αντοχή στο χρόνο με την έννοια του κύκλου ζωής του ΑΒ υπό την προϋπόθεση λειτουργίας υπό τις συνθήκες και την τακτική συντήρηση που συνιστούσε ο κατασκευαστής. Στη συγκεκριμένη κατηγορία, το ΠΠΑΒΜΚ (BGMP) συμπεριλαμβάνει μετρήσεις και παρατηρήσεις σε σχέση με τον τύπο των ΜΕΚ, στις οποίες εισάγονταν το καύσιμο όσο και για τα μη-κινούμενα μέρη του ΑΒ.

3. Λειτουργικά χαρακτηριστικά ΑΒ. Σε αυτή την κατηγορία το BGMP συμπεριέλαβε την απαιτούμενη χειρωνακτική εργασία του χρήστη προκειμένου να λειτουργεί ο ΑΒ σε σύγκριση με τις αντίστοιχες για ένα diesel κινητήρα. Επίσης, περιβαλλοντικές επιπτώσεις όπως και ζητήματα υγείας και ασφάλειας που σχετίζονται με τη λειτουργία του ΑΒ.

2.3.2 Επεξήγηση των κριτηρίων απόδοσης ΑΒΜΚ

Στην ενότητα αυτή γίνεται επεξήγηση των προαναφερθέντων κριτηρίων τα οποία έθεσε το BGMP το 1983 και χρησιμοποιούνται σε μελέτες από πανεπιστήμια στις αναπτυσσόμενες χώρες μέχρι και σήμερα (18) , επιπρόσθετα αναφέρονται και άλλες προσεγγίσεις σε κάποια από αυτά τα κριτήρια.

Ουσιαστικά δεν υπάρχει απόλυτα ορισμένη διεθνής σύμβαση για τα κριτήρια που προαναφέρθηκαν. Όμως αυτά στην πράξη ομαδοποιούνται σε δύο κατηγορίες:

1. Η μία κατηγορία κριτηρίων προσεγγίζει την αξιολόγηση ενός ΑΒΜΚ πιο μακροσκοπικά ενώ παράλληλα τη συνδέει άρρηκτα με την προορισμένη χρήση του ΑΒ. Αντί δηλαδή να εξετάσει ένα ΑΒ σε εργαστηριακό περιβάλλον αντιμετωπίζοντας τον ως ανεξάρτητο κατασκεύασμα, τον "τοποθετεί" στο συγκεκριμένο χρόνο, χώρο και χρήση και εξετάζει την απόδοση του σε σχέση με την αποτελεσματικότητα του σε συνδυασμό με αυτή. Για παράδειγμα σε μία διάταξη παραγωγής ρεύματος απόζευξη ΑΒ - ΜΕΚ - Η/Ζ ορίζει τη σχετική κατανάλωση καυσίμου ως τον λόγο της μάζας που καταναλώθηκε προς τις kWhπου παρήγαγε η ηλεκτρογεννήτρια σε πλήρες φορτίο. Ταυτόχρονα για να δώσει ένα σημείο αναφοράς στον μετέπειτα αναγνώστη της μελέτης απλά αναφέρει το μοντέλο του κινητήρα και της ηλεκτρογεννήτριας που χρησιμοποιήθηκαν τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Στην Εικόνα 12 φαίνεται ένας πίνακας συγκεντρωμένων αξιολογήσεων "κατασκευαστικής απόδοσης" ΑΒΜΚ σε διάφορες αναπτυσσόμενες χώρες. Όπως φαίνεται, οι αξιολογήσεις αφορούν μέσες τιμές συγκεντρώσεων πισσών και σκόνης σε ΑΣ και μετάλλων στο λάδι λίπανσης της ΜΕΚ. Οι αριθμοί που δίνονται είναι μέσοι όροι και τα έλαια στις ΜΕΚ είναι προϊόν οπτικών παρατηρήσεων.

2. Η δεύτερη προσέγγιση στην αξιολόγηση ΑΒΜΚ (19) (20) (8) εξετάζει κατά πρώτο λόγο τον ΑΒ ώς μονάδα, απομονώνοντας τον από την υπόλοιπη διάταξη και μετρώντας με χρήση εργαστηριακού εξοπλισμού παραμέτρους όπως σύσταση παραγόμενου ΑΣ, συνολική βιομάζα που καταναλώθηκε προς θερμική ενέργεια που εξήχθηαπό τον ΑΒ κλπ. Σε δεύτερο βαθμό διεξάγει και μετρήσεις επί του συνόλου της διάταξης, συμπεριλαμβάνοντας ΜΕΚ και Η/Ζ. Ουσιαστικά αυτή η προσέγγιση είναι πολύ πιο αναλυτική αλλά και πολύ κοστοβόρα, ενώ παράλληλα το εύρος δείγματος ΑΒ που χρησιμοποιεί είναι συνήθως ένας ΑΒ ενώ η προσέγγιση του BGMPεξετάζει χιλιάδες ΑΒ σε δεκάδες χώρες δίνοντας μια πιο γενική εικόνα στης ενίοτε παρούσας κατάστασης αλλά και της εξέλιξης της τεχνολογίας τον ΑΒΜΚ σε κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Table 4.2 Factors Affecting Life Spans of Producer Gas Engines and Gasifiers at Six BGMP-Monitored Sites

Site	Life-span factor: Gas dust content (mg/Nm^3)[a]	Life-span factor: Gas tar content (mg/Nm^3)[b]	Life-span factor: Metal amount in engine oil
Balong	120–150	120–150	low
Sebubuk	40–80	100–400	low
Onesua	< 5	< 10	low
Mahé	10–30	500–700	medium
Dogofiri	250–300	3,000–4,000	high
Majalengka	< 100	1,000–2,000	high

Note: Nm^3 = normal cubic meter.

[a] < 50 (acceptable); < 5 (preferable). [b] < 100 (acceptable); < 50 (preferable).

Εικόνα 12: Παράγοντες που επηρεάζουν τη διάρκεια ζωής ΜΕΚ και ΑΒ

Παρακάτω παρατίθενται κριτήρια αξιολόγησης και από τις δύο κατηγορίες προσεγγίσεων, με βάση το πόσο συχνά εμφανίζονται στη βιβλιογραφία. Προς ευκολία, οι αξιολογήσεις του BGMP θα ονομάζονται "μακροσκοπικές" και αυτές της δεύτερης κατηγορίας "αναλυτικές".

- Μέγιστη παραγωγή ΑΣ με βάση την αναλυτική προσέγγιση είναι ένα μέγεθος που σχετίζεται με τη θερμογόνο δύναμη του ΑΣ που παράγεται, η οποία συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 4,5 MJ/Nm^3και 5 MJ/Nm^3 (20) (19) για οξειδωτικό μέσο αέρα. Η παραγωγή ΑΣ (SpecificGasificationRate) ορίζεται ως:

SGR=$\frac{Κυβικά\ ΑΣ\ που\ παράγονται\ ανηγμένα\ σε\ ΚΣ}{Μονάδα χρόνου}$και οι μονάδες: Nm^3/h

Με βάση το BGMP το SGR υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο

- Ειδική κατανάλωση καυσίμου (SpecificFuelConsumption) με βάση την αναλυτική προσέγγιση ορίζεται ο λόγος της μάζας καυσίμου που καταναλώθηκε προς προς τις KWh ενέργειας που παρήχθησαν

$$SFC = \frac{kgoffuel}{kWh}$$

Με βάση το BGMP αυτό που ορίζεται ειδική κατανάλωση καυσίμου είναι ο λόγος μάζας καταναλωθέντος καυσίμου προς τις kWh που παρήχθησαν από κινητήρα ΜΕΚ τύπου Otto σε πλήρες φορτίο.

- Η θερμική απόδοση του ΑΒΜΚ είναι ένα από τα βασικότερα μεγέθη που χαρακτηρίζουν τη λειτουργία του. Η αναλυτική προσέγγιση ορίζει ως θερμική απόδοση τον λόγο του καυσίμου που καταναλώθηκε προς την

θερμική ενέργεια που ανακτήθηκε υπό οποιαδήποτε μορφή. Έτσι για παράδειγμα, στη βιβλιογραφία αναφέρονται αποδόσεις ΑΒ σε διατάξεις συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμού αέρα, νερού ή ατμού που οδηγείται σε ατμοστρόβιλο (IGCC) αναφέρονται αποδόσεις κοντά στο 36% (21). Με βάση την προσέγγισή του BGMP οι αποδόσεις περιορίζονται σε μέγιστα του 19% όταν ο ΑΒΜΚ είναι σε ζεύξη με ΜΕΚ.

- Απόδοση ΑΣ σε μίξη με ορυκτό πετρέλαιο. Το BGM ορίζει την "απόδοση ΑΣ ως αντικατάστατο μέρος diesel" (Dieselfuelsubstitutionperformance) ως το ανώτερο ποσοστό που μπορεί να αντικαταστήσει σε συγκεκριμένο, τροποποιημένο κινητήρα, σε πλήρες φορτίο. Γενικά τα αποτελέσματα που αναφέρει είναι αμφίβολα. Σε μία εκ των αξιολογήσεων όμως αναφέρει ότι σε χαμηλό φορτίο επιτεύχθηκε αντικατάσταση 75% του πετρέλαιου με ΑΣ.

- Σε σχέση με την "απόδοση ποιότητας" (SystemEfficiency), το BGMP την ορίζει ως το σύνολο της εργασίας συντήρησης και κόστος αντικατάστασης τμημάτων ΑΒΜΚ σε ζεύξη με ΜΑΚ. Παρότι παραδέχεται ότι η αξιολόγηση αυτή υπόκειται σε αντικειμενικούς παράγοντες αφού η πλειονότητα των παρατηρήσεων είναι οπτικές, αναφέρει ότι σε γενικές γραμμές οι ΑΒΜΚ σε βάθος χρόνου χρειάστηκαν απλή συντήρηση και καθαρισμό αλλά οι ΜΕΚ πετρελαίου παρουσίασαν ασυνήθιστη φθορά, χρειάστηκαν συχνές αντικαταστάσεις μερών του κινητήρα και πολύ συχνές αλλαγές λιπαντικών.

- Περιεχόμενο του παραγόμενου ΑΣ σε πίσσες. Η αναφορά του BGMP αναφέρει ασυνήθιστα μεγάλες συγκεντρώσεις πισσών ειδικά στις "πολλαπλές" (manifolds) εξόδους των ΜΕΚ από τους κυλίνδρους. Μάλιστα, σε ορισμένες περιπτώσεις η συγκέντρωση πισσών έφτασε 40% πάνω από το επιτρεπτό όριο και οι κατασκευαστές των ΑΒΜΚ κατέληξαν ότι η δραστική μείωση των παραγόμενων πισσών είναι μονόδρομος προκειμένου αυτοί να συνεχίσουν να χρησιμοποιούνται σε ΜΕΚ.

- Περιεχόμενο σε μικροσωματίδια. Το BGMP παρατήρησε ότι στο σύνολο των περιπτώσεων που εξέτασε η συγκέντρωση τέφρας στα μέρη των ΜΕΚ ήταν μικρή και δεν δημιουργούσε προβλήματα.

- Επιμόλυνση λιπαντικού ΜΕΚ με μεταλλικά στοιχεία. Το BGMP παρατήρησε ότι στο σύνολο τους οι diesel κινητήρες που δούλευαν με ΑΣ παρουσίασαν μεγάλη συγκέντρωση μεταλλικών στοιχείων, με βασικά τον Σίδηρο και το Αλουμίνιο. Σε περαιτέρω αναλυτική έρευνα που έγινε για την προέλευση αυτών των επιμολύνσεων διαπιστώθηκε ότι προέρχονταν από το εισερχόμενο ΑΣ.

- Εύρος λειτουργίας (TurnDownRatio). Παρότι αναφέρεται τελευταία, είναι ένα από τα πιο χαρακτηριστικά μεγέθη που σχετίζονται με το σχεδιασμό ενός ΑΒΜΚ. Το εύρος λειτουργίας ενός ΑΒ είναι μία παράμετρος που αναφέρεται σε όλη τη βιβλιογραφία που επικεντρώνει στον σχεδιασμό και την αξιολόγηση λειτουργίας ΑΒ (19) (13) (4) (22) (23). Στην πράξη δεν υπάρχει ΑΒ ακόμα και ομορροής τεχνολογίας που να παράγει αέριο ελεύθερο πισσών (Tar- free - gas), παρα μόνο σε διατάξειςπου οδηγούν σε υψηλές θερμοκρασίες, εντός του πυροσωλήνα, οι οποίες διασπούν το μεγαλύτερο μέρος των παραγόμενων πισσών. Το γεγονός αυτό δημιούργησε την ανάγκη για τη θέσπιση ενός λόγου της μέγιστης προς την ελάχιστη παροχή ΑΣ από τον ΑΒ μεταξύ των οποίων ο ΑΒ μπορεί να δώσει αποδεκτή ποιότητα ΑΣ για εισαγωγή σε ΜΕΚ. Κάτω από μια συγκεκριμένη παροχή ΑΣ άρα και αέρα στην εστία, ο ΑΒ παράγει απαράδεκτη ποιότητα αερίου με υψηλά ποσοστά κυρίως σε πίσσες αλλά και άλλες ανεπιθύμητες ενώσεις, οι οποίες θα προκαλέσουν μεγάλες φθορές στην ΜΕΚ αν το αέριο εισαχθεί σε αυτήν.

- Εργατικά (Labor). Με αυτό τον όρο η παραπάνω εργασία που απαιτείται για τη συντήρηση ενός ΑΒ προκειμένου να λειτουργεί συνεχώς και κανονικά σε σχέση με μία ΜΕΚ πετρελαίου.

- Ποιότητα και καταλληλόλητα μη κινούμενων τμημάτων του ΑΒ. Σε αυτό το κριτήριο συμπεριλαμβάνονται όλα τα κρίσιμα τμήματα και επιλεγμένα υλικά του ΑΒ προκειμένου αυτός να λειτουργεί απρόσκοπτα χωρίς να εμφανίζει αστοχίες ή θέματα ασφαλείας. Χρήση ανοξείδωτων μετάλλων σε τμήματα στα οποία συσσωρεύονται πολύ ισχυρές οξειδωτικές ενώσεις, όπως συμπυκνώματα θείου κλπ. Προσεκτικά ερμητικές συναρμογές και οτιδήποτε οφείλει να εξασφαλίζει απροβλημάτιστη λειτουργία του ΑΒ, με την ελάχιστη συντήρηση, συμπεριλαμβάνεται σε αυτό το κριτήριο.

Κεφάλαιο 3. Κατασκευή του Αεριοποιητή Βιομάζας

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η κατασκευή του ΑΒ. Αρχικά γίνεται παρουσίαση των σχεδίων εφαρμογής και της τελικής κατασκευής. Κατόπιν γίνεται αναλυτική αναφορά στις διαστάσεις και τα υλικά κατασκευής των επιμέρους τμημάτων του ΑΒ. Ακολούθως παρατίθεται το κόστος των υλικών και μια εκτίμηση για το συνολικό κόστος, ως ένα χρήσιμο στοιχείο αναφοράς στα πλαίσια της προσεγγιστικής εκτίμησης του συνολικού κόστους κατασκευής της ΟΜΠΕΒ. Στις επόμενες ενότητες γίνεται αναφορά στη λογική και τη βιβλιογραφική βάση πάνω στην οποία βασίστηκαν οι επιλογές διαστάσεων και υλικών σε σχέση με τα κριτήρια που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο και την επιθυμητή παραγόμενη ισχύ του ΑΒ. Κατόπιν γίνεται αναφορά στις αλλαγές που έγιναν σε σχέση με τα αρχικά σχέδια και δικαιολόγηση αυτών.

3.1Εισαγωγή στα σχέδια της τελικής κατασκευής και τον τύπο ΑΒ

Ένα από τα βασικά ζητούμενα που καθόρισε το σχεδιασμό του ΑΒ που κατασκευάστηκε ήταν να μπορεί να αποσυναρμολογηθεί στα επί μέρους βασικά του τμήματα και μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής. Για να είναι εφικτό αυτό έπρεπε να σχεδιαστεί έτσι ώστε το κάθε τμήμα να συνδέεται με το άλλο χωρίς να παρεμβάλλεται συγκόλληση αλλά μόνο κοχλίες, γεγονός που αποτέλεσε πρόκληση, καθότι η στεγανότητα των συναρμογών σε έναν ΑΒ είναι βασικό προαπαιτούμενο για την καλή λειτουργία του. Παράλληλα έπρεπε οι κοχλίες, τα περικόχλια και τα σπειρώματά του να είναι λίγα στον αριθμό, αντοχής στο χρόνο και εύκολα στην πρόσβαση.

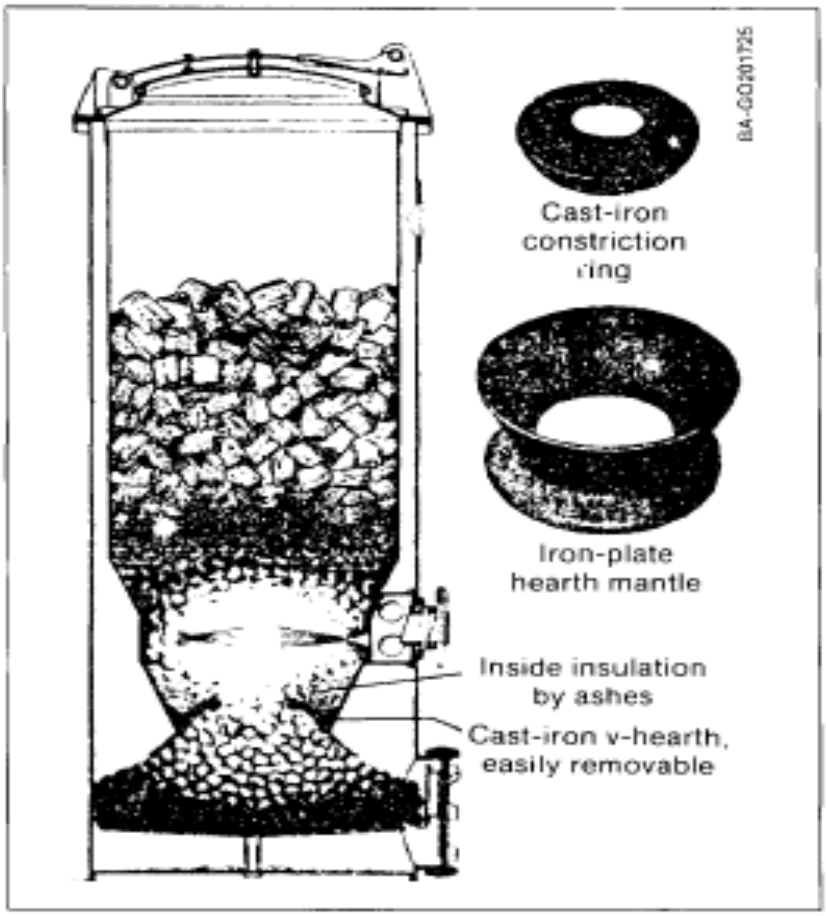
Δεδομένου ότι ο ΑΒ που κατασκευάστηκε προορίζεται για πειραματική χρήση, το οποίο συνεπάγεται ανάγκη για γρήγορη αποσυναρμολόγηση και επανασυναρμολόγηση, τα επιμέρους τμήματα του δένονται μεταξύ τους με μόλις 16 βίδες Μ10 περιμετρικά και 4 βίδες εσωτερικά. Ο χρόνος αποσυναρμολόγησής του με χρήση ενός απλού μπουλονόκλειδου δεν ξεπερνάει τα 10 λεπτά.

Επίσης, τα υλικά και ο τρόπος συγκόλλησης αλλά και η σύσφιξη με βίδες έγιναν με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή στεγανότητα στα σημεία συναρμογής χωρίς τη χρήση ελαστικών ή άλλων πυράντοχων υλικών στεγάνωσης, που κινδυνεύουν να φθαρούν με το χρόνο επιτρέποντας είσοδο αέρα από μη προβλεπόμενα σημεία που θα μπορούσε να προκαλέσει οπισθο-ανάφλεξη (backfire).

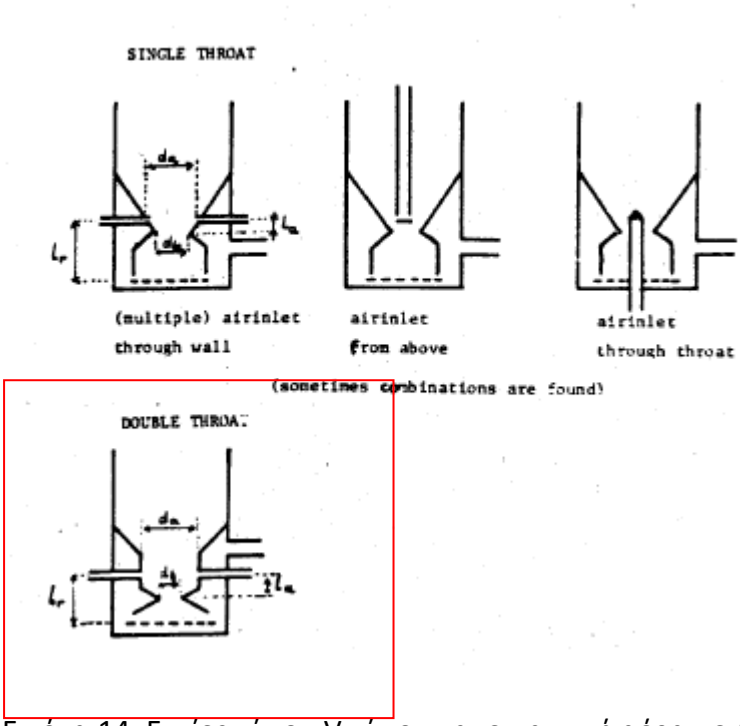
Το βασικότερο τμήμα που καθορίζει τη λειτουργία ενός ΑΒ ομορροής (downdraft) είναι το σχήμα της εστίας (hearth) του αντιδραστήρα. Το πιο επιτυχημένο μοντέλο

ΑΒ ομορροής το οποίο χρησιμοποιήθηκε ευρέως από το ’50 για χρήση σε ΜΕΚ είναι το "Imbertdesign" τύπου "V" (8). Ακόμα και σήμερα αυτός ο τύπος εστίας χρησιμοποιείται σε πειραματικές μελέτες και δημοσιεύσεις (9) (19). Στην Εικόνα 13. και Εικόνα 14 φαίνεται σκαριφηματικά αυτός ο τύπος εστίας.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 13, μεταξύ δεξαμενής καυσίμου και εστίας του αντιδραστήρα παρεμβάλλεται ένας δακτύλιος περιορισμού διατομής (constrictionring), μετά από αυτό ακολουθεί ένας συγκλίνων μανδύας τύπου "V" ο οποίος αποκλίνει στο κάτω μέρος του ξανά. Στο συγκεκριμένο εγχειρίδιο (8) προτείνεται ο χυτοσίδηρος ως υλικό, για λόγους αντοχής στη θερμοκρασία. Αλλά σε άλλες μελέτες χρησιμοποιήθηκε INOX 304 (9), αφού μπορεί να αντέξει εξίσου καλά τόσο σε θερμοκρασιακή καταπόνηση όσο και σε οξείδωση, χωρίς να απαιτείται μεγάλο πάχος και συνακόλουθα βάρος του μεταλλικού φύλου.



Εικόνα 13: Σχέδιο ΑΒ ομορροής με V τύπου εστία



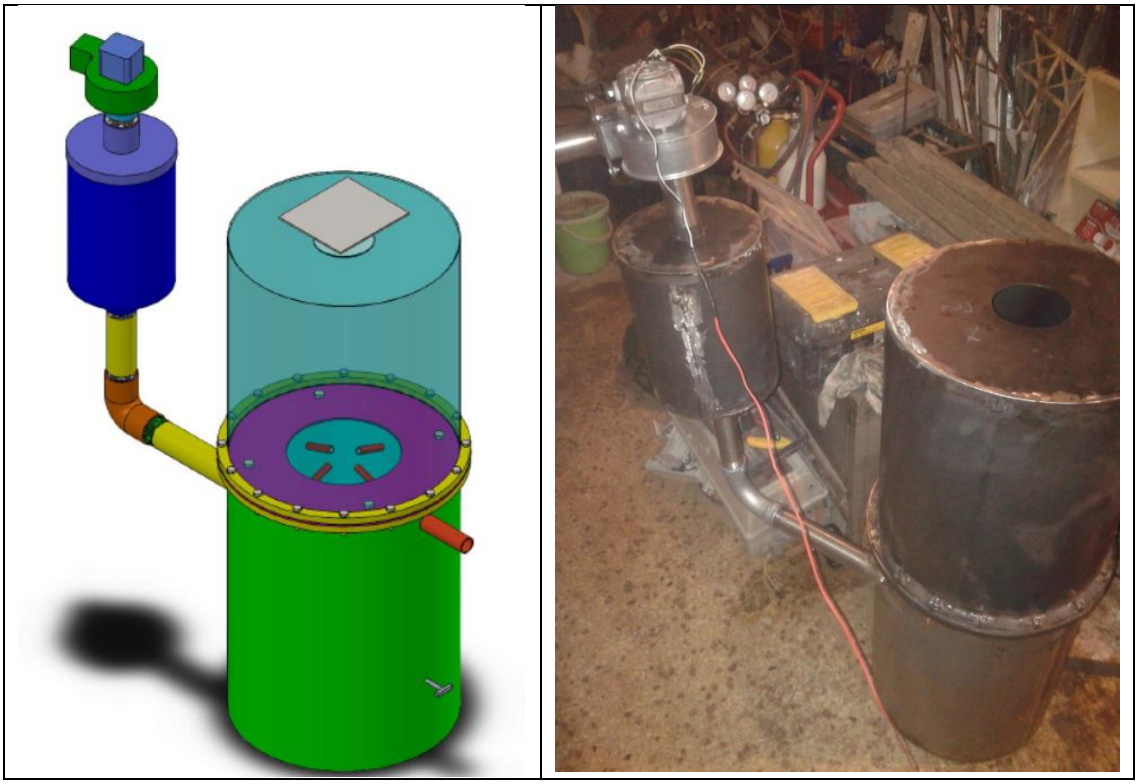
Εικόνα 14: Εστίες τύπου V τύπου και εισαγωγή αέρα σε ΑΒ ομορροής

Ο τύπος εστίας "V" χρησιμοποιήθηκε και για την κατασκευή του ΑΒ στην παρούσα διπλωματική. Πρέπει να σημειωθεί ότι στη συγκεκριμένη κατασκευή, όπως φαίνεται στη

Εικόνα 15, δεν έχει προστεθεί κάτω αποκλίνον τμήμα, αλλά αντ 'αυτού η αποκλίνουσα ζώνη δημιουργείται λόγω της κατάλληλης απόστασης στην οποία τοποθετήθηκε η ειδικά σχεδιασμένη σχάρα με στεφάνι, ώστε τα καμένα πέλλετ να μην διαφεύγουν δημιουργώντας έτσι το αποκλίνον τμήμα.

Εικόνα 15: Απεικόνιση εστίας του ΑΒ που κατασκευάστηκε

Τα σχέδια που ακολουθούν έχουν τροποποιηθεί κατά τη διάρκεια της κατασκευής και αποτυπώνουν με διαστασιολογική ακρίβεια την τελική κατασκευή (πλην της προσθήκης έξτρα ακροφυσίων εισαγωγής αέρα). Στην Εικόνα 16 φαίνεται το σχέδιο του ΑΒ (σε Solidworks) σε αντιπαραβολή με την τελική κατασκευή.



Εικόνα 16: Αντιπαραβολή σχεδίου κατασκευής και της τελικής κατασκευής

3.2 Παρουσίαση και περιγραφή σχεδίων

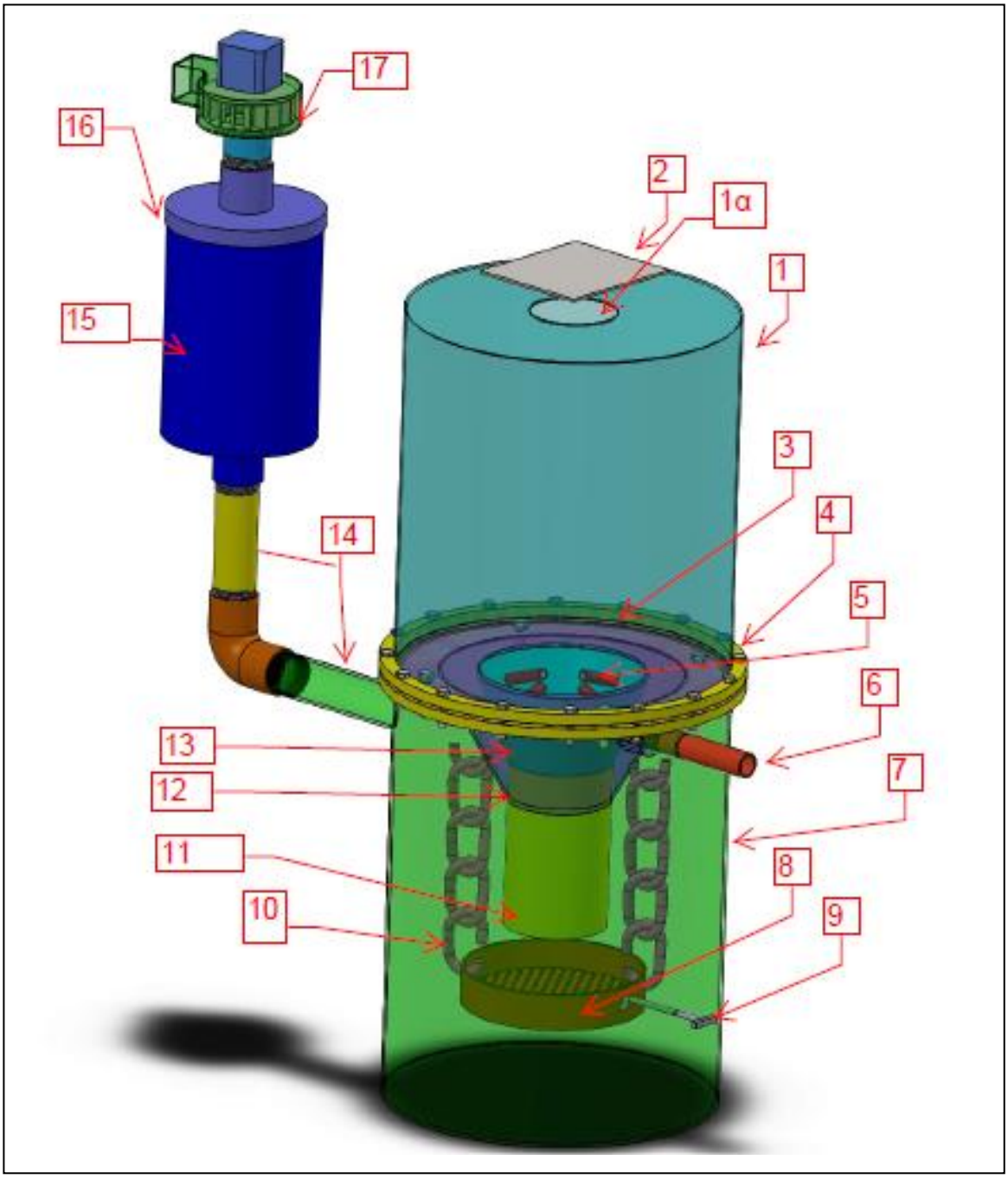
Στην Εικόνα 17 φαίνεται το τελικό σχέδιο του ΑΒ που κατασκευάστηκε, σε Solidworks, με αρίθμηση των επιμέρους τμημάτων του.

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι τμήματα του τρισδιάστατου σχεδίου έχουν μετατραπεί σε ημιδιαφανή προκειμένου να είναι ορατό το εσωτερικό μέρος.

Στον Πίνακας 1 περιγράφονται τα προαναφερθέντα τμήματα με αριθμητική σειρά:

Πίνακας 1: Αναλυτική περιγραφή διαστάσεων υλικών των επιμέρους τμημάτων του ΑΒ

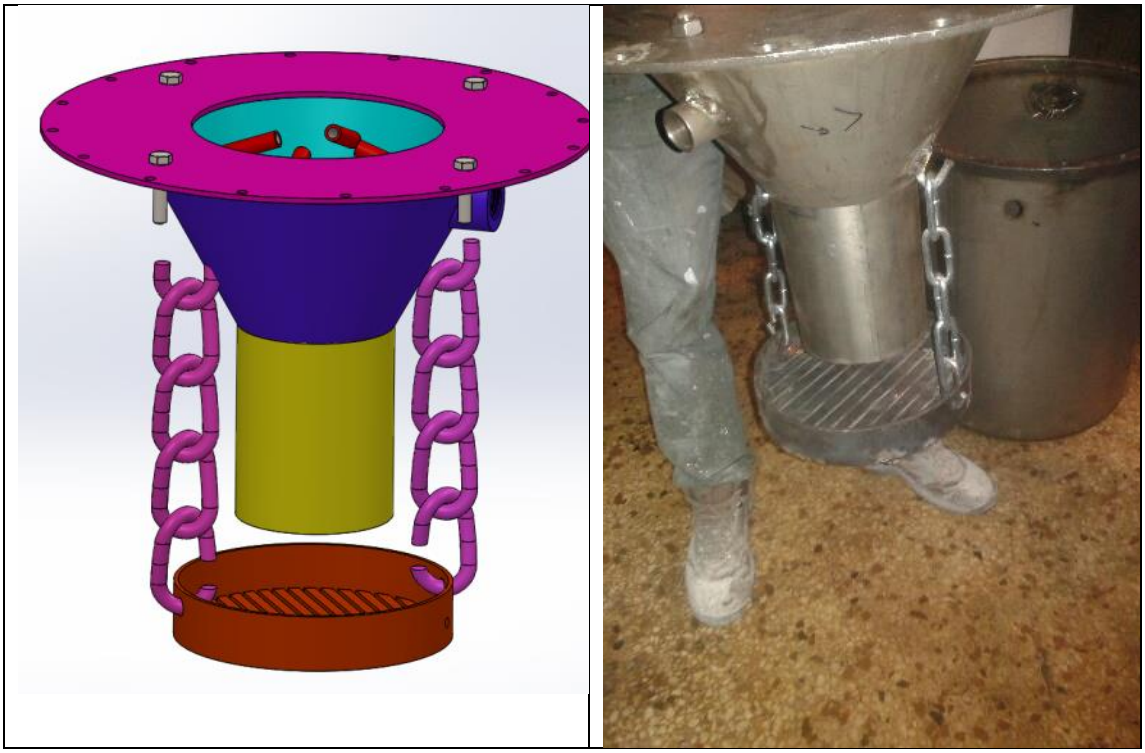
Α/Α	**Περιγραφή τμήματος ΑΒ**(Εικόνα 3.2.1)	**Υλικό**	**Διαστάσεις (mm)**			**Πάχος (mm)**
			Υψος	**Διάμετρος (εξωτερική)**	**Μήκος**	
1	Δεξαμενή καυσίμου και 1α ή οπή εισόδου καυσίμου στο άνω της μέρος.	Μαύρη λαμαρίνα	510	460		1,5
2	Μεταλλική πλάκα κάλυψης - στεγάνωσης της οπής της δεξαμενής.	Μαύρη λαμαρίνα	200	200		4
3	Δακτύλιος διαχωρισμού δεξαμενής με εστία ΑΒ.	INOX 304		497		5
4	Τα δύο τσέρκια με τρύπες και σπειρώματα, εκ των οποίων το ένα είναι συγκολημένο στο κάτω μέρος της δεξαμενής και το άλλο στο άνω μέρος του κελύφους της εστίας.	Μαυρο μασίφ καρέ	20	500		20
5	Ακροφύσια εισαγωγής αέρα στην καρδιά της εστίας	INOX 304		14	70	10
6	Αγωγός εισόδου αέρα εντός του διάκενου μεταξύ εξωτερικού και εσωτερικού κώνου.	INOX 304		34	300	3
7	Κέλυφος εστίας	INOX 304	590	457		3
8	Σχάρα εστίας με διάκενα 4mm	Μαύρο μασίφ καρέ και μαύρη λαμαρίνα (στεφάνι)	55	240		
9	Ανακινητής σχάρας εστίας	Μαυρο μασίφ καρέ		8	180	
10	Αλυσίδες συγκράτησης σχάρας σε απόσταση περίπου 10cm από το κάτω μέρος του σωλήνα της εστίας.	Γαλβανιζέ	300			14
11	Λαιμός (throat) της εστίας.	INOX 304	230	140		3
12	Εξωτερικός κώνος εστίας	INOX 304	150	335/148		4
13	Εσωτερικός κώνος εστίας.	INOX 304	95	231/140		4
14	Αγωγοί εξόδου του αερίου από την εστία του ΑΒ.	INOX 304		42		4
15	Φίλτρο ΑΒ	Μαύρη λαμαρίνα	314	230		2
16	Καπάκι φίλτρου ΑΒ	Μαύρη λαμαρίνα	18	238		2
17	Απαγωγός ΑΒ.	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A



Εικόνα 17: Αρίθμιση των επιμέρους τμημάτων του ΑΒ όπως αυτά περιγράφονται στον Πίνακα 1

Στην Εικόνα 18 που ακολουθεί φαίνεται ο ΑΒ που κατασκευάστηκε χωρίς βαφές και πριν γίνουν δοκιμαστικές λειτουργίες. Στην Εικόνα 19 φαίνεται η καρδιά του ΑΒ σε αντιπαραβολή μεταξύ σχεδιασμού και πραγματικής κατασκευής.

Εικόνα 18: Απεικόνιση της διάταξης ΑΒ πριν την έναρξη δοκιμών



Εικόνα 19: Απεικόνιση της εστίας ΑΒ σχεδιασμός και τελική διάταξη

3.3 Κόστος υλικών

Το συνολικό βάρος της κατασκευής, χωρίς τον απαγωγό, είναι 91Kg. Εκ των οποίων τα 50Kg είναι ανοξείδωτο ατσάλι SS304 και τα 41 είναι από απλό χάλυβα.

Στο συνολικό κόστος υλικών περιλαμβάνονται κατεργασίες διαμόρφωσης φύλλων μετάλλου, όπως κουρμπαρίσματα σε κυλίνδρους και κώνους. Ο λαιμός όπως και οι αγωγοί εισόδου και εξόδου αέρα είναι τύπου "tubo" δηλαδή χωρίς ραφή. Όλες οι συγκολλήσεις και η διάνοιξη σπειρωμάτων και τρυπών έγινε στο ιδιόκτητο μηχανουργείο μου με χρήση MIG, τόρνου και φρέζας οπότε δεν συμπεριλαμβάνονται ως κόστος εργασίας στο κάτωθι ποσό.

Το σύνολο των INOX εξαρτημάτων κόστισε: 600€ προ ΦΠΑ

Το σύνολο των Χαλύβδινων εξαρτημάτων κόστισε: 200€ προ ΦΠΑ

Ο απαγωγόςκόστισε: 85€ προ ΦΠΑ

Συνολικό κόστος υλικών ΑΒ: **885€** προ ΦΠΑ

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι μηχανουργικές εργασίες που απαιτήθηκαν συμπεριλάμβαναν διάνοιξη πολλών οπών με μεγάλη ακρίβεια ώστε να ταιριάζουν στη συναρμολόγηση του ΑΒ. Επίσης απαιτήθηκε η δημιουργία πολλών

σπειρωμάτων σε κυλινδρικά τμήματα από υλικό όπως το SS304. Η μηχανουργική μόνο των τμημάτων από SS304 είχε ως αποτέλεσμα μεγάλη φθορά σε ειδικά κοπτικά τόρνευσης, διάτρησης και φρεζαρίσματος, η οποία δεν αναφέρεται στις τιμές. Γενικά οι εργατοώρες μαζί με τα αναλώσιμα σίγουρα αποτελούν ένα μεγάλο μέρος του κόστους της κατασκευής του εν λόγω ΑΒ, το οποίο καθιστά το κόστος των υλικών μη αντιπροσωπευτικό του τελικού κόστους. Μία αδρή εκτίμηση του συνολικού κόστους υλικών και κατασκευής σίγουρα ξεπερνάει τις 2500€.

Στην παρούσα εργασία, δεν μπορεί να γίνει ακριβής και ασφαλής εκτίμηση του τελικού συνολικού κόστους κατασκευής που θα είχε ένα τέτοιος ΑΒ στην αγορά καθώς σε περίπτωση μαζικής παραγωγής το κόστος θα έπεφτε χαμηλότερα.

3.4Επιλογή υλικών κατασκευής-Μεταλλικά μέρη εστίας (Heart) ΑΒ

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενες ενότητες, το βασικό μέρος του ΑΒ είναι η εστία. Ο σχεδιασμός και η κατασκευή της εστίας και του αντιδραστήρα γενικότερα έγινε με βάση τη λογική ότι αυτά θα φτιαχτούν από υλικά τα οποία δεν θα χρειαστεί να αντικατασταθούν στο μέλλον λόγω φθοράς. Δεδομένου ότι τα υλικά του αντιδραστήρα είναι αυτά που υφίστανται τις μεγαλύτερες θερμικές καταπονήσεις και χημικές διαβρώσεις δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή τους.

Ανάλογα με παραμέτρους, όπως το ποσοστό υγρασίας στο καύσιμο (24), την αναλογία αέρα - καυσίμου (24) και τον ίδιο τον τύπο του αντιδραστήρα (8), οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται ιδιαίτερα στο ύψος των ακροφυσίων (nozzles) και κάτω, στο οποίο βρίσκονται οι ζώνες καύσης (combustion) και ελάττωσης(reduction), οι θερμοκρασίες φτάνουν στα ανώτερα τους επίπεδα τα οποία μπορεί να ξεπερνούν τους 1200^{o}C (11)(13)(12). Προκειμένου να αντέχουν τα μέταλλα της εστίας σε τέτοιες υψηλές θερμοκρασίες, σε σχετικές μελέτες αναφέρονται δύο λύσεις, είτε η χρήση χυτοσίδηρου ή μαλακού σιδήρου μεγάλου πάχους που μπορεί να φτάνει μέχρι και τα 25mm (8), είτε η χρήση ανοξείδωτου ατσαλιού το οποίο αντέχει σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες από τους 1200^{o}C. Πιο συγκεκριμένα, το σημείο τήξης του χυτοσίδηρου είναι στους 1127^{o}C, ενώ το ανοξείδωτο ατσάλι, αναλόγως την περιεκτικότητά του σε χρώμιο, μπορεί να αντέξει μέχρι και 1510^{o}C(14).

Παράλληλα, τα μεταλλικά μέρη του αντιδραστήρα βρίσκονται σε ιδιαίτερα οξειδωτικό χημικό περιβάλλον, καθότι όπως φαίνεται και στην Εικόνα 20, κατά την αεριοποίηση βιομάζας σε ΑΒ ομορροής (downdraft) παράγονται μεγάλες ποσότητες οργανικών οξέων και όξινων αερίων.

Με βάση τους δύο προαναφερθέντες παράγοντες, ειδικά για ΑΒ "βάσης", δηλαδή ΑΒ οι οποίοι προορίζονται για χρόνια σταθερή παραγωγή ΑΣ προς τροφοδότηση εγκαταστάσεων ή οικιών, συστήνεται η χρήση ανοξείδωτων μετάλλων (8). Μάλιστα εταιρίες στην Ινδία που κατασκευάζουν ΑΒ ομορροής για λογαριασμό πελατών έχουν πια καθιερώσει τη χρήση INOX 304 στα μέρη του αντιδραστήρα (9).

Στην εργασία αυτή δεδομένων όλων των παραπάνω, χρησιμοποιήθηκε INOX 304 για όλα τα μέρη του αντιδραστήρα, εκτός από τη δεξαμενή καυσίμου η οποία κατασκευάστηκε ως προσωρινή λύση μέχρι να προχωρήσει η κατασκευή της ΟΜΠΕΒ στο τελικό στάδιο.

Summary of Condensate Analysis (Downdraft Gasifier)

pH	3.6
Total organic carbon (mg/L) (TOC)	55450
Chemical oxygen demand (mg/L) (COD)	131900
COD/TOC ratio	2.4
Total acidity (eq/L)	0.60
Phenols (mg/L as phenol)	4990
Organic acids (mg/L as acetic)	37430
Methanol (mg/L)*	15310
Acetone (mg/L)	3550
Tannin and lignin (mg/L as tannic acid)**	7040

Εικόνα 20: Σύσταση συμπυκνωμάτων που παράγονται κατά την αεριοποίηση βιομάζας σε ΑΒ ομορροής (7).

Στην Εικόνα 21 φαίνεται ξεκάθαρα η οξείδωση που έχει υποστεί η δεξαμενή (ανεστραμμένη) από τα προαναφερθέντα οργανικά και ανόργανα οξέα που παράγονται κατά την αεριοποίηση βιομάζας. Αντίθετα στην Εικόνα 22 φαίνονται και οι δύο πλευρές του κυκλικού δίσκου με τη χοάνη και το λαιμό του αντιδραστήρα, οι οποίες δεν έχουν επηρεαστεί ούτε στο ελάχιστο από το διαβρωτικό περιβάλλον.

Εικόνα 21: Απεικόνιση αντεστραμμένης δεξαμενής μετά τη διεξαγωγή πειραμάτων

Εικόνα 22: Απεικόνιση κυκλικού δίσκου με την χοάνη και το λαιμό του αντιδραστήρα

3.5Διαστασιολόγηση βασικών τμημάτων ΑΒ

Στην ενότητα αυτή γίνεται βιβλιογραφική θεμελίωση των τελικών επιλογών διαστάσεων για τα βασικά μέρη της εστίας του ΑΒ.

3.5.1Δεξαμενή καυσίμου

Οι διαστάσεις της δεξαμενής καυσίμου που κατασκευάστηκε επιλέχθηκαν με τη λογική ότι αυτή η δεξαμενή θα χρησιμοποιηθεί μόνο στις πειραματικές δοκιμές. Όταν τελικά κατασκευαστεί η ΟΜΠΒΕ, η δεξαμενή αυτή θα αντικατασταθεί με μία που θα έχει τις διαστάσεις και τις προδιαγραφές ασφαλείας της ΟΜΠΒΕ. Ετσι, δεδομένου ότι ο αντιδραστήρας θα παραμείνει ο ίδιος διαστασιολογικά και στην τελική κατασκευή της ΟΜΠΒΕ, η δεξαμενή που κατασκευάστηκε είχε τις κατάλληλες διαστάσεις από πλευράς διαμέτρου και περιμετρικού τσερκιού με τρύπες πρόσδεσης με τον αντιδραστήρα, ώστε να μπορεί να εξασφαλίσει στεγανή συναρμογή με αυτόν. Το ύψος που καθορίζει και τη χωρητικότητα της επιλέχθηκε να είναι αρκετά μεγάλο ώστε να χωράει ποσότητα πέλλετ για κάθε πιθανό σενάριο πειραματικών δοκιμών. Η οπή εισόδου στο πάνω μέρος επιλέχθηκε να έχει διάμετρο 120mmαπλά για να είναι εύκολη η εισαγωγή πέλλετ από το τσουβάλι σε αυτήν. Ειδικό καπάκι ασφαλείας με προφορτισμένο ελατήριο δεν κατασκευάστηκε, καθότι, όπως προέκυψε και από τις προπειραματικές δοκιμές, ήταν υπερβολή σε επίπεδο κόστους αφού δεν αναπτύσσονταν ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες στο άνω μέρος της δεξαμενής.

3.5.2 Κώνος - Λαιμός

Στην κατασκευή ενός ΑΒ οι διαστάσεις των βασικών τμημάτων της εστίας θεωρούνται καθοριστικής σημασίας για την απόδοσή του. Ταυτόχρονα οι διαστάσεις λαιμού και κώνου είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με το εύρος των παροχών που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν.

Παρότι, όπως αναφέρεται στο 1ºκεφάλαιο, η διεθνής βιβλιογραφία καταλήγει σε ένα διαχωρισμό των ζωνών θερμοχημικών αντιδράσεων καθ ‘ ύψος σε ένα ΑΒ ομορροής, δεν υπάρχουν σαφείς διαχωριστικές γραμμές μεταξύ αυτών, σίγουρα υπάρχει αλληλοεπικάλυψη μεταξύ τους και η έκταση (σε ύψος) της κάθε μιας δεν μπορεί να διαχωριστεί με σαφήνεια (22).

Ουσιαστικά, στους ΑΒ ομορροής μονού ή διπλού λαιμού το σύνολο της κάθετης αλληλουχίας, ο κώνος ελάττωσης διαμέτρου – ο φλογοσωλήνας – η αύξηση διαμέτρου – η σχάρα, αντιμετωπίζεται ως ένα ενιαίο στο οποίο συντελείται η διαδικασία της αεριοποίησης. Ελάχιστα κάτω από το ύψος των ακροφυσίων εισαγωγής αέρα αρχίζει η ζώνη οξείδωσης (22) (25). Οι παράμετροι οι οποίοι καθορίζουν στο μεγαλύτερο βαθμό την απόδοση ενός ΑΒ από πλευράς παραγόμενου ΑΣ σε διάφορες παροχές, άρα και φορτία, είναι (δεδομένης της υγρασίας, της θερμογόνου δύναμης και γεωμετρίας καυσίμου):

- Οι θερμοκρασίες που επικρατούν στις ζώνες φλογοπυρόλυσης, οξείδωσης και αναγωγής που αναπτύσσονται ανάλογα με την παροχή αέρα και καυσίμου
- Η κατακόρυφη έκταση των προαναφερθέντων ζωνών.
- Ο χρόνος παραμονής (residence time). Ο οποίος απλουστευτικά θεωρείται ο χρόνος που θα παραμείνει ένας συγκεκριμένος όγκος αερίου εντός της "καρδιάς" της εστίας ξεκινώντας από το ύψος της ζώνης φλογο-πυρόλυσης μέχρι την έξοδό του από τη ζώνη αναγωγής.

Οι τρεις παραπάνω είναι οι θεμελιώδεις παράμετροι, όλες οι άλλες ουσιαστικά καθορίζουν ή καθορίζονται από αυτές.

Η διαστασιολόγηση του κώνου, του σωλήνα και της σχάρας καθώς και η απόσταση της τελευταίας από το κάτω μέρος του σωλήνα είναι καθοριστικός παράγοντας για την απόδοση του ΑΒ με βάση τα κριτήρια που αναφέρθηκαν στο 2º κεφάλαιο. Φυσικά, παράγοντες όπως διαστάσεις, ποιότητα και υγρασία καυσίμου παίζουν εξίσου σημαντικό ρόλο, αλλά αποτελούν μεταβλητές καθώς παρουσιάζουν διακύμανση ανάλογα με το είδος καυσίμου που χρησιμοποιείται.

Επίσης, μια άλλη συνιστώσα που καθορίζει τις διαστάσεις που θα επιλεγούν είναι η απαίτηση ισχύος από τον ΑΒ και το "εύρος καλής λειτουργίας" (Turndownratio),

δηλαδή ο λόγος μεταξύ μέγιστου και ελάχιστου φορτίου στα οποία ο ιδιοκτήτης προσδοκά από τον ΑΒ να παράγει αποδεκτή ποιότητα ΑΣ για οποιαδήποτε χρήση (συνήθως τροφοδότηση ΜΕΚ)

Στην πορεία της αναζήτησης βιβλιογραφικών αναφορών σε γενικούς κανόνες διαστασιολόγησης της εστίας του ΑΒ διαπιστώθηκε ότι για παρόμοιες διαστάσεις υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις σε παραγόμενη ισχύ, σε ειδικές καταναλώσεις καυσίμου αλλά και σε θερμοκρασίες (19) (20) (4) (17) (9) (6) (14) (8) (7). Ένα ενδεικτικό παράδειγμα των προαναφερθέντων αποκλίσεων θα μπορούσε να εξαχθεί από την αντιπαραβολή των πινάκων 2 και 3 αντιστοίχισης διαστάσεων λαιμού για διάφορες παραγόμενες ισχύς. Για ισχύ 30hp και 35 hp αντίστοιχα στον πίνακα του SERI (8) δίνεται προτεινόμενη διάμετρος 152mm, ενώ στον άλλο πίνακα (22) δίνεται 460mm. Μια απόκλιση της τάξεως του 300%, καθώς ο όγκος του αντιδραστήρα, ο χρόνος αντίδρασης και οι παροχές αέρα και καυσίμου διαφέρουν

Παρόλα αυτά, υπάρχουν συγκλίνουσες απόψεις στη συσχέτιση μήκους σωλήνα, ύψους κώνου, θέσης και διάστασης σχάρας με την έκταση των ζωνών αεριοποίησης και επιδράσεις που μπορεί ή έχει παρατηρηθεί να έχουν οι διαστάσεις αυτές στην απόδοση του ΑΒ σε μεταβαλλόμενα φορτία.

Με βάση τα παραπάνω, προκειμένου να επιλεγούν τελικά διαστάσεις, πρώτα πρέπει να καθοριστούν οι απαιτήσεις από τον ΑΒ. Δεδομένου ότι η εργασία αυτή επικεντρώνεται στην κάλυψη μιας κατοικίας σε ηλεκτρικό ρεύμα, έπρεπε να τεθεί η ελάχιστη και η μέγιστη ισχύς. Η ελάχιστη μπορεί να περιορίζεται σε λιγότερο από 180Wel, αλλά η μέγιστη ως άθροισμα μιας ηλεκτρικής κουζίνας ταυτόχρονη λειτουργία ματιών και φούρνου (6,2kW) **Invalid source specified.**, ενός θερμοσίφωνα 100lt (3,33 kW) **Invalid source specified.**, κλιματιστικού 9000 Btu (1,1 kW) **Invalid source specified.**, βραστήρα (1000 Watt), τηλεόρασης, υπόλογιστών και άλλων συσκευών, μπορεί να ξεπεράσει τα 15kWel.

Με βάση τον παρακάτω Πίνακας 2, ένα από τα πιο εξειδικευμένα ινστιτούτα της Αμερικής στους ΑΒ, το SERI (8), η κατά προσέγγιση διάμετρος του λαιμού του ΑΒ πρέπει να είναι μεταξύ 4'' και 6'' δηλαδή 101mm έως 152mm.

Πίνακας 2: Διαστάσεις φλογοσωλήνα (8)

Fire tube dimensions

Inside diameter (inches)	Minimum length (inches)	Engine power (hp)	Typical engine displacement (cubic inches)
2-	16	5	10
4-	16	15	30
6	16	30	60
7	18	40	80
8	20	50	100
9	22	65	130
10	24	80	160
11	26	100	200
12	28	120	240
13	30	140	280
14	32	160	320

Δεδομένων των 127 mm ως μέσο όρο, με βάση τον Πίνακας 3 από το ίδιο ινστιτούτο (8) επιλέγοντας τα 130mm ως διάμετρο σωλήνα, το προτεινόμενο μήκος είναι 300mm. Επίσης, από τον ίδιο πίνακα προκύπτει ότι το εύρος καλής λειτουργίας για αυτές τις διαστάσεις είναι αρκετά μεγάλο, ξεκινώντας από 15Nm^3/h και φτάνει τα 115Nm^3/h. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι με βάση τη μελέτη(7) πάνω σε ζεύξη ΑΒ ομορροής με ηλεκτρογεννήτρια (7), η παραγωγή ΑΣ 12,5Nm3/h και θερμογόνου 4.9 MJ/ Nm3 μπορεί να καλύψουν ηλεκτρογεννήτρια ηλεκτρικής ισχύος 5kWel.

Πίνακας 3: Διαστάσεις ακροφυσίων και εστίας (1)

Table 5-2. Imbert Nozzle and Hearth Diameters

d_r/d_h	d_h mm	d_r mm	$d_{r'}$ mm	h mm	H mm	R mm	A No.	d_m mm	$\frac{A_m \times 100}{A_h}$	$\frac{d_r}{d_h}$	$\frac{h}{d_h}$	Range of Gas Output max. Nm^3/h	Range of Gas Output min. Nm^3/h	Maximum Wood Consumption kg/h	Air Blast Velocity Vm m/s
268/60	60	268	150	80	256	100	5	7.5	7.8	4.5	1.33	30	4	14	22.4
268/80	80	268	176	95	256	100	5	9.0	6.4	3.3	1.19	44	5	21	23.0
268/100	100	268	202	100	256	100	5	10.5	5.5	2.7	1.00	63	8	30	24.2
268/120	120	268	216	110	256	100	5	12.0	5.0	2.2	0.92	90	12	42	26.0
300/100	100	300	208	100	275	115	5	10.5	5.5	3.0	1.00	77	10	36	29.4
300/115	115	300	228	105	275	115	5	11.5	5.0	2.6	0.92	95	12	45	30.3
300/130	130	300	248	110	275	115	5	12.5	4.6	2.3	0.85	115	15	55	31.5
300/150	150	300	258	120	275	115	5	14.0	4.4	2.0	0.80	140	18	67	30.0
400/130	130	400	258	110	370	155	7	10.5	4.6	3.1	0.85	120	17	57	32.6
400/150	135	400	258	120	370	155	7	12.0	4.5	2.7	0.80	150	21	71	32.6
400/175	175	400	308	130	370	155	7	13.5	4.2	2.3	0.74	190	26	90	31.4
400/200	200	400	318	145	370	153	7	16.0	3.9	2.0	0.73	230	33	110	31.2

Παράλληλα, με βάση μελέτη του ίδιου ινστιτούτου (8), όπως φαίνεται στον Πίνακας 4, για τροφοδότηση ΜΕΚ ισχύος μεταξύ 15 και 30 hp, δηλαδή από10KW και πάνω, η διάμετρος του φλογοσωλήνα πρέπει να είναι μεταξύ 100-150mm. Επίσης, στην ίδια μελέτη αναφέρεται ότι στην πράξη οι μεγαλύτερες αποδόσεις για τέτοιας επιτεύχθηκαν με διαμέτρους λαιμού γύρω στα 130mm βάση χρησιμοποιώντας βιομάζα ξυλώδους προέλευσης.

Πίνακας 4: Κανόνες διαστασιολόγησης για τον αεριοποιητή με βιομάζα ξυλώδους προέλευσης (1)

Table 1: Interpretation of capacity design rules for gasifier design without throat.
(assumed is: 1 HP = 1,1 $kg.h^{-1}$)

Capacity (HP)	Capacity ($kg.h^{-1}$)	tube diameter (cm)	rel. capacity ($kg.h^{-1}.m^{-2}$)
* by Jaeger [3, page 103]			
9	10	30	141
12	13	35	135
20	22	40	175
35	39	45	239
55	61	50	306
70	77	55	324
85	94	60	329
100	110	65	332
* by Doctoris (4, page 124)			
15	17	30	235
30	33	41	244
60	66	57	255
90	99	70	260

Σε μια επιφανειακή προσέγγιση, θα μπορούσαμε να προχωρήσουμε στην κατασκευή χρησιμοποιώντας διάμετρο λαιμού άρα και φλογοσωλήνα 130mm και μήκος 300mm.

Σε μια μαθηματική προσέγγιση, όπως γίνεται σε πρόσφατη δημοσίευση από διδάκτορες σε Ινδικό πανεπιστήμιο (3), θα μπορούσαμε να ξεκινήσουμε από την κατώτερη θερμογόνο δύναμη (LowerHeatingValue) του καυσίμου που χρησιμοποιούμε (για τα συγκεκριμένα πέλλετ 4,9 kWh/kg) ή 17,64 MJ/kg για να υπολογίσουμε παραγόμενη θερμική ισχύ, να κάνουμε πολλές παραδοχές για απώλειες στο σύνολο της διεργασίας αεριοποίησης και αφού καταλήξουμε σε κάποιες διαστάσεις να κατασκευάσουμε την εστία. Κατόπιν, μετά από πολλές κοστοβόρες πειραματικές λειτουργίες σε εργαστήριο με χρήση φασματογράφων και άλλων ειδικών μηχανημάτων να υπολογίσουμε την πραγματικά παραγόμενη θερμική ισχύ και εν τέλει να καταλήξουμε σε ένα συντελεστή απόδοσης.

Στη συγκεκριμένη εργασία αναλύθηκε αρχικά η διαδικασία της παραγωγής ΑΣ σε ΑΒ ομορροής και πώς αυτή επηρεάζεται από τις διάφορες παραμέτρους και κατόπιν χρησιμοποιώντας συγκλίνουσες προσεγγίσεις και αποτελέσματα από μελέτες να διαστασιολογηθεί η εστία προσαρμόζοντας τα προαναφερθέντα στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των απαιτήσεων και του καυσίμου που θα χρησιμοποιούσαμε.

Στη συνέχεια των παραπάνω η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν:

Δεδομένου ότι ο τύπος, η περιεκτικότητα σε υγρασία και πίσσες και οι διαστάσεις των τεμαχίων του καυσίμου που χρησιμοποιείται παίζουν καθοριστικό ρόλο στην επιλογή διαστάσεων στα τμήματα της εστίας, χρησιμοποιήθηκε μία μελέτη

αναφοράς (7). Με το όρο "αναφοράς" μιλάμε για μία μελέτη που χρησιμοποιήθηκε το ίδιο καύσιμο, δηλαδή πέλλετ ξυλώδους βιομάζας, και παρόμοιος ΑΒ ομορροής. Η κατανάλωση καυσίμου ήταν 5kg/h και η παροχή ΑΣ που επιτεύχθηκε ήταν περίπου 12,5Nm^3/h. Η διάμετρος του φλογοσωλήνα ήταν 100mm. Όμως ο ΑΒ ομορροής του ήταν στρωματικής διάταξης (Stratifieddowndraftgasifier) με πολλαπλές εισόδους αέρα καθ' ύψος και ο φλογοσωλήνας του 500mm μήκος. Αυτά μπορεί να σημαίνουν καλύτερη απόδοση (εκτός του ύψους του σωλήνα), άρα αυτό πρέπει να ληφθεί υπόψη.

Ξεκινώντας από την παραπάνω μελέτη σε συνδυασμό με τις προδιαγραφές για τουλάχιστον τριπλάσια παραγόμενη ισχύ στην γεννήτρια που θέσαμε παραπάνω, θέτουμε μια πρώτη βάση προς αντιπαραβολή με άλλες μελέτες. Η βάση αυτή είναι:

- Για τριπλάσια ισχύ, θεωρώντας τη σχέση παραγόμενου αερίου - ισχύος γραμμική, ζητάμε τουλάχιστον 40Nm^3/h
- Με απλή αναλογία περιμένουμε τουλάχιστον 15kg/h κατανάλωση καυσίμου.
- Η διάμετρος του λαιμού πρέπει να έχει τουλάχιστον διπλάσιο εμβαδό διατομής.
- Το μήκος του φλογοσωλήνα που χρησιμοποιήθηκε (500mm) γιατί πρόκειται για διαφορετικό τύπο ΑΒ ομορροής.

Στη συνέχεια έγινε σύγκριση των παραπάνω με δεδομένα από άλλες μελέτες.

Από τη βιβλιογραφική διερεύνηση που έγινε για ισχύ γύρω στα 15kWel ή τουλάχιστον 25kW μηχανικής ισχύος ΜΕΚ, δεδομένων των απωλειών, οι καταναλώσεις καυσίμου κυμαίνονται από 30kg/h(8), 40kg/h(25).

Επιπρόσθετα, με βάση άλλη σχετική μελέτη (1) πάνω στους ΑΒ ομορροής με χρήση ξυλώδους βιομάζας, η συνολική απόδοση από διάταξη ΑΒ σε ζεύξη με ηλεκτρογεννήτρια κυμαίνεται μεταξύ 10% - 13%. Έτσι μια παραδοχή κατανάλωσης 25kg/h ενός καυσίμου με θερμογόνο δύναμη 4,9kWh/kg και απόδοση 11,5% (μέσος όρος μεταξύ 10% και 13%) μας δίνει τελική ηλεκτρική ισχύ 14,31kWel. Η τιμή αυτή είναι πολύ κοντά στα 15kWel τα οποία τέθηκαν νωρίτερα ως η ανώτατη ισχύς που απαιτούμε.

Έτσι μπορούμε να πούμε ότι μια τιμή κατανάλωσης γύρω 25kg/h είναι λογική δεδομένου ότι τα πέλλετ που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη αναφοράς και σε αυτήν την εργασία είναι ίδιου τύπου. Παράλληλα, η τιμή των 25kg/h είναι κοντά σε αυτήν της (4)(30kg/h).

Το επόμενο βήμα για τον τελικό προσδιορισμό των διαστάσεων της στήλης της εστίας είναι η χρήση του λεγόμενου "Ειδικού Φορτίου Λαιμού" (ReativeThroatLoad), το οποίο αναφέρεται ως καθοριστική παράμετρος καλής λειτουργίας σχεδόν στο σύνολο της παγκόσμιας βιβλιογραφίας. (20) (8) (14) (25) (26) (6).

Το ειδικό φορτίο λαιμού ισούται με το λόγο της κατανάλωσης καυσίμου σε μέγιστο φορτίο προς το εμβαδό διατομής του λαιμού του AB, δηλαδή τη διατομή στο ύψος στένωσης της στήλης αεριοποίησης:

RelativeThroatLoad = Fuel consumption rate (kg/h) / Throat area (m^2)

Όπως φαίνεται στον Πίνακας 5 (27) για ABMK τύπου Imbert διπλού λαιμού, το προτεινόμενο μέγιστο φορτίο είναι 2824 kg/(h*m^2). Όμως μια πολλή σημαντική παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι ότι η συγκεκριμένη τιμή σχετικού φορτίου αναφέρεται σε χρήση μπλόκ ξύλου διαστάσεων 5*7*8 cm.

Πίνακας 5: Διαστασιολόγηση βασικών παραμέτρων αεριοποιητών με διπλό λαιμό (22)

Table 2.c. Double throat designs

	d_t (cm)	d_a (cm)	d_{tb} (cm)	abs.cap. [2] ($kg.h^{-1}$)	relative capacity at throat / chamber / tube ($kg.h^{-1}.m^{-2}$)		
[4] Imbert [1] [4]	15	30	50	50	2824	707	255
[11] Berliet	20	38	60	77	2452	680	272
[5] Semmler	15	21	44	12	682	347	79
empirical rules derived for Imbert type gasifiers [3]							
[3]	12	24	40	36	3186	796	286
	15	29	48	60	3390	922	332
	16	33	55	90	4478	1053	379
	18	36	60	120	4724	1178	424
	21	42	70	144	4162	1040	374
	24	48	80	180	3982	994	358
[4]	10	20	40	35	4456	1104	278
	13	25	45	55	4135	1046	346
	14.5	29	50	72	4333	1083	367
	16.0	32	50	94	4652	1138	479

1) approximate values
2) during tests use of wood gas. 1.1 and 1.3 $kg.HP^{-1}$ for Imbert gasifiers [3, page 131]
3) from drawings (e.g.[4]) can be concluded that the various proportions generally are:
tube : chamber : throat = 1: 0.6 : 0.3
4) only for this gasifier set-up particle sizes were given: 5*7*8 cm

Παράλληλα, για AB μονού λαιμού στον Πίνακας 6 τα φορτία κυμαίνονται μεταξύ 1000 kg/h/m^2και 1300 kg/h/m^2. Παράλληλα όμως, σε αυτόν τον πίνακα οι διάμετροι λαιμού φτάνουν μέχρι και τα 340cm.

Πίνακας 6: Διαστασιολόγηση βασικών παραμέτρων αεριοποιητών με μονό λαιμό (27)

Table 2.b. single throat designs

reference and type	d_t	d_a	d_{tb}	abs. cap. [3]	relative capacity at: throat	air inlet	tube	particle size
	(cm)	(cm)	(cm)	($kg.h^{-1}$)	($kg.h^{-1}.m^{-2}$)			(cm)
[10] Deutz [1]	34	40	70	100	1166	795	260	
[4] Deutz	28	38	51	60	1342	529	294	5*7*8
[5] Kromag KS12	12	16	29	15	1327	740	113	
[5] Kromag K4	9	9.5	31.5	7.5	1179	1058	96	
[4] Kromag C3	30	39	48	50	800	418	276	5*7*8
[5] Donneberg	15	26	31.5	19	1073	358	244	
[1] THT [4]	6.5	16.5	16.5	4	1212	187	187	~2
[1] THT	25	29	52	50	1018	757	235	~2
~~[1] THT [2]~~	~~8~~		~~50~~	~~13~~	~~2600~~	–	~~66~~	

Σε σχέση με τις διαμέτρους λαιμού σε ΑΒ ομορροής σχετικές μελέτες (28) (22) αναφέρουν ότι μεγάλες διάμετροι λαιμού συχνά εμφανίζουν κρύα σημεία στη ζώνη οξείδωσης και γενικότερα ΑΒ ομορροής σχεδιασμένοι για πολύ μεγάλα φορτία. Έτσι όταν χρειαστεί να λειτουργήσουν σε αρκετά μικρότερα, η ποιότητα του ΑΣ που παράγουν πέφτει κάθετα και εμφανίζει μεγάλη συγκέντρωση σε πίσσες.

Με βάση το παραπάνω και τον Πίνακας 4 από το SERI (8) , του οποίου η βιβλιογραφία είναι σημείο αναφοράς για την πλειοψηφία των νεότερων δημοσιεύσεων σχετικά με ΑΒ, αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί η τιμή διαμέτρου λαιμού 130mm και να διερευνηθεί το κατά πόσο αυτή η διάμετρος σε συνδυασμό με ένας εύρος καταναλώσεων 15kg/h (χαμηλό φορτίο)έως 25kg/h (μέγιστο φορτίο) δίνει τιμές ειδικού φορτίου λαιμού κοντά σε αυτές που αναφέρονται στους δύο παραπάνω πίνακες. Εφόσον το ειδικό φορτίο λαιμού είναι:

Για το ελάχιστο φορτίο:

$$STL = \frac{Fuelfeedrate}{Ath} = \frac{15\,kg/h}{\pi * (0{,}130^2)/4} = 1130\frac{kg}{h * m2} STL = \frac{Fuel\ feed\ rate}{Ath}$$
$$= \frac{15kg/h}{\pi * (0{,}130\text{^}2)/4} = \mathbf{1130}\frac{kg}{h * m^2}$$

Αντίστοιχα για το μέγιστο φορτίο:

$$STL = \frac{Fuel\ feed\ rate}{Ath} = \frac{25\,kg/h}{\pi * (0{,}130\text{^}2)/4} = \mathbf{1884}\frac{kg}{h * m^2}$$

Έτσι βλέπουμε ότι παρότι χρησιμοποιήθηκαν αναφορές, εμπειρικές τιμές και προσεγγίσεις από πολλές διαφορετικές βιβλιογραφικές αναφορές, τελικά καταλήγουμε σε ένα εύρος ειδικού φορτίου λαιμού και συνακόλουθα σε διάμετρο λαιμού η οποία είναι αποτέλεσμα σύγκλισης των παραπάνω, εφόσον βρίσκεται εντός του εύρους 1000 kg/m^2*h και 2800kg/m^2*h που προκύπτει από τον Πίνακας 5 και Πίνακας 6

Τελικά, στην τελική κατασκευή της εστίας χρησιμοποιήθηκε INOX διαμέτρου 134mm καθαρά λόγω τυποποιημένων διαστάσεων σε αυτή την κατηγορία σωλήνων. Έτσι και ο εσωτερικός κώνος στένωσης της διαμέτρου κατασκευάστηκε έτσι που στο κάτω του μέρος να διαμορφώνει λαιμό διαμέτρου 134mm.

3.5.3 Φλογοσωλήνας

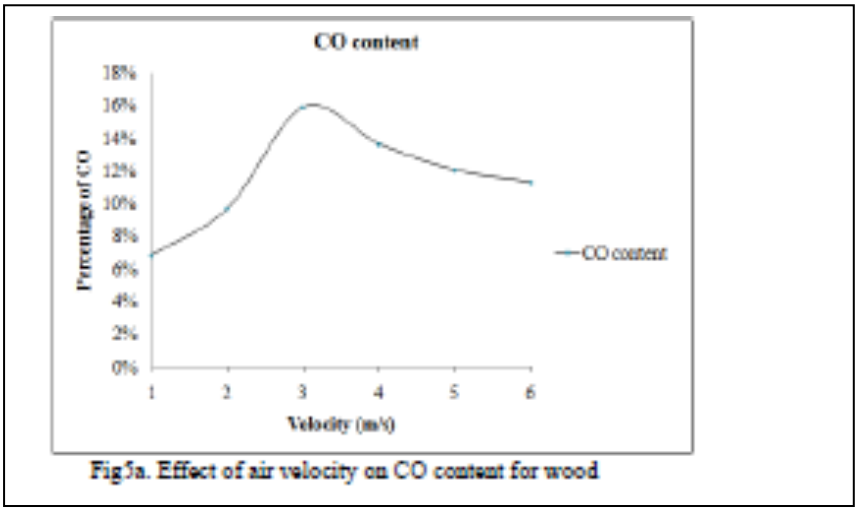
Για την εκτίμηση του μήκους του φλογοσωλήνα που πρέπει να ακολουθεί έναν κώνο ελάττωσης προκειμένου η στήλη αεριοποίησης ως σύνολο να αποδίδει ΑΣ αποδεκτής ποιότητας, σε όσο μεγαλύτερο δυνατόν εύρος φορτίων, πρέπει να ληφθούν διάφοροι παράγοντες υπόψη. Επίσης, οι διαστάσεις λαιμού και φλογοσωλήνα σε συνδυασμό με την απαιτούμενη ισχύ είναι αυτά που καθορίζουν και την ισχύ του απαγωγού που θα χρησιμοποιηθεί. Η επιλογή ενός πολύ ισχυρού απαγωγού, όπως σε πρόσφατη μεταπτυχιακή δημοσίευση (9), έχει νόημα μόνο αν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν διαφορετικοί τύποι βιομάζας είτε από πλευράς προέλευσης ή διαστάσεων τεμαχίων αυτής. Σε αντίθετη περίπτωση η φτερωτή ενός απαγωγού 1hp είναι πολύ πιθανόν να μην μπορεί να παρέχει την απαιτούμενη παροχή σε χαμηλά φορτία.

Ως αφετηρία για την επιλογή των προαναφερθέντων διαστάσεων χρησιμοποιήθηκε μια μέγιστη τιμή φορτίου των 40Nm^3/h, όπως αυτή αναφέρεται στις αρχές αυτής της ενότητας. Στη συνέχεια έγινε βιβλιογραφική διερεύνηση στους παράγοντες που εμπλέκονται στην επιλογή των διαστάσεων που καλύπτουν φορτία στο εύρος γύρω από αυτή την τιμή.

Σχετικά με το παραγόμενο αέριο πρέπει να τονιστεί ότι σε όλη τη βιβλιογραφία χρησιμοποιείται ο όρος Nm^3/hπου σημαίνει κυβικά ανά ώρα σε ΚΣ. Μια τιμή για παράδειγμα των 40Nm^3/h αν το αέριο εξέρχεται από τον απαγωγό σε θερμοκρασία 100^oC μπορεί να αντιστοιχεί σε παραπάνω από 100m^3/h.

Παράλληλα, κοινός τόπος σε δημοσιεύσεις από τη δεκαετία το ‘40 μέχρι και σήμερα (19) (20) (4) (9) (8) (1) (27) είναι ότι βέλτιστη απόδοση σε ένα ΑΒ ομορροής επιτυγχάνεται όταν η επιφανειακή ταχύτητα (superficial velocity) εντός του φλογοσωλήνα κυμαίνεται μεταξύ 2m/s και 4m/s. Μάλιστα με βάση πρόσφατη

μελέτη (9) για ταχύτητες αέρα περίπου στα 2,9m/s επιτυγχάνεται μέγιστη σύσταση του παραγόμενου ΑΣ σε CO, επηρεάζονταςτη θερμογόνο δύναμη του ΑΣ.



Εικόνα 23: Επίδραση της ταχύτητας αέρα στη σύσταση ΑΣ: Μεταβολή σύστασης μονοξειδίου (9)

Σχετικά με το παραπάνω, με βάση μελέτες που έχουν επικεντρωθεί στο ζήτημα των ταχυτήτων εντός στήλης ΑΒ (26) (25) (22), για στήλες ΑΒ γεμάτες με καύσιμο που καταλαμβάνει περίπου το 60% του όγκου τους, επιφανειακή ταχύτητα 3,9m/s αντιστοιχεί, θεωρώντας θερμοκρασία 1000^{o}Cσε πραγματικές στους 0^{o}Cταχύτητες 0,4m/s-0,7m/s.

Στην παρούσα εργασία, τα πέλλετ που χρησιμοποιήθηκαν ζυγίστηκαν σε ζυγαριά ακριβείας δειγματοληπτικά και ογκομετρήθηκαν. Έτσι εκτιμήθηκε ότι η πυκνότητά τους είναι 1250kg/m^3. Σε σύγκριση με τα 630kg/m^3 που έχει υπολογιστεί η χύδηνπυκνότητά τους προκύπτει ότι σε χύδην πλήρωση σε στήλη ΑΒ καταλαμβάνουν 50,4% του όγκου. Άρα οι τιμές 0,4m/s-0,7m/s είναι κοντά στην πραγματικότητα και για την παρούσα εργασία. Επίσης για παροχή 120m^3/h η επιφανειακή ταχύτητα στον φλογοσωλήνα του ΑΒ είναι 2,36m/s δηλαδή πολύ κοντά στις τιμές που προτείνονται ανωτέρω.

Επίσης, σε πολλές δημοσιεύσεις αλλά κυρίως σε συγκεντρωτική μελέτη που έγινε το 1986 (27), αναφέρεται ότιοβέλτιστος«χρόνος παραμονής στην στήλη εστία ΑΒ»,της αυτή εξηγήθηκε στην ατης της ενότητας, ως κοινός τόπος μεταξύ δύο σημαντικών Γερμανών ερευνητών (28) (25), είναι γύρω στο 1s.. Έτσι το μήκος φλογοσωλήνα σε συνδυασμό με την παροχή που εξασφαλίζει ο ανεμιστήρας και η συνεπαγόμενη ταχύτητα άδειου σωλήνα πρέπει να εξασφαλίζουν αυτό το χρόνο του 1 s. Αυτό προκύπτει απο το ότι ακόμα και για ταχύτηα σε κενή στήλη εστίας 0,7m/s, όπως

πραναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, μία πεπερασμένη μονάδα μάζας αέρα-αερίου (απλουστευτικά καθότι στη μάζα του αέρα που εισέρχεται στην εστία προστείθεται μάζα απο το καύσιμο) με βάση τις διαστάσεις που δίνονται στον πίνακα 1 της παραγράφου 3.2, απο την είσοδο μέχρι την έξοδο απο την εστία του ΑΒ πρέπει να διανύσεις μήκος "L":

L=150mm (ύψος κώνου) + 230mm (υψος φλογοσωλήνα) + 350mm (μέχρι έξοδο απο εστια) = 730mm = 0,73m

Αρα για ταχύτητα εν κενό u=0,7m/sec, ο χρόνος παραμονής είναι t=L/u = 0,73m/0,7m/sec = 1,04sec.

Ο χρόνος αυτό κρίνεται εντός των προτεινώμενων χρόνων της προαναφερθείσας βιβλιογραφίας.

Δεδομένου ότι οι ανοιγμένες σε ΚΣ παραγωγές που απαιτούνται για την ισχύ που επιθυμούμε στην παρούσα εργασία είναι μεταξύ 15 και 40Nm^3/h ενώ οι αντίστοιχες "εν' κενή στήλη" ταχύτητες που προκύπτουν είναι 0,3m/s και 0,75m/s.

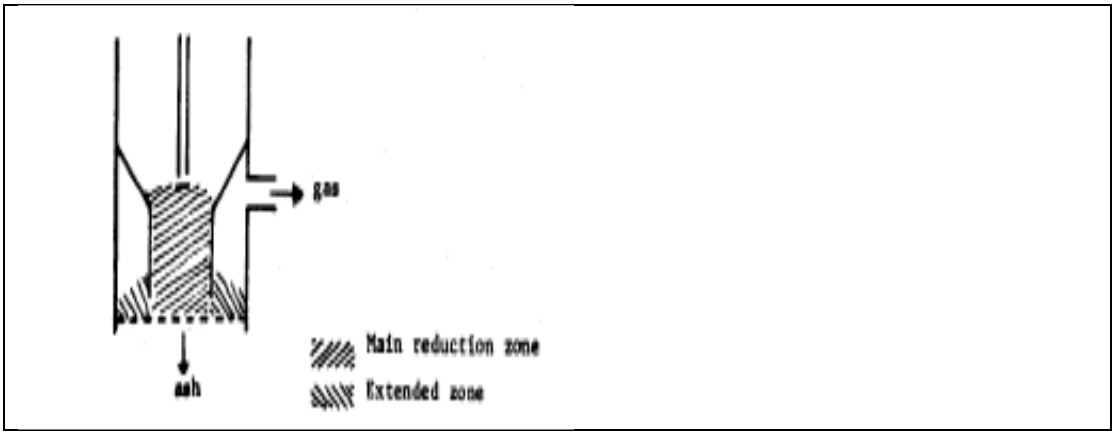
Για "χρόνο παραμονής" ενός δευτερολέπτου (1s) οι παραπάνω ταχύτητες απαιτούν συνολικό μήκος στήλης (από αρχή ζώνης οξείδωσης μέχρι τέλος ζώνης αναγωγής) 300mm και 750mm αντίστοιχα. Παράλληλα όμως, στην ίδια συγκεντρωτική μελέτη αναφέρεται ότι με βάση πειράματα που έγιναν απότον M.J. Groeneveld (25) το 1980, το 90% της αναγωγής έχει γίνει στα πρώτα 100mm κάτω από τα ακροφύσια εισόδου αέρα στη στήλη και το 95% μέχρι τα 200mm για τα συγκεκριμένα καύσιμα που μελετήθηκαν. Επιπρόσθετα αναφέρεται ότι μεγάλα μήκη φλογοσωλήνα, ειδικά όταν χρησιμοποιείται καύσιμο από μικρά τεμάχια βιομάζας, μπορεί να οδηγήσουν σε μεγάλες απώλειες θερμότητας και πτώση της θερμοκρασίας μέσα στη στήλη σε επίπεδα που πλέον η συνέχιση της αναγωγής είναι αδύνατη. Παράλληλα αναφέρεται ότι υπάρχει κίνδυνος συσσώρευσης απανθρακωμένων τεμαχίων πάνω από τη ζώνη αναγωγής, το οποίο οδηγεί επίσης σε σταμάτημα της αλυσίδας αντιδράσεων.

Επιπρόσθετ,α σε μελέτη Ινδών ερευνητών του 2011 (29),ως βέλτιστο μήκος σωλήνα στήλης αναφέρονται τα 300mm για αντίστοιχη διάμετρο λαιμού με αυτή της παρούσας εργασίας.

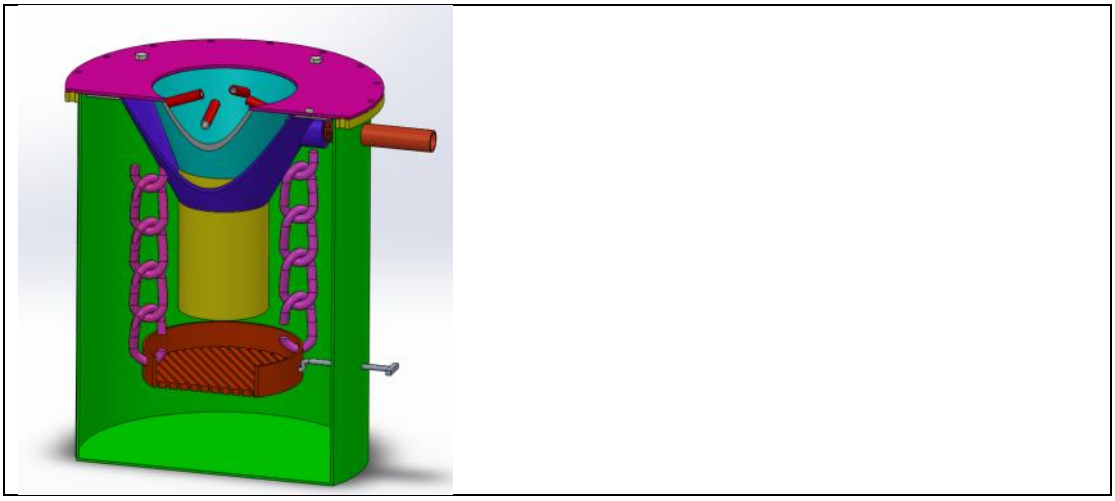
Με βάση όλα τα παραπάνω, επιλέχθηκε μήκος φλογοσωλήνα 230mm, το οποίο αθροιζόμενο με το ύψος μέχρι τα ακροφύσια εισόδου αέρα (50mm) και την απόσταση του κάτω μέρους του φλογοσωλήνα από τη σχάρα (100mm) γίνεται <u>σύνολο 380mm.</u>

Επίσης, στην ίδια συγκεντρωτική μελέτη (27) αναφέρεται ότι τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα ενός κοντού φλογοσωλήνα ενισχύονται από την κατάλληλη θέση

και διαστάσεις της σχάρας, ώστε η ζώνη αναγωγής να καταλαμβάνει μικρότερο ύψος εντός αυτού αλλά να συνεχίζεται πλευρικά του κάτω μέρους του σωλήνα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 24. Όπως φαίνεται με την αντιπαραβολή των Εικόνα 24, Εικόνα 25 και Εικόνα 26, έγινε σύμφωνα με τον βέλτιστο προτεινόμενο στην εν΄ λόγω μελέτη και λειτούργησε ακριβώς όπως περιγράφει αυτή.



Εικόνα 24 Προτεινόμενη απόσταση εσχάρας απο κάτω μέρος φλογοσωλήνα για δημιουργία εκτεταμένης ζώνης αναγωγής (22)



Εικόνα 25 Τομή της εστίας του ΑΒ σε παραμετρική σχεδίαση

Εικόνα 26 Κονική διαμόρφωση, φλογοσωλήνας και εσχάρα της εστίας μετά απο δοκιμαστική λειτουργία

3.5.4 Σχάρα

Η σχάρα κατασκευάστηκε από μασίφ καρέ χάλυβα με ψηλό στεφάνι για να συγκρατεί την πλευρική διαφυγή των πέλλετ μεταξύ κάτω μέρους φλογοσωλήνα και αυτής. Τα διάκενα μεταξύ των καρέ είναι 4mm. Αυτό το μέγεθος προέκυψε πειραματικά. Μετρήθηκαν δειγματοληπτικά αρκετά άκαυστα στεγνά πέλλετ και η διάμετρος τους ήταν πάνω από 6mm. Έτσι τα διάκενα της σχάρας ρυθμίστηκαν στα 4mm ώστε τα μισο-καμένα πέλλετ να παραμένουν πάνω της ενώ τα πλήρως απανθρακωμένα να διαφεύγουν ανάμεσα στα διάκενα είτε μόνα τους είτε με ανακίνηση της σχάρας (agitation).

Εικόνα 27: Απεικόνιση μετρήσεων διαμέτρου των πελλετών που χρησιμοποιήθηκαν

3.5.5 Κώνος

Όπως αναφέρεται σε σχετική βιβλιογραφία και πρόσφατες δημοσιεύσεις πειραματικών διατάξεων μικρής κλίμακας ΑΒ, η κλίση του κώνου εισόδου στον αντιδραστήρα πρέπει να κυμαίνεται από 45° έως 60° (30) (31). Σε άλλη μελέτη του 2011 (29) ως βέλτιστή κλίση κώνου, για αεριοποίηση υπολειμμάτων ξυλουργικής βιομηχανίας με υγρασία 10-15%, αναφέρονται οι 61°. Στην κατασκευή που έγινε ο κώνος είχε κλίση 62°. Η παραπάνω κλίση των 2° προέκυψε ως κατασκευαστική διευκόλυνση καθότι το πάχους 4mm INOX304 που χρησιμοποιήθηκε ήταν δύσκολο να γυριστεί σε κώνο μεγαλύτερης κλίσης. Παράλληλα η μεγάλη κλίση του κώνου και η τοποθέτηση των ακροφυσίων στο μέσο του ύψους του καθιστά ουσιαστικά ένα μέρος του ύψους του τμήμα της ζώνης οξείδωσης.

3.5.6 Ακροφύσια παροχής αέρα

Σύμφωνα με μελέτες (19) και (25), για την εισαγωγή του αέρα σε ΑΒ ομορροής (downraft), τα ακροφύσια εισαγωγής αέρα στη ζώνη αντίδρασης (reductionzone) του αντιδραστήρα πρέπει να έχουν ελαφριά κλίση προς τα πάνω προκειμένου ο εισαγόμενος αέρας να μη φεύγει κατευθείαν προς τα κάτω άλλα να παραμένει όσο περισσότερο γίνεται εντός της προαναφερθείσας ζώνης (16). Έτσι μια ελαφριά κλίση προς τα πάνω της τάξης των 12° βοηθάει στην ανάμειξη του εισαγόμενου αέρα με τα θερμά αέρια που υπάρχουν ήδη εντός της ζώνης πυρόλυσης και η κυκλική τυρβώδης ροή του μείγματος που προκύπτει οδηγεί σε μεγαλύτερη απόδοση της διεργασίας της αεριοποίησης χωρίς ύπαρξη "ψυχρών σημείων" (coldspots) (16). Έτσι, τα ακροφύσια τοποθετήθηκαν αρχικά σε κλίση 24°, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 28, ενώ αργότερα για πρακτικούς λόγους η κλίση του μειώθηκε στις 14°.

Εικόνα 28: Απεικόνιση ακροφυσίων εισαγωγής αέρα

3.5.7 Ανεμιστήρας- απαγωγός

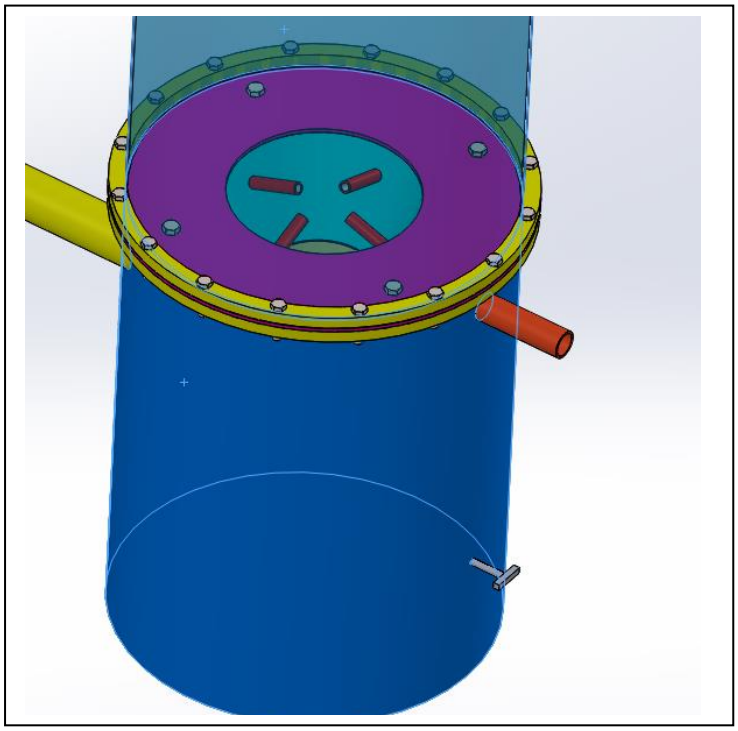
Δεδομένου των παροχών που αναφέρονται στην επιλογή μήκους φλογοσωλήνα, η επιλογή του φυγοκεντρικού απαγωγού παροχής χωρίς φορτίο 50 έως 130 m^3/h είναι επαρκής. Ειδικά αν ληφθεί υπόψη ότι θα υπάρχουν απώλειες πίεσης στη διαδρομή από την είσοδο μέχρι την έξοδο του ΑΒ, η απαγωγική ικανότητα του επιλεχθέντος ανεμιστήρα κρίνεται επαρκής.

3.5.8 Αγωγός εισόδου αέρα

Ο αγωγός εισόδου αέρα επιλέχθηκε να έχει εσωτερική διάμετροο 24mm. Η επιλογή αυτή έγινε με βάση την παροχή αέρα και τον όγκο του αντιδραστήρα. Χρησιμοποιήθηκαν 4 ακροφύσια με εσωτερική διαμέτρο 12mm.

Παράλληλα όπως φαίνεται και στην Εικόνα 29, κατασκευάστηκε ειδικά ρυθμιζόμενη στραγγαλιστική βαλβίδα. Η βαλβίδα αποτελείται από κύλινδρο με κωνική απόληξη στο πίσω μέρος του οποίου είναι συγκολλημένο το άκρο του κοχλία με κεφαλή πεταλούδα. Το περιμετρικό κυλινδρικό κέλυφος φέρει πλευρικές οπές για να μπορεί να περνάει αέρας. Η περιστροφή της πεταλούδας αριστερόστροφα ή δεξιόστροφα ρύθμιζε το βαθμό στραγγαλισμού και άρα παροχής πλησιάζοντας τον κώνο στο στόμιο του αγωγού εισόδου αέρα (Εικόνα 30) ή απομακρύνοντας τον από αυτό.

Εικόνα 29: Στραγγαλιστική βαλβίδα για τη ρύθμιση παροχής αέρα



Εικόνα 30: Τμήμα εισόδου και διανομής παροχής αέρα στον ΑΒ

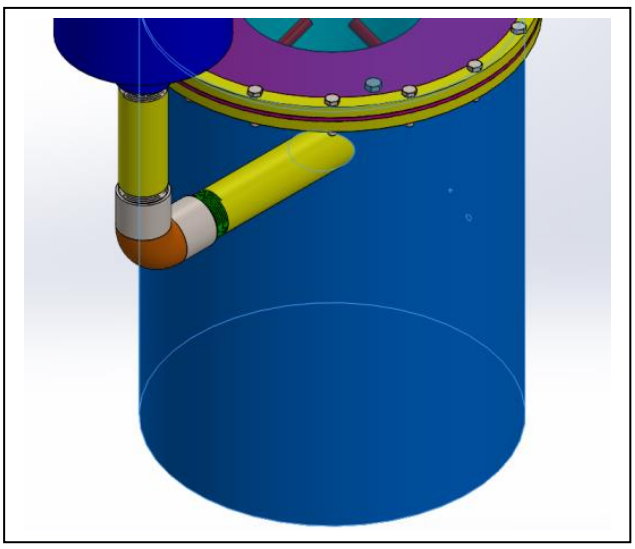
3.5.9 Αγωγός εξόδου ΑΣ

Α αγωγός εξόδου αερίου από την εστία είναι εσωτερικής διαμέτρου 34mm και πάχος τοιχώματος 3mm για να αντέχει υψηλές θερμοκρασίε Όπως φαίνεται και στηνΕικόνα 31 και Εικόνα 32, ο αγωγός έχει τοποθετηθεί σχεδόν εφαπτομενικά στην κυκλική περίμετρο του κελύφους της εστίας.

Η απομάκρυνση των παραγόμενων οργανικών ουσιών και άκαυστων στους ΑΒ είναι ένα απαραίτητο στάδιο που πρέπει να παρεμβάλλεται πριν την είσοδο του αερίου στο φίλτρο. Παρουσία πισσών και αιθάλης, ειδικά σε μεγάλη συγκέντρωση, στο ρεύμα αερίου που περνάει από το φίλτρο θα είχε ως αποτέλεσμα τον ταχύτατο κορεσμό των πόρων και του υλικού του φίλτρου, μείωση της απορροφητικής του ικανότητας και συνακόλουθα ελαχιστοποίηση της συγκράτησης πισσών. Για τον σκοπό αυτό στη συντριπτική πλειοψηφία των ΑΒ ομορροής παρεμβάλλεται μεταξύ του αντιδραστήρα και του φίλτρου κάποια διάταξη διαχωρισμού, η οποία συνήθως είναι τύπου κυκλώνα και σε κάποιες περιπτώσεις λαβύρινθου. Επίσης, κυρίως για λόγους εξοικονόμησης χώρου και κόστους, η διάμετρος του εξωτερικού κελύφους είναι λίγο μεγαλύτερη από τη μέγιστη του εσωτερικού κυλινδρικού αντιδραστήρα. Επίσης, το βάθος του κυλινδρικού εξωτερικού κελύφους είναι τόσο όσο χρειάζεται για να υπάρχει επαρκές κενό μεταξύ σχάρας και πάτου του κελύφους για να μπορεί να χωρέσει κάποιος σαρωτής που απομακρύνει την τέφρα. Τέλος, ο σωλήνας εξόδου του αερίου από τον αντιδραστήρα είναι συνήθως τοποθετημένος ακτινικά σε σχέση με το κέντρο της κυκλικής διατομής του.

Δεδομένου ότι οι μικρής κλίμακας ΑΒ ομορροής, είναι ένας τομέας που ακόμα εξελίσσεται σε επίπεδο σχεδιασμού σε συνάρτηση με την απόδοση τους, είναι γενικά αποδεκτό ότι δεν υπάρχουν απόλυτοι κανόνες σχεδιασμού που εξασφαλίζουν μέγιστη απόδοση (20) (6). Με βάση το παραπάνω, στα πλαίσια του καινοτομικού πειραματισμού σε επίπεδο σχεδιασμού, στην παρούσα εργασία, κατασκευάστηκε ένα διαφοροποιημένο μοντέλο ΑΒ ομορροής προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση συγκεκριμένων διαμορφώσεων σε συγκεκριμένες παραμέτρους λειτουργίας.

Μία βασική πρωτοτυπία της παρούσας εργασίας στη διαμόρφωση του ΑΒ είναι η θέση και η σχετική γωνία εξόδου του αγωγού από το κυκλικής διατομής εξωτερικό κέλυφος του αντιδραστήρα. Ο αγωγός εξόδου τοποθετήθηκε εφαπτομενικά στο κυλινδρικό κέλυφος. Παράλληλα, η διαφορά ύψους του κέντρου του αγωγού με το στόμιο εξόδου του λαιμού είναι 255mm. Επιπρόσθετα, οι άξονες αγωγού εξόδου και λαιμού είναι κάθετοι μεταξύ τους. Τα τρία παραπάνω χαρακτηριστικά της διάταξης του αντιδραστήρα προσδίδουν επιπλέον όλα τα χαρακτηριστικά λειτουργίας κυκλώνα. Η εφαπτομενική γωνία έξοδου των αερίων αναγκάζει τα παρασυρόμενα σωματίδια αιθάλης σε στροβιλισμό ανοδικής σπειροειδούς τροχιάς μεγάλης ταχύτητας. Ως αποτέλεσμα τα σωματίδια, λόγω μάζας, δέχονται μεγάλες δυνάμεις "G" που τα ωθούν σε επαφή και ολίσθηση με τριβή πάνω στο εσωτερικό τοίχωμα του κελύφους. Η τριβή με το τοίχωμα οδηγεί σε απώλεια κινητικής ενέργειας άρα και επιβράδυνση. Επιπρόσθετα, σε αντιδιαστολή με τον τυπικό κυκλώνα, εδώ η βαρυτική έλξη λειτουργεί ως εμπόδιο στην αύξηση της δυναμικής ενέργειας των σωματιδίων στην ανοδική τους πορεία και όχι ενισχυτικά. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, ο ρυθμός πρόσδοσης ενέργειας από το ρεύμα αερίων στα στερεά σωματίδια, λόγω δυνάμεων συνάφειας, γίνεται μικρότερος από το άθροισμα του ρυθμού αφαίρεσης ενέργειας λόγω τριβών, με το εσωτερικό κυλινδρικό τοίχωμα του κελύφους και αυξανόμενης δυναμικής ενέργειας που απαιτείται για την άνοδο των σωματιδίων σε μεγαλύτερο ύψος. Οπότε με σειρά μειούμενης μάζας τα σωματίδια αιθάλης καταλήγουν στον πάτο του κελύφους του αντιδραστήρα.



Εικόνα 31: Σχέδιο απαγωγού αερίων από την εστία

Εικόνα 32: Τελική κατασκευή απαγωγού αερίου

3.5.10 Φίλτρο

Οι διαστάσεις του φίλτρου, δεδομένου ότι πριν κάθε λειτουργία του ΑΒ αντικαθιστούνται υλικά φίλτρου όπως τα πριονίδια εντός τους, καθορίστηκαν από τον χωρικό περιορισμό. Με βάση ότι ο ΑΒ που κατασκευάστηκε προορίζεται για ένταξη στην ΟΜΠΕΒ πρέπει να ακολουθεί τον περιορισμένο και οριοθετημένο όγκο όπως αυτός έχει σχεδιασθεί για τη σωστή λειτουργία του. Ένα μεγαλύτερο φίλτρο σε διάμετρο και ύψος σίγουρα θα κατακρατούσε μεγαλύτερο ποσοστό πισσών. Όμως σίγουρα δεν θα μπορούσε να ενταχθεί στη συγκεκριμένη ΟΜΠΕΒ λόγω χωρικών περιορισμών. Παράλληλα, θεωρήθηκε επαρκές για δοκιμές 18 ωρών ώστε να ελέγχθεί η ικανότητα απομάκρυνσης πισσών και σωματιδίων και να εξαχθούν αντίστοιχα συμπεράσματα. Το φίλτρο 2 απεικονίζεται στην Εικόνα 33 και Εικόνα 34.

Εικόνα 33: Φίλτρο με πριονίδια

Εικόνα 34: Φίλτρο με πριονίδια ενσωματωμένο στον απαγωγό ΑΣ

3.6 Ηλεκτρολογικός και μετρητικός εξοπλισμός

Σε αυτή την ενότητα αναφέρονται όλα τα τμήματα του ΑΒ που ανήκουν στον αναγκαίο ηλεκτρικό και μετρητικό εξοπλισμό τα οποία απαιτήθηκαν προκειμένου να λειτουργήσει ο ΑΒ και να παρθούν μετρήσεις.

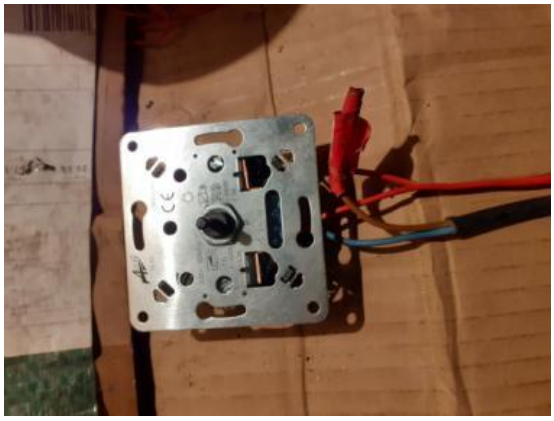
3.6.1 Ηλεκτρικός εξοπλισμός

Για την παροχή ροής αέρα στη διάταξη του ΑΒ, κατά την κατασκευή χρησημοποιήθηκε φυγοκεντρικός απαγωγόςτύπου "σαλίγκαρου" όπως αυτός φαίνεταιστην Εικόνα 35. Ο ανεμιστήρας συνδέθηκε στα $220V_{AC}$ και ισχύ των 65 Watt. Οι ονομαστικές στροφές ανά λεπτό στην ανώτατη ισχύ του είναι 2500rpm. Η ονομαστική του μέγιστη παροχή είναι 160 m^3/h, αλλά κατά τις μετρήσεις με το ταχύμετρο η πραγματική τιμή ήταν130m^3/h. Προκειμένου να διερευνηθεί η συμπεριφορά του ΑΒ σε διαφορετικές παροχές αέρα έγινε χρήση ντίμερ, όπως φαίνεται στην Εικόνα 36. Μετά από δοκιμές καθορίστηκαν 3 θέσεις στο ντίμερ οι οποίες μειώνοντας την τάση στον απαγωγό οδηγούσαν σε τρεις παροχές, 130m^3/h, 100m^3/h και 50 m^3/h. Η απόσταση μεταξύ των τριών παροχών διαφέρει αλλά είναι γνωστό ότι τα περισσότερα μοτέρ $220V_{AC}$ σε συνδυασμό με ντίμερ εμφανίζουν μη γραμμική απόκριση και κάτω από ένα σημείο ελάττωσης της τάσης μπαίνουν σε αστάθεια. Σημειώνεται ότι όλες οι προαναφερθείσες παροχές είναι χωρίς φορτίο στον απαγωγό, δηλαδή ο απαγωγός δεν έχει συνδεθεί με την όλη διάταξη, άρα δεν υπάρχουν πτώσεις πίεσης λόγω αντιστάσεων και τριβών.

Επίσης, για την ευκολότερη και γρηγορότερη έναυση του ΑΒ χρησιμοποιήθηκε φυσητήρας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 37. Το ακροφύσιο του εφαρμοζόταν

στεγανά στην είσοδο αέρα του ΑΒ αμέσως μετά την εισαγωγή της ενίοτε ποσότητας πέλλετ στη δεξαμενή . Ο φυσητήρας, επιπρόσθετα από την εξαναγκασμένη ροή που δημιουργούσε ο απαγωγός, βοηθούσε στη γρηγορότερη τοπική απομάκρυνση της υγρασίας των πέλλετ γύρω από τα κάρβουνα και συνακόλουθα στην έναυση της ζώνης οξείδωσης. Όπως εξηγείται και στην ενότητα που αφορά στη μεθοδολογία διεξαγωγής των πειραματικών εναύσεων του ΑΒ, η χρήση του φυσερού για την εκκίνηση λειτουργίας του ΑΒ έγινε με συγκεκριμένο τρόπο προκειμένου να επηρεάσει στο ελάχιστο τις μετρήσεις και την ακόλουθη εξαγωγή συμπερασμάτων.

Εικόνα 35: Φυγοκεντρικός ανεμιστήρας τύπου "σαλίγκαρου"



Εικόνα 36: Ντίμερ

Εικόνα 37: Φυσητήρας αέρα για πρόσθετη παροχή αέρα

3.6.2 Μετρητικός Εξοπλισμός

Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας στην εξωτερική επιφάνεια τμημάτων του ΑΒ χρησιμοποιήθηκε επαγγελματικό θερμόμετρο υπέρυθρων μάρκας "RIDGID", μοντέλο "microIR-100", με εύρος μέτρησης -40^{o}Cέως 850^{o}C (Εικόνα 38) . Προκειμένου να μετρηθεί η θερμοκρασία του εξερχόμενου αερίου τόσο στον αγωγό εξόδου από τον ΑΒ όσο και στην τελική έξοδο από τον απαγωγό χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά θερμοστοιχεία τύπου "Κ", όπως αυτά φαίνονται στην Εικόνα 39. Το πρώτο θερμοστοιχείο, στην έξοδο του ΑΒ, με εύρος θερμοκρασιών 0^{o}C– 1300^{o}C, το οποίο συνδέθηκε με ειδικό μετρητή όπως φαίνεται στην εικόνα. Το δεύτερο, στην έξοδο του απαγωγού, με εύρος θερμοκρασιών 0^{o}C–400^{o}C, το οποίο συνδέθηκε με μικροεπεξεργαστή ATMEGA 2560 με ενσωματωμένο μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό σήμα (ADC).

Η ταχύτητα απόκρισης των θερμοστοιχείων σε απότομες θερμοκρασιακές αλλαγές ελέγχθηκε προ της χρήσης του στα πειράματα. Τα διαγράμματα απόκρισής τους σε άνοδο και πτώση θερμοκρασίας ρεύματος αέρα βρίσκονται στο παράρτημα. Όπως προέκυψε από αυτά, η απόκρισή τους σε απότομη άνοδο θερμοκρασίας είναι πολύ ταχύτερη από ότι σε πτώση. Δεδομένου ότι στα πειράματα χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση της ανόδου θερμοκρασίας παραγόμενου ΑΣ, η ταχύτητα απόκρισης για άνοδο από23^{o}Cσε 71^{o}C σε 5 s, κρίθηκε επαρκής.

Για τη μέτρηση της ταχύτητας αερίων, εκ της οποίας υπολογίστηκαν και οι παροχές ως γινόμενο ταχύτητας x εμβαδό διατομής αγωγού, χρησιμοποιήθηκε ταχύμετρο μάρκας "UNI-T", μοντέλο "UT-363", με εύρος ταχύτητας αερίου 0m/s έως 17m/s (Εικόνα 40). Για να επιτευχθεί αποδεκτή ακρίβεια στη μέτρηση της ταχύτητας εξόδου αερίου από τον ανεμιστήρα, κατά διαστήματα η κεφαλή του ταχύμετρου τοποθετούνταν στην έξοδο της σωλήνας 1,5'' (inch) η οποία είχε προσαρμοστεί στην

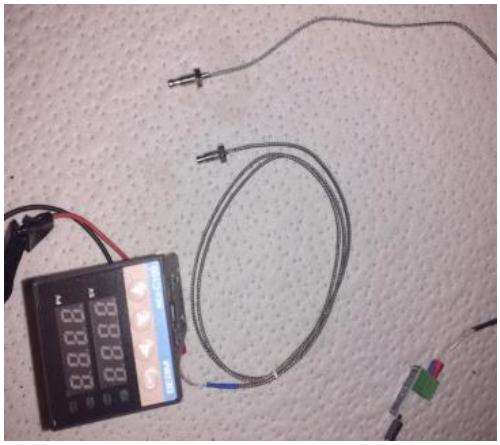
τετραγωνική διατομή του. Από το γινόμενο της ταχύτητας αέρα και του εμβαδού διατομής της σωλήνας προκύπτει η παροχή.

Για τον υπολογισμό μαζών και την εκτίμηση ειδικής πυκνότητας των πέλλετ χρησιμοποιήθηκε ζυγαριά ακριβείας μάρκας "MT", εύρους μέτρησης 0g έως 200g και ακρίβειας 0,01g (Εικόνα 41).

Η συγκέντρωση πίσσας στους αγωγούς έγινε με οπτική παρατήρηση μετά από το τέλος της πειραματικής λειτουργίας του ΑΒ. Η μέτρηση της συγκέντρωσης πίσσας στο φίλτρο έγινε συγκριτικά. Τα πριονίδια ζυγίστηκαν σε ζυγαριά ακριβείας, αφού αποξηράθηκαν πριν εισαχθούν στο φίλτρο. Το ειδικό τους βάρος μετρήθηκε πριν και μετά το πέρας των τριών πειραματικών λειτουργιών. Προκειμένου να μετρηθεί, αξιόπιστα η ποσότητα πισσών που κατακράτησαν, τα πριονίδια που εξήχθησαν από το φίλτρο, αποξηράνθηκαν ξανά πριν ζυγιστούν .

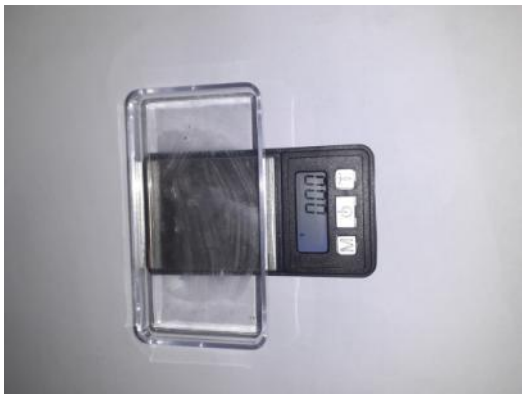
Οι μετρήσεις χρόνου όσον αφορά στις χειροκίνητες ή οπτικές μετρήσεις / παρατηρήσεις έγιναν με απλό χρονόμετρο κινητού τηλεφώνου. Οι χρονικές αντιστοιχίες των μετρήσεων θερμοκρασιών με μικροελεγκτή και θερμοζεύγη αποθηκεύτηκαν αυτόματα μαζί με τις αντίστοιχες μετρηθείσες τιμές.

Εικόνα 38: Θερμόμετρο υπέρυθρων μάρκας "RIDGID"



Εικόνα 39: Θερμοστοιχεία τύπου NTC

Εικόνα 40: Ταχύμετρο μάρκας "UNI-T", μοντέλο "UT-363



Εικόνα 41: Ζυγαριά ακριβείας μάρκας

Κεφάλαιο 4. Πειραματική Λειτουργία Αεριοποιητή Βιομάζας

4.1 Πλαίσιο - Σκοπός πειραμάτων

Όπως προαναφέρθηκε στην εισαγωγή, ο πυλώνας της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν ο σχεδιασμός μιας μικρής κλίμακας διάταξης παροχής ενέργειας από αεριοποίηση βιομάζας για συγκεκριμένη χρήση και η υλοποίηση - κατασκευή ενός βασικού τμήματος αυτής.

Σκοπός του πειραματικού μέρους της εργασίας ήταν καταρχάς η απόδειξη (proof of concept) ότι αυτή η απλή κατασκευή μικρής κλίμακας μπορεί να παράγει αξιοποιήσιμο ΑΣ. Σε δεύτερη φάση έγιναν περιορισμένες στον αριθμό και στη χρονική διάρκεια δοκιμαστικές λειτουργίες προκειμένου να καταγραφούν κάποια βασικά μεγέθη/παράμετροι λειτουργίας του ΑΒ. Οι μετρήσεις αυτές, δεδομένων των χρονικών, εργαστηριακών και οικονομικών περιορισμών, έγιναν με ερασιτεχνικό μετρητικό εξοπλισμό και απλουστευτικές μεθόδους και παραδοχές. Αυτή η προσεγγιστική μεθοδολογία ακολουθήθηκε προκειμένου, με ελάχιστα περαιτέρω έξοδα και σε σύντομο χρονικό διάστημα, να δοθεί μια πρώτη εικόνα μέρους χαρακτηριστικών μεγεθών λειτουργίας του συγκεκριμένου ΑΒ, η οποία θα μπορούσε να αποτελέσει βάση περαιτέρω πειραματικής έρευνας με ειδικά μετρητικά / αναλυτικά όργανα υψηλής ακρίβειας, τα οποία σε συνδυασμό με αλλαγές σε κρίσιμα τμήματα του ΑΒ, όπως διαμέτρους εισόδου - εξόδου, θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε βελτιστοποίηση της απόδοσής του.

Τελευταίο σκέλος των πειραμάτων αποτέλεσε η ζεύξη του ΑΒ με ηλεκτρογεννήτρια 4,5KVA. Η καινούργια ηλεκτρογεννήτρια τέθηκε πολλαπλές φορές σε λειτουργία με βενζίνη για να εξασφαλιστεί ότι η ΜΕΚ της έχει "στρωθεί". Κατόπιν, αφού έγιναν τροποποιήσεις μικρής έκτασης, έγινε προσπάθεια η ηλεκτρογεννήτρια να λειτουργήσει με 100% ΑΣ που παραγόταν από τον ΑΒ.

4.2 Διάρθρωση πειραματικής διαδικασίας

Όπως έχει προαναφερθεί, τόσο η κατασκευή όσο και οι λειτουργίες του ΑΒ έγιναν σε ιδιόκτητο μηχανουργείο στο κέντρο της Αθήνας. Οι περιορισμοί του κλειστού χώρου σε αστική περιοχή, δεν άφησαν περιθώριο για την διενέργεια πειραμάτων μεγάλης χρονικής έκτασης.

Προκειμένου να εξαχθούν συμπεράσματα σε σχέση με την λειτουργία του ΑΒ η πειραματική διαδικασία χωρίστηκε σε δύο στάδια.

Στο πρώτο στάδιο ο ΑΒ τέθηκε σε λειτουργία τέσσερις φορές χωρίς προκαθορισμένες ποσότητες καυσίμου και χρόνους λειτουργίας. Στα πλαίσια αυτού του δοκιμαστικού σταδίου απλά τοποθετήθηκαν αρκετά πέλλετ στη δεξαμενή και ακολούθησε έναυση και λειτουργία μέχρι να τελειώσει το καύσιμο. Επίσης, πέρα από κάποιες μετρήσεις θερμοκρασιών, με το θερμόμετρο υπέρυθρων, σε διάφορα

σημεία, δεν τοποθετήθηκαν τα ειδικά θερμοστοιχεία και δεν καταγράφηκαν συγκεκριμένες τιμές παραμέτρων. Σκοπός αυτού του σταδίου ήταν η απόκτηση μια πρώτης αλλά σημαντικής εικόνας για τηνλειτουργία του ΑΒ, τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά λειτουργίας του, αλλαγές που πιθανόν να ήταν αναγκαίες για τη βελτίωση της λειτουργίας του και ο εντοπισμός απρόβλεπτων παραμέτρων που θα ήταν χρήσιμο να καταγραφούν. Κατόπιν γίνονται οι απαραίτητες επεμβάσεις και αλλαγές σε μέρη του ΑΒ προκειμένου να λειτουργεί σε ικανοποιητικό βαθμό. Επίσης με βάση τα συμπεράσματα αυτού του σταδίου καθορίζονται οι παράμετροι που θα χρησιμοποιηθούν για το επόμενο στάδιο.

Στο δεύτερο στάδιο τοποθετούνται οι επιλεγμένοι αισθητήρες πάνω στη διάταξη του ΑΒ και συνδέονται με τον μικρο - υπόλογιστή προκειμένου να καταγραφούν πλέον συγκεκριμένες τιμές σε αντίστοιχα χρονικά σημεία. Με καθορισμένες πλέον παραμέτρους, όπως ποσότητα καυσίμου στη δεξαμενή, παροχή αέρα και συστάσεις φίλτρου, εκτελούνται συγκεκριμένες στον αριθμό εναύσεις και λειτουργίες του ΑΒ για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Κατά τη διάρκεια των λειτουργιών του ΑΒ καταγράφονται σε πραγματικό χρόνο οι επιθυμητές παράμετροι και συγκεντρώνονται σε βάση δεδομένων με δημιουργία αντίστοιχων διαγραμμάτων.

Όπως αναφέρεται και στις επόμενες ενότητες, προκειμένου να γίνει εφικτή η διεξαγωγή πειραμάτων στον ΑΒ, επιλέχθηκε οι πειραματικές λειτουργίες του ΑΒ να διαρκούν 80 με 110 λεπτά έκαστη Τα λεπτά άρχιζαν να μετρούν από την τοποθέτηση του αναμμένου προσανάμματος στο κέντρο του αντιδραστήρα μέχρι να καταναλωθεί η ποσότητα του καυσίμου που είχε τοποθετηθεί στη δεξαμενή. Μετά από λίγες προ-πειραματικές εναύσεις του ΑΒ παρατηρήθηκε ότι το μέγιστο διάστημα που χρειαζόταν για να καταναλώσει ο ΑΒ 30Kg πέλλετ δεν ξεπέρναγε τα 120 λεπτά, για σταθερή παροχή αέρα. Έτσι το βάρος των εισαχθέντων πέλλετ έγιναν η σταθερά για τη μέτρηση της κατανάλωσης και μεταβλητή ο χρόνος στον οποίο καταναλώνονταν.

Επίσης ένας άλλος πολύ σημαντικός παράγοντας που περιόρισε τη δυνατότητα καθορισμού του ακριβούς χρονικού σημείου, από την έναρξη κάθε διαδικασίας έναυσης του ΑΒ, είναι η ασφάλεια των χειριστών από το παραγόμενο COκαι CO_2. Σε ανοιχτό χώρο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί διάταξη με φυσητήρα προκειμένου όχι μόνο να δημιουργείται η επιθυμητή εξαναγκασμένη ροή χωρίς την προσθήκη ανεμιστήρα αλλά και να αναμειγνύεται καλύτερα το καύσιμο και το παραγόμενο αέριο με αέρα. Έτσι με μία συνεχή πιλοτική μονάδα καύσης ΑΣ με προσθήκη προπάνιου (φλερ), το ΑΣ θα μετατρεπόταν σε καυσαέρια για την ασφαλή απαγωγή από καμινάδα προκειμένου να είναι εφικτή η λειτουργία του ΑΒ χωρίς τη ΜΕΚ. Δεδομένων των περιορισμών που προαναφέρθηκαν, ήταν επιβεβλημένη η προσαρμογή ελαστικού αγωγού στην έξοδο του ΑΒ ο οποίος οδηγούσε στην είσοδο εξαεριστήρα που οδηγούσε το παραγόμενο αέριο στην ταράτσα του κτηρίου που

βρίσκεται το μηχανουργείο. Για την διαπίστωση της αναφλεξιμότητας ή μη του παραγόμενου ΑΣ εφαρμοζόταν πιλοτική φλόγα προπάνιου, για ελάχιστα δευτερόλεπτα στην άκρη του ελαστικού αγωγού. Όταν το εξερχόμενο αέριο αναφλεγόταν δημιουργώντας δέσμη τουλάχιστον 25 cm μήκους, η οποία παρασυρόταν από το ρεύμα του απορροφητήρα, το αέριο θεωρούταν αναφλέξιμο.

4.3 Χαρακτηριστικά καυσίμου

Όπως αναφέρθηκε και στο 1ο κεφάλαιο, η ίδια η κατασκευή του Imbert τύπου ΑΒ ομορροής θέτει περιορισμούς ως προς το μέγεθος και το σχήμα των τεμαχίων ξύλου-μάζας που μπορεί να καταναλώσει. Αυτά πρέπει να είναι όμοιας γεωμετρίας και μικρών διαστάσεων. Στην πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκαν πέλλετ δασικής προέλευσης κλάσης Α2 από την AlphaWoodGroup.

4.3.1Ονομαστικές τιμές

Διάμετρος **d_p=6mm +/- 1mm** (ίδια για όλα τα πέλλετ στην αγορά) Μήκος L_p:≤40mm (Κατά τις μετακινήσεις και την πλήρωση της δεξαμενής σπάνε από μόνα τους σε μικρότερα κομμάτια και προκύπτει μέσο μήκος περίπου 15mm)

Ονομαστική θερμογόνος ικανότητα:**4,9 kWh/kg**

Ονομαστική Χύδην πυκνότητα (Bulkdensity): **630 Kg/m^3**

Περιεχόμενη υγρασία ανά kg καυσίμου**<10%**

Κόστος 363€/990Kg= **0,36€/kg** (32)

4.3.2Μετρηθείσες τιμές

Για τη μέτρηση της χύδην πυκνότητας (Bulkdensity) των πέλλετ γεμίστηκε ογκομετρικός κύλινδρος μέχρι τα 200ml και μετρήθηκε το βάρος του περιεχομένου του στην ζυγαριά ακριβείας που αναφέρεται στην ενότητα 4.3.1. Η ζύγιση ήταν 122,2g (Εικόνα 42), άρα προέκυψε χύδην πυκνότητα **610kg/m^3**.

Η αρχική ποσότητα των 122,2g πέλλετ τοποθετήθηκε σε διάτρητο κυάθιο αλουμινίου και τοποθετήθηκε σε φούρνο σε θερμοκρασίας 120ºC για 5 ώρες. Η πόρτα του φούρνου παρέμεινε μισοανοιχτή για να φεύγει η υγρασία. Μετά από 5 ώρες στους 120ºC , όπως φαίνεται και στην Εικόνα 43, τα ίδια πελλετ ζύγιζαν 113,96g. Αυτό σημαίνει ότι η υγρασία που περιείχαν τα 122,2g ήταν 8,24g. Το ποσοστό που προκύπτει είναι **6,75% υγρασία.**

Η διάμετρος των πέλλετ μετρήθηκε ως μέσος όρος από πολλέςδειγματοληπτικές μετρήσεις με παχύμετρο και προέκυψε**d=6,3mm±0,1mm**

Εικόνα 42: Ζύγιση βιομάζας πέλλετ χωρίς προξύρανση

Εικόνα 43: Ζύγιση βιομάζας πέλλετ μετά από προξύρανση

4.3.3Γιατί πέλλετ

Τα πέλλετ ως καύσιμο είναι αρκετά ακριβότερο από άλλα παράγωγα ξυλώδους βιομάζας. Παρόλα αυτά χρησιμοποιούνται σε διάφορες διατάξεις παραγωγής θερμότητας όπως ενεργειακές σόμπες και τζάκια.

Από το 1996 (33) η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει συγκεκριμένες προδιαγραφές και κατηγοριοποιήσεις για πέλλετ. Από τότε έχουν γίνει πολλές αναθεωρήσεις με τελευταία αυτήν του 2015 (34)από το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο για τα Πελλετ (EPC-EuropeanPelletsCouncil) Με βάση το στάνταρ ISO 17225-2, τα πέλλετ του εμπορίου χωρίζονται σε τρείς κατηγορίες. Τις A1, A2 και B. Οι κατηγορίες αυτές ορίζονται με βάση πολλές παραμέτρους, όπως διαστάσεις (κοινές για όλα τα πέλλετ),

Θερμογόνος δύναμη, υγρασία, περιεχόμενη στάχτη, σκόνη, μηχανικές ιδιότητες, χημικές ουσίες κλπ. Με βάση το στάνταρ ISO 17225-1, ορίζονται τέσσερις συγκεκριμένες προελεύσεις και συστάσεις ξυλώδους βιομάζας οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κάθε κατηγορία. Έτσι οι καταναλωτές πέλλετ ξέρουν, ανεξαρτήτως παρασκευαστή, τα βασικά χαρακτηριστικά των πέλλετ που χρησιμοποιούν έχοντας καινό σημείο αναφοράς την κατηγορία στην οποία ανήκουν αυτά.

Με βάση τα παραπάνω οι κύριοι λόγοι που χρησιμοποιήθηκαν πέλλετ στην παρούσα εργασία είναι:

- η προαναφερθείσα τυποποίηση τους ως καύσιμο καθιστά εφικτή τη χρήση δεδομένων και συμπερασμάτων από δημοσιευμένες μελέτες πάνω σε ΑΒ, με χρήση πέλλετ ως καύσιμο, ως αναφορές για αυτή την εργασία.
- Για τον ίδιο λόγο είναι εφικτή και η σύγκριση αποτελεσμάτων, παρατηρήσεων και συμπερασμάτων με αντίστοιχα των προαναφερθέντων μελετών.
- Ότι λόγω γεωμετρίας προσφέρουν εύκολη ροή εντός της εστίας
- Έχουν χαμηλά ποσοστά υγρασίας
- Σε αυτό το στάδιο δεν είναι πρωτεύων στόχος η χρήση οικονομικού καυσίμου αλλά η διερεύνηση των παραμέτρων λειτουργίας του ΑΒ με ένα καύσιμο τυποποιημένο με βάση διεθνή στάνταρ. Έτσι βασικές παράμετροι του καυσίμου, όπως θερμογόνος δύναμη, υγρασία και γεωμετρία, μπορούν να θεωρηθούν γνωστές από πριν. Παράλληλα μελλοντικές πειραματικές προσπάθειες μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους απλά με χρήση πέλλετ ίδιας κλάσης, θερμογόνου δύναμης και υγρασίας. .
- Είναι από τα λίγα προϊόντα ξυλώδους βιομάζας που μπορούν να μεταφερθούν σε σχετικά μακρινή απόσταση με χρήση ατέρμονων κοχλίων εντός αγωγών. Αυτό μπορεί να βολεύει αν σε μια εξέλιξη αυτής της εργασίας χρειαστεί η δεξαμενή καυσίμου να είναι σε άλλο σημείο από την εστία.

4.4.Δοκιμαστικό στάδιο

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στις προκαταρκτικές δοκιμές του ΑΒ και ακολούθως σημαντικές παρατηρήσεις και συμπεράσματα όπως και προσαρμογές που χρειάστηκε να γίνουν προκειμένου να περάσουμε στο πειραματικό στάδιο.

4.4.1 Διαδικασία δοκιμαστικού σταδίου

Στο δοκιμαστικό στάδιο έγιναν τέσσερις εναύσεις του ΑΒ. Το πέλλετ που χρησιμοποιήθηκαν δεν πέρασαν αποξήρανση. Και στις τέσσερις δοκιμές η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν:

1. Αρχικά εισάγονται στον ΑΒ αρκετά πέλλετ μέχρι το επίπεδο τους να φτάσει στο ύψος της ζώνης οξείδωσης.
2. Το φίλτρο χωρητικότητας 20 λίτρων γεμίζεται χύδην με πριονίδια βάρους περίπου 2 kg και σφραγίζεται όλη η διάταξη.
3. Κατόπιν εισάγονται ελάχιστα πυρωμένα κάρβουνα στο ύψος της ζώνης αυτής προκειμένου επιταχύνουν την έναυση του ΑΒ. Η ποσότητα των κάρβουνων διαφοροποιήθηκε ανάλογα με τη δοκιμή. Η ποσότητα των εισαχθέντων κάρβουνων, όμως, πάντα είναι τόσο μικρή, σε σχέση με τα πέλλετ που θα χρησιμοποιηθούν, ώστε να θεωρούνται αμελητέα.
4. Αμέσως εκκινείται ο απαγωγός στη μέγιστη ταχύτητα.
5. Εισάγονται στη δεξαμενή 25 kg πέλλετ.
6. Για λιγότερο από 60 δευτερόλεπτα στην είσοδο του αέρα εφαρμόζεται φυσητήρας (φυσερό) 450W ο οποίος παρέχει πολύ μεγάλη ταχύτητα αέρα προκειμένου τα κάρβουνα να πυρώσουν περισσότερο αλλά και να διαδώσουν γρηγορότερα θερμότητα στα εφαπτόμενα πέλλετ.
7. Από την είσοδο αέρα της οποίας ο αγωγός είναι ευθυγραμμισμένος με ένα από τα ακροφύσια εισόδου στον εσωτερικό κώνο της εστίας παρατηρείται η εξέλιξη της διάδοσης της "φλογο-πυρόλυσης" στη ζώνη οξείδωσης.
8. Όταν κριθεί οπτικά ότι η φλογο-πυρόλυση έχει επεκταθεί αρκετά στη ζώνη οξείδωσης η ταχύτητα περιστροφής του απαγωγού επαναρυθμίζεται ανάλογα με την επιθυμητή παροχή που θέλουμε για τη συγκεκριμένη δοκιμή.
9. Με το ταχύμετρο καταγράφεται η πραγματική παροχή στην έξοδο του αερίου από τον απαγωγό, μετά από την πτώση πίεσης που προκαλείται από τα παρεμβαλόμενα τμήματα μεταξύ εισόδου αέρα και εξόδου αερίου.
10. Στην έξοδο του απαγωγού γίνονται δοκιμές ανάφλεξης του εξερχόμενου αερίου ανά λίγα λεπτά.
11. Όταν επιτευχθεί η μέγιστη παραγόμενη φλόγα στην έξοδο του απαγωγού καταγράφεται ο χρόνος.
12. Ανά διαστήματα περίπου 10 λεπτών η σχάρα ανακινείται μέσω ράβδου που εισάγεται από μικρή τρύπα στο πλάι του κελύφους.
13. Καθώς το καύσιμο τελειώνει και ελαττώνεται η πιλοτική φλόγα, σβήνει ο απαγωγός και περιμένουμε να κρυώσει ο ΑΒ.
14. Τέλος το φίλτρο ανοίγεται και αντικαθίσταται με νέο πριονίδι για την επόμενη δοκιμή.
15. Η εστία λύνεται από τη δεξαμενή και αφαιρούνται τα καμένα πέλλετ στον πάτο της για να είναι έτοιμη για την επόμενη δοκιμή.
16. Το αυτοσχέδιο κάτω καπάκι με συγκολλημμένη είσοδο 1,5 inches, του απαγωγου λύνεται και εξετάζεται η συγκέντρωση πισσών σε αυτό και στον αγωγό.

4.4.2 Αρχικές Δοκιμές και αλλαγές εξοπλισμού

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται παρατηρήσεις σε σχέση με παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν και βελτιώσεις οι οποίες έγιναν.

4.4.2.1 Πρώτη δοκιμή

Στην πρώτη δοκιμή χρησιμοποιήθηκε από την αρχή μέχρι το τέλος η μέγιστη ταχύτητα περιστροφής του απαγωγού από την έναυση μέχρι το τέλος της δοκιμής. Τα πέλλετ που χρησιμοποιήθηκαν βγήκαν από καινούργιο τσουβάλι και δεν είχαν πάρει καθόλου έξτρα υγρασία από το περιβάλλον. Για την έναυση του ΑΒ τοποθετήθηκαν στη ζώνη οξείδωσης περίπου 50gr πυρωμένα κάρβουνα.

Οι παρατηρήσεις που έγιναν:

Παροχή αέρα

Η πτώση πίεσης ήταν πολύ μεγάλη αλλά και η παροχή αέρα στην είσοδο είχε μειωθεί με αποτέλεσμα στην έξοδο του απαγωγού η παροχή αερίου να έχει μειωθεί από 130m^3/hσε 80m^3/h. Παράλληλα, ενώ ο χρόνος περνούσε, παρότι από την είσοδο αέρα φαινόταν ότι τα κάρβουνα μαζί με τα πέλλετ είχαν πολύ έντονο πορτοκαλί χρώμα καύσης, το εξερχόμενο αέριο από τον απαγωγό ήταν πολύ αραιό και φυσικά δεν αναφλεγόταν. Παρά τις πολύ συχνές ανακινήσεις της σχάρας και την εισαγωγή περαιτέρω πυρωμένων κάρβουνων στο πάνω μέρος του σωρού των πέλλετ η παροχή του αερίου εξακολούθησε να είναι φτωχή και η πτώση πίεσης μεγάλη. Μετά την πάροδο περίπου 30 λεπτών, στα οποία δεν είχε βελτιωθεί κάτι, σβήστηκε ο απαγωγός. Κατά την αποσυναρμολόγηση της δεξαμενής από την εστία και την παρατήρηση του εσωτερικού της εστίας προέκυψαν τα εξής:

- Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 44, τα πέλλετ πάνω από την ζώνη οξείδωσης ήταν τελείως άκαυστα, ενώ το πιο σημαντικό που οδήγησε στην ανίχνευση της αιτίας του προβλήματος ήταν ότι γύρω από τα έξτρα πυρωμένα κάρβουνα που είχαν ριχτεί τα πέλλετ δεν είχαν πάρει καθόλου θερμοκρασία. Αυτό οδήγησε στο συμπέρασμα ότι η ροή αέρα ήταν ανεπαρκής για να διαδώσει την θερμότητα γενικότερα μέσα στην εστία.

Εικόνα 44: Απεικόνιση βιομάζας μετά την πρώτη δοκιμή

Εικόνα 45: Αρχικός σχεδιασμός ακροφυσίων

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 45, αρχικά στον εσωτερικό κώνο της εστίας είχαν τοποθετηθεί μόνο τέσσερα ακροφύσια με κλίση 24 μοίρες προς τα πάνω. Όπως τελικά διαπιστώθηκε, δεδομένου ότι αυτά τα 4 ακροφύσια είχαν εσωτερική διάμετρο μόνο 8mm, η πιθανότερη αιτία ήταν ότι τόσο ο αριθμός τους όσο και η εσωτερική διατομή τους δεν επέτρεπαν την απαραίτητη ροή αέρα που αναλογούσε στα υπόλοιπα μεγέθη της εστίας. Επίσης εκτιμήθηκε ότι το πρόβλημα πρέπει να εντάθηκε από το γεγονός ότι η μεγάλη κλίση τους προς τα πάνω πιθανόν να επιτρέπει σε πέλλετ να φράξουν την έξοδο των ακροφυσίων εμποδίζοντας περαιτέρω τη διέλευση αέρα.

Η λύση που δόθηκε, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 46 ήταν να προστεθούν άλλα τέσσερα ακροφύσια εισόδου αέρα με κατάλληλη διαμόρφωση ώστε να μην

εισχωρούν πέλλετ ενώ τα υφιστάμενα αφαιρέθηκαν, αναδιαμορφώθηκαν και τοποθετήθηκαν υπό μικρότερη κλίση, ενώ η διεύθυνση τους ρυθμίστηκε έτσι ώστε να μην έχουν ομοκεντρική κατάληξη οι άξονες τους αλλά έκκεντρη προκειμένου να προκαλούν στροβιλώδη ροή στην είσοδο του αέρα.

Εικόνα 46: Απεικόνιση συστήματος τροφοδοσίας αέρα στην εστία με αλλαγές ακροφυσίων

Λειτουργία φίλτρου

Με βάση σχετική βιβλιογραφία και μελέτες (6) (8) (19) (9), το φίλτρο στην έξοδο του αντιδραστήρα πληρώθηκε αποκλειστικά με πριονίδια ξύλου των οποίων η διαφυγή εντός των αγωγών, ανάντι και κατάντι, περιοριζόταν από αυτοσχέδια κόσκινα με σίτα "ματιού" διαμέτρου 0,8mm. Δεδομένου ότι η διάχυση του αφιλτράριστου αερίου ανάμεσα στα φυλλοειδή τεμαχίδια ξύλου πρέπει να είναι εύκολη, η πλήρωση του φίλτρου έγινε χύδην χωρίς καθόλου συμπίεση προς την διευκόλυνση της διέλευσης του αερίου. Πάραυτα, κατά τις δοκιμαστικές λειτουργίες του ΑΒ διαπιστώθηκαν δύο προβλήματα σε σχέση με τα παραπάνω.

Το πρώτο πρόβλημα που παρατηρήθηκε ήταν ότι στην πρώτη δοκιμαστική λειτουργία του ΑΒ,παρότι τα πριονίδια είχαν κοσκινιστεί με την ίδια σίτα των κοσκίνων, μετά από λίγα λεπτά λειτουργίας του απαγωγού, η εξερχόμενη δέσμη αερίου ήταν ανάμεικτη με σκόνη ξύλου. Στην εξέταση του απαγωγού, κατόπιν αφαιρέσεως του από την διάταξη, παρατηρήθηκε ότι το εσωτερικό του είχε σχεδόν γεμίσει με σκόνη ξύλου όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στηνΕικόνα 47. Τελικά μετά από δοκιμές παρατηρήθηκε ότι, ακόμη και μετά το πέρασμα από κόσκινο, μικροσκοπικά σωματίδια σκόνης εξακολουθούσαν να παραμένουν προσκολλημένα στην επιφάνεια των μεγαλύτερων φυλοειδών τεμαχιδίων. Τελικά η λύση που έφερε αποτέλεσμα ήταν τα πριονίδια να τοποθετούνται μέσα σε κύλινδρο με διάτρητο πάτο και να διοχετεύεται σε αυτά αέρας μεγάλης ταχύτηταςυπό πίεση από αεροσυμπιεστή.

Εικόνα 47: Απεικόνιση συστήματος φίλτρου μετά την πρώτη δοκιμή

Κατανομή πέλλετ

Δεδομένου ότι λόγω σχεδιασμού του αντιδραστήρα, ανάμεσα στη διάμετρο της εσωτερικής χοάνης και την περίμετρο της δεξαμενής κλίση είναι μηδενική, δημιουργείται μια «νεκρή» ζώνη στην οποία παραμένουν pellets τα οποία δε συμμετέχουν στην διαδικασία της αεριοποίησης. Η "νεκρή ζώνη" αυτή φαίνεται στην εικόνα όπως αυτή διαμορφώθηκε στην πραγματικότητα μετά από μερικές προ-πειραματικές εναύσεις του ΑΒ. Αυτή την ποσότητα των pellets δεν την υπολογίζουμε ως καταναλωθείσα στους υπολογισμούς μας.

Με βάση την μέση χύδην πυκνότητα των pellets (610Kg/m^3) (32) το βάρος των πέλλετ της "νεκρής ζώνης είναι περίπου 2kg. Οπότε κάθε φορά που αδειάζουμε την δεξαμενή και τοποθετούμε καινούργια πέλλετ, σε περίπτωση που θέλουμε να υπολογίσουμε την κατανάλωση καυσίμου πρέπει να αφαιρούμε τα 2kg αυτά

4.4.2.2 Δοκιμή δεύτερη

Η δεύτερη δοκιμή έγινε αμέσως μετά την πρώτη και αποτυχημένη, αφού έγιναν οι αλλαγές που προαναφέρθηκαν και λήφθηκαν τα ανάλογα μέτρα. Στην δεξαμενή εισήχθησαν περίπου 25kg πέλλετ χωρίς έξτρα υγρασία από το περιβάλλον αφού χρησιμοποιήθηκαν κλειστά τσουβάλια. Ο απαγωγός ρυθμίστηκε ξανά στις μέγιστες στροφές. Αυτή την φορά τοποθετήθηκαν 100gπυρωμένα κάρβουνα στην ζώνη οξείδωσης.

Σαν αποτέλεσμα της αύξησης και αναδιαμόρφωσης των ακροφυσίων παροχής αέρα στην ζώνη οξείδωσης, αυτή την φορά η πτώση πίεσης ήταν πολύ μικρότερη με αποτέλεσμα μετρηθείσα παροχή αέρα στην έξοδο του απαγωγού να είναι 105m^3/h.

Η παροχή αυτή διατηρήθηκε μέχρι το τέλος της δοκιμής. Επίσης η σχάρα ανακινούνταν αρκετά συχνά.

Αυτή την φορά σε λιγότερο από 15 λεπτά η φλογο-πυρόλυση στην ζώνη οξείδωσης είχε διαδοθεί και το εξερχόμενο αέριο ήταν πυκνό, με πιο λευκό χρώμα αρχικά ενώ μετά άρχισε να γίνεται πιο διάφανο.

Θερμοκρασίες και παραγόμενο αέριο

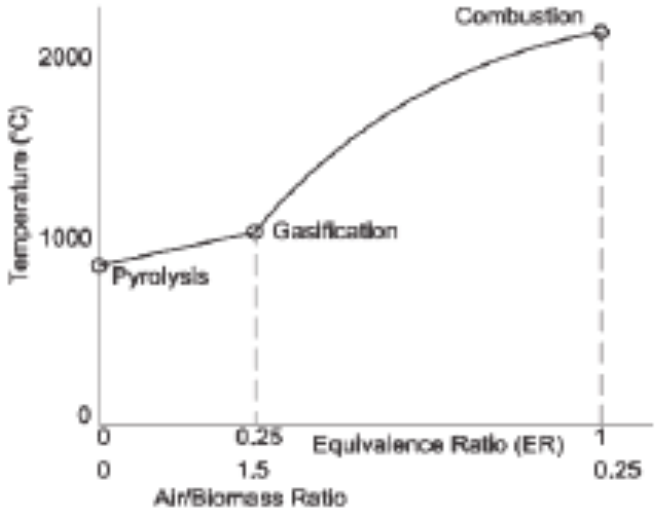
Στην δεύτερη δοκιμή αυτή η θερμοκρασία του αγωγού εξόδου μετά τα 5 λεπτά άρχισε να αυξάνεται γεωμετρικά ξεκινώντας από 60^{o}C στα 5 λεπτά μετά από 10 λεπτά είχε φτάσει τους 200^{o}C. Στην συνέχεια παρουσίασε διακυμάνσεις πάντα όμως σε υψηλά επίπεδα.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 48 παρότι οι σίτες που χρησιμοποιήθηκαν στο φίλτρο ήταν καινούργιες μετά από αυτήν την δοκιμή η θερμοκρασία του εξερχόμενου αερίου ήταν τόσο μεγάλη που έλιωσε τμήμα της γαλβανιζέ σίτας στο κάτω μέρος του φίλτρου. Η θερμοκρασία του αγωγού εξόδου έφτασε τους 250^{o}C σύμφωνα με μέτρηση που έγινε με το θερμόμετρο υπέρυθρων. Επίσης στην έξοδο του απαγωγού μετρήθηκαν θερμοκρασίες μέχρι και 71^{o}C.

Εικόνα 48: Απεικόνιση συστήματος φίλτρου πριν και μετά τηδεύτερη δοκιμή

Τα δύο προαναφερθέντα γεγονότα σε σχέση με τις θερμοκρασίες και την πυκνότητα του παραγόμενου αερίου σε αναφλέξιμες ενώσεις είναι πολύ πιθανόν να οφειλόταν στο ότι η μεγάλη παροχή αέρα αύξησε κατά πολύ το μήκος της ζώνης οξείδωσης αφού παρείχε επαρκές οξυγόνο για να επεκταθεί προς τα κάτω η ζώνη καύσης και αεριοποίησης των πέλλετ που είχαν περάσει από την ζώνη φλογο-πυρόλυσης. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 49 όταν η αναλογία ο λόγος καυσίμου - αέρα προς στοιχειομετρική αναλογία περάσει το 25% (29) τότε αρχίζει η διεργασία της αεριοποίησης και όσο ο λόγος αέρα καυσίμου αυξάνεται μετατρέπεται σε απλή

καύση ενώ οι θερμοκρασίες εντός της στήλης της εστίας αυξάνονται πάνω απτού 1500^{o}C.



Εικόνα 49: Διάγραμμα θερμοκρασίας σε σχέση με το λόγο αέρα καυσίμου και τις ζώνες πυρόλυσης, αεριοποίησης και καύσης (29)

Πίσσες

Μετά την δεύτερη αυτή δοκιμή, ανοίχθηκε το φίλτρο και ο απαγωγός προκειμένου να γίνουν παρατηρήσεις ως προς την παραγωγή πισσών. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 50υπήρξε συγκέντρωση πισσών εντός του ΑΒ, σε συνδυασμό με λίγη σκόνη απότα πριονίδια, αλλά γενικά σε χαμηλά επίπεδα. Ανάλογη εικόνα παρουσίασαν και τα ροκανίδια εντός του φίλτρου.

Εικόνα 50: Απεικόνιση συστήματος μετά τηδεύτερη δοκιμή

4.4.2.3Δοκιμή τρίτη

Στην τρίτη δοκιμή, προκειμένου να γίνει μία προσεγγιστική εκτίμηση για την κατανάλωση καυσίμου, δεν αδειάστηκε το περιεχόμενο της εστίας ούτε της "νεκρής ζώνης". Παραμόνο αντικαταστάθηκαν τα πριονίδια του φίλτρου με καινούργια. Εισήχθησαν 20Kgπέλλετ στην δεξαμενή απόκλειστό τσουβάλι. Η παροχή αέρα, με βάση τα συμπεράσματα της προηγούμενης δοκιμής, επιλέχθηκε να ρυθμιστεί στο μέγιστο μόνο για την έναυση και κατόπιν να ελαττωθεί στην μεσαία ταχύτητα ενώ για μικρά χρονικά διαστήματα να μειωθεί περεταίρω στο ελάχιστο προκειμένου να συγκριθούν οι επιπτώσεις της παροχής αέρα, σε όλο το δυνατό φάσμα, στην λειτουργία του ΑΒ. Οι παροχές μετά τις πτώσεις πίεσης ήταν αρχικά 105m^3/hκαι 70m^3/h για την υπόλοιπη δοκιμή με μικρές "παρεμβολές ελάττωσης στα 40m^3/h. Τα πυρωμένα κάρβουνα που εισήχθησαν στην νεκρή ζώνη ελαττώθηκαν στα 60gr. Τα αποτελέσματα - συμπεράσματα αυτής τις δοκιμής παρατίθενται παρακάτω:

Θερμοκρασίες και παραγόμενο αέριο

Στην τρίτη δοκιμή παρότι είχε μειωθείτο κάρβουνο άρχισε να παράγεται αναφλέξιμο αέριο στα 10 περίπου λεπτά. Νωρίτερα από την προηγούμενη δοκιμή. Αυτό πιθανότατα να οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο ότι στο σωλήνα της εστίας, κάτωθι της ζώνης οξείδωσης τα πέλλετ ήταν είδη απανθρακωμένα. Έτσι η παραγόμενη θερμότητα στην ζώνη οξείδωσης κατά τα πρώτα λεπτά λειτουργίας άρχισε πιο γρήγορα να αποδίδεται στην άνωθεν ζώνη φλογο-πυρόλυσης αντί ένα ποσοστό της να απορροφάται από κάτωθεν καινούργια πέλλετ μέχρι αυτά να αποξηραθούν και κατόπιν να φτάσουν στην απαραίτητη θερμοκρασία που απαιτείται για την σωστή αλληλουχία των αντιδράσεων αναγωγής.

Μετά από πάροδο 20 λεπτών η παροχή μειώθηκε στα 70m^3/h. Το αποτέλεσμα ήταν να σταθεροποιηθεί η θερμοκρασία του αγωγού εξόδου κοντά στους 180 ^oCμε παρεκκλίσεις της τάξης του 15% προς τα κάτω όταν γινόταν ανακίνηση της σχάρας για να πέσουν καμένα και να εισέρθουν καινούργια στην ζώνη φλογο-πυρόλυσης. Κατά την διάρκεια της δοκιμής το παραγόμενο αέριο ήταν σαφώς αναβαθμισμένο σε σχέση με την δεύτερη δοκιμή, παράγοντας πολύ πιο μεγάλη δέσμη φλόγας. Η παροχήαυτή παρέμεινε σταθερή για τουλάχιστον 1 ώρα βγαίνοντας στους 180 ^oC στον αγωγό.

Οπισθοαναφλέξεις

Μια από τιςπιο βασικές παραμέτρους που πρέπει να ελέγχεται ένας ΑΒ ομορροής (Downfraft)είναι η στεγανότητα των συναρμογών(3) προκειμένου να μήν υπάρχει άλλη είσοδος αέρα στον αντιδραστήρα παραμόνο απότα ακροφύσια (nozzles) στο ύψος του κώνου (hopper) στην καρδιά του αντιδραστήρα αλλά κυρίως να μην

υπάρχει έξοδος επικίνδυνων αερίων προς το περιβάλλον(4). Παράλληλα η παρουσία αρκετού αέρα (δηλαδή και οξυγόνου) στο κάτω μέρος της ζώνης ξήρανσης (Dryingzone) που συνορεύει με την ζώνης πυρόλυσης (pyrolysiszone) μπορεί να οδηγήσει σε οπισθοαναφλέξεις (backfire) (23), οι οποίες οδηγούν σε διοχέτευση καυτών αερίων από τον αγωγό εισόδου αέρα του ΑΒ προς το περιβάλλον (35) .

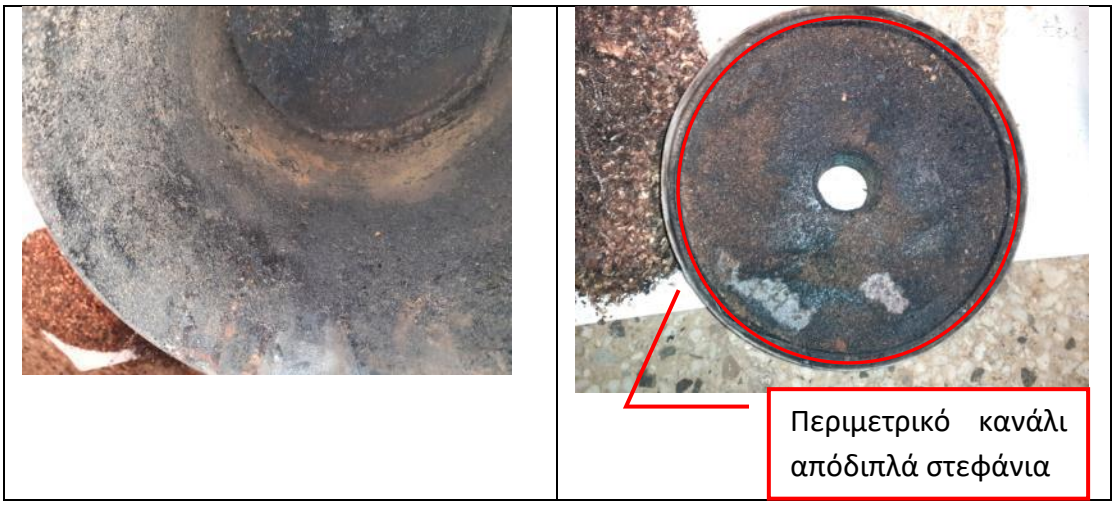
Για αποφυγή των παραπάνω προβλημάτων η στεγανότητα του ΑΒ αρχικά είχε ελεγχθεί κλείνοντας την είσοδο του σωλήνα παροχής αέρα στα ακροφύσια της εστίας και με τον απαγωγό σε πλήρη λειτουργία. Επίσης στο στόμιο εισόδου καυσίμου στο πάνω μέρος της δεξαμενής τοποθετήθηκε μεταλλική τετράγωνη λαμαρίνα. Οπως αναφέρεται σε εγχειρίδιο κατασκευής ΑΒ μικρής κλίμακας (8), στο άνω μέρος της δεξαμενής μπορεί να ενσωματωθεί ειδικά διαμορφωμένο καπάκι σφράγισης με άρθρωση τύπου "μεντεσέ" από την μία και κλείστρο προφόρτισης με ελατήριο (spring-loaded). Έτσι ακόμα και σε περίπτωση ισχυρής οπισθοανάφλεξης το καπάκι έχει περιθώριο να υποχωρήσει προς τα πάνω, επιτρέποντας την εκτόνωση των αερίων. Μετά την εκτόνωση το ελατήριο ωθεί το καπάκι ξανά στην θέση σφράγισης αποτρέποντας την είσοδο αέρα. Συνιστάται δε η χρήση βαλβίδων ασφαλείας και ειδική απαγωγή αερίων σε σύστημα έκτακτης ανάγκης- φλερ.

Πίσσες

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 51 πέρα από τοεσωτερικό τουαντιδραστήρα που ήταν αναμενόμενο να υπάρχει συγκέντρωση πισσών, παρατηρήθηκαν πίσσες σε μεγάλη ποσότητα στο εσωτερικό του απαγωγού και στην σωλήνα μετά το φίλτρο, Αυτό κατά μεγάλο μέρος οφείλεται στην χαμηλή θερμοκρασία των τοιχωμάτων σε σχέση με αυτές που αναφέρονται σε άλλες παρόμοιες μελέτες (20) (27) (19). Στην χαμηλή θερμοκρασία των τοιχωμάτων του αντιδραστήρα και των αγωγών θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί με εξωτερική θερμομόνωση με πετροβάμβακα ή κεραμοβάμβακα. Αντίστοιχα η συμπύκνωση των πισσών σε ειδικό εναλλάκτη και η απομάκρυνση των υγρών αποβλήτων με διπλές βαλβίδες ασφαλείας ή η χρήση μονάδας καθαρισμού, θα οδηγούσε στην αποφυγή επικαθίσεων μέσα στη σωλήνωση που διέρχεται το ΑΣ.

Εικόνα 51: Απεικόνιση συγκέντρωσης πισσών στο σωλήνα απαγωγής αερίου

Επίσης πολύ μεγάλη συγκέντρωση πισσών υπήρξε καιστο φίλτρο όπως φαίνεται στην Εικόνα 52.



Εικόνα 52: Απεικόνιση συγκέντρωσης πισσών στο φίλτρο

Το δεύτερο και σημαντικότερο πρόβλημαπου παρατηρήθηκε στην τρίτη δοκιμή ήταν ότι, δεδομένης της διαμόρφωσης του φίλτρου, πολύ σύντομα μετά την έναυση της εστίας του ΑΒ περιμετρικά του καπακιού του φίλτρου άρχισαν να υγροποιούνται πίσσες, να συσσωρεύονται και τελικά να κυλούν προς τα κάτω. Στην Εικόνα 53 φαίνεται το φίλτρο ολόκληρο και οι πίσσες πάνω του. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι η στεγανότητα καπακιού βασίζεται στην σφιχτή συναρμογή του με το κυλινδρικό του μέρος του μέσω περιμετρικού καναλιού που σχηματίζεται με δεύτερο ομοκεντρικό στεφάνι.

Εικόνα 53: Απεικόνιση συγκέντρωσης πισσών στο άνω μέρος του φίλτρου μετά την τρίτη δοκιμή

Αφού ανοίχθηκε το φίλτρο παρατηρήθηκε ότι τα πριονίδια ξύλο είχαν απορροφήσει πίσσες μόνο περιφερειακά ενώ τα εσωτερικά ήταν σχεδόν ανέπαφα. Αυτό καταδεικνύει ότι το αφιλτράριστο αέριο διοχετευόταν πλευρικά της κυλιδρόμορφης μάζας πριονιδίων, παρακάμπτοντας το εσώτερο σώμα τους χωρίς να διαχέεται σε όλη την μάζα του. Αυτό αποδόθηκε σε δύο λόγους:

- Το φαινόμενο που στην διεθνή ορολογία ως "channeling" και στην συγκεκριμένη περίπτωση θα μπορούσε να μεταφραστεί ως πλευρική διέλευση του αερίου. Για την αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου σε μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται ειδικοί διασκορπιστές. Στην εργασία αυτή επιλέχθηκε να τοποθετηθεί μία μικρή μπάλα ατσαλόμαλλου στην στόμιο του αγωγού εισόδου στο φίλτρο η οποία θα βοήθαγε στον διασκορπισμό του αερίου.
- Στην απουσία θερμομόνωσης του φίλτρου σε συνδυασμό με μεγάλες ταχύτητες αερίου. Το γεγονός ότι οι πίσσες διέφευγαν πλευρικά, περνώντας τον μικρό λαβύρινθο που δημιουργεί το διπλό στεφάνι του φίλτρου, σημαίνει ότι κατά την άνοδο τους παρέμεναν σε αέρια μορφή και μόλις συναντούσαν το καπάκι το φίλτρου και διαδοχικά τον λαβύρινθο του περιμετρικού στεφανιού, το οποία λειτουργούν ως σημεία ανακοπής, ελαττωνόταν η πίεση τους και συνακόλουθα περνούσαν σε υγρή μορφή και συσσωρεύονταν στο εξωτερικό κέλυφος του φίλτρου. Ουσιαστικά τα παραπάνω μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το φίλτρο ήταν μικρό για τις ταχύτητες που χρησιμοποιήθηκαν. Μία πρώτη βελτίωση θα ήταν παράκαμψη και απόρριψη στο περιβάλλον του αερίου που παράγεται στα αρχικά στάδια της έναυσης του ΑΒ στα οποία διαφεύγει από την εστία το μεγαλύτερο ποσοστό πισσών. Ενώ μια πιο δραστική παρέμβαση θα ήταν η τοποθέτηση εναλλάκτη για τη συμπύκνωση και απομάκρυνση των πισσών και άλλων πτητικών ουσιών, σε σειρά με το φίλτρο ή χρήση εξοπλισμού καθαρισμού αερίων με υγρούς διαλύτες.

Στον απαγωγό που ανοίχθηκε ξανά μετά το πέρας των δοκιμών 2 και 3 παρατηρήθηκε πιο έντονο το φαινόμενο όπως φαίνεται στην Εικόνα 54.

Εικόνα 54: Απεικόνιση εστίας και απαγωγού μετά την τρίτη δοκιμή

4.4.3 Γενικά συμπεράσματα δοκιμαστικού σταδίου

Από το σύνολο των δοκιμαστικών λειτουργιών του ΑΒ προέκυψαν παρατηρήσεις και συμπεράσματα τα οποία έχουν ιδιαίτερη σημασία και παρατίθενται ακολούθως:

1)Χρόνος σταθεροποίησης λειτουργία ΑΒ.

Λόγω του ότι ένα απότα σημαντικά ζητούμενα της εργασίας ήταν η επίτευξη όσο το δυνατόν γρηγορότερης παραγωγής αναφλέξιμου ΑΣ καλής ποιότητας, χρησιμοποιήθηκαν μέσα όπως πυρωμένα κάρβουνα και φυσητήρας στην έναυση του ΑΒ. Επίσης η παροχή αέρα ειδικά στην αρχή των εναύσεων κρατήθηκε σε υψηλά επίπεδα. Επίσης δόθηκε μεγάλη σημασία στην χρήση πέλλετ χαμηλής υγρασίας. Παρόλα αυτά ως γενική παρατήρηση προέκυψε ότι όσο και αν "πιέζεται" ο ΑΒ να παράγει γρηγορότερα κατάλληλο ΑΣ για τροφοδοσία ΜΕΚ υπάρχει ένα κατώτερο χρονικό όριο το οποίοδεν μπορεί να ξεπεραστεί. Αυτό το απαραίτητο χρονικό διάστημα έχει να κάνει με την πιο καθοριστική παράμετρο για την παραγωγή αποδεκτού ΑΣ η οποία είναι η διάδοση και επικράτηση των κατάλληλων θερμοκρασιών εντός της στήλης της εστίας οι οποίες είναι αυτές που επιτρέπουν την έναρξη των αντιδράσεων, που αναφέρθηκαν στο εισαγωγικό κεφάλαιο, οι οποίες παράγουν τα επιθυμητά αέρια στις επιθυμητές συγκεντρώσεις εντός του εξερχόμενου ΑΣ. Αν οι θερμοκρασίες αυτέςδεν φτάσουν τα απαραίτητα επίπεδα καιδεν επεκταθούν στο σύνολο της βιομάζας που βρίσκεται αντίστοιχα σε κάθε ζώνηδεν γίνεται να παραχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Ουσιαστικά αυτό το φαινόμενο θα μπορούσε να παραλληλιστεί με μια αναπόφευκτη "χρονική αδράνεια¨ του όλου συστήματος. Η χρήση πολύ μεγάλων παροχών, ενισχυμένων με φυσητήρα στον αγωγό εισόδου, μεγάλης ποσότητας πυρωμένων κάρβουνων και πολύ συχνής ανακίνησης της σχάρας μπορεί να επιφέρει φαινόμενα όπως αυτό που απεικονίζεται στηνΕικόνα 55, στο οποίο ένα μικρό μέρος των πέλλετ της στήλης έχει απανθρακωθεί ενώ το υπόλοιπο έχειπαραμείνει στο πυθμένα της εστίας άκαυστό

λόγω υπέρθερμων και παράλληλα κρύων περιοχών που δημιουργήθηκαν στην στήλη. Μάλιστα αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου είναι η μη παραγωγή αξιοποιήσιμου ΑΣ αφού οι απαραίτητες θερμοκρασίες δεν κατανέμονται ποτέ σωστά στην στήλη της εστίας. Οι παράγοντες που καθορίζουν αυτή την "χρονική αδράνεια" μέχρι την παραγωγή αποδεκτού ΑΣ είναι:

α) Η διάμετρος της στήλης της εστίας. Σίγουρα σε μία στήλη διαμέτρου 30mm η μετάδοση της παραγόμενης θερμοκρασίας δια συναγωγής, αγωγής και ακτινοβολίας θα γίνει πιο γρήγορα από ότι σε μία στήλη διαμέτρου 130mm.
β) Ο τύπος και η πυκνότητα του καυσίμου. Είναι λογικό ότι σε ένα ΑΒ που χρησιμοποιούνται πριονίδια ως καύσιμο, η ταχύτητα μετάδοσης θερμοκρασιών, λόγω του μικρούς πάχους και της φυλλοειδούς γεωμετρίας των τεμαχίων βιομάζας, θα είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι σε έναν ΑΒ που χρησιμοποιούνται πέλλετ. Παρότι η περιεχόμενη υγρασία στην βιομάζα μπορεί να είναι ίδια, το γεγονός ότι τα πέλλετ είναι ουσιαστικά πρεσαρισμένο παράγωγο ροκανιδίων, η πυκνότητα τους και η γεωμετρίας τουςδεν επιτρέπει την εισχώρηση της θερμότητας εντός τους με τον ίδιο ρυθμό που γίνεται στα ροκανίδια.

Εικόνα 55: Απεικόνιση μείγματος άκαυστων και απανθρακωμένων πέλλετ βιομάζας

Προτείνεται λοιπόν η χρήση καυσίμων έναυσης ή ηλεκτρικές αντιστάσεις για την προθέρμανση του αντιδραστήρα πριν την εισαγωγή καυσίμου καθώς και η προθέρμανση αέρα.

2) Στραγγαλιστική βαλβίδα εισόδου αέρα.

Από τις πρώτες δοκιμαστικές λειτουργίες, κάτι που έγινε αμέσως αντιληπτό ήταν ότι, δεδομένης της εσωτερικής διαμέτρου των 24mm του αγωγού εισόδου αέρα, η

στραγγαλιστική βαλβίδα ήταν υπερβολή. Κατά την διάρκεια των δοκιμών παρατηρήθηκε ότι έστω και ελάχιστος στραγγαλισμός της παροχής αέρα, από την είσοδο του αγωγού, προκαλούσε ασταθή λειτουργία, το παραγόμενο ΑΣ άλλαζε αμέσως χρώμα (από λευκό σε έντονο μαύρο) ενώ παράλληλα έπαυε να είναι αναφλέξιμο.

Με βάση σχετικές μελέτες (9) οι παροχές και οι ταχύτητες αέρα εντός της εστίας, για επίτευξη βέλτιστης ποιότητας παραγόμενου ΑΣ σχετίζονται σε μεγάλο βαθμό με το είδος, τη γεωμετρία, και την περιεχόμενη υγρασία του καυσίμου. Ουσιαστικά η υπόστοιχειομετρική αναλογία αέρα καυσίμου είναι δεδομένη μετά την εργαστηριακή ανάλυση καυσίμου και τον υπολογισμό των απαιτούμενων παροχών αέρα. Οι θερμοχημικές διεργασίες λαμβάνουν χώρα εντός της στήλης της εστίας γίνονται σε κλειστό κέλυφος και εντός σωλήνα, ενώ η αύξηση της παροχής αέρα είτε αυξάνει το ύψος της ζώνης οξείδωσης ελαττώνοντας αντίστοιχα αυτό της ζώνης αναγωγής και αντίστροφα (25) (22). Η σχετική έκταση που καταλαμβάνει η κάθε μιά απότις δύο ζώνες οδηγεί είτε σε βελτίωση είτε σε ελάττωση της μετατροπής του καυσίμου σεΑΣ και αντίστοιχα σε μείωση ή αύξηση της θερμογόνου του παραγόμενου ΑΣ, ανάλογα με το καύσιμο και το λόγο αέρα καυσίμου που χρησιμοποιείται. Η παροχή αέρα ρυθμίζεται πάντα από τον απαγωγό προκειμένου να ρυθμιστεί σωστά η προαναφερθείσα αναλογία.

Σε γενικές γραμμές, πολύ μεγάλες παροχές αέρα οδηγούν προς την καύση του αερίου, μειώνοντας τη θερμογόνο δύναμη του ΑΣ εμπλουτίζοντας το με άζωτο και διοξείδιο του άνθρακα και νερό μειώνοντας το ποσοστών των αναφλέξιμα ερίων στη σύσταση του. Αντίστοιχα οι πολύ μικρές παροχές οδηγούν σε χαμηλές θερμοκρασίες στην στήλη της εστίας με αποτέλεσμα ακόμα και την παύση της αλυσίδας θερμοχημικών αντιδράσεων που οδηγούν στην αεριοποίηση του καυσίμου.

4.5 Πειραματικό στάδιο

Στο πειραματικό στάδιο έγιναν τρείς πειραματικές λειτουργίες του ΑΒ.

Προκειμένου να εξαχθούν τα μέγιστα από λίγες πειραματικές λειτουργίες, αποφασίστηκε να ακολουθηθεί μία μεθοδολογία με βάση τα συμπεράσματα από τις προηγούμενες δοκιμές. Αναλυτικότερη περιγραφή ακολουθεί παρακάτω.

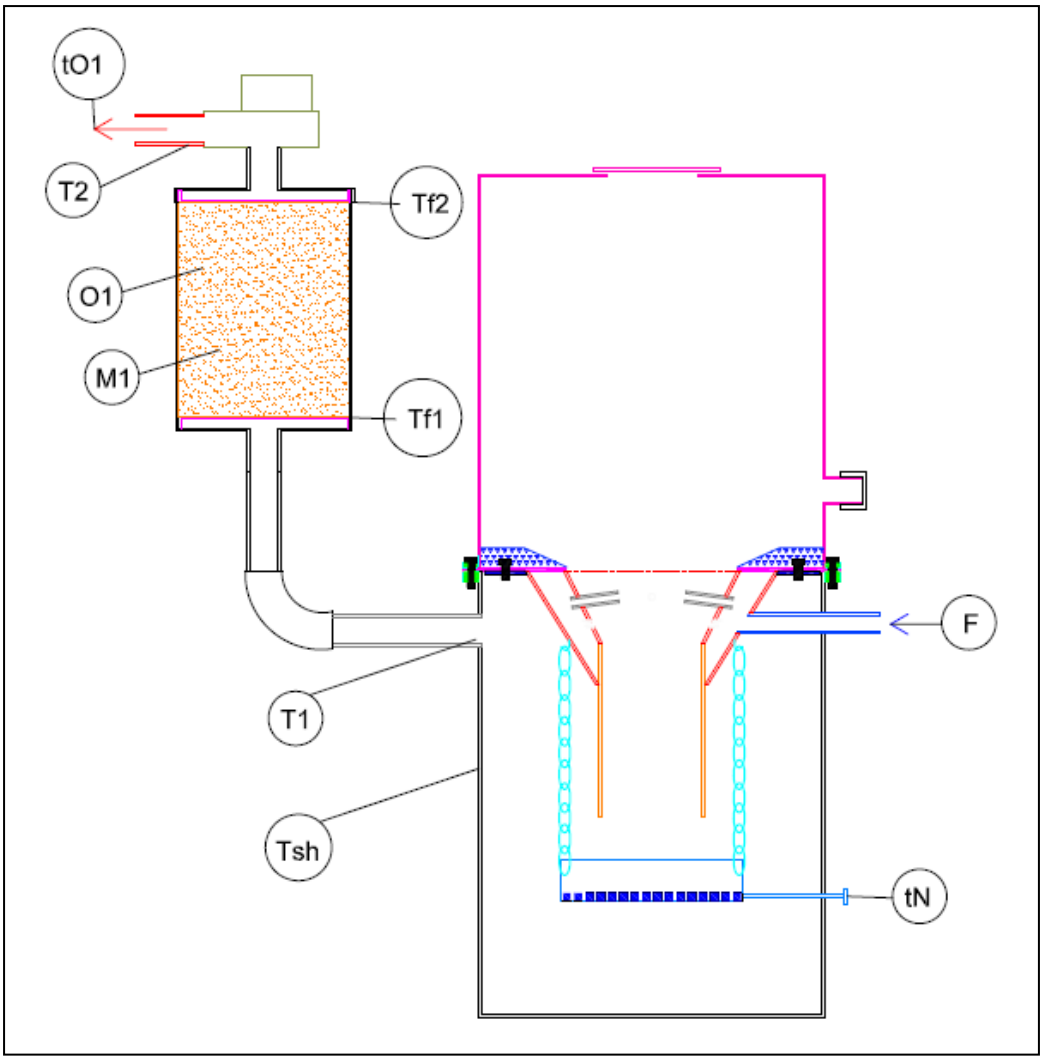
4.5.1Παράμετροι που μετρήθηκαν.

Σε αυτή την παράγραφο αναφέρονται τα μεγέθη που μετρήθηκαν στις τρείς πειραματικές λειτουργίες ενώ παράλληλα στην Εικόνα 56απεικονίζονται, σε τομή του ΑΒ, οι θέσεις μέτρησης αυτών.

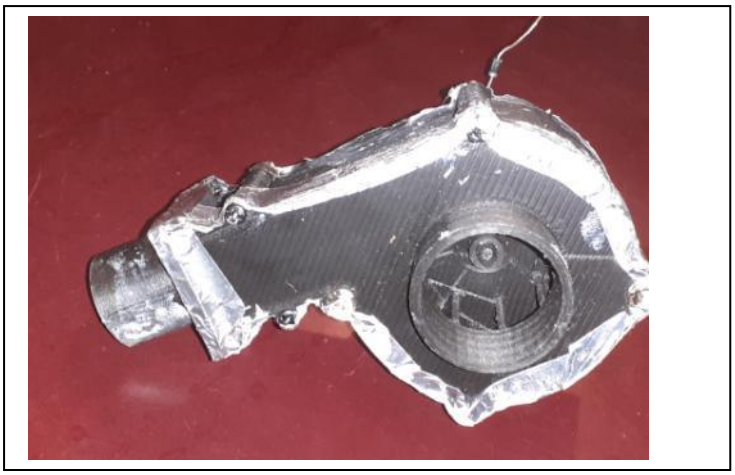
- Ο χρόνος λειτουργίας του ΑΒ ορίζεται από την έναυση μέχρι την κατανάλωση της ποσότητας καυσίμου που είχε εισαχθεί στην δεξαμενή. Η περαιτέρω διάκριση σε χρόνο σταθεροποίησης με την έννοια της μεγιστοποίησης της φλόγας που παράγεται δεν λήφθηκε υπόψη λόγω απουσίας ειδικού εξοπλισμού μέτρησης σύστασης του ΑΣ και καθώς η οπτική παρατήρηση θεωρήθηκε αναξιόπιστη. Ως έναρξη της παραγωγής αναφλέξιμου ΑΣ θεωρήθηκε ο χρόνος στον οποίο η πιλοτική φλόγα αρχίζει να ενισχύεται από το εξερχόμενο ΑΣ και ως λήξη παραγωγής αναφλέξιμου ΑΣ όταν η πιλοτική φλόγα φτάνει στο σημείο να σβήνει. Εδώ πρέπει να σημειωθεί το γεγονός ότι λόγω έλλειψης μετρητικού εξοπλισμού δεν δύναται να πραγματοποιηθεί καταγραφή της ποιότητα του ΑΣ.
- Οι χρόνοι κατά τους οποίους έγιναν ανακινήσεις (agitations) της σχάρας μέσω τις ειδικής χειρολαβής. Επίσης στο τρίτο και τελευταίο πείραμα έγινε μικρο-τροποποίηση στον μηχανισμό αυτό προκειμένου η σχάρα να δονείται οριζοντίως και όχι να ανακινείται.
- Η θερμοκρασία εξόδου των αερίων από την εστία του ΑΒ. Οι τιμές που καταγράφηκαν θεωρείται ότι έχουν επηρεαστεί από την ροή θερμότητας του αγωγού εξόδου και του κελύφους της εστίας από μέσα προς τα έξω λόγω του ότι είναι εκτεθειμένα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος χωρίς μόνωση. Επιπρόσθετα τα θερμοστοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τύπου "K" αποτελούνται από μαστό με εξωτερικό σπείρωμα M6 μήκους 8mm και εσωτερικά του βρίσκεται δεύτερος μεταλλικός κύλινδρος, που περιέχει το θερμοζεύγος ο οποίος προεξέχει κατά 4mmαπό το άκρο του μαστού αλλά είναι, σε επαφή με τον εξωτερικό μαστό στερέωσης. Η εγκατάσταση του θερμοζεύγους έγινε με την διάνοιξη οπής και ακολούθως θηλυκού σπειρώματος MF6mm στην αρχή του αγωγού εξόδου αερίων από την εστία. Κατόπιν το θερμοζεύγος στερεώνεται στον αγωγό (θέση T1 στηνΕικόνα 56) καθώς βιδώνεται ο εξωτερικός μαστός στο περικόχλιο της οπής. Παρότι σε ένα αγωγό πάχους 4mm το εσωτερικό κυλινδρικό φυσίγγιο, που περιέχει το θερμοζεύγος, προεξέχει εντός του αγωγού πάνω από6-7mm, δεν παύει να υπάρχει θερμογέφυρα με τον μαστό του που είναι βιδωμένος στο σωλήνα. Έτσι η τιμή θερμοκρασίας που καταγράφεται είναι σίγουρα ελαττωμένη από την πραγματική των αερίων. Παρόλα αυτά δεν παύει να αποτελεί ένα σημείο αναφοράς ειδικά σε συγκριτικό επίπεδο με τις υπόλοιπες τιμές θερμοκρασιών σε άλλα σημεία συναρτήσει του χρόνου. Στην Εικόνα 56και στους πίνακες που ακολουθούν αυτή η παράμετρος συμβολίζεται με τον σύμβολο "T1".
- Η θερμοκρασία εξόδου του ΑΣ από τον απαγωγό. Η θέση αυτή φαίνεται στην Εικόνα 56 ως "T2". Η μέτρηση της θερμοκρασίας και σε αυτή την θέση γίνεται με ίδιου τύπου θερμοζεύγος οπότε ισχύουν και σε αυτή την

περίπτωση τα προαναφερθέντα σε σχέση με τις απώλειές θερμότητας που επηρεάζουν τις μετρηθείσες τιμές.

- Η θερμοκρασία του κελύφους της εστίας "Tshell". Στα δύο πρώτα πειράματα οι μετρήσεις που καταγράφηκαν έγιναν στην μέση και κάτω μέρος του κελύφους αντίστοιχα. Στο τελευταίο έγιναν στο άνω μέρος, στο ύψος του αγωγού εξόδου, προκειμένου να αξιολογηθεί η διαφορά μεταξύ των τριών υψών.
- Μετά και από τις τρείς πειραματικές λειτουργίες ανοίχθηκε το φίλτρο και μετρήθηκε η διαφορά ειδικού βάρους των περιεχόμενων πριονιδίων ξύλου, σε σχέση με το αρχικό ειδικό του βάρος. Έτσι εξάχθηκε ένα συμπέρασμα σε σχέση με τις ποσοστό πισσών που κατακράτησε το φίλτρο στο σύνολο των πέλλετ που καταναλώθηκαν και στις τρείς λειτουργίες.Ο συμβολισμός της μέτρησης αυτής τόσο στους πίνακες αποτελεσμάτων όσο και στην Εικόνα 56 είναι "M1"
- Οι θερμοκρασίες στο κάτω και στο άνω μέρος του φίλτρου, με ονομασία "Tf1" και "Tf2" αντίστοιχα. Αυτές οι μετρήσεις έγιναν μόνο στο δεύτερο και το τρίτο πείραμα με δύο σταθεροποιημένα θερμόμετρα υπέρυθρων λόγω της διαπίστωσηςότι καθ' ύψος του φίλτρου ελαττώνεται κατά πολύ η θερμοκρασία του αερίου.
- Σημαντικό είναι να σημειωθεί ότι στις πειραματικές λειτουργίες δεν έγινε χρήση του ισχυρού φυσητήρα που αναφέρεται στην ενότητα 3.4.1 και απεικονίζεται στηνΕικόνα 37. Οι εναύσεις και λειτουργίες του ΑΒ έγιναν υπό συνθήκες που προσομοιάζουν μια μόνιμη κατασκευή η οποία απαιτεί όσο το δυνατόν λιγότερες χειροκίνητες παρεμβάσεις από τον χρήστη.
- Επίσης καταγράφηκαν οι παροχές αέρα ("F")υπό την μορφή ταχυτήτων στον φλογοσωλήνα της εστίας, κατά την διάρκεια της λειτουργίας του ΑΒ σε κάθε πείραμα. Επιπρόσθετα, προκειμένου να διασφαλιστεί η αντιμετώπιση της πτώσης πίεσης από την είσοδο στην έξοδο της διάταξης, κατασκευάστηκε ειδικός μικρο-φυσητήρας σε 3DPrinterαπό ειδικό νήμα μείγματος PLA με ανθακονήματα. Ο φυσητήρας αυτός προσαρμόστηκε στο στόμιο του αγωγού εισόδου προκειμένου να διατηρεί την παροχή στα ενίοτε επιθυμητά επίπεδα. Ο φυσητήρας αυτός απεικονίζεται στηνΕικόνα 57.



Εικόνα 56: Θέσεις μετρήσεων στον ΑΒ μικρής κλίμακας βιομάζας



Εικόνα 57:Φυσητήρας προσαρμοσμένος στο στόμιο του αγωγού εισόδου αέρα

4.5.2 Αλλαγές στην μεθοδολογία σε σχέση με το δοκιμαστικό στάδιο

Προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία στις μετρήσεις, στο πειραματικό στάδιο έγιναν οι εξής αλλαγές:

- Δεν έγινε χρήση ισχυρού φυσητήρα για την έναυση το ΑΒ. Αντί αυτού η παροχή αέρα ρυθμιζόταν σε όλη την διάρκεια της λειτουργίας του ΑΒ με ειδικά σχεδιασμένο μικρο-φυσητήρα της Εικόνα 57, ο οποίος ουσιαστικά λειτουργούσε βοηθητικά, στην εξισορρόπηση των πτώσεων πίεσης, στον απαγωγό.
- Το περιεχόμενο του φίλτρου δεν αλλάχθηκε σε κάθε πειραματική λειτουργία. Μετά το τέλος της τρίτης εξάχθηκε από το φίλτρο και έγιναν υπολογισμοί κατακράτησης πισσών και κατανομής αυτών καθ' 'υψος.
- Στην τρίτη πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκε μηχανισμός δόνησης της σχάρας αντί για ανακίνηση αυτής.
- Οι μετρήσεις ταχύτητας αέρα δεν έγιναν στην έξοδο του απαγωγού αλλά στην είσοδο του αγωγού παροχής αέρα. Για τον σκοπό αυτό κατασκευάστηκε ειδική χοάνη αύξησης της διατομής από την εξωτερική διάμετρο του αγωγού εισόδου στην αντίστοιχη της κεφαλής του ταχύμετρου.
- Οι τιμές μάζας εισαχθέντος καυσίμου στον ΑΒ αναφέρονται στα πέλλετ πάνω από το ύψος από την ζώνη οξείδωσης. Τα πέλλετ που εισήχθησαν σε κάθε πειραματική λειτουργία μέχρι το ύψος της ζώνης οξείδωσης ήταν περίπου 3kg σε κάθε πείραμα και θεωρούνται μία σταθερά η οποία λαμβάνεται υπόψη στην αξιολόγηση των συμπερασμάτων αλλά δεν αναφέρεται ως καταναλωθέν καύσιμο.

4.6 Περιγραφή και αποτελέσματα των τριών πειραματικών λειτουργιών του ΑΒ

Παρακάτω ακολουθεί η περιγραφή των παραμέτρων λειτουργίας που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε πείραμα και τα αποτελέσματα των μετρηθέντων τιμών σε σχέση με αυτές.

Οι τιμές θερμοκρασίας αερίου στην έξοδο της εστίας και του απαγωγού, Τ1 και Τ2 αντίστοιχα, λαμβάνονταν ανα 6 δευτερόλεπτα. Έτσι σε ένα λεπτό καταγράφονται 10 τιμές στην μνήμη του μικρουπόλογιστή. Οι υπόλοιπες τιμές θερμοκρασίας, με χρήση θερμόμετρου υπέρυθρων, λαμβάνονταν σε ασυνεχή χρονικά διαστήματα και καταγραφόταν ο ακριβής χρόνος λήψης τους ώστε να αντιστοιχηθούν με τις αυτόματα καταγεγραμμένες κατόπιν.

4.6.1 Πειραματική λειτουργία 1η

Στην 1η πειραματική λειτουργία δεν μετρήθηκαν θερμοκρασίες κελύφους φίλτρου. Σκοπός της 1ης πειραματικής λειτουργίας ήταν να αποκτηθεί μία πρώτη ακριβής εικόνα:

- Των θερμοκρασιών στην πορεία του χρόνου συναρτήσει της ταχύτητας αέρα στον φλογοσωλήνα και της παροχής καυσίμου.
- Της επίδρασης των ανακινήσεων της σχάρας στις θερμοκρασίες του αεριού.
- Τον χρόνο παραγωγής αναφλέξιμου αερίου σε σχέση με τα παραπάνω.
- Την δυνατότητα εκίνησης του ΑΒ χωρίς της χρήση ισχυρού φυσητήρα στην είσοδο του αγωγού αέρα και με ελάχιστα πυρομένα κάρβουνα.
- Την επίδραση των θερμοκρασιών αερίου στην πορεία του χρόνου στην αναφλεξιμότητα του αερίου.

Οι παράμετροι μάζας καυσίμου, κάρβουνων εκκίνησης και παροχής αέρα για το 1ο πείραμα παρατίθενται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 7: Βασικές παράμετροι κατά την 1η πειραματική λειτουργία με 3 διαδοχικές καταστάσεις

		Χρόνος		
		0 - 37,4min	37,4 - 50,2 min	50,2 - 59min
Μάζα εισαχθέντος Καυσίμου	15Kg*			
Μάζα πυρωμένων κάρβουνων	60g			
Ταχύτητες στον Φλογοσωλήνα		1,5	2	1,2
Παροχή αεριού (m^3/h)		76,1	101,4	60,8

Το ύψος μέτρησης θερμοκρασίας κελύφους (Tshell) καθορίστηκε στο μέσο μεταξύ πάτου και σημείου εξόδου του αερίου από τηνεστία.

Οι θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά την διάρκεια του 1ου πειράματος ήταν 25,5oC.

Παρουσίαση και ανάλυση διαγράμματος μετρήσεων

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα στην Εικόνα 58:

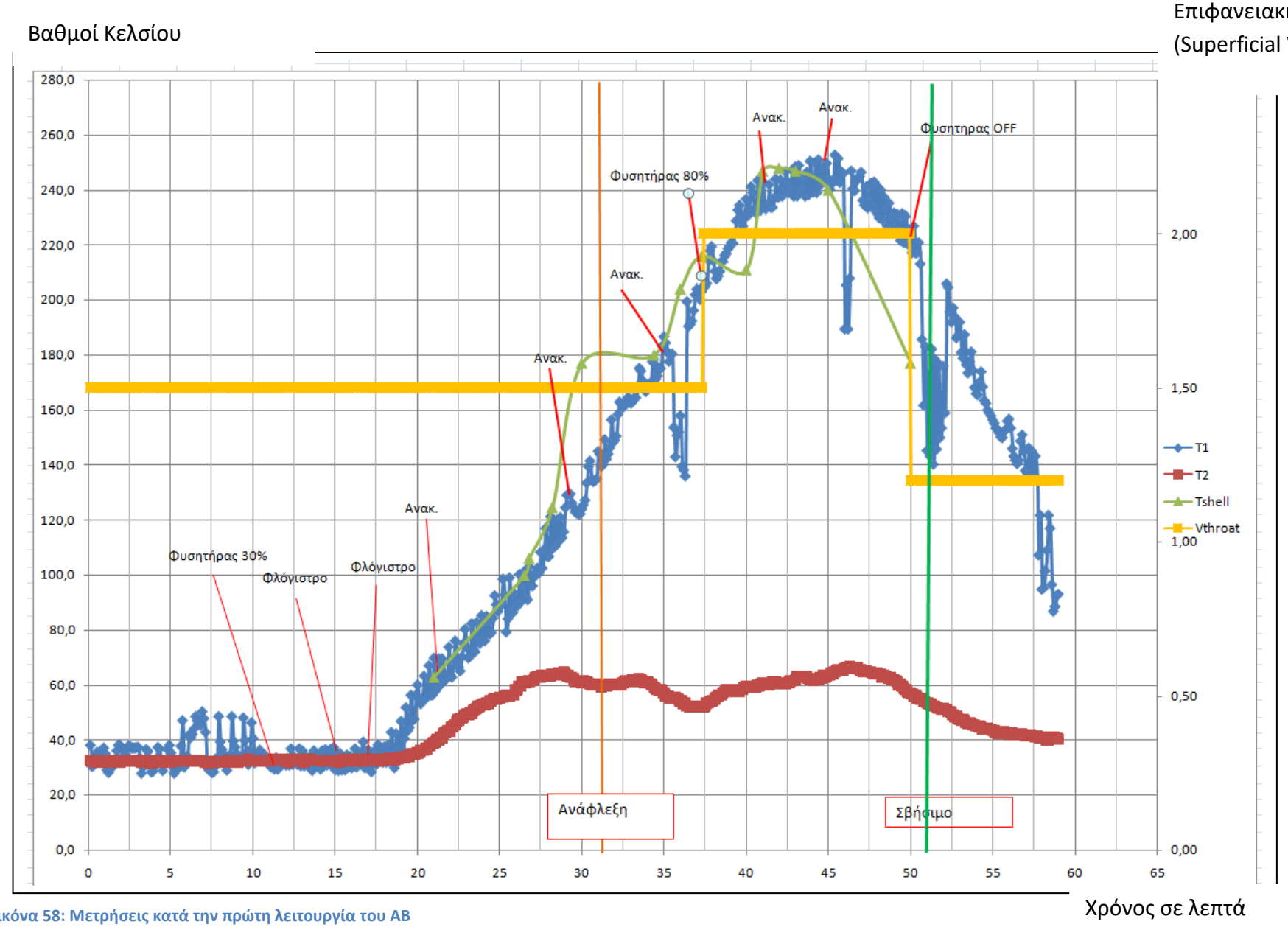
- Μέχρι τα 11 λεπτά από την έναρξη του απαγωγού δεν είχε επιτευχθεί έναυση του ΑΒ. Ενώ αρχικά υπάρχει μία αύξηση, με μέγιστο τους 50oC, η θερμοκρασία υποχωρεί ξανά στα αρχικά της επίπεδα. Παράλληλα είναι εμφανής ο "θόρυβος" στις μετρήσεις που καταγράφει ο μικροϋπολογιστήςαπότα θερμοστοιχεία στις θέσεις Τ1 και Τ2.

- Στα 11 λεπτά προσαρμόζεται στο στόμιο του αγωγού εισόδου ο μικρο-φυσητήρας ο οποίος ρυθμίζεται στο 30% της ισχύος του. Παρόλα αυτά η παροχή αέρα δεν αυξάνεται. Επίσης μετα την πάροδο 4 λεπτών η θερμοκρασίας Τ1 παραμένει στα ίδια χαμηλά επίπεδα.
- Στα 15 λεπτά, απομακρύνεται ο μικρο-φυσητήρας από την είσοδο αέρα και εισάγεται σε αυτόν ακροφύσιο φλόγας προπάνιου για 6 δευτερόλεπτα. Κατόπιν αφαιρείται το φλόγιστρο και αμέσως επανατοποθετείται ο μικρο-φυσητήρας. Μέχρι και τα 17 λεπτά δεν υπάρχει ουσιαστική άνοδος της θερμοκρασίας η οποία παραμένει γύρω στους 33^{o}C.
- Στα 17 λεπτά επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία με την διαφορά ότι αυτήν την φορά το φλόγιστρο παραμένει στην είσοδο του αγωγού αέρα για 12-14 δευτερόλεπτα. Αυτή την φορά η θερμοκρασία αερίου Τ1 αρχίζει να ανεβαίνει σταδιακά αλλά σταθερά. Ο μικρο-φυσητήρας διατηρείται στο 30% της ισχύος του και η παροχή παραμένει η ίδια.
- Στα 21 λεπτά η θερμοκρασία έχει ξεπεράσει του 63^{o}C. Στο σημείο αυτό γίνεται η πρώτη ανακίνηση της σχάρας. Η ανακίνηση της σχάρας προκαλεί μιά πολύ σύντομη πτώση της Τ1 κοντά στους 52^{o}C για 10 δευτερόλεπτα. Κατόπιν η θερμοκρασία Τ1 αρχίζει να αυξάνεται με μεγαλύτερο ρυθμό.
- Απότα 22 λεπτά μέχρι τα 29 λεπτά υπάρχει μία σταθερή άνοδος της θερμοκρασίαςαπό τους 65^{o}C του 125^{o}C. Ο ρυθμός ανόδου είναι 7,5^{o}C/λεπτό.
- Στα 29 λεπτά, στα οποία η Τ1 έχει φτάσει στους 129^{o}C, γίνεται ξανά ανακίνηση της σχάρας. Ως αποτέλεσμα η θερμοκρασία πέφτει γύρω στους 122^{o}C βαθμούς.
- Παράλληλα έχουν ληφθεί είδη τέσσερις μετρήσεις θερμοκρασίας του κελύφους της εστίας, στο μέσο του ύψους του, οι οποίες ακολουθούν τις τιμές της Τ1.
- Επίσης μετά τα 17 λεπτα, ο πυρσός του φλόγιστρου έχει τοποθετηθεί μόνιμα στην έξοδου του απαγωγού προκειμένου να παρατηρηθεί σε πιά χρονική στιγμή η πιλοτική του φλόγα θα αρχίσει να ενισχύεται απότο εξερχόμενο αέριο. Πράγμα που δενέχει συμβεί μέχρι και τα 32 λεπτά.
- Στα 34 λεπτά το εξερχόμενο αέριο αρχίζει να δημιουργεί φλόγα περίπου 15 cm μήκους. Εδώ κατά προσέγγιση το χρονικό σημείο στο οποίο αρχίζει να παράγεται αναφλέξιμο αέριο. Σε αυτό το χρονικό σημείο η θερμοκρασία Τ1 έχει φτάσει τους 170^{o}C.
- Επίσης στα 35 λεπτάμιά ανακίνηση της σχάρας προκάλεσε απότομη πτώση της θερμοκρασίας από τους 180^{o}C στους 136^{o}C (κατώτατη τιμή) και χρειάστηκαν περίπου 2 λεπτά προκειμένου η θερμοκρασία στα 38 λεπτά να φτάσει στους 196^{o}C

- Στα 37 λεπτά, ενώ η θερμοκρασία Τ1 είναι στους 205^{o}C, ο μικροφυσητήρας τέθηκε στο 80% της ισχύος του. Το αποτέλεσμα ήταν ενώ οι τιμές της Τ1 να αρχίσουν να ανεβαίνουν μέσα στα επόμενα 40 δευτερόλεπτα Στα 39 λεπτά η Τ1 είχε φτάσει τους 219^{o}C .
- Στα 45 λεπτά η θερμοκρασία Τ1 έφτασε το μέγιστο της στους 252,5^{o}C.
- Στο μεσοδιάστημα είχαν γίνει δύο ανακινήσεις της σχάρας στα 41 λεπτά και 45 λεπτά, οι οποίες όμωςδεν είχαν ιδιαίτερη επίδραση στην Τ1.
- Απότα 45 λεπτά η φλόγα του εξερχόμενου αερίου είχε αρχίσει να μειώνεται ενώ το παραγόμενο αέριο δεν παρουσιάζει πλέον αναφλεξιμότητα. Η Τ2 έχει πάρει είδη καθοδική τάση.
- Στα 52 λεπτά ο μικροφυσητήρας σβήνεται και ακολουθεί μια απότομη πτώση της θερμοκρασίας Τ1 που φτάνει στους 140^{o}C. Παρά μία μικρή άνοδο με μέγιστο τους 207^{o}C στιγμιαία, η καθοδική της πορεία συνεχίζται. Πλέον είναι προφανές ότι το καύσιμο εντός της δεξαμενής έχει τελειώσει και στα 59 λεπτά σβήνεται ο απαγωγός και σταματούν οι μετρήσεις.

Σχετικά με τις θερμοκρασίες Τ2καιTshell:

- Σημαντική παρατήρηση σε σχέση με την θερμοκρασία εξόδου του αερίου είναι ότι παρότι είχε κάποιες μικρές διακυμάνσεις οι οποίες σε γενικές γραμμές έγιναν παράλληλα με της Τ1, τα επίπεδα τις ήταν πολύ μικρά. Ουσιαστικά μετά τα 18 λεπτά άρχισε να ανεβαίνει αργά από τους30 στους 63 (στα 22 λεπτά). Απότα 22 λεπτά μέχρι τα 48,5 λεπτά διακυμάνθηκε μεταξύ56^{o}C και 65^{o}C. Με μέσο όρο τους 59^{o}C. Στα 46,4 λεπτά εμφάνισε το μέγιστο της στους 66,5^{o}C. Κατόπιν η Τ2 άρχισε να φθίνει αργά, καθώς το καύσιμο τελείωνε, μέχρι του 40^{o}C στα 59λεπτά που σταμάτησε και η καταγραφή τιμών.
- Σημαντική παρατήρηση αποτελεί ότι η θερμοκρασία του εξερχόμενου αερίου άρχισε να φθίνει με τουλάχιστον 7 λεπτά καθυστέρηση σε σχέση με την Τ1.
- Η Θερμοκρασία του κελύφους στο μέσο ύψος της εστίας κυμάνθηκε στα ίδια επίπεδα με αυτήν της Τ1, ακολουθώντας την άνοδο και την πτώση της με αξιοσημείωτα μικρή απόκλιση.



Εικόνα 58: Μετρήσεις κατά την πρώτη λειτουργία του ΑΒ

4.6.2 Πειραματική λειτουργία 2η

Η 2η πειραματική λειτουργίαδιαμορφώθηκε με βάση συμπεράσματα, παρατηρήσεις και υποθέσεις που προέκυψαν από την 1η. Έτσι έγινε προσπάθεια να μελετηθεί πιοαναλυτικά :

- Η επίδραση των ανακινήσεων στις θερμοκρασίες του αερίου, κατά την πορεία της λειτουργίας του ΑΒ από την αρχή μέχρι το τέλος.
- Της βελτιστοποίησης του χρόνου έναυσης του ΑΒ (με την έννοια της αρχής και του ρυθμού αύξησης θερμοκρασιών.
- Η επίδρασης της ταχύτητας αέρα στις θερμοκρασίες και στους χρόνους που αυτές αναπτύσσονταιαλλάκαι στον χρόνο παραγωγής αναφλέξιμου αεριού.
- Η κατανομή των απωλειών θερμότητας ή ψύξης του αεριού στο τμήμα του ΑΒ μετά την έξοδο από την εστία. Το γεγονός ότι το αέριο στην 1η πειραματική λειτουργία έφτασε να εμφανίζει διαφορά Τ1 με Τ2 σχεδόν 200oC αποτελεί σημαντικό γεγονός προς διερεύνηση. Τα τμήματα που χάνεται όλη αυτή η θερμότητα πρέπει να εντοπιστούν.
- Η συμπεριφορά του ΑΒ σε χαμηλότερο "φορτίο λαιμού" ή αλλιώς σε χαμηλότερες ταχύτητες.

Έτσι σε σχέση με το 1ο πείραμα χρησιμοποιήθηκαν:

- Χαμηλότερες ταχύτητες αέρα.
- Τα μισά σε ποσότητα κάρβουνα έναυσης
- Συχνότερες ανακινήσεις σχάρας
- Συντομότερη χρήση φλόγιστρου προπανίουαπό την έναρξη των μετρήσεων
- Μεγαλύτερη ποσότητα καυσίμου

Επίσης το ύψος μέτρησης θερμοκρασίας κελύφους εστίας (Tshell) επιλέχθηκε να είναι στο κατώτερο σημείο του, λίγο πάνω από τον πάτο του.

¨Έγιναν μετρήσεις θερμοκρασίας στο κατώτερο και το ανώτερο ύψος του φίλτρου (Tf1 και Tf2 αντίστοιχα).

ΗΘερμοκρασίαπεριβάλλοντος στο 2ο πείραμα ήταν 25oC.

Οι παράμετροι μάζας καυσίμου, κάρβουνων εκκίνησης και παροχής αέρα για το 2ο πείραμα παρατίθενται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 8: Βασικές παράμετροι κατά την 2η πειραματική λειτουργία με 3 διαδοχικές καταστάσεις

		Χρόνος		
		0 - 26,8 min	26,9 - 50,4min	50,2 - 53,8 min
Μάζα εισαχθέντος Καυσίμου	25Kg*			
Μάζα πυρωμένων κάρβουνων	30g			
Ταχύτητες στον Φλογοσωλήνα		1,2	1,6	1,3
Παροχή αεριού (m^3/h)		60	76	65
**Δεν συμπεριλαμβάνονται τα 3Kg μέχρι την ζώνη οξείδωσης*				

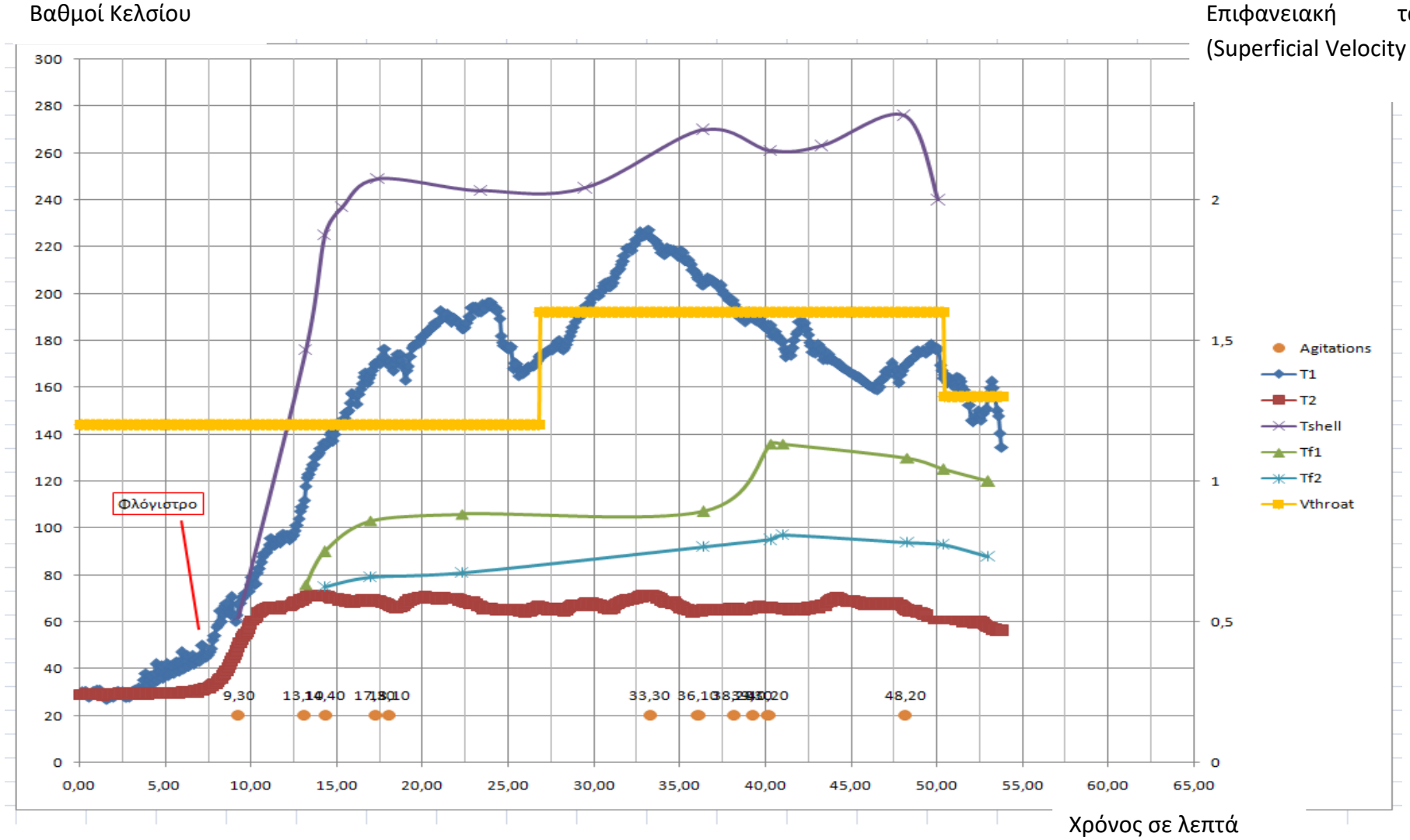
Παρουσίαση και ανάλυση διαγράμματος μετρήσεων

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα της εικόνας 59:

- Στα πρώτα 2,5 λεπτά, οι θερμοκρασία του εξερχόμενου αερίου από την εστία Τ1 και από τον απαγωγό Τ2 παραμένουν σε επίπεδα ελάχιστα πάνω από την θερμοκρασία περιβάλλοντος. Μέσος όρος των τιμών Τ1 σε αυτό το διάστημα είναι 27,5°C.
- Στα 3 λεπτά προσαρμόζεται στο στόμιο του αγωγού εισόδου ο μικρο-φυσητήρας ο οποίος ρυθμίζεται στο 30% ης ισχύος του. Η παροχή αέραδεν αυξάνεται. Η θερμοκρασία Τ1 αυξάνεται ελαφρώς.
- Στα 4 λεπτά, απομακρύνεται στιγμίαια ο μικρο-φυσητήρας από την είσοδο αέρα και εισάγεται σε αυτόν ακροφύσιο φλόγας προπανίου για 10 δευτερόλεπτα. Κατόπιν αφαιρείται το φλόγιστρο και αμέσως επανατοποθετείται ο μικρο-φυσητήρας. Η θερμοκρασία αερίου Τ1 αρχίζει να ανεβαίνει σταδιακά αλλά σταθερά. Ο μικρο-φυσητήρας διατηρείται στο 30% της ισχύος του και η παροχή παραμένει η ίδια.
- Στα 9 λεπτά η θερμοκρασία έχει ξεπεράσει του 67,3°C. Στο σημείο αυτό γίνεται η πρώτη ανακίνηση της σχάρας. Η ανακίνηση της σχάρας προκαλεί μια πολύ σύντομη πτώση της Τ1 κοντά στους 56°C για 10 δευτερόλεπτα. Κατόπιν η θερμοκρασία Τ1 αρχίζει να αυξάνεται με μεγαλύτερο ρυθμό.
- Απότα 9 λεπτά μέχρι τα 17 λεπτά υπάρχει μία σταθερή άνοδος της θερμοκρασίας από τους 66°C του 173°C. Ο ρυθμός ανόδου είναι 7,6°C/λεπτό.
- Στα 17 και 18 λεπτά γίνονται δύο ανακινήσεις της σχάρας. Ως αποτέλεσμα η Τ1 που έχει φτάσει στους 176°C, πέφτει γύρω στους 163°Cαλλά στα 19 λεπτα αρχίζει να επανακάμπτει ακολουθώντας ανοδική πορεία, με κάποιες διακυμάνσεις.

- Στα 20 λεπτά το εξερχόμενο αέριο αρχίζει να δημιουργεί φλόγα περίπου ου 15cmμήκους. Εδώ ορίζεται και το σημείο ανάφλεξης του αερίου. Σε αυτό το χρονικό σημείο η θερμοκρασία Τ1 έχει φτάσει τους 180,7^{o}C.
- Στα 21 λεπτά η θερμοκρασία Τ1 εμφανίζει τοπικό μέγιστο στους 192^{o}C
- Κατόπιν ακολουθεί μία απότομη κάθοδος ης θερμοκρασίας Τ1 μέχρι τους 166^{o}C στα 25,9 λεπτά.
- Στο υπόλοιπο διάστημα ακολουθεί μία διακύμανση της Τ1 σε χαμηλά επίπεδα, σαφώς επηρεαζόμενηκαιαπό τις ανακινήσεις.
- Η ένταση της φλόγαςδεν μεγαλώνει πάνω απότους 15 πόντους ποτέ και τελικά σβήνει στα 42 λεπτά.

Σημαντική παρατήρηση: Πέρα από την κακή εικόνα της επίδοσης του ΑΒ στην διάρκεια του πειράματος, μετά το άνοιγμα του βρέθηκε κάτω απότα απανθρακωμένα πέλλετ ένα στρώμα άκαυστων τα οποία ζυγίστηκαν στα 5Kg.



Εικόνα 59: Μετρήσεις κατά την δεύτερη λειτουργία του ΑΒ

4.6.3 Πειραματική λειτουργία 3η

Η3η πειραματική λειτουργίαδιαμορφώθηκε με βάση συμπεράσματα, παρατηρήσεις και υποθέσεις που προέκυψαν από την 1ηκαι 2η. Σε αυτή την τελευταία πειραματική λειτουργία έγιναν σημαντικές αλλαγές ή βελτιώσεις τόσο στις παραμέτρους αλλάκαι στην καταγραφή των σημάτων. Αυτές παρατίθενται ακολούθως

- Αντιμετώπιση "Θορύβου" στις μετρήσεις. Στις δύο προηγούμενες καταγραφές παρατηρήθηκε ότι οι τιμές θερμοκρασίας είχαν "θόρυβο". Υπήρχαν αδικαιολόγητες μικρές αποκλίσεις γύρω απόπια μέση τιμή των θερμοκρασιών που καταγράφοντανανά 6 δευτερόλεπτα. Ειδικά κάποιες μειώσεις της Τ1 ενώ πλέον ο ΑΒ είχε μπει σε σταθερή άνοδο της θερμοκρασίας, είναι αυτές που κίνησαν την προσοχή. Έτσι έγινε βαθύτερη μελέτη των θερμοζευγών τύπου Κ αι των ενισχυτών-μετατροπέων σε ψηφιακό σήμα που παρεμβάλλονται μεταξύ θερμοζεύγους και μικρουπόλογιστή. Από την μελέτη αυτή προέκυψε ότι λόγο του χαμηλής τάσης του σήματος που χρησιμοποιείται σε αυτού του τύπου τα θερμοστοιχεία, απαιτείται πολύ προσεκτική ηλεκτρομαγνητική-θωράκιση των καλωδίων μεταφοράς από το ένα άκρο μέχρι το σημείο που συνδέονται στον μικροϋπολογιστή. Μέχρι και το δεύτερο πείραμα ήταν θωρακισμένο μόνο το καλώδιο του θερμοστοιχείου και όχι αυτό που ακολουθούσε μετά τον ενισχυτή - μετατροπέα σήματος. Όταν εφαρμόστηκε μανδύας τύπου μπλενταζ σε όλο το μήκος, οηλεκτρομαγνητικός θόρυβος εκμηδενίστηκε.
- Δονήσεις αντί ανακινήσεις της σχάρας. Μετά το αποτέλεσμα της χρήσης πολλαπλών ανακινήσεων της σχάρας στο δεύτερο πείραμα, αποφασίστηκε να δοκιμαστεί η μέθοδος συχνών δονήσεων της σχάρας. Επιλέχθηκε οι δονήσεις αυτές να είναι πολύ μικρού πλάτους και κρουστικές. Για αυτό το σκοπό, ο άξονας, ο οποίος συνδεόταν με την σχάρα και εξέρχονταν από μικρή τρύπα στο κέλυφος την εστίας, κόπηκε σύριζα με την επιφάνεια του κελύφους.
- Φλόγιστρο αντί για κάρβουνα. Μετά από την εμπειρία των δύο πρώτων πειραμάτων ενισχύθηκε κατά πολύ η αμφιβολία του κατά πόσο είναι απαραίτητη η χρήση κάρβουνων τα οποία όχι μόνο προσθέτουν ίσως περιττή πολυπλοκότητα στην έναυση του ΑΒ αλλά και την καθυστερούν κατά πολύ. Έτσιαποφασίστηκε να μην χρησιμοποιηθούν καθόλου κάρβουνα και παράλληλα να εισαχθεί φλόγα προπανίου σχεδόν αμέσως μετά το κλείσιμο την δεξαμενής καυσίμου και την έναρξη των καταγραφών. Άλλωστε, η προοπτική της δημιουργίας ενός εμπορικού μοντέλου ΑΒ με αυτόματη ή ακόμα και χειροκίνητη έναυση, καθιστά πολύ πιο λειτουργική σαν λύση την έναυση του ΑΒ με προπάνιο αφού μπορεί επιτευχθεί με ηλεκτρο-βάνα αερίου και σπινθηριστή, στην αυτόματη έκδοση, ή με ένα

φλόγιστρο στο χέρι του ιδιοκτήτη για λίγα δευτερόλεπτα, στην χειροκίνητη έκδοση.

- Το ύψος μέτρησης της θερμοκρασίας κελύφους έγινε στο ανώτατο μέρος του ενώ οι μετρήσεις θερμοκρασίας στο κατώτερο και ανώτερο μέρος του φίλτρου έγιναν συχνότερες με την χρήση δύο θερμομέτρων υπέρυθρων σε σταθερή βάση, που οδηγούσε της ακτίνες σταθερά στο ίδιο σημείο, για την εξασφάλιση της επαναληπτικής ακρίβειας τους.
- Δεν αφαιρέθηκαν τα υπολείμματα της προηγούμενης πειραματικής λειτουργίας του ΑΒ από τον πάτο της εστίας. Αυτό έγινε με σκοπό την βελτίωση της μόνωσης του κελύφους τουλάχιστον από την κάτω του μεριά σε επαφή με το πάτωμα.
- Η στεγανότητα της συναρμογής του καπακιού του φίλτρου με το κυλινδρικό του άνω μέρος ενισχύθηκε με ειδικόπυράντοχουαλόσχοινοεπαλειμμένο με κόλλα πυριτικού αλκαλίου και ορυκτών ινών.

Η Θερμοκρασίας περιβάλλοντος στο 3ο πείραμα ήταν 26^{o}C.

Οι παράμετροι μάζας καυσίμου, κάρβουνων εκκίνησης και παροχής αέρα για το 2^{ο} πείραμα παρατίθενται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 9: Βασικές παράμετροι κατά την 3^{η} πειραματική λειτουργία με 3 διαδοχικές καταστάσεις

		Χρόνος		
		0 - 43,8min	43,8 - 52,9min	52,9 - 63,2 min
Μάζα εισαχθέντος Καυσίμου	35Kg*			
Μάζα πυρωμένων κάρβουνων	0g			
Ταχύτητες στον Φλογοσωλήνα		1,6	2,3	1,5
Παροχή αεριού (m^3/h)		81	116	63
**Δεν συμπεριλαμβάνονται τα 3Kg μέχρι την ζώνη οξείδωσης*				

Παρουσίαση και ανάλυση διαγράμματος μετρήσεων

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα που παρουσιάζεται στην Εικόνα 60 :

- Στα πρώτα 2 λεπτά, από το κλείσιμο του καπακιού της δεξαμενής τοποθετήθηκε φλόγιστρο προπανίου, στο μέγιστο της ισχύος του, στην

είσοδο αέρα για 12 δευτερόλεπτα. Ως αποτέλεσμα, στα 3 λεπτά η θερμοκρασία είχε είδη φτάσει στους 37^{o}C. Σε αυτή την χρονική στιγμή προσαρμόζεται στο στόμιο του αγωγού εισόδου ο μικρο-φυσητήρας ο οποίος ρυθμίζεται στο 50% της ισχύος του. Η παροχή αέρα αυξάνεται ελάχιστα, αντιστοιχώντας σε αύξηση ταχύτητας φλογοσωλήνα από1,45 σε 1,6m/sec.

- Απότα 3 λεπτά μέχρι τα 13,25λεπτάη θερμοκρασίας εξόδου αερίου από την εστία εμφανίζει ρυθμό ανόδου 16,1^{o}C/λεπτ^{ό}, φτάνοντας τους 244,7^{o}C. Αυτός ο ρυθμός αύξησης είναι υπερδιπλάσιος σε σχέση με τους αντίστοιχους του 1^{ου} και 2^{ου} πειράματος.
- Εντωμεταξύ έχουν μεσολαβήσει δυο δονήσεις της σχάρας στα 10,5 και 12,3 λεπτά αντίστοιχα. Η πρώτηδεν είχεκαμία επίδραση στην θερμοκρασία, ενώ η δεύτερη δημιούργησε μια πολύ μικρή και σύντομη πτώση της τάξης του 5% η οποία κράτησε το πολύ 1 λεπτό.
- Μετά τα 13,5 λεπτά αρχίζει μικρή κάθοδος της Τ1 η οποία μάλλον τυχαία συμπίπτει με τρίτη δόνηση της σχάρας καθότι στα 14,8 λεπτά αρχίζει η ανάφλεξη του αερίου καθώς εμφανίζεται ισχυρή φλόγα στην έξοδο του απαγωγού η οποία φτάνει σε μήκος τα 17cm. Η πιθανότερη αιτία αυτής της πτώσης της Τ1 είναι η αλλαγή λόγου αέρα καυσίμου απότα καινούργια πέλλετ"γεμίσματος" της στήλης από την σχάρα μέχρι την ζώνη οξείδωσης και πλέον ο ΑΒ πέρασε σε κανονική λειτουργία και άρα η επιρροή της μετάδοσης θερμότητας .
- Μέχρι και τα 20 λεπτά το εξερχόμενο αέριο εξακολουθεί να δημιουργεί φλόγα περίπου 10cm μήκους, παρόλο που η θερμοκρασία εξακολουθεί, με μικρές διακυμάνσεις, να μειώνεται φτάνοντας τοπικό ελάχιστο τους 202,5 βαθμούς στα 19,25 λεπτά.
- Στα 21 λεπτά η θερμοκρασία Τ1 εμφανίζει τοπικο μέγιστο στους 192^{o}C
- Κατόπιν ακολουθεί μία απότομη κάθοδος της θερμοκρασίας Τ1 μέχρι τους 166^{o}C στα 25,9 λεπτά.
- Απότα 22 λεπτά μέχρι τα 43,8 λεπτά η θερμοκρασία εμφανίζει σχετική σταθερότητα μεταξύ 204^{o}C και 218^{o}C, με μέσο όρο τους 208,8^{o}C. Σε όλο αυτό το διάστημα η φλόγα στην έξοδου του απαγωγού μεγιστοποιείται και παραμένει σταθερή χωρίς διακυμάνσεις.
- Για πρώτη φορά έχουμε ένα χρονικό διάστημα "σταθερής¨λειτουργίας του ΑΒ, υπό την έννοια ότι η φλόγα που παράγεται από το εξερχόμενο ΑΣ παραμένειαναλλοίωτη σε μήκος και χρώμα.
- Στο μεσοδιάστημα μέχρι τα 43 λεπτά έχουν γίνει 7 δονήσεις της σχάρας οι οποίεςδεν έχουν προκαλέσει αξιοσημείωτες μεταβολές της θερμοκρασίας Τ1.
- Στα 44 λεπτά ο μικροφυσητήρας και ο απαγωγός τίθενται στο μέγιστο της ισχύος τους. Ως αποτέλεσμα η πραγματική ταχύτητα φλογοσωλήνα φτάνει

τα 2,3m/sec. Παρότι στην έξοδο του απαγωγού οι μετρήσεις αντιστοιχούν σε ταχύτητες 2,6-2,9m/sec, οι μετρήσεις στην είσοδο αέρα του ΑΒ δείχνουν ότι υπάρχει μικρή αλλά αξιοσημείωτη εισροή αέρα στον ΑΒ από άλλα σημεία, επιτρέποντας στον απαγωγό να δίνει μεγαλύτερη παροχή από αυτήν που μπαίνει από την είσοδο αέρα.

- Η άνοδος της παροχής αέρα στα 2,3m/sec σύντομα προκαλεί απότομη αύξηση της Τ1 από τους 207^{o}C, στα 45 λεπτά, στους 245^{o}C στα 49 λεπτά. Ρυθμός ανόδου 9,5^{o}C/ λεπτό. Η φλόγα όμως του παραγόμενου ΑΣδεν αυξάνεται σε αυτό το διάστημα.
- Στα 52 λεπτά η Τ1 αρχίζει να μειώνεται ενώ στα 53 λεπτά, σε θερμοκρασία 216,8^{o}C η φλόγα στην έξοδο του απαγωγου έχει σχεδόν μηδενίσει.
- Στα 53 λεπτά ο μικροφυσητήρας σβήνει και αφαιρείται από την είσοδο αέρα.
- Στα 54 λεπτά δεν υπάρχει πλέον φλόγα και η θερμοκρασία, μετά από σταθερή κάθοδο, έχει φτάσει στους 213 βαθμούς.
- Μέχρι τα 63,2 λεπτά η θερμοκρασία Τ1 μειώνεται σταθερά φτάνοντας στους 127^{o}C. Στο χρονικό σημείο αυτό το καύσιμο θεωρείται απανθρακωμένο και η καταγραφές σταματούν.

Παρατηρήσεις για τις Τ2, Tshell, Tf1, Tf2:

Τ2:Η θερμοκρασία εξόδου αερίου από τον απαγωγό, μετά την έναυση του ΑΒ, κυμαίνεταιμεταξύ 70^{0}C (μέγιστη τιμή) και 50^{0}C, με μέσο όρο του 57^{0}C για το σύνολο των μετρήσεων που καταγράφηκαν μέχρι τα 63 λεπτά. Το αξιοσημείωτο με τα άλλα δύο πειράματα είναι η εντυπωσιακή αδράνεια της στις μεταβολές της Τ1. Πέρα από κάποιες μικρές αυξήσεις ή μειώσεις που ακολούθησαν μεγάλες αντίστοιχες της Τ1, η Τ2 εμφανίζει μία μεγάλη "αδράνεια" στις μεταβολές των άλλων θερμοκρασιών

Tshell: Η θερμοκρασία του κελύφους στο ανώτερο σημείο του, δείχνει να ακολουθεί τις αυξομειώσεις της Τ1 αλλά πάντα με σταθερά χαμηλότερες τιμές από αυτήν. Αυτό δείχνει, σε σχέση με τα προηγούμενα πειράματα, ότι αποκάτω προς τα πάνω η θερμοκρασία του κελύφους πέφτει. Ενώ στο ύψος του αγωγού εξόδου η θερμοκρασία του είναι χαμηλότερη από την θερμοκρασία του εξερχόμενου αερίου.

Tf1 &Tf2: Παρότι η θερμοκρασία κελύφους του φίλτρου στο κατώτερο του σημείο που πρωτο-εισέρχεται το αέριο, ακολουθεί, με πολύ μικρότερο όμως πλάτος, τις διακυμάνσεις της Τ1, οι απόλυτες τιμές της είναι πολύ χαμηλότερες από αυτήν. Η θερμοκρασία στο ανώτερο μέρος του φίλτρου Tf2 εμφανίζει την ίδια "αδράνεια" σχετικά με την Tf1, με αυτήν που εμφανίζει η Τ2 σχετικά με την Τ1. Επίσης η πτώση θερμοκρασίας καθ' ύψος του φίλτρου, μεταξύ κάτω και άνω μέρους είναι πολύ μεγάλη, φτάνοντας μέγιστο τους 87^{o}C.

Γενικές παρατηρήσεις στο 3ο πείραμα

- Μια από τις σημαντικότερες διαπιστώσεις είναι ότι παρόλο που στο 3ο πείραμα δεν χρησιμοποιήθηκαν καθόλου πυρωμένα κάρβουνα, μόνο φλόγιστρο προπάνιου σε πλήρη ισχύ, η θερμοκρασία του αερίου Τ1, άρα και η αντίστοιχη στον φλογοσωλήνα, άρχισε να ανεβαίνει αμέσως και μάλιστα με ρυθμό 16,1ºC/λεπτό. Ο ρυθμός αυτός ήταν υπερδιπλάσιος των 7,5ºC/λεπτό και 7,6ºC/λεπτό του 1ου και 2ου πειράματος αντίστοιχα. Πιθανόν σε αυτή την μεγάλη διαφορά να συντέλεσε ενισχυτικά και το γεγονός ότι σε αυτό το πείραμα είχαν αφεθεί τα υπολείμματα του προηγούμενου πειράματος στον πάτο της εστίας.
- Η δεύτερη και πιο σημαντική ίσως παρατήρηση είναι ότι η χρήση δονήσεων της σχάρας αντί για ανακινήσεις λειτούργησε πολύ καλά, οδηγώντας σε πολύ πιο στρωτή θερμοκρασιακή λειτουργία του ΑΒ, σε πολύ καλύτερη ποιότητα εξερχόμενου ΑΣ και σε πλήρη απανθράκωση όλης της ποσότητας καυσίμου που εισήχθηκε στον ΑΒ.
- Όπως αναφέρθηκε στην περιγραφή του διαγράμματος, η παραγωγή αναφλέξιμου αερίουδεν ξεκίνησε όταν οι θερμοκρασία είχε ξεπεράσει τους 155ºC ή 180ºC όπως έγινε στο 1ο και 2ο πείραμα αντίστοιχα. Σε αυτήν την περίπτωση η παραγωγή αναφλέξιμου αερίου άρχισε μετά το πρώτο τοπικό μέγιστο της Τ1 στους 254,5ºC, μετά από2 περίπου λεπτά όταν η Τ1 είχε πέσει περίπου στους 220ºC. Το γεγονός αυτό πιθανότατα σχετίζεται με τον χρόνο που απαιτείται για τη διεργασία της πυρόλυσης και σε ένα ποσοστό να απανθρακωθούν τα πέλλετ κάτω από την ζώνη οξείδωσης μέχρι την σχάρα. Μέχρι να ολοκληρωθεί η προαναφερθείσα θερμοχημική διεργασίαδεν μπορεί να λάβει χώρα η απαραίτητα αλληλουχία αντιδράσεων εντός της στήλης της εστίας προκειμένου να αρχίσει η παραγωγή ΑΣ.
- Μετά από την σύγκριση ταχυτήτων αέρα μεταξύ εισόδου στον ΑΒ και εξόδου από τον απαγωγό και της αναγωγής τους σε παροχές (αναλόγως του εμβαδού διατομής του αγωγού στα δύο σημεία) προέκυψε ότι υπάρχουν διαφορές της τάξης του 15%. Η προαναφερθείσα διαπίστωση όμωςδεν μπορεί να επηρεάσει τα συμπεράσματα περί απωλειών μάζας και θερμότητας. Αυτό ισχύει γιατί το τμήμα μετά την έξοδο του αερίου από την εστία είναι πολύ καλά στεγνωμένο καθώς οι συναρμογές του συνίστανται από σπειρώματα ενισχυμένα με κανναβόσχοινο και το καπάκι του φίλτρου σχεδόν πακτωμένο με το κυλινδρικό του μέρος μέσω υαλόσχοινου και κόλας πυρικού αλκαλίου. Άρα εφόσον οι μετρηθείσες θερμοκρασίες Τ1, Τ2, Tf1,Tf2δεν γίνεται να έχουν επηρεαστεί από περαιτέρω μίξη αέρα περιβάλλοντος με το παραγόμενο αέριο. Όσο για την Tshell τα

συμπεράσματα προκύπτουν από συγκριτικούςυπολογισμούς και όχι απόλυτες τιμές οπότε ισχύει το ίδιο.

- Σε αυτό το πείραμα επίσης διαπιστώθηκε ότι η θερμοκρασία του κελύφους της εστίας, στο ανώτερο του σημείο, παρότι ακολουθεί τις αυξομειώσεις της T1, βρίσκεται σταθερά σε χαμηλότερα επίπεδα αυτήςκαθόλα την λειτουργία του AB. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτό το γεγονός είναι δύο. Το πρώτο συμπέρασμα που προκύπτει, σε συνδυασμό με τις μετρήσεις θερμοκρασίας κελύφους σε χαμηλότερα ύψη που έγιναν στα προηγούμενα πειράματα, είναι ότι η θερμοκρασία του κελύφους μειώνεται σημαντικά από κάτω προς τα πάνω. Άλλωστε αυτό συνάδει και με τις παρατηρήσεις σχετικά με τις αυξανόμενες επικαθίσεις πισσών καθ' ύψος που παρατηρήθηκαν στις δοκιμαστικές λειτουργίες. Το δεύτερο είναι ότι οι μετρήσεις των θερμοζευγών για τις θερμοκρασίες αερίου έχουν επηρεαστεί σε μικρό βαθμό από το γεγονός ότι το σπείρωμα του μαστού που τα συγκρατεί έρχεται σε επαφή με τους αγωγούς μεταφοράς του αερίου. Σε αντίθετη περίπτωση οι καταγραφές θερμοκρασίας στο τρίτο πείραμα θα ήταν ίδιες με την θερμοκρασία κελύφους η ακόμα μικρότερες αφού ο αγωγός εξόδου έχει ακόμα μικρότερη θερμοκρασία από το κέλυφος στο ίδιο ύψος με αυτόν.

Δεδομένου ότι σε αυτό το 3^{ο} και τελευταίο πείραμα έγιναν οι περισσότερες μετρήσεις των θερμοκρασιών Tf1, Tf2, Tshell, σε συνδυασμό με τις μετρηθείσες τιμές από τον μικρουπόλογιστή T1 και T2, μπορούν να προκύψουν κάποια σημαντικά αριθμητικά μεγέθη που οδηγούν σε καίριες παρατηρήσεις σε σχέση με την θερμική συμπεριφορά του παραγόμενου αερίου στην πορεία του από την έξοδο της εστίας μέχρι τον απαγωγό.

Μέση θερμοκρασία κελύφους στο κάτω και άνω μέρος του φίλτρου:

Tf1avg=128,48^{o}C

Tf2avg=88,13^{o}C

Μεση διαφορά θερμοκρασίας αερίου μεταξύ Tf1 και Tf2:

$\Delta Tf_{1-2}avg$= 40,35^{o}C

Μεγιστη διαφορά θερμοκρασίας αερίου μεταξύ Tf1 και Tf2:

$\Delta Tf_{1-2}max$= 87^{o}C

Μέση θερμοκρασία αερίου στην έξοδο από την εστία και στην έξοδο από τον απαγωγό:

T1avg=189,79^{o}C

T2avg=57,36^{o}C

Μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας αερίου μεταξύ T1 και T2:

ΔT_{1-2}max= 188^{o}C

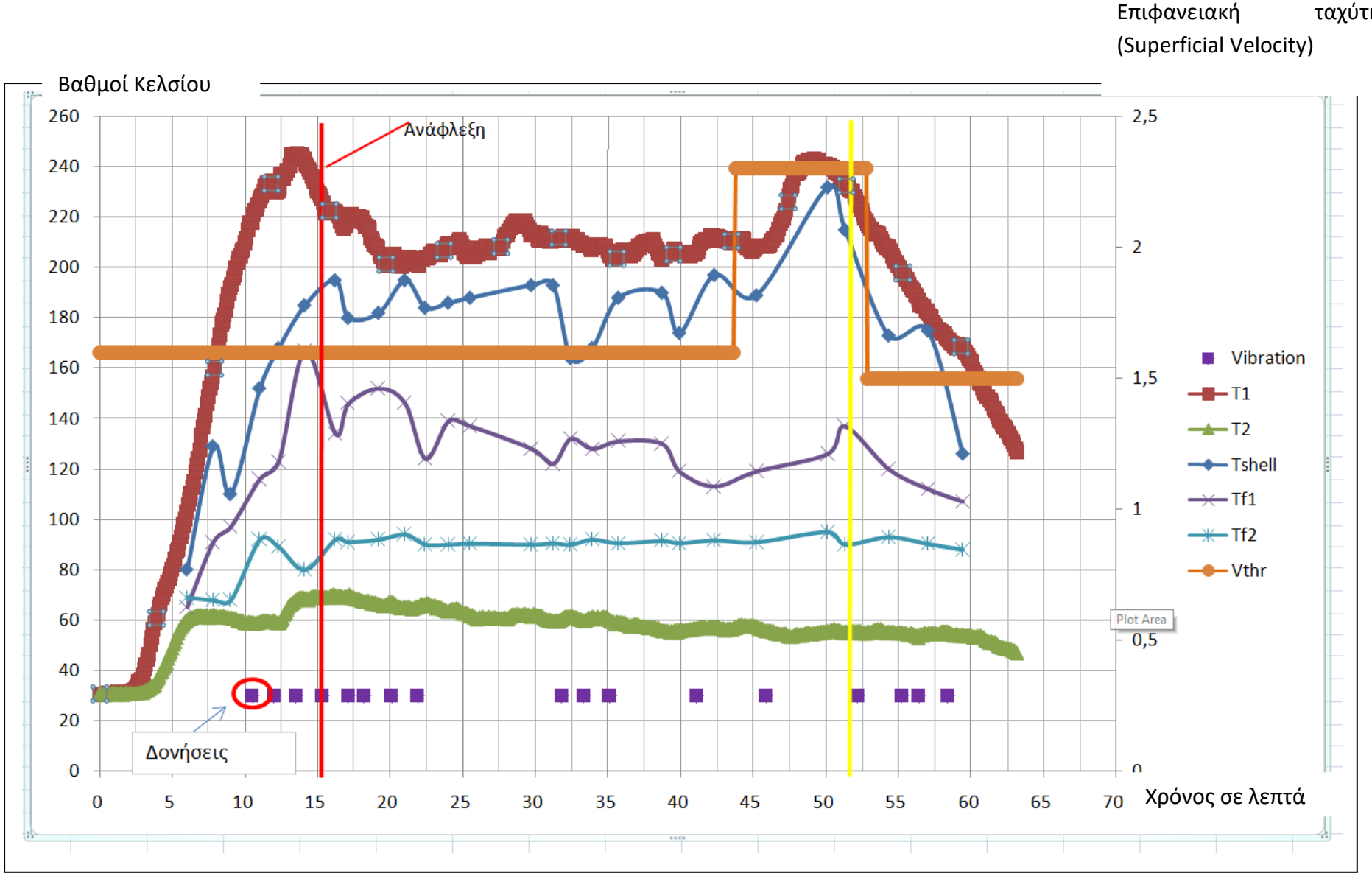
Μέση διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ T1 και T2:

ΔT_{1-2}avg= 132,2^{o}C

Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι οι τιμές θερμοκρασίας που μετρήθηκαν είναι πολύ μικρότερες από όσες απαιτεί η αεριοποίηση βιομάζας στη ζώνη εστίας, ακόμα και αν ληφθεί υπόψη οτι οι μετρήσεις θερμοζεύγη επιρεάζονταν απο τις πολύ μεγάλες απώλειες δια των εξωτερικών τοιχωμάτων της εστίας προς το περιβάλλον Οι αντιδράσεις αέρα καυσίμου απαιτούν μια θερμοκρασία 600 με 900 °C. Οι διαφορές θερμοκρασίας T1 και T2 θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν μόνο ως διαφορά. Το γεγονός ότι αεριοποίηση πραγματοποιήθηκε σε πολύ μικρές θερμοκρασίες ενισχύεται από το γεγονός ότι χρειάζεται καύσιμο έναυσης (πυρωμένα καύσιμα ή προπάνιο) για να προκαλέσει την έναυση της διεργασίας. Η διατήρηση της υψηλής θερμοκρασίας του ΑΒ θα μπορούσε να επιτευχθεί με μόνωση του αντιδραστήρα και υπό την σταθερή παροχή λόγω μάζας και αέρα να διατηρηθεί από τη συνολικά εξώθερμη σειρά αντιδράσεων και με παράλληλη προθέρμανση του αέρα. Το εξερχόμενο ΑΣέχει σύμφωνα με τις μετρήσεις ήδη χάσει ένα μέρος της αισθητής θερμότητας από την εστία ως τα σημεία μετρήσεων.

Σχετικά με την επίδοση του ΑΒ στο 3^{ο} πείραμα:

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 61 στο τελευταίο πείραμα όλο το καύσιμο απανθρακώθηκε πλήρως, φτάνοντας πλέον να έχει σχεδόν άσπρο χρώμα. Οι θερμοκρασίες και η ομαλή πορεία της λειτουργίας του ΑΒ απανθράκωσαν πλήρως ακόμα και τα κάρβουνα που είχαν μείνει στον πάτο της εστίας από το προηγούμενο πείραμα.



Εικόνα 60: Μετρήσεις κατά την τρίτη λειτουργία του ΑΒ

Εικόνα 61: Απεικόνιση κάτω μέρους της εστίας μετά την τρίτη λειτουργία του ΑΒ

Πίσσες

Όπως φαίνεται στην εικόνα 62οποία εξωτερικό κώνος και ο φλογοσωλήνας είναι αναποδογυρισμένοι, βλέπουμε ότι το εξωτερικό του φλογοσωλήνα είναι σχεδόν καθαρό από πίσσες* ενώ αντίστοιχα του εξωτερικού κώνου και του δακτυλίου που τον συγκρατεί στην πλάκα διαχωρισμού (εστίας - δεξαμενής) υπάρχει ένα στρώμα πίσσας. Μάλιστα αυτό το στρώμα έχει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, είναι ομοιόμορφου πάχους ομοιόμορφα κατανεμημένο και με λεία επιφάνεια. Θα μπορούσε κάποιος να νομίσει ότι έχει γίνει επίστρωση με λεπτόρρευστη πίσσα. Επίσης όπως φαίνεται στης προηγούμενης ενότητας εικόνα 61 στο κάτω εσωτερικό μέρος του κελύφους της εστίαςδεν έχει επιστρωθεί πίσσα ενώ όσο το ύψος από τον πάτο μεγαλώνει η επικάθιση πίσσας αυξάνεται αναλογικά. Ακόμα πρέπει να σημειωθεί ότι στο περιφερειακό δακτυλιοειδές τμήμα της πλάκας πουδεν εκτίθεται στο περιβάλλον του εσωτερικού της εστίας,δεν υπάρχει καθόλου πίσσα. Όλα αυτά οδηγούν στα εξής συμπεράσματα:

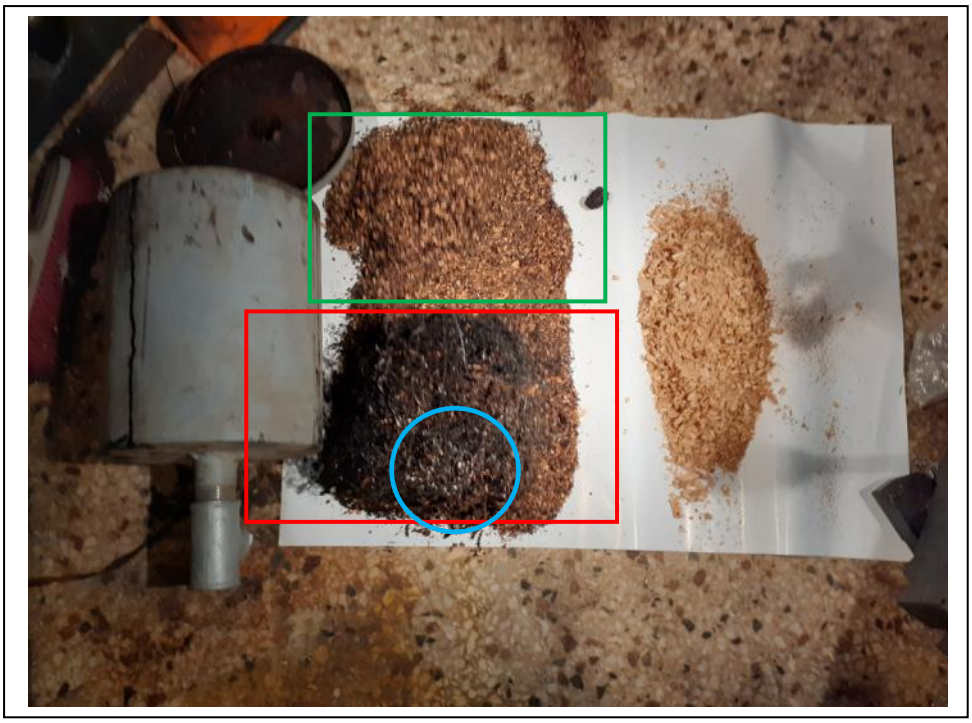
- Οι επιφάνειές των τμημάτων της εστίας που κατά την λειτουργία του ΑΒ βρισκόταν σε υψηλές θερμοκρασίες είχαν ελάχιστες επικαθήσεις πισσών. Ειδικά ο φλογοσωλήνας σχεδόν καθόλου. Αντιθέτως επιφάνειές που ψύχονταν η ανάντι επιφάνεια τους, όπως ο εξωτερικό κώνος εντός του οποίου εισερχόταν από το αγωγό εισόδου κρύος αέρας από το περιβάλλον, είχε την μεγαλύτερη συγκέντρωση σε πίσσες. Παράλληλα η ομοιόμορφη παχιά κατανομή πίσσας στον εξωτερικό κώνο μας δείχνει ότι η ροή του αερίου εντός της εστίας ήταν στροβιλοειδούς μορφής και για αυτό το στρώμα ήταν ομοιοπαχές αλλιώς θα υπήρχε αύξηση του προς την μεριά εξόδου του ΑΣ.
- Το καθαρό από πίσσες τμήμα της πλάκας διαχωρισμού το οποίο είναι "υπεύθυνο" για την αεροστεγανή σύνδεση δεξαμενής - εστίας, δείχνει ότι δεν υπήρχε εισαγωγή αέρα από ενδεχόμενα κενά.

Εικόνα 62:

Κατανομή πισσών

Στην Εικόνα 63φαίνεται στα αριστερά το φίλτρο ανοιγμένο, δίπλα από αυτό τα περιεχόμενα πριονίδια του, μετά και από τις τρείς πειραματικές λειτουργίες, καταμερισμένα καθ' ύψος σε αντιστοιχία με την εσωτερική διαστρωμάτωση που είχαν μέσα στο φίλτρο. Με απλή οπτική παρατήρηση καταρχάς διαπιστώνεται, από το χρώμα των πριονιδίων, η συγκέντρωση πισσών στα πριονίδια μειώνεται καθώς το ύψος. Αυτό είναι κάτι αναμενόμενο που όμως δείχνει ότι το φίλτρο μετά από τρείς διαδοχικές λειτουργίες του ΑΒ και κατανάλωση περίπου 70kgπέλλετ.

Μια επίσης σημαντική διαπίστωση είναι ότι το η μπάλα ατσαλόμαλλου στο κάτω μέρος (κυκλωμένη με μπλε χρώμα) λειτούργησε επαρκώς στην βελτίωση του φαινομένου της "πλευρικής διέλευσης", όπως αναφέρθηκε στις δοκιμαστικές λειτουργείες, αφού η κατανομή των πισσών στην μάζα των πριονιδίων φαίνεται ομοιόμορφη.



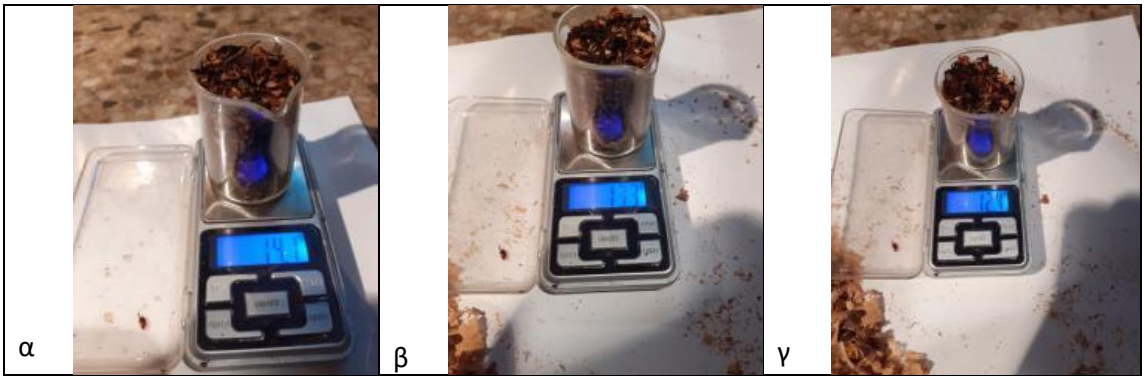
Εικόνα 63: Απεικόνιση φίλτρου και υλικών φίλτρου μετά την τρίτη πειραματική λειτουργία

Από δειγματοληπτικές μετρήσεις το χύδην ειδικό βάρος των καινούργιων ροκανιδιών προέκυψε 144kg/m^3. Δεδομένου ότι το φίλτρο έχει διάμετρο 230mmκαι ύψος 314mmη χωρητικότητα του υπολογίζεται στα 12,8lt περίπου. Άρα μέσα στο φίλτρο (θεωρώντας τον όγκο του ατσαλόμαλλου αμελητέο) χωράνε 1,87kgροκανίδια.

Το συνολικό βάρος των ροκανιδιών όπως ζυγίστηκαν μετά το πέρας και των τριών πειραματικών λειτουργιών ήταν4,37kg. Αυτό σημαίνει ότι συνολικά στο φίλτρο κατακρατήθηκαν 4,37kg-1,87kg = 2,5kgπίσσες.

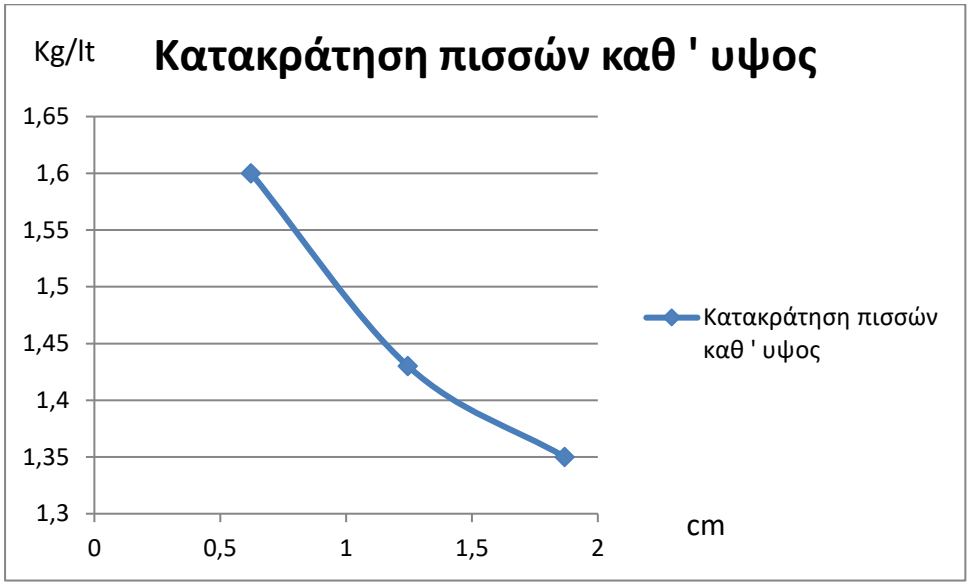
Σε σχέση με το σύνολο των 70kgπέλλετ που χρησιμοποιήθηκαν και στα τρία πειράματα (αφαιρώντας 5kgπου έμεινα άκαυστα στο δεύτερο) κατακρατήθηκαν στο φίλτρο πίσσες που ισούνται με το 3,57% της μάζας του καυσίμου. Γενικά αυτό το ποσοστό θεωρείται χαμηλό.

Προκειμένου να γίνει ένας προσεγγιστικός υπολογισμός της καθ΄ ύψος κατανομής της κατακράτησης πισσών, όπως φαίνεται στις φωτογραφίες α, β, γ που παρουσιάζονται στην Εικόνα 64 μετά από πολλέςδειγματοληπτικές δοκιμές έγινε έναςδιαχωρισμός σε τρία στρώματα. Οι μετρήσεις για μεγαλύτερη ακρίβεια έγιναν σε γυάλινο κυάθιο των 50ml. Προκειμένου να γίνουν υπολογισμοί το βάρος των αχρησιμοποίητων πέλλετ χωρίστηκε σε τρία ίσα μέρη των 0,623kg ή 4,26lt. Στο πρώτο ο μέσος όρος ειδικού βάρους ήταν 1,60kg/lt, στο δεύτερο (μεσαίο στρώμα) 1,43kg/ltκαι στο άνω στρώμα 1,35kg/lt.



Εικόνα 64: Βαρυτικές μετρήσεις ροκανιδίων από το φίλτρο

Στο διάγραμμα που ακολουθεί απεικονίζεται η καμπύλη της κατακράτησης πισσών καθώς το ύψος αυξάνεται στο φίλτρο:



Εικόνα 65: Διάγραμμα εκτίμησης κατακράτησης πισσών

4.7 Ζεύξη ΑΒ με ηλεκτρογεννήτρια

Το τελευταίο στάδιο του πειραματικού τμήματος της εργασίας έγινε προσπάθεια να τεθεί σε λειτουργία ηλεκτρογεννήτρια με χρήση αποκλειστικά παραγόμενου ΑΣ από τον ΑΒ. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε η καινούργια Η/Ζ που φαίνεται στην Εικόνα 66

Εικόνα 66: Ηλεκτρογεννήτρια που χρησιμοποιήθηκε

Χαρακτηριστικά Ηλεκτρογεννήτριας

Κατασκευαστής:KRAFT
Μοντέλο: KG 4500
Τύπος: Μονοφασική παροχή 220V / 50Hz
Καύσιμο: Αμόλυβδη βενζίνη
Μέγιστη ισχύης: 4,5 KVA
Ισχύς συνεχούς λειτουργίας: 4KW.
Τύπος κινητήρα: Τετράχρονος αερόψυκτος με OHV (OverHeadValve)
Ισχύς κινητήρα: 6,5 Hp
Κυβισμός: 247 κ.ε
Στροφές λειτουργίας: 3000 rpm
Εκκίνηση: Με σχοινί (οχι μίζα)

Διαδικασία πειράματος

Πριν την διεξαγωγή του πειράματος η γεννήτρια τέθηκε σε λειτουργία με βενζίνη για αρκετές ώρες. Επίσης κατά τις προαναφερθείσες ώρες λειτουργίας, στις εξόδους (μπρίζες 220V) τοποθετήθηκαν, διαδοχικά, διάφορες συσκευές αυξανόμενης απαίτησης σε ισχύ. Ως αποτέλεσμα διαπιστώθηκε ότι η γεννήτρια ανταπεξήλθε σε απαίτηση ισχύος 4KWαπό συσκευήηλεκτροσυγκόλλησηςinverter σε πλήρες φορτίο. Έτσι επιβεβαιώθηκε η ονομαστική ισχύς συνεχούς λειτουργίας της γεννήτριας, και η

διαδικασία προχώρησε στο πειραματικό στάδιο. Με βάση τον κυβισμό του κινητήρα της γεννήτριας και τις στροφές λειτουργίας της, ο όγκος αέρα (ή αερίου στην εν λόγω περίπτωση), που απορροφάένας τετράχρονος κινητήρας ανά ώρα είναι:

$$\frac{Κατανάλωσηαέρα}{ώρα} = \frac{κυβισμός(lt)\times στροφέςαναλεπτό \times 60}{2 \times 1000} = \frac{0{,}247 \times 3000 \times 60}{2000} = 22{,}23\ m^3/\text{h}$$

Με βάση την παραπάνω θεωρητική απαίτηση σε παροχή μείγματος αέρα - αερίου, ο απαγωγός του ΑΒ ρυθμίστηκε στην χαμηλότερη ισχύ από τις τρείς θέσεις του ντίμερ. Παράλληλα ομικρο- φυσητήρας τοποθετούνταν πάντα σε πλήρη ισχύ στον αγωγό εισόδου αέρα προκειμένου να διασφαλίζει ότι ακόμα και αν η ΜΕΚ της γεννήτριας πάρει μπρος με ΑΣ, που σημαίνει ότι ο απαγωγός πρέπει να σβηστεί, θα υπάρχει πάντα υποβοήθηση στην φυσική υπόπίεση εντός το κυλίνδρου κατά το άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής.

Για την ρύθμιση της ανάμιξης αερίου με αέρα κατασκευάστηκε σε 3DPrinter, με νήμα απόABS, ειδικό εξάρτημα τύπου ημι-διάτρητου "βραχιολιού" το οποίο εφαρμόζεται στεγανά σε τμήμα της εύκαμπτης σωλήνας η οποία είναι κατάλληλα κομμένη σε αυτό το μήκος. Η μεταβολή της αναλογίας ΑΣ - Αέρα γίνεται με περιστροφή του βραχιολιού, δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα., γύρω από την σωλήνα. Στις εικόνες 70 και 71 φαίνεται η συγκεκριμένη διάταξη. σε ρύθμιση ημίκλειστο και κλειστό αντίστοιχα. Επίσης, όπως φαίνεται στην εικονα 72 στο ημι-κομμένο τμήμα του αγωγού, που περιβάλλεταιαπό τοβραχιόλι, έχει εισαχθεί κωνικό εξάρτημα ελάττωσης της διατομή του αγωγού προκειμένου να αυξάνεται η ταχύτητα του αερίου τοπικά. Η αρχή λειτουργίας αυτής της διάταξης βασίζεται στην διαφορά στατικής πίεσης μεταξύ του εσωτερικού του αγωγού και του περιβάλλοντος. Η στατική πίεση στο εσωτερικό του αγωγού είναι μικρότερη από αυτήν του περιβάλλοντος διότι αυτός διατρέχεται από αέριο κάποιας ταχύτητας η οποία μεγαλώνει καθώς περνάει μέσα παο κωνικό ένθετο τμήμα. που προαναφέρθηκε. Όσο πιο μεγάλη πολλές τρύπες του "βραχιολιού" φέρνουν σε επαφή το ΑΣ εντός του αγωγού με τον αέρα που τον περιβάλει τόσο μεγαλώνει η αναλογία αέρα στο μείγμα.

Στην πρώτη δοκιμαστική διάταξη, προκειμένου η λειτουργία "αυτοδιέγερσης"* της γεννήτριας να διατηρηθεί, αφαιρέθηκε μόνο η δεξαμενή καυσίμου όπως φαίνεται στην εικόνα 69. Η είσοδος βενζίνης στο καρμπυρατέρ σφραγίστηκε και η έξοδος του ΑΣ από τον ΑΒ προσαρμόστηκε με εύκαμπτο σωλήνα στην είσοδο του καρμπυρατέρ. Επίσης η "πεταλούδα" εντός του καρμπυρατέρ τρυπήθηκε σε πολλαπλά σημεία ώστε να επιτρέπει την διέλευση αερίου ακόμα και στην θέση "ρελαντί".

Στην δεύτερη δοκιμαστική διάταξη το καρμπυρατέρ αφαιρέθηκε εντελώς, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.7.1.2 και ο αγωγός παροχή ΑΣ συνδέθηκε απευθείας στην

είσοδο του κυλίνδρου μέσω ειδικού αντάπτορα που κατασκευάστηκε σε 3Dprinteraπό ειδικό νήμα πλαστικού-ανθρακονημάτων υψηλής αντοχής σε θερμοκρασίες (μέχρι 112^{o}C).

Εικόνα 67

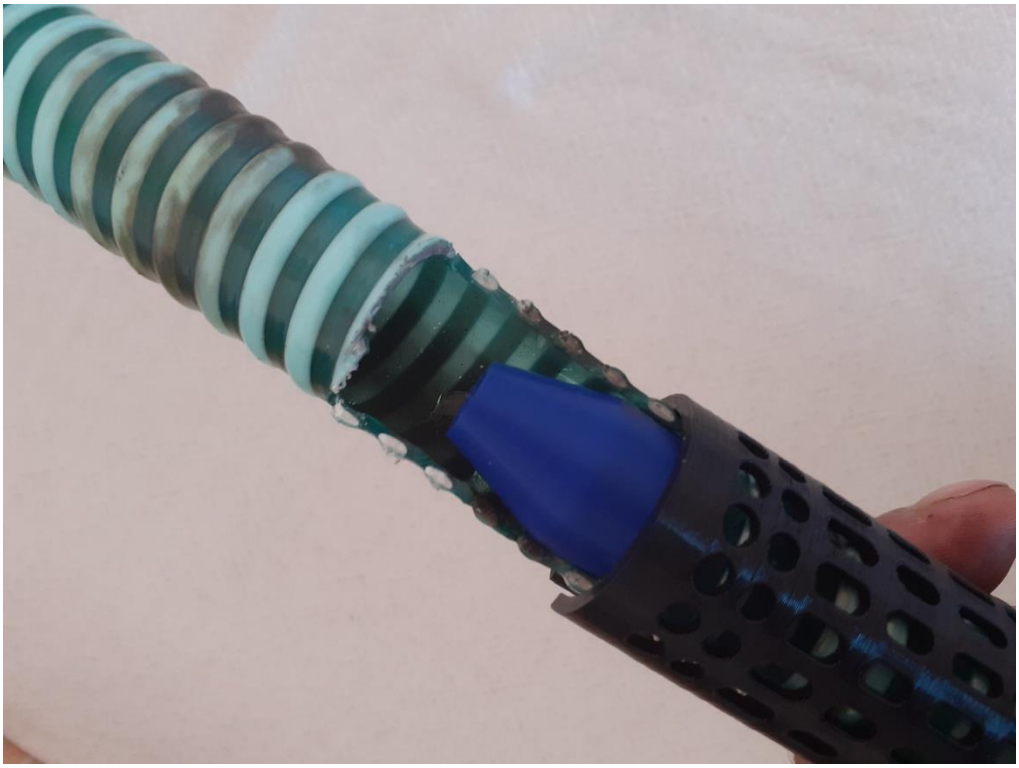
*Με τον όρο "αυτοδιέγερση" στις ηλεκτρογεννήτριες εννοείται η λειτουργία αυτόματης αύξησης της τροφοδοσίας καυσίμου στην ΜΕΚ τους όταν το φορτίο στην έξοδο τους (220V) αυξηθεί. Η αύξηση αυτή επιτυγχάνεται μέσω σερβομηχανισμού ο οποίος, μέσω του σύρματος που δείχνεται με βελάκι στην εικόνα 4.7.1.2, μετακινεί την θέση της πεταλούδας του καρμπυρατέρ αυξομειώνοντας της παροχή μείγματος αέρα-καυσίμου. Στην συγκεκριμένη φωτογραφία το καρμπυρατέρ έχει αφαιρεθεί.

Εικόνα 68

Εικόνα 69

Εικόνα 70

Εικόνα 71



Εικόνα 72

4.7.2 Αποτελέσματα δοκιμών

Στην πρώτη δοκιμαστική διάταξη , δεδομένου ότι δεν είχε αφαιρεθεί το καρμπυρατέρ, πρώτα τέθηκε η ηλεκτρογεννήτρια σε λειτουργία με βενζίνη προκειμένου να ζεσταθεί ο κινητήρας της ΜΕΚ. Κατόπιν αφαιρέθηκε το σωληνάκι παροχής βενζίνης από το καρμπυρατέρ και διοχετεύτηκε ΑΣ από τον ΑΒ ο οποίος είχε τεθεί σε λειτουργία αρκετή ώρα πριν με άφθονα πέλλετ στην δεξαμενή του. Φορτίο στις εξόδους ρεύματος της γεννήτριαςδεν είχε τοποθετηθεί.

Αρχικά η ΜΕΚ πήρε μπρος, για περίπου μερικά δευτερόλεπτα, σε αυξημένες στροφές (πάνω από3000rpm) μέχρι να καταναλωθεί η λίγη βενζίνη που είχε μείνει εντός του καρμπυρατέρ. Το πιθανότερο είναι ότι η παροχή βενζίνης σε ανάμιξη με μείγμα ΑΣ-αέρα από την διάταξη ανάμιξης της φωτογραφίας 4.7.1.5, είχε ως αποτέλεσμα την λειτουργία το κινητήρα πολύ πάνω από την ονομαστικές στροφές τους. Όμως, μόλις τελείωσε η λίγη βενζίνη που είχε μείνει στο καρμπυρατέρ, η ΜΕΚ έσβησε καιδεν ξαναπήρεμπρος ποτέ παρόλες της πολλές επαναλήψεις εκκίνησης με σχοινί, καθότι η γεννήτριαδεν διαθέτει μίζα.

Στην δεύτερη δοκιμαστική διάταξη ο αγωγός παροχής ΑΣ από τον ΑΒ συνδέθηκε απευθείας επάνω στην είσοδο του κυλίνδρου της ΜΕΚ. Ο ΑΒ ήταν είδη σε λειτουργία αρκετή ώρα και το ΑΣ που παρήγαγε είχε δοκιμαστεί με πιλοτική φλόγα και ήταν έντονα αναφλέξιμο. Έγιναν πολλές επαναλήψεις έναυσης με το "βραχιόλι" ανάμειξης σε πολλές διαφορετικές θέσεις. Η ΜΕΚ δεν πήρε ποτέ εμπρός, ούτε έστω για λίγα δευτερόλεπτα. Επίσης η διαδικασία έναρξης της ΜΕΚ με σχοινί κρίθηκε εξοντωτική.

Κάποια απότα πρώτα συμπεράσματα είναι:

- Η διάταξη ανάμιξης με το "βραχιόλι" κρίθηκε ανεπαρκής. Η αναρρόφηση αέρα που προκαλούσε από τις τρύπες του βραχιολιού ήταν πολύ μικρή. Πιθανόν να χρειαζόταν πολύ μεγαλύτερη αναλογία αέρα μέσα στο ΑΣ.
- Επίσης είναι σίγουρο ότι απαιτείται πολύ διαφορετική διάταξη ανάμιξης ΑΣ - αέρα η οποία αναφέρεται στο επόμενο κεφάλαιο των συμπερασμάτων.
- Η εκκίνηση της ΜΕΚ χωρίς προθέρμανση (ColdStart), στην δεύτερη δοκιμή, καθιστά την επίτευξη λειτουργίας με 100% ΑΣ πολύ δύσκολη έως αδύνατη.
- Η χρήση μείγματος ΑΣ- προπανίου, για την αρχική έναρξη λειτουργίας της ΜΕΚ και το ζέσταμα της, ίσων να οδηγήσει σε καλύτερα αποτελέσματα.
- Η ενσωμάτωση μίζας στην ΜΕΚ είναι απολύτως απαραίτητη διότι η χρήση σχοινιού για την περιστροφή του άξονα της ΜΕΚ είναι εξοντωτική.

Περαιτέρω προτάσεις σε σχέση με της λειτουργία της γεννήτριας με ΑΣ παρατίθενται στο επόμενο κεφάλαιο.

5. Συμπεράσματα - προτάσεις μελλοντικής εξέλιξης

5.1 Συμπεράσματα

- Μια πολύ σημαντική διαπίστωση προέκυψε από τις τρεις πειραματικές λειτουργίες και ειδικότερα από το τρίτο και τελευταίο πείραμα στο οποίο χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά φλόγα προπάνιο για την έναυση του ΑΒ και μάλιστα επανειλημμένα και παρατεταμένα. Η διαπίστωση αφορά στο ότι παρόλο που σε αυτό τελευταίο πείραμα δεν χρησιμοποιήθηκαν κάρβουνα, το ρεύμα καυτού αέρα που διαχύθηκε στην καρδιά της στήλης της εστίας προκάλεσε όχι μόνο πολύ γρηγορότερη έναυση του ΑΒ άλλα και στην συνέχεια την πιο αποδοτική αεριοποίηση του καύσιμου σε σχέση με όλες τις άλλες δοκιμές. Μάλιστα για πρώτη φορά η θερμοκρασίες του εξερχόμενου ΑΣ διατηρήθηκαν σταθερά, όχι μόνο στα υψηλότερα επίπεδα σε σχέση με τις άλλες δοκιμές αλλά και για πολύ περισσότερο χρόνο. Η διαπίστωση αυτή μας οδηγεί στο συμπέρασμα οτι η χρήση αέρα σε υψηλές θερμοκρασίες (προθερμασμένος) σε συνδυασμό με προπάνιο είναι η πιο ενδεδειγμένη λύση για την επίτευξη αποδοτικότερης αεριοποίησης στους ΑΒΜΚ. Αυτό ισχύει διότι πολύ πιο υψηλές θερμοκρασίες που επιτυγχάνονται στην ζώνη οξείδωσης με την χρήση καυτού αντί κρύου αέρα για την έναυση δημιουργούν της κατάλληλες συνθήκες για να επιτευχθούν οι κατάλληλες χημικές αντιδράσεις που οδηγούν σε αεριοποίηση αντί για ημι-πυρόλυση του καύσιμου.
- Ενα απότα σημαντικότερα συμπεράσματα αυτής της εργασίας, το οποίο έρχεται σε συμφωνία με συμπεράσματα διεθνούς σχετικής βιβλιογραφίας, είναι ότι η κατασκευή ενός ΑΒ καλών προδιαγραφών, σε επίπεδο υλικών και διαστασιολόγησης, είναι μόνο η βάση πάνω στην οποία θα στηθεί το τελικό αποτέλεσμα που αφορά στα λειτουργία χαρακτηριστικά του. Το υπόλοιπο και ίσως πιο σημαντικό είναι οι πειραματικές μελέτες. Το ζητούμενο αυτών των μελετών είναι ο καθορισμός των βέλτιστων παραμέτρων παροχής αέρα - καυσίμου, μεταφοράς μάζας και θερμότητας για την επίτευξη κατάλληλων θερμοκρασιών, προκειμένου η σχετική καθ' ύψος έκταση των ζωνών φλογο-πυρόλησης, οξείδωσης και αναγωγής να ρυθμιστεί έτσι ώστε να

επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ποιότητα και ποσότητα παραγόμενου ΑΣ. Οπως αναλύθηκε στην τελευταία παράγραφο την υπόενότητας 4.4.3 του προηγούμενου κεφαλαίου ο στόχος είναι να βρεθεί η κατάλληλη παροχή αέρα, πάντα σε σχέση με το καύσιμο που παρέχετα. Η σωστή αναλογία και ποσότητα τροφοδοσίας οδηγεί στην βέλτιστη κατανομή θερμοκρασιών εντός της στήλης του αντιδραστήρα του ΑΒ, οι οποίες καθορίζουν τη σωστή αλληλουχία και έκταση των χημικών αντιδράσεων. Στην παρούσα εργασία διαπιστώθηκε ότι την καλύτερη επίδοση ο ΑΒ την εμφάνισε στην μεσαία απότις τρείς ταχύτητες του απαγωγού με παροχές μεταξύ 70m^3/h - 80m^3/h.

- Εξίσου σημαντικό με το παραπάνω είναι το ζήτημα των πισσών στο παραγόμενο ΑΣ. Το ΑΣ, προκειμένου να είναι αξιοποιήσιμο σε ΜΕΚ,δεν φτάνει να είναι πλούσιο σε καύσιμα αέρια, αν είναι γεμάτο πίσσες θα καταστρέψει την μηχανή σε πολύ σύντομο χρόνο. Δυστυχώς οι πίσσες στο παραγόμενο ΑΣ απόΑΒΜΚ είναι ίσως η μεγαλύτερη πρόκληση που πρέπει να αντιμετωπιστεί. Όπως παρατηρήθηκε στις πειραματικές λειτουργίες του ΑΒ στο 4ο κεφάλαιο αλλά και στην σχετική βιβλιογραφία, ένα απότα δυσκολότερα εμπόδια στην χρήση ΑΣ σε ΜΕΚ είναι η διάσπαση και κατακράτηση των παραγόμενων πισσών. Έτσι το ζητούμενο , πέρα από μία σωστά ρυθμισμένη σε έκταση και θερμοκρασία ζώνη αναγωγής και θερμικής διάσπασης των πισσών, είναι η ενσωμάτωση στην όλη διάταξη αποτελεσματικών και παράλληλα οικονομικών μέσων κατακράτησης όπως φίλτρων, συμπυκνωτών, απορροφητές λαδιού ή οργανικοί απορροφητές, και άλλων διαθέσιμων μέσων. Οι διατάξεις αυτές πρέπει να είναι απλές, οικονομικές και να μην χρειάζονται συνεχή συντήρηση. Σε αντίθετη περίπτωση, στα πλαίσια δημιουργίας μιας μονάδας ΟΜΠΕΒ προσιτής στον πολίτη, η πολυπλοκότητα των προαναφερθέντων διατάξεων και το αυξημένο κόστος καθιστά την τεχνολογία μη ελκυστική.
- Από το σύνολο των δοκιμαστικών πειραματικών λειτουργιών του ΑΒ ένα βασικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι οι ΑΒ μικρής κλίμακας οι οποίοι τίθενται σε λειτουργία περιοδικά πρέπει να σχεδιάζονται με ειδική μέριμνα για το στάδιο που μεσολαβεί από την έναυση μέχρι την επίτευξη σταθερής λειτουργίας. Όπως αναφέρεται και στο 4ο κεφάλαιο παρατηρήθηκε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των πισσών που παράγονται λαμβάνει χώρα στο προαναφερθέν μεταβατικό στάδιο. Αν ένας ΑΒΜΚ καθημερινά περνάει από αυτό το στάδιο αφού η λειτουργία τουδεν είναι συνεχής, με κάποιο τρόπο πρέπει το αέριο που παράγεται σε αυτό το στάδιο να οδηγείται μέσω ξεχωριστού αγωγού απότην εστία κατευθείαν σε ειδική διάταξη φλερ χωρίς να περνάει από την υπόλοιπη διάταξη,

όπως φίλτρα και λοιπές σωληνώσεις, έχοντας ως αποτέλεσμα συνεχή ανάγκη για καθαρισμό και συντήρηση της από τις επικαθούμενες πίσσες.

- Επίσης, σε σχέση με το παραπάνω, έγινεμια πολύ σημαντική παρατήρηση στις τρείς πειραματικές λειτουργίες του ΑΒ με καταγραφή τιμών θερμοκρασιών σε διάφορα σημεία του ΑΒ. Από τις τιμές αυτές προκύπτει ότι το παραγόμενο ΑΣ από την εστία μέχρι την έξοδο του από τον απαγωγό χάνει ένα πολύ μεγάλο ποσοστό της θερμότητας που μεταφέρει. Ενδεικτικά, στο 3^{ο} πείραμα καταγράφηκαν διαφορές μεταξύ Τ1 (εξοδο από εστία) και Τ2 (έξοδοςαπό τον απαγωγό). Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η μόνωση των όλων των εκτεθειμένων στο περιβάλλον επιφανειών του ΑΒ, με πετροβάμβακα ή κεραμοβάμβακα είναι απαραίτητη για την βελτίωση της απόδοσης του. Η απομάκρυνση πτητικών ουσιών όπως φορμαλδεύδη, τουλουόλη αλλά και πισσών δια πτώσης της θερμοκρασίας πρέπει να γίνεται σε εναλλάκτη ψύξης ή σε ειδική διάταξη απομάκρυνσης αλλιώς επικάθονται στα εσωτερικά τοιχώματα του ΑΒ
- Ένα πολύ βασικό συμπέρασμα που προέκυψε είναι ότι η χρήση προπανίου για την εκκίνηση του ΑΒ είναι πολύ πιο αποτελεσματική μέθοδος σε επίπεδο ταχύτητας έναυσης του ΑΒ, ενώ παράλληλα είναι πολύ πιο φιλική προς μελλοντικούς χρήστες αφούδεν απαιτεί πλήρωση του ΑΒ σε δύο στάδια αλλά σε ένα αφούδεν χρειάζεται να παρεμβληθούν κάρβουνα στην ζώνη οξείδωσης. Σε πρόσφατη μελέτη (36) πάνω σε imbert ΑΒ ομορροής προτείνεται και χρησιμοποιείται η χρήση πυρσού προπανίου αντί για κάρβουνα.
- Η χρήση δονήσεων της σχάρας αντί για ανακινήσεις (agitations) αποδείχτηκε η λύση για την ομαλή και αποδοτική λειτουργία του ΑΒ. Τα μικρά διάκενα της σχάρας (4mm) όχι μόνο δεν εμπόδιζαν τα απανθρακωμένα πέλλετ να διέλθουν αλλά αντίθετα τα συγκρατούσαν στην ζώνη θερμικής διάσπασης μέχρι να γίνουν στάχτη.
- Από την προσπάθεια ζεύξης του ΑΒ με την ηλεκτρογεννήτρια προέκυψε η επίτευξη της εκκίνησης της ΜΕΚ της με 100% ΑΣ σε συνδυασμό με την διάταξη ανάμιξης ΑΣ - αέρα που κατασκευάστηκε ότι είναι πολύ πιο δύσκολη από ότι είχε εκτιμηθεί αρχικά. Είναι σίγουρο ότι απαιτείται κατασκευή πολύ ειδικών διατάξεων ανάμιξης οι οποίες παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα. Παράλληλα είναι πιθανών να χρειασθεί σύστημα εκκίνησης με χρήση ορυκτού καυσίμου όπως αυτό παρουσιάζεται επίσης στην ακόλουθη ενότητα.

5.2Προτάσεις εξέλιξης

Ακολούθως αναφέρονται κατασκευαστικές βελτιώσεις ή προσθήκες οι οποίες θα μπορούσαν να βελτιώσουν την απόδοση του ΑΒ που υπάρχει. Οι προτάσεις αυτές βασίζονται στις παρατηρήσεις που έγιναν τόσο κατά την διάρκεια των δοκιμαστικών όσο και των πειραματικών λειτουργιών του ΑΒ.

Χρήση προθερμασμένου αέρα

Όπως αναφέρθηκε στα συμπεράσματα, μια πολύ σημαντική βελτίωση στην απόδοση του ΑΒ θα μπορούσε να είναι η χρήση προθερμασμένου αέρα σε συνδυασμό με φλόγα προπανίου, η μόνο φλόγα για αρκετό χρόνο, τουλάχιστον για το αρχικό στάδιο της έναυσης μέχρι την σταθεροποίηση της λειτουργία του ΑΒ. Περαιτέρω χρήση προθερμασμένου αέρα μετά την σταθεροποίηση της λειτουργίας του ΑΒ ίσως θα καθιστούσε δυσανάλογο την ενέργεια που καταναλώνουμε σε σχέση με το "κέρδος" στην απόδοση του ΑΒ .

Κυκλώνας αποκονίωσης

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 3.6.1, η θέση και η γωνία που τοποθετήθηκε ο αγωγός εξόδου οδήγησαν σε καλά αποτελέσματα σχετικά με την κατακράτηση εντός της εστίας μεγάλου μέρους της παραγόμενης αιθάλης. Παρόλα αυτά η ενσωμάτωση μεταξύ αγωγού εξόδου και φίλτρου ενός κυκλώνα σίγουρα θα οδηγήσει σε καλύτερα αποτελέσματα απομάκρυνσης σωματιδίων. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 73, εντός του φίλτρου, μετά από το τέλος των πειραματικών λειτουργιών, εντοπίστηκαν δύο συσσωματώματα κόνεως με πίσσα. Αυτό αποτελεί απόδειξη ότι, ειδικά σε υψηλές ταχύτητες αέρα, ποσοστό μικρών σωματιδίων περνάει στον αγωγό εξόδου και φτάνει στο φίλτρο.

Εικόνα 73: Συσσωμάτομα μείγματος πίσσας με πριονίδια

Μονώσεις

Έναπό βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν από το δοκιμαστικό και πειραματικό στάδιο, όπως αναφέρεται στο συμπεράσματα, είναι ότι όλα τα μέρη του ΑΒ, όπως κέλυφος εστίας, αγωγοί και φίλτρο, τα οποία ήταν εκτεθειμένα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (εξωτερικό μέρος τους) είχαν μεγάλη επικάθιση πισσών στα εσωτερικά τους τοιχώματα. Η μόνωση των τμημάτων αυτών με υλικά όπως κεραμομοβάμβακας ή πετροβάμβακας όχι μόνο θα μείωνε το φαινόμενο της συμπύκνωσης ατμών πίσσας στην εσωτερική τους επιφάνεια αλλά πολύ πιθανόν να βοηθούσε και στην γρηγορότερη μετάβαση του ΑΒ σε σταθερή λειτουργία αφού οι θερμοκρασίες εντός της στήλης θα επικρατούσαν γρηγορότερα.

Διάταξη ψύξης παραγόμενου ΑΣ

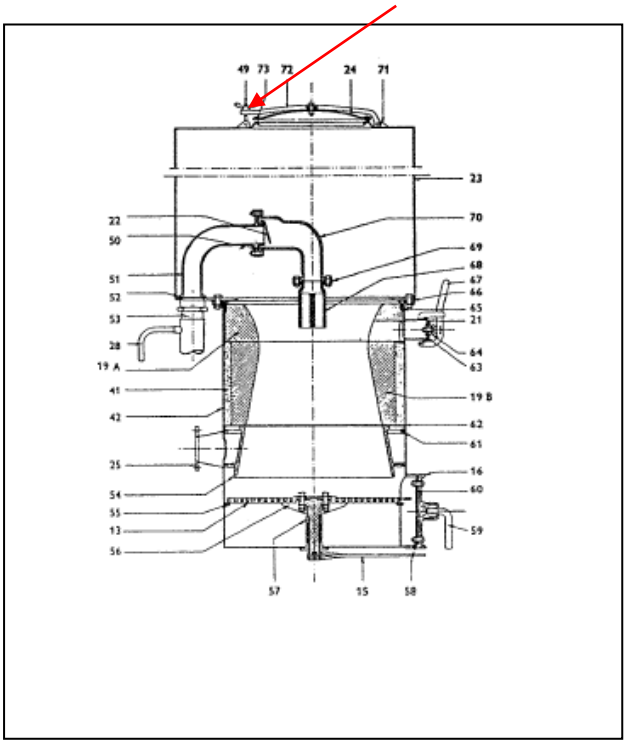
Όπως προκύπτει από την διεθνή βιβλιογραφία αλλά και από την παρούσα εργασία το μεγαλύτερο πρόβλημα προς επίλυση είναι η ελαχιστοποίηση της συγκέντρωσης πισσών στο παραγόμενο ΑΣ, τουλάχιστόν από την σταθεροποίηση της λειτουργίας του ΑΒ και μετά. Στην βιβλιογραφία, πέρα από την χρήση κυκλώνα και φίλτρου, αναφέρονται περαιτέρω διατάξεις όπως συστήματα "υγρού καθαρισμού" (wetscrubber), συστήματα απομάκρυνσης με χρήση θερμού λαδιού (oilbubblers) και συστήματα που ενσωματώνουν λαβυρίνθους με σημεία ανακοπής σε συνδυασμό με αρχές των δυο προαναφερθέντων. Όμως αυτά τα συστήματα εκτός από το ότι είναι κοστοβόρα απαιτούν τεχνικές γνώσεις και συχνή συντήρηση τα οποία τα καθιστούν ελάχιστα ανταγωνιστικά σε σχέση με την χρήση ορυκτών καυσίμων με βάση τα κριτήρια που αναφέρονται στην παράγραφο 2.3.1.1. Έτσι μια μέση λύση είναι η ενσωμάτωση μετά από το φίλτρο ενός εναλλάκτη θερμότητας αερίου - νερού ο οποίος θα ψύχει το παραγόμενο αέριο σε θερμοκρασία συμπύκνωσης των περιεχόμενων πισσών.. Στο κάτω μέρος της αυτή η διάταξη πρέπει να φέρει βαλβίδα αποστράγγισης. Με χρήση κατάλληλων διαλυτών οι προαναφερθείσες ουσίες που φθείρουν τάχιστα μια ΜΕΚ, μπορούν να απομακρυνθούν κατά τακτά χρονικά διαστήματα.

Ροή και παροχή αέρα

Δεδομένου ότι η χρήση απαγωγού και όχι φυσητήρα, όπως προκύπτει από τις παρατηρήσεις του 4^{ου} κεφαλαίου, οδηγεί σε σύντομη συσσώρευση πισσών στο εσωτερικό των πτερυγίων του απαγωγού, η αντικατάσταση του με φυσητήρα στην είσοδο και όχι στην έξοδο της εστίας ίσως να αποτελεί μια εναλλακτική η οποία πρέπει να δοκιμαστεί. Επιπρόσθετα η δημιουργία εξαναγκασμένης ροής μέσω συμπίεσης αέρα αντί απαγωγής δίνει την δυνατότητα και σε άλλες βελτιώσεις όπως εκτροπή του αρχικά παραγόμενου αερίου όπως αυτές αναφέρονται παρακάτω.

Καπάκι ασφαλείας στην δεξαμενή

Όπως αναφέρεται στην παράγραφο 4.4 η αντιμετώπιση του κινδύνου των οπισθοαναφλέξεων εντός του ΑΒ, μπορεί να αντιμετωπιστεί με βαλβίδα ασφαλείας ή καπάκι προφόρτισης ελατηρίου (spring-loaded) όπως φαίνεται στην Εικόνα 74. Σε περίπτωση εσωτερικής έκρηξης στον ΑΒ το καπάκι υποχωρεί προς τα πάνω αφήνοντας τα αέρια να διαφύγουν και κατόπιν επανέρχεται ακαριαία στην θέση του ξανασφραγίζοντας την δεξαμενή. Ακόμα θα πρέπει να υπάρχει βαλβίδα ντ επιστροφής στον κεντρικό σωλήνα παροχής αέρα.



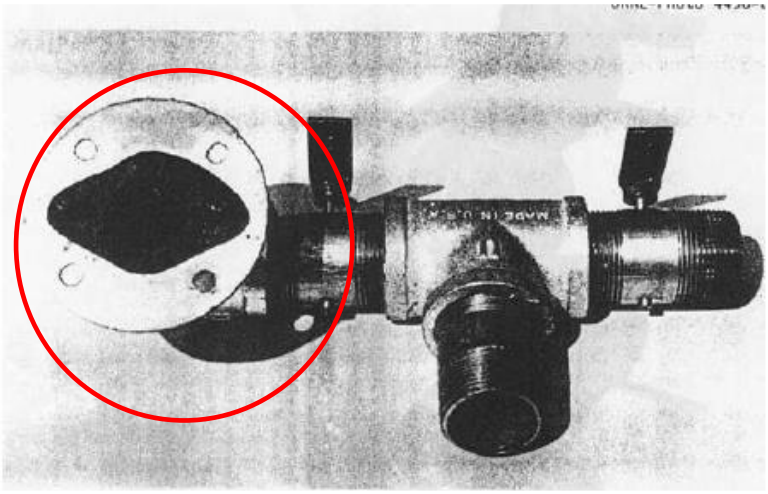
Εικόνα 74: Καπάκι προφόρτισης ελατηρίου (spring-loaded)

Παράκαμψηαπόρριψηςπαραγόμενου αερίου

Όπως αναφέρθηκε στα συμπεράσματα των δοκιμαστικών λειτουργιών, ένα βασικό ζήτημα που προκύπτει είναι η μεγάλη παραγωγή πισσών στο διάστημα μεταξύ έναυσης και σταθεροποίησης της λειτουργίας του ΑΒ. Εφόσον ο απαγωγός αντικατασταθεί με φυσητήρα στην είσοδο του ΑΒ μία λύση θα ήταν η παρεμβολή, μεταξύ κυκλώνα και φίλτρου, παρακαμπτήριου αγωγού. Παράλληλα στο τμήμα μεταξύ παράκαμψης και φίλτρου πρέπει να τοποθετηθεί ειδική βάνα αντοχής σε υψηλές θερμοκρασίες. Εφόσον η βάνα παραμένει κλειστή κατά το αρχικό διάστημα έναυσης του ΑΒ, το αέριο, μη βρίσκοντας δίοδο προς το φίλτρο, εκτρέπεται προς το ασφαλή διάταξη καύσης (φλερ) χωρίς να περνά μέσα από την υπόλοιπη διάταξη. Έτσι αποφεύγεται η περιττός κορεσμός τόσο του φίλτρου όσο και του εναλλάκτη ψύξης του αερίου ενώ το γεγονός ότι το αέριο έχει περάσει πρώτα από τον κυκλώνα προφυλάσσει την βάνα από επικαθήσεις σωματιδίων που θα μπορούσαν να την φθείρουν σε σύντομο διάστημα.

Μετατροπές στην ηλεκτρογεννήτρια

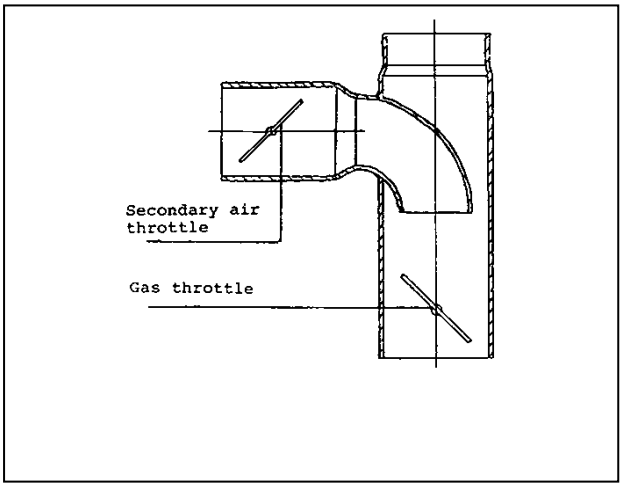
Η βασικότερη αλλαγή που πρέπει να γίνει στην ηλεκτρογεννήτρια είναι στο σύστημα τροφοδοσίας μείγματος αέρα - καυσίμου. Τα κοινά καρμπυρατέρ είναι φτιαγμένα για να αναμειγνύουν βενζίνη με αέρα. Όμως η βενζίνη έχει δυο χαρακτηριστικά με βάση τα οποία τα κοινά καρμπυρατέρ είναι φτιαγμένα. Το πρώτο είναι ότι είναι υγρό καύσιμο, άρα πολύ πιο συμπυκνωμένοαπό το ΑΣ και το δεύτερο ότι έχει πολύ μεγαλύτερο θερμικό περιεχόμενο ανά λίτρο. Έτσι τα κοινά καρμπυρατέρ είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να αναρροφούν ελάχιστο υγρό καύσιμο και να το αναμειγνύουν με πολύ μεγαλύτερα (κατά μάζα) αναλογία αέρα. Μια λύση που αναφέρεται στην (6) θα ήταν να χρησιμοποιηθεί ειδικά κατασκευασμένη διάταξη ανάμιξης αέρα καυσίμου η οποία προσαρμόζεται κατευθείαν πάνω στον κύλινδρο. Μια τέτοιου τύπου διάταξη φαίνεται στηνΕικόνα 75.



Εικόνα 75: Αντάπτορας προσαρμογής στην κεφαλή του κυλίνδρου της ΜΕΚ.

Εναλλακτική λύση θα λύση είναι να κατασκευαστεί μία τρίοδηβαλβίδα ανάμιξης ΑΣ - αέρα (3 - way - mixing - valve). Οι ρύθμιση της αναλογίας ανάλογα με την ενίοτε απαίτηση της ηλεκτρογεννήτριας πρέπει να γίνει με βαλβίδα μίξης χαμηλής πτώσης πίεσης η οποία θα οδηγείται με σερβομηχανισμό. Ο έλεγχος του σερβομηχανισμού θα γίνεται από μικροϋπολογιστή ο οποίος θα λαμβάνει συνεχώς τιμές συγκέντρωσης οξυγόνου στο μείγμα ΑΣ-αέρα μέσω αισθητήρα "Λ". Είναι μία κατασκευή που δεν διατίθεται στο εμπόριο, τουλάχιστον στην Ελλάδα. Παρότι υπάρχουν πολλών ειδών βαλβίδες ανάμειξης αερίωνδεν είναι κατάλληλες για τον σκοπό που αφορά στην συγκεκριμένη εργασία και γενικότερα στην χρήση για τροφοδοσία ΑΣ σε ΜΕΚ. Οι ιδιαιτερότητα των παροχών σε συνδυασμό με τους λόγους ανάμιξης είναι ένας βασικός λόγος που κοινές, ευρέως εμπορικά διαθέσιμες, βαλβίδες ανάμιξηςδεν είναι κατάλληλες για την συγκεκριμένη χρήση. Παράλληλα, δυσμενείς παράγοντες όπως περιεχόμενες πίσσες οι οργανικές

πτητικές ενώσεις που ενδεχομένως να υπάρχουν στο ΑΣ είναι δεδομένο ότι θα καθιστούσαν οποιαδήποτε βαλβίδα ανάμιξης αερίων, με σφαιροειδείς στεγανές διάταξης εντός της, άχρηστη σε πολύ σύντομο διάστημα. Έτσιη μόνη λύση είναι η κατασκευή ειδικής διάταξης, όπως αυτή που απεικονίζεται στην Εικόνα 76. Σύμφωνα με (35), διατάξεις σαν την προαναφερθείσα, οι οποίες βασίζονται σε κλαπέτα, μπορούν να λειτουργήσουν απρόσκοπτα μέχρι και έξι χρόνια. Φυσικά αυτή η εκτίμησή έχει προκύψει από καταγραφές εμπειρίας χρήσης τέτοιων διατάξεων σε ΑΒ που χρησιμοποιούνται σε αναπτυσσόμενες χώρες. Έτσι στην συγκεκριμένη πρόταση αναφέρεται μία τέτοιου είδους κατασκευής της οποίας τα δύο κλαπέτα κινούνται με την χρήση σερβο- μοτέρ.



Εικόνα 76: Προτεινόμενη διάταξη με κλαπέτο

Παράλληλα με τις δύο παραπάνω διατάξεις θα μπορούσε να εξετασθεί η δυνατότητα ευκολότερης αρχικής εκκίνησης της γεννήτριας με μείγμα προπάνιού - ΑΣ (π.χ 25% - 75%) και μετά το ζέσταμα της ΜΕΚ της να κλείνει η παροχή προπανίου και να διοχετεύεται στον κύλινδρο 100% ΑΣ. Ανάλογο σύστημα χρησιμοποιείταιστις μετατροπές βενζινοκινητήρωναυτοκινήτων σε υγραέριού. Η εκκίνηση γίνεται με βενζίνη και αφού ο κινητήρας θερμανθεί αρκετά ο οδηγός, έσω διακόπτη που ελέγχει τρίοδη βάνα, "γυρνάει την τροφοδοσία σε υγραέριο.

Επίσης μια αναγκαία αλλαγή που πρέπει να γίνει είναι η προσθήκη μίζας στην ηλεκτρογεννήτρια προκειμένου η εκκίνηση της να γίνεται εύκολα χωρίς την εξοντωτική διαδικασία χρήση σχοινιού επαναφοράς.

Συντομεύσεις

ΑΣ: Αέριο Σύνθεσης

ΟΜΠΕΒΕ: Οικιακή Μονάδα Παραγωγής Ενέργειας απόΒιομάζα

ΑΒ: Αεριποιητής/εςΒιομάζας

SGR: SpecificGasificationRate

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1:Τύποι Αεριοποιητών βιομάζας (15).....13
Εικόνα 2: Βασικά μέρη ενός ΑΒ ομορροής (7) 15
Εικόνα 3: ΑΒ ομορροήςμε ζώνες αντίδρασης (7) 17
Εικόνα 4: Αεριοποιητής βιομάζας μικρής κλίμακας που κατασκευάστηκε στα πλαίσια της διπλωματικής.....23
Εικόνα 5: Τμήματα εισόδου και εξόδου ροών στον ΑΒ 24
Εικόνα 6: Εσωτερικό τμήματα ΑΒ: Σωλήνας εστίας, εσχάρα, άξονας περιστροφής ..25
Εικόνα 7: Εσωτερικό τμήματα ΑΒ: Εισαγωγή και Διανομή αέρα και κώνος εστίας ...26
Εικόνα 8: Ακροφύσια εισαγωγής αέρα στην ζώνη οξείδωσης.....26
Εικόνα 9: Κυκλώνας απομάκρυνσης σωματιδίων.....27
Εικόνα 10: Διπλοί εναλλάκτες θερμότητας σε σειρά.....27
Εικόνα 11: Σύστημα απαγωγής αερίου από ΑΒ προς ΜΕΚ.....28
Εικόνα 11: Παράγοντες που επηρεάζουν τη διάρκεια ζωής ΜΕΚ και ΑΒ 32
Εικόνα 12: Σχέδιο ΑΒ ομορροής με V τύπου εστία 36
Εικόνα 13: Εστίες τύπου V τύπου και εισαγωγή αέρα σε ΑΒ ομορροής 37
Εικόνα 14: Απεικόνιση εστίας του ΑΒ που κατασκευάστηκε.....37
Εικόνα 15: Αντιπαραβολή σχεδίου κατασκευής και της τελικής κατασκευής 38
Εικόνα 16: Αρίθμιση των επιμέρους τμημάτων του ΑΒ όπως αυτά περιγράφονται στον Πίνακα 1 40
Εικόνα 17: Απεικόνιση της διάταξης ΑΒ πριν την έναρξη δοκιμών 41
Εικόνα 18: Απεικόνιση της εστίας ΑΒ σχεδιασμός και τελική διάταξη.....42
Εικόνα 19: Σύσταση συμπυκνωμάτων που παράγονται κατά την αεριοποίηση βιομάζας σε ΑΒ ομορροής (6).....44
Εικόνα 20: Απεικόνιση αντεστραμμένης δεξαμενής μετά τη διεξαγωγή πειραμάτων 44
Εικόνα 21: Απεικόνιση κυκλικού δίσκου με την χοάνη και το λαιμό του αντιδραστήρα 45

Εικόνα 22: Επίδραση της ταχύτητας αέρα στη σύσταση ΑΣ: Μεταβολή σύστασης μονοξειδίου (8) 54
Εικόνα 23 Προτεινόμενη απόσταση εσχάρας απο κάτω μέρος φλογοσωλήνα για δημιουργία εκτεταμένης ζώνης αναγωγής (22) 56
Εικόνα 24 Τομή της εστίας του ΑΒ σε παραμετρική σχεδίαση 56
Εικόνα 25 Κονική διαμόρφωση, φλογοσωλήνας και εσχάρα της εστίας μετά απο δοκιμαστική λειτουργία 57
Εικόνα 26: Απεικόνιση μετρήσεων διαμέτρου των πελλετών που χρησιμοποιήθηκαν 57
Εικόνα 27: Απεικόνιση ακροφυσίων εισαγωγής αέρα 58
Εικόνα 28: Στραγγαλιστική βαλβίδα για τη ρύθμιση παροχής αέρα 59
Εικόνα 29: Τμήμα εισόδου και διανομής παροχής αέρα στον ΑΒ 60
Εικόνα 30: Σχέδιο απαγωγού αερίων από την εστία 61
Εικόνα 31: Τελική κατασκευή απαγωγού αερίου 62
Εικόνα 32: Φίλτρο με πριονίδια 62
Εικόνα 33: Φίλτρο με πριονίδια ενσωματωμένο στον απαγωγό ΑΣ 63
Εικόνα 34: Φυγοκεντρικός ανεμιστήρας τύπου "σαλίγκαρου" 64
Εικόνα 35: Ντίμερ 64
Εικόνα 36: Φυσητήρας αέρα για πρόσθετη παροχή αέρα 65
Εικόνα 37: Θερμόμετρο υπέρυθρων μάρκας "RIDGID" 66
Εικόνα 38: Θερμοστοιχεία τύπου NTC 67
Εικόνα 39: Ταχύμετρο μάρκας "UNI-T", μοντέλο "UT-363 67
Εικόνα 40: Ζυγαριά ακριβείας μάρκας 67
Εικόνα 42: Ζύγιση βιομάζας πέλλετ χωρίς προξύρανση 71
Εικόνα 43: Ζύγιση βιομάζας πέλλετ μετά από προξύρανση 71
Εικόνα 44: Απεικόνιση βιομάζας μετά την πρώτη δοκιμή 75
Εικόνα 45: Αρχικός σχεδιασμός ακροφυσίων 75
Εικόνα 46: Απεικόνιση συστήματος τροφοδοσίας αέρα στην εστία με αλλαγές ακροφυσίων 76
Εικόνα 47: Απεικόνιση συστήματος φίλτρου μετά την πρώτη δοκιμή 77
Εικόνα 48: Απεικόνιση συστήματος φίλτρου πριν και μετά τηδεύτερη δοκιμή 78
Εικόνα 49: Διάγραμμα θερμοκρασίας σε σχέση με το λόγο αέρα καυσίμου και τις ζώνες πυρόλυσης, αεριοποίησης και καύσης (29) 79
Εικόνα 50: Απεικόνιση συστήματος μετά τηδεύτερη δοκιμή 79
Εικόνα 51: Απεικόνιση συγκέντρωσης πισσών στο σωλήνα απαγωγής αερίου 82
Εικόνα 52: Απεικόνιση συγκέντρωσης πισσών στο φίλτρο 82
Εικόνα 53: Απεικόνιση συγκέντρωσης πισσών στο άνω μέρος του φίλτρου μετά την τρίτη δοκιμή 82
Εικόνα 54: Απεικόνιση εστίας και απαγωγού μετά την τρίτη δοκιμή 84
Εικόνα 55: Απεικόνιση μείγματος άκαυστων και απανθρακωμένων πέλλετ βιομάζας 85

Εικόνα 56: Θέσεις μετρήσεων στον ΑΒ μικρής κλίμακας βιομάζας.....89
Εικόνα 57:Φυσητήρας προσαρμοσμένος στο στόμιο του αγωγού εισόδου αέρα.....89
Εικόνα 58: Μετρήσεις κατά την πρώτη λειτουργία του ΑΒ 94
Εικόνα 59: Μετρήσεις κατά την δεύτερη λειτουργία του ΑΒ 98
Εικόνα 60: Μετρήσεις κατά την τρίτη λειτουργία του ΑΒ.....106
Εικόνα 61: Απεικόνιση κάτω μέρους της εστίας μετά την τρίτη λειτουργία του ΑΒ 107
Εικόνα 62: 109
Εικόνα 63: Απεικόνιση φίλτρου και υλικών φίλτρου μετά την τρίτη πειραματική λειτουργία.....110
Εικόνα 64: Βαρυτικές μετρήσεις ροκανιδίων από το φίλτρο.....111
Εικόνα 65: Διάγραμμα εκτίμησης κατακράτησης πισσών 111
Εικόνα 66: Ηλεκτρογεννήτρια που χρησιμοποιήθηκε 112
Εικόνα 67: 122
Εικόνα 68: Καπάκι προφόρτισης ελατηρίου (spring-loaded).....124
Εικόνα 69: Αντάπτορας προσαρμογής στην κεφαλή του κυλίνδρου της ΜΕΚ. 125
Εικόνα 70: Προτεινόμενη διάταξη με κλαπέτο 126

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1: Αναλυτική περιγραφή διαστάσεων υλικών των επιμέρους τμημάτων του ΑΒ 39
Πίνακας 2: Διαστάσεις φλογοσωλήνα (7) 47
Πίνακας 3: Διαστάσεις ακροφυσίων και εστίας (1) 48
Πίνακας 4: Κανόνες διαστασιολόγησης για τον αεριοποιητή με βιομάζα ξυλώδους προέλευσης (1) 48
Πίνακας 5: Διαστασιολόγηση βασικών παραμέτρων αεριοποιητών με διπλό λαιμό (22) 51
Πίνακας 6: Διαστασιολόγηση βασικών παραμέτρων αεριοποιητών με μονό λαιμό (27) 52
Πίνακας 7: Βασικές παράμετροι κατά την 1^{η} πειραματική λειτουργία με 3 διαδοχικές καταστάσεις 91
Πίνακας 8: Βασικές παράμετροι κατά την 2^{η} πειραματική λειτουργία με 3 διαδοχικές καταστάσεις 96
Πίνακας 9: Βασικές παράμετροι κατά την 3^{η} πειραματική λειτουργία με 3 διαδοχικές καταστάσεις 100

Βιβλιογραφία

1. **Rajavanshi, Anil K.** *Biomass Gasification.* 1986.

2. **Houghton, R.A.** BIOMASS. *Encyclopedia of ecology.* 2008.

3. **UNFCCC.** DEFINITION OF RENEWABLE BIOMASS. *CDM – Executive Board.* [Ηλεκτρονικό] 2005.

4. **Basu, Pabir.** *Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory.* s.l. : Elsevier INC., 2010.

5. *EFFICIENCY OF WOOD BIOMASS GASIFICATION WITH ENGINES OF INTERNAL COMBUSTION AND.* **Turlajs, Daniels και Rusovs, Dmitrijs.** 2008.

6. **LaFontaine, H. και Zimmerman, F. P.** *Construction of a Simplified Wood GasGenerator for Fueling Internal CombustionEngines in a Petroleum Emergency.* s.l. : FEMA, 1989.

7. **Stassen, Hubert E.** *Small-Scale Biomass Gasifiers for Heat and Power.* 1995.

8. **SERI και hInstitute, Solar Energy Researc.** *Handbook of Biomass Gasifiers.* Colorado : s.n., 1988.

9. *Design and development of downdraft gasifier to generate producer.* **Inglea, Nikhil Ashok και Lakadeb, Sanjay Shridhar.** Mumbai : s.n., 2015.

10. **Phong, Mai By Thanh και Quan, Nguye Dinh.** *Gasification of Biomass.* s.l. : ONLINE FIRST, 2020.

11. **Break, Gr και A.E, Chittende.** *Producer Gas: It's potential and Aplicatiions in Developing Countries.* 1979.

12. **Reed, J και D, Jantzen.** *Generator gas- the Swedish experience from 1939-1945.* s.l. : Colorado USA: Solar Energy Institute, 1979.

13. *Design, development and testing of small downdraft gasifiers fordomestic cookstoves.* **B, Kailasnath και Kohli, SutarSangeeta.** s.l. : Elsevier INC, 2016.

14. **Kramer, W.H.** *Gasgeneratoren en Persgas voor voertuigen Kluwer Deventer.* 1941.

15. **Κουτσούμπα, Δρ. Ευθυμία Ιωάννα.** *Διδακτορική Διατριβή: Παραγωγή υποκατάστατου φυσικού αερίου απο μεθανόλη μέσω αποθήκευσης ενέργειας.* Αθήνα : ΕΜΠ, 2017.

16. **SWAAIJ, VAN.** GASIFICATION - THE PROCESS AND THE TECHNOLOGY. [συγγρ. βιβλίου] Groeneveld. 1981.

17. *Four Zones Modeling of the Downdraft Biomass Gasification Process: Effects of moisture content and air to fuel ratio.* **Dejtrakulwong, C. και Patumsawad, S.** s.l. : Science Direct, 2013.

18. *Biomass gasifier projects for decentralized power supply in India:A financial evaluation.* **Nouni, M.R. και Mullick, S.C.** s.l. : Elsevier, 2006.

19. *DESIGN AND DEVELOPMENT OF A SMALL-SCALE BIOMASS DOWNDRAFT GASIFIER.* **Akhator, P. E. και Obanor, A. I.** s.l. : Nigerian Journal of Technology, 2019.

20. **Barrio, M. και Fossum, M.** *A small-scale stratified downdraft gasifier coupled to a gas engine for combined heat and power.* 2001.

21. *Efficiency of an Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC)power plant including CO2removal.* **Descamps, C. και Bouallou, C.** s.l. : Science Direct, 2006.

22. **Venselaar, Jan.** *DESIGN RULES FOR DOWN DRAFT WOOD GASIFIERS: A SHORT REVEIW.* 1982.

23. **Lettner, Friedrich και Timmerer, Helmut.** *Biomass gasification – State of the art description.* 2007.

24. *Four Zones Modeling of the Downdraft Biomass Gasification Process: Effects of moisture content and air to fuel ratio.* **Dejtrakulwong, C. και Patumsawad, S.** s.l. : ScienceDirect, 2014.

25. *ASIFICATION OF SOLID WASTE--POTENTIAL AND APPLICATION OF CO-CURRENT MOVING BED GASIFIERS.* **M.J.GROENEVELD και SWAA|J, W. P. M. VAN.** Sweden : s.n., 1980.

26. *Grundlagen der Holzgas anlagen für ortsfesten und fahrbaren Betrieb.* **Jaeger, L.** Novisad : s.n., 1935.

27. **Venselaar, J.** *Design rules for downdraft wood gasifiers: A short review.* 1986.

28. *VergleichsprUfung für ortsfeste Holzgasgeneratoren.* **List, H. και Holzgasgeneratoren, E. Manlik.** Wien : s.n.

29. *Biomass Gasification Processes in Downdraft Fixed Bed.* **Bhavanam, Anjireddy και Sastry, C.** 2011.

30. *"Modelling and simulation of down draft wood gasifier.* **Sivakuma, S., Pitchandi, K. και Natarajan, E.** s.l. : Journal of Applied Sciences, 2008.

31. **Huang, Liming.** *Financing Rural Renewable Energy: A Comparison Between China and India. Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2009.

32. ΠΕΛΛΕΤ. *AGROWOOD.* [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 15 January 2021.] https://www.agrowood.gr/pellet.html.

33. *DIN 51731 Testing of solid fuels - Compressed untreated wood - Requirements and testing.* **DIN.** 1996. DIN 51731.

34. **(EPC), European Pellet Council.** ENplus Handbook, Part 3 - Pellet Quality Requirements . *Quality Certification Scheme For Wood Pellets.* [Ηλεκτρονικό] August 2015. https://enplus-pellets.eu/en-in/component/attachments/?task=download&id=103.

35. **Kasedde, Hillary.** *HAZARD AND SAFETY EVALUATION OF GASIFIER INSTALLATIONS IN UGANDA .* Stockholm, Sweden : Royal Institute of Technology, 2009.

36. *Kinetic modeling and simulation of throated downdraft gasifier.* **Yucel, Ozgun και Hastaoglu, Mehmet Alaittin.** 2016.

37. *Temperature profile and producer gas composition of high.* **Guangul, F M, Sulaiman, S A και Ramli, A.** Malaysia : 4th International Conference on Energy and Environment, 2013.

38. **Nouni, M.R., Mullickb, S.C. και Kandpal, T.C.** *Biomass gasifier projects for decentralized power supply in India: A financial evaluation.* s.l. : Elsevier INC, 2006.

39. *Sustainable energy: A review of gasification technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews.* **Pereira, Emanuele και Silva, Jadir & Oliveira.** 2012.

40. **ΚΑΠΕ.** BIOMAZA. [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 3 Δεκέμβριος 2020.] http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/biomass_guide.pdf.

41. *More efficient biomass gasification via torrefaction.* **] Prins, M.J., Ptasinski, K.J. και Janssen, F.J.J.G.** 2006.

42. **Esplin, G J.** *A Comparison of the Energy and Product Distribution from Biomass Gasifiers.* Ontario : s.n., 1986.

43. Πέλλετ Premium Wood Pellet ENplus A2. *alfapellet.* [Ηλεκτρονικό] ALPHA WOOD GROUP. [Παραπομπή: 15 January 2021.] https://www.alfapellet.gr/el/pellet-mpriketa/pellets.html.

44. Melting temperatures of common metals and alloys . *Engineering Toolbox.* [Ηλεκτρονικό] [Παραπομπή: 3 December 2020.] https://www.engineeringtoolbox.com/melting-temperature-metals-d_860.html.

45. *Effects of Syngas Cooling and Biomass Filter Medium.* **Thapa, Sunil και R, Prakashbhai.** Oklahoma : s.n., 2017.

46. —. **Thapa, Sunil, R, Prakashbhai και Kumar, Ajay.** Oklahoma : s.n., 2016.

47. *A simple and low-cost integrative sensor system for methane andhydrogen measurement.* **Fakra, Damien Ali Hamada και Andriatoavina, Dolly Armel Sylvain.** s.l. : Sensors International, 2020.

48. *Blade Design for Swirling Flow Generator.* **SUSAN-RESIGA, Romeo και MUNTEAN, Sebastian.** Romania : s.n., 2002.

49. MQ 8 Datasheet. [Ηλεκτρονικό] https://datasheetspdf.com/pdf/904642/HANWEIELETRONICS/MQ-8/1.

50. **Dey, Sayan, και συν.** Voltage-controlled NiO/ZnO p–n heterojunction diode: a new approach towards selective VOC sensing. *Microsystems & Nanoengineering.* [Ηλεκτρονικό] June 2020. https://www.nature.com/articles/s41378-020-0139-1.

51. *Biomass Gasification Processes in Downdraft Fixed Bed.* **Bhavanam, Anjireddy και Sastry, R. C.** 2011.

52. Wood gas as engine fuel. [Ηλεκτρονικό] 1986. http://www.fao.org/3/t0512e/T0512e0i.htm.

53. *Strength development in concrete with woodash blended cement and use of soft computingmodels to predict strength parameters.* **Chowdhury, S., Maniar, A. και Suganya, O.M.** Cairo : Journal of Advanced Research, 2015.