

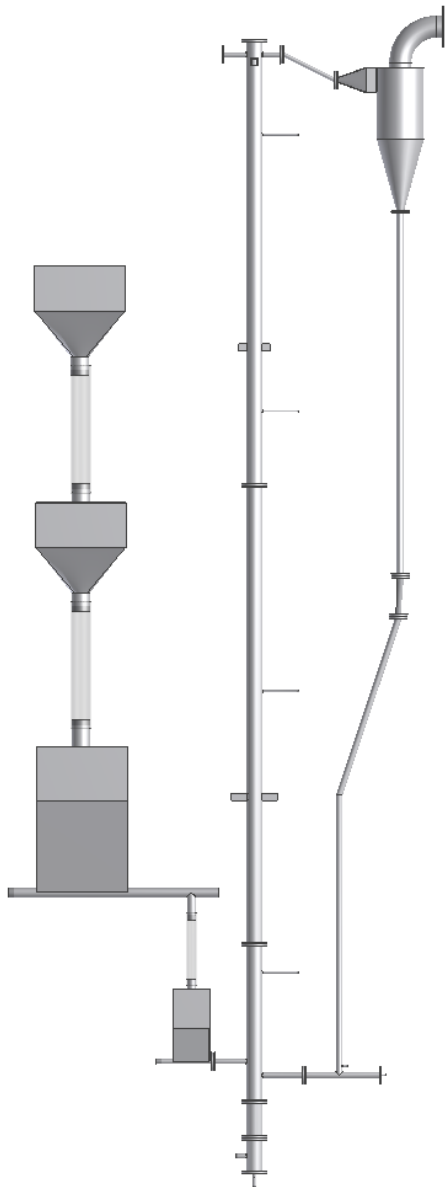


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΑΝΤΖΗΣ ΜΙΧΑΗΛ

ΘΕΜΑ:

**Ανάπτυξη καταγραφής
δεδομένων για το χειρισμό
ρευστοποιημένης κλίνης με
ανακυκλοφορία για
αεριοποίηση**



Επιβλέπων καθηγητής: **Εμμανουήλ Κακαράς**

Αθήνα, Φεβρουάριος 2011

Πίνακας περιεχομένων

Περιεχόμενα	2
Σύνοψη	5
Ευχαριστίες	5
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή	7
1.1 Βιομάζα.....	7
1.2 Καύση στερεών καυσίμων.....	9
1.3 Αεριοποίηση.....	10
1.3.1 Χημικές αντιδράσεις.....	10
1.3.2 Είδη αερίου προϊόντος.....	11
1.3.3 Επίδραση της πίεσης – Αεριοποίηση υπό πίεση.....	11
1.3.4 Επίδραση της θερμοκρασίας.....	12
1.3.5 Σύγκριση αεριοποίησης και καύσης.....	13
1.4 Ρευστοποίηση.....	15
1.4.1 Φάσεις Ρευστοποίησης.....	15
1.4.2 Σωματίδια.....	16
1.4.3 Παράγοντες επίδρασης ρευστοποίησης.....	19
1.4.3.1 Διαφορά πίεσης.....	19
1.4.3.2 Ελάχιστη ταχύτητα ρευστοποίησης u_{mf}	20
1.4.3.3 Ελάχιστη ταχύτητα σχηματισμού φυσαλίδων U_{mb}	21
1.4.3.4 Τερματική ταχύτητα U_t	21
Κεφάλαιο 2. Πειραματική εγκατάσταση	23
2 Συνοπτική περιγραφή λειτουργίας εγκατάστασης.....	23
2.1 Τμήμα ανόδου (Riser).....	24
2.2 Καπάκι του ανοδικού σωλήνα.....	26
2.3 Σωλήνας ένωσης με κυκλώνα.....	27
2.4 Κυκλώνας.....	28
2.5 Καθοδικός σωλήνας (downcomer).....	32
2.6 Δικλίδα σχήματος L (L-Valve).....	33
2.6.1 Εναλλακτική λύση - Loop-seal.....	37
2.6.2 Σύγκριση L-Valve – Loop-Seal.....	38
2.7 Διασκορπιστής.....	39
2.8 Προθερμαντήρας αέρα.....	41
2.9 Συμπιεστής.....	42
2.10 Σιλό.....	43
2.11 Θερμοστοιχεία.....	44
2.12 Μετρητές πίεσης.....	46
2.13 Παροχόμετρα.....	47
2.14 Ηλεκτρικές Αντιστάσεις.....	48
2.14.1 Αντιστάσεις Kanthal.....	48
2.14.2 Αντιστάσεις Horst.....	50
2.15 Μονώσεις.....	52

2.15.1 Κεραμοβάμβακας.....	52
2.15.2 Πετροβάμβακας.....	54
Κεφάλαιο 3 Καταγραφή Δεδομένων (Data Acquisition).....	55
3.1 Εισαγωγή.....	55
3.2 Δεδομένα που καταγράφονται και ελέγχονται στην πειραματική εγκατά- σταση.....	57
3.3 Συνδεσμολογία με τον πίνακα ελέγχου.....	59
3.4 Πίνακας ελέγχου.....	59
3.5 Αναλογοψηφιακοί – Ψηφιοαναλογικοί μετατροπείς.....	62
3.5.1 Μοντέλο ADAM-4024.....	62
3.5.2 Μοντέλο ADAM-4019+.....	63
3.5.3 Μοντέλο ADAM-4520.....	65
3.5.3.1 Πρότυπο επικοινωνίας RS-485.....	66
3.6 Εισαγωγή των δεδομένων στον ηλεκτρονικό υπολογιστή.....	66
3.6.1 Εγκατάσταση της επικοινωνίας υπολογιστή-συσκευών.....	66
3.7 Εισαγωγή των δεδομένων στο DasyLab 11.0.....	69
3.7.1 Εισαγωγή των δεδομένων της θερμοκρασίας.....	69
3.7.1.1 Περιβάλλον εργασίας του dasyLab (Worsheet).....	69
3.7.1.1.1 Αναλογική είσοδος μέσω πρωτοκόλλου Modbus.....	69
3.7.1.1.2 Μέσος όρος.....	72
3.7.1.1.3 Βαθμονόμηση.....	73
3.7.1.1.4 Ψηφιακό όργανο μέτρησης.....	75
3.7.1.1.5 Διαγράμματα.....	76
3.7.1.1.6 Αποθήκευση δεδομένων.....	77
3.7.1.1.7 Μαύρο κουτί.....	78
3.7.1.1.8 Συνολική συνδεσμολογία για την επεξεργασία της θερμο- κρασίας.....	79
3.7.1.2 Περιβάλλον επικοινωνίας με τον χρήστη (Layout).....	79
3.7.2 Εισαγωγή των δεδομένων της πίεσης.....	80
3.7.2.1 Περιβάλλον εργασίας του dasyLab (Worsheet).....	80
3.7.2.1.1 Αριθμητική επεξεργασία των δεδομένων.....	80
3.7.2.1.2 Συνολική συνδεσμολογία για την επεξεργασία της πίεσης.....	81
3.7.2.2 Περιβάλλον επικοινωνίας με τον χρήστη (Layout).....	81
3.7.3 Εισαγωγή/ Εξαγωγή των δεδομένων της παροχής.....	82
3.7.3.1 Περιβάλλον εργασίας του dasyLab (Worsheet).....	82
3.7.3.1.1 Είσοδος δεδομένων παροχής.....	82
3.7.3.1.2 Έξοδος δεδομένων παροχής.....	82
3.7.3.1.2.1 Module Ολίσησης.....	82
3.7.3.1.2.2 Αναλογική έξοδος μέσω πρωτοκόλλου Modbus.....	83
3.7.3.1.2.3 Συνολική συνδεσμολογία για την επεξεργασία της εξόδου της παροχής.....	83
3.7.3.2. Περιβάλλον επικοινωνίας με τον χρήστη (Layout).....	84

3.7.4 Εισαγωγή των δεδομένων για την βαθμονόμηση των αερίων προϊόντων και ανάλυση τους.....	84
3.7.4.1 Περιβάλλον εργασίας του dasylab (Worsheet).....	84
3.7.4.2 Περιβάλλον επικοινωνίας με τον χρήστη (Layout).....	86
Κεφάλαιο 4. Πειράματα ελέγχου λειτουργίας.....	87
Συμπεράσματα.....	90
Μελλοντική εργασία.....	90
Βιβλιογραφία.....	91
Συμβολισμοί.....	94
Παράρτημα Α -Πρωτόκολλο Modbus.....	95
Παράρτημα Β-Κωδικοποίηση ASCII.....	96

Σύνοψη

Η παρούσα εργασία είχε ως σκοπό την ανάπτυξη καταγραφής των δεδομένων σε υπολογιστικό σύστημα για πειραματική εγκατάσταση ρευστοποιημένης κλίνης με ανακυκλοφορία. Το λειτουργικό πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν το DasyLab 11.0. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού χρειάστηκε η τοποθέτηση των απαραίτητων οργάνων και εξαρτημάτων πάνω στην εγκατάσταση και η μετέπειτα συνδεσή τους με τον υπολογιστή.

Στο τελευταίο μέρος της εργασίας έγιναν κάποια συνοπτικά πειράματα για την επαλήθευση της πραγματοποίησης της ρευστοποίησης αλλά και την επίτευξη της με ανακυκλοφορία.

Στο ερευνητικό έργο Eurobioref συμμετέχει το Ινστιτούτο τεχνολογίας Στερεών Καυσίμων (ΙΤΕΣΚ) του Εθνικού Κέντρου Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ), όπου για το τμήμα της αεριοποίησης υπεύθυνος είναι ο Δρ. Πανόπουλος Κυριάκος (Ερευνητής Γ'). Φοιτητές της σχολής μηχανολόγων μηχανικών του ΕΜΠ σε συνεργασία με το ΙΤΕΣΚ/ΕΚΕΤΑ εκπονούν αυτή την περίοδο τις διπλωματικές τους στις εγκαταστάσεις του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ).

Ευχαριστίες

Μετά από ένα χρόνο ενασχόλησης με το πείραμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο καθηγητή Κακαρά Εμμανουήλ και τον κύριο επίκουρο καθηγητή Καρέλλα Σωτήριο για την ευκαιρία που μου έδωσαν να ασχοληθώ με μία πειραματική εγκατάσταση. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον ερευνητή Πανόπουλο Κυριάκο και τον υποψήφιο διδάκτορα Χριστοδούλου Χρήστο για την άψογη συνεργασία που είχαμε όλον αυτόν τον καιρό, την μεγάλη βοήθεια που μου παρείχαν και τις γνώσεις που μου μετέδωσαν.

Σημείωση

Όλα τα σχέδια της εργασίας έγιναν σε Autocad Inventor 2008 και αποτελούν προσωπική δουλειά.

Χαντζής Μιχαήλ

02105094

chantzism@hotmail.com

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

1.1 Βιομάζα

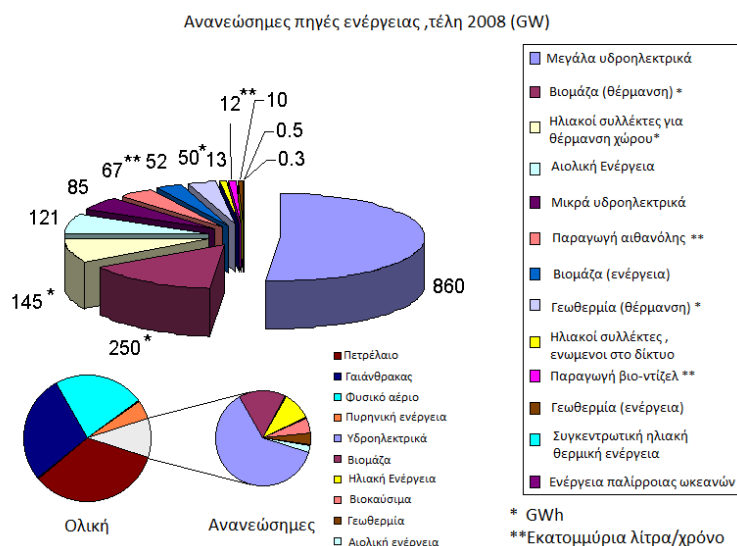
Βιομάζα αποκαλείται οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς [1]. Αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και αξιοποιείται ενεργειακά εδώ και αρκετά χρόνια. Η βιομάζα είναι πηγή ενέργειας που προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από τον φυτικό κόσμο καθώς με τον όρο αυτό εννοούνται [2]

- Τα υλικά καθώς και τα υποπροϊόντα και κατάλοιπα της φυτικής, ζωικής, δασικής και αλιευτικής παραγωγής όπως λ.χ. υπολείμματα ελαιοτριβείων, ορνιθάλευρα.
- Τα προϊόντα που προέρχονται από την βιομηχανική επεξεργασία των υλικών αυτών.
- Τα αστικά λύματα και σκουπίδια
- Τις φυτικές ύλες, που προέρχονται είτε από φυσικά οικοσυστήματα π.χ. αυτοφυή φυτά και δάση , είτε από τις λεγόμενες καλλιέργειες γεωργικών και δασικών ειδών, όπως λ.χ. το σόργο, το ζαχαρούχο , ο ευκάλυπτος κ.α.

Το εκμεταλλεύσιμο κομμάτι της βιομάζας είναι ουσιαστικά η αποθηκευμένη μορφή της ηλιακής ενέργειας μέσα στα φυτά. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης. Σύμφωνα με αυτή η χλωροφύλλη των φυτών δεσμεύει την ηλιακή ενέργεια με μια σειρά διεργασιών , απορροφώντας διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα καθώς και νερό και ανόργανα συστατικά από το έδαφος. Αυτή είναι και η ενέργεια που τελικά αξιοποιείται από την βιομάζα για διάφορες διεργασίες (καύση, αεριοποίηση κ.α.). Η βιομάζα είναι απόλυτα φιλική προς το περιβάλλον καθώς η συνολική επιβάρυνση σε CO₂ προς αυτό είναι μηδενική

$$\text{Δεσμευόμενο CO}_2 = \text{Παραγόμενο CO}_2$$

Η θέση της βιομάζας στην κατανομή ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο (τέλη έτους 2008) φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα



Εικόνα 1.1. Κατανομή ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο, τέλη έτους 2008 [3]

Συγκεκριμένα για την Ελλάδα η ενέργεια έχει ως εξής

Πίνακας 1.1.Ανάλυση ισχύος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε MW(2006) [4]

Καύσιμο	Σύνολο Εγκατεστημένης Ισχύος	Σύνολο Αποδιδόμενη Ισχύος
Αιολικά	751,5	751,5
Βιομάζα	30,7	30,7
Υδροηλεκτρικά	3135	3135
Φυσικό Αέριο	2518	2454
Πετρέλαιο	2317	2131,7
Λιγνίτης	5288	4808
ΣΗΘ	243	243
Σύνολο	14.283,2	13.553,9

Για την βιομάζα συγκεκριμένα υπολογίζεται πως στην Ελλάδα υπάρχουν άμεσα διαθέσιμοι 10 εκατομμύρια τόνοι. Συγκεκριμένα[5]:

- 7.500.000 τόνοι υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών (σιτηρών , αραβοσίτου, βαμβακιού, καπνού, ηλίανθου, κλαδοδεμάτων, κληματίδων, πυρηνόξυλου)
- 2.500.000 τόνοι δασικών υπολειμμάτων υλοτομίας (κλάδοι , φλοιοί κ.α.)

Το μεγαλύτερο ποσοστό αυτής της βιομάζας δεν αξιοποιείται. Αν αναλογιστούμε ότι ένας τόνος βιομάζας περίπου αντιστοιχεί σε 0,4 τόνους πετρελαίου τότε η συνολική ποσότητα που θα εξοικονομούταν είναι περίπου 3-4 εκατομμύρια τόνοι πετρελαίου (3-4 Mtoe). Παρόλαυτα σήμερα καλύπτεται μόνο το 3% περίπου των ενεργειακών αναγκών της χώρας μας, με τη χρήση της διαθέσιμης βιομάζας.

Η βιομάζα μπορεί [6] να καεί απευθείας παράγοντας ηλεκτρισμό ή μπορεί να αξιοποιηθεί με κάποια τεχνολογία μετατροπής της βιομάζας και να μετατραπεί σε στερεά, υγρά ή αέρια καύσιμα για την μετέπειτα αξιοποίηση τους. Αυτή μπορεί να είναι ζύμωση για την παραγωγή αλκοόλης, βακτηριακή αποδόμηση για την παραγωγή βιοαερίου και αεριοποίηση για την δημιουργία υποκατάστατου του φυσικού αερίου ή για την παραγωγή αερίου προϊόντος μεγάλης θερμικής αξίας που μπορεί να αξιοποιηθεί σε άλλες διεργασίες. Η τελευταία είναι που εφαρμόστηκε στην πειραματική μας εγκατάσταση.

1.2 Καύση στερεών καυσίμων

Κατά την εισαγωγή ενός στερεού καυσίμου σε αντιδραστήρα με ροή θερμού αέρα, το καύσιμο μπορεί να υποστεί μια ή και συνδυασμό των εξής διαδικασιών:

Ξήρανση

Όπως είναι γνωστό κάθε καύσιμο περιέχει ένα συγκεκριμένο ποσοστό υγρασίας. Το ποσοστό αυτό διαφέρει ακόμα και σε καύσιμα ίδιου τύπου, καθώς η τοποθεσία προέλευσης και η ηλικία του καυσίμου παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση του. Κατά την διάρκεια της ξήρανσης η υγρασία αυτή απομακρύνεται. Η υγρασία στα στερεά καύσιμα μπορεί να υπάρχει σε δύο μορφές [7]:

α) ως ελεύθερο νερό στους πόρους του καυσίμου και

β) ως δεσμευμένο που έχει απορροφηθεί στο εσωτερικό της επιφανειακής δομής

Πυρόλυση

Η πυρόλυση συμβαίνει στο στερεό καύσιμο απουσία οξυγόνου (στην πράξη αυτό είναι αδύνατο και πάντα υπάρχει μερική οξειδωση του καυσίμου). Κατά την διαδικασία της πυρόλυσης αφαιρούνται τα πτητικά (αέριο προϊόν, πίσσα, εξανθράκωμα) από το καύσιμο. Το καύσιμο διασπάται θερμικά σε στερεό άνθρακα μεγάλης θερμικής απόδοσης και σε αέριο προϊόν μεγαλύτερης ποσότητας υδρογόνου από το αρχικό καύσιμο. Ο ρυθμός πυρόλυσης εξαρτάται από την θερμοκρασία και από τον τύπο του καυσίμου. Οι θερμοκρασίες λαμβάνουν χώρα ανάμεσα στους 400 με 800 °C.

Αεριοποίηση

Η αεριοποίηση γίνεται με υποστοιχειομετρική αναλογία οξυγόνου ($\lambda < 1$). Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι για την παραγωγή καλύτερης ποιότητας παραγόμενου προϊόντος με σκοπό την μετέπειτα εκμετάλλευση του σε διάφορες διεργασίες (Fisher-Tropsch διεργασία, παραγωγή αλκοολών, παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κ.α.). Για την αεριοποίηση θα μιλήσουμε εκτενέστερα στην συνέχεια.

Καύση

Το τρίτο στάδιο είναι η καύση του άνθρακα με περίσσεια οξυγόνου ($\lambda > 1$). Κατά την καύση ένα μεγάλο ποσοστό πτητικών καίγεται και εκλύονται τεράστια ποσά θερμότητας. Ένα άλλο ποσοστό επικάθεται στην πορώδη επιφάνεια του άνθρακα. Έτσι διαχέεται το οξυγόνο μέσα από το οριακό εξωτερικό στρώμα στον κόκκο του άνθρακα. Η καύση είναι μια σημαντικά εξώθερμη αντίδραση και τα προϊόντα της είναι κυρίως CO_2 και H_2O . Ο ρυθμός καύσης εξαρτάται τόσο από τον ρυθμό αντίδρασης του άνθρακα και του οξυγόνου στις επιφάνειες όσο και από τον ρυθμό εισχώρησης του οξυγόνου.

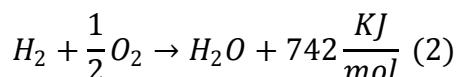
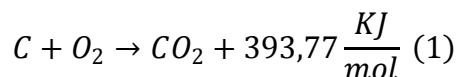
1.3 Αεριοποίηση

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η αεριοποίηση αποτελεί την υποστοιχειομετρική «καύση» του καυσίμου και είναι εξώθερμη διεργασία. Το ποσοστό του αέρα κυμαίνεται από 30 έως 50 % της στοιχειομετρικής ποσότητας. Η αεριοποίηση έχει ως στόχο την μετατροπή των ανθρακούχων σωμάτων (υγρών ή στερεών) σε καύσιμο ή σε συνθετικό αέριο προϊόν (synthetic gas ή syngas) που αποτελείται κυρίως από CO και H₂. Το αέριο αυτό προϊόν παράγεται για την μετέπειτα αξιοποίηση του σε διάφορες περιπτώσεις (παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας , θερμότητας κλπ). Το τυπικό θερμοκρασιακό εύρος της αεριοποίησης είναι από 700 έως 1000 °C [8] αλλά δεν πάυει σε ορισμένες των περιπτώσεων να φθάνει και έως τους 1500 °C. Το οξειδωτικό μέσο μπορεί να είναι αέρας ή καθαρό οξυγόνο ή ατμός. Η αεριοποίηση με αέρα έχει ως αποτέλεσμα αέριο προϊόν με χαμηλή θερμογόνο ισχύ (περίπου 4-7 MJ/Nm³) ενώ με καθαρό οξυγόνο ή ατμό σαφώς μεγαλύτερη (περίπου 10-18MJ/Nm³) [9].

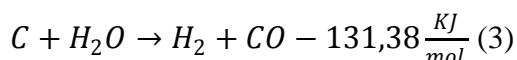
1.3.1 Χημικές αντιδράσεις

Οι χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν κατά την αεριοποίηση περιγράφονται ακολούθως [10]. Είναι μια σειρά από ενδόθερμες αντιδράσεις (3),(4),(5),(6) οι οποίες συμβαίνουν λόγω της ενέργειας που εκλύεται από τις αντιδράσεις καύσης (εξώθερμες αντιδράσεις) (1),(2)

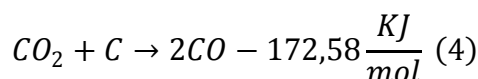
Αντιδράσεις καύσης



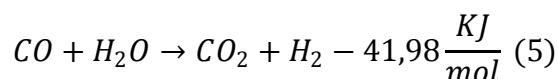
Αντίδραση αεριοποίησης με υδρατμό (Water-gas reaction)



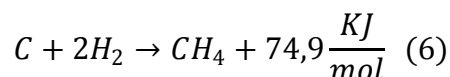
Αντίδραση Boudouard



Αντίδραση μετατόπισης (Shift)



Μεθανοποίηση (Methanation)



1.3.2 Είδη αέριου προϊόντος

Το αέριο προϊόν που παράγεται μπορεί να κατανεμηθεί στις εξής κατηγορίες [11]:

1. Χαμηλής θερμογόνου δύναμης ($3,5$ με 10MJ/m^3) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αέριο καύσιμο για αεριοστρόβιλο, καύσιμο σε λέβητα για παραγωγή ατμού κ.α.
2. Μέσης θερμικής αξίας (10 με 20MJ/m^3) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αέριο καύσιμο σε αεριοστρόβιλο , για παραγωγή υδρογόνου H_2 , για καύσιμο σε κυψέλη καυσίμου (fuel cell) ,για σύνθεση καυσίμου και διάφορες χημικές διεργασίες (Fisher-Tropsch).
3. Υψηλής θερμικής αξίας (20 με 35MJ/m^3) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αέριο καύσιμο σε αεριοστρόβιλο , για παραγωγή υδρογόνου H_2 , για καύσιμο σε κυψέλη καυσίμου και υποκατάστατο του φυσικού αερίου χωρίς κάποια διαδικασία κατεργασίας του μεθανίου.
4. Υποκατάστατα φυσικού αερίου (Substitute natural gas-SNG) (35MJ/m^3) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή υδρογόνων και διαφόρων άλλων χημικών στοιχείων και ως κυψέλη καυσίμου

1.3.3 Επίδραση της πίεσης-Αεριοποίηση υπό πίεση

Η αεριοποίηση υπό πίεση έχει σαφώς μεγαλύτερα πλεονεκτήματα από την αεριοποίηση υπό ατμοσφαιρική πίεση, για τον λόγο αυτόν και οι περισσότερες σύγχρονες εγκαταστάσεις γίνονται υπό πίεση που ξεκινάει από τα 10 bar και ξεπερνούν τα 100 bar. Τα πλεονεκτήματα της εγκατάστασης αυτής είναι η εξοικονόμηση ενέργειας και η μείωση του συνολικού μεγέθους της εγκατάστασης.

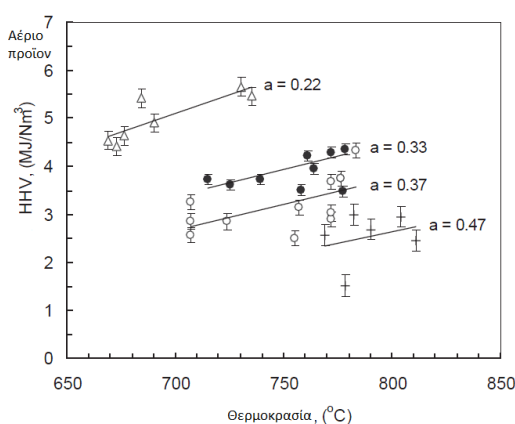
Τις περισσότερες των περιπτώσεων το αέριο προϊόν (syngas) στις μετέπειτα χρήσεις του (π.χ. είσοδος αεριοστρόβιλου) χρειάζεται να συμπιεστεί έτσι ώστε να φτάσει σε συγκεκριμένη τιμή πίεσης. Για την συμπίεση αυτή απαιτείται μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Το γεγονός αυτό αποφεύγεται στην αεριοποίηση υπό πίεση καθώς το καύσιμο υφίσταται συμπίεση που απαιτεί πολύ μικρότερη ενέργεια. Συγκεκριμένα σε πείραμα που έγινε για την παραγωγή αέριου προϊόντος με πίεση 45 bar, διαπιστώθηκε η εξοικονόμηση ενέργειας που υπάρχει σε σύγκριση με τους ατμοσφαιρικούς αεριοποιητές. Παρατίθεται ο ακόλουθος πίνακας

Πίνακας 1.2 . Σύγκριση της ενέργειας που απαιτείται για παραγωγή αέριου προϊόντος 45bar σε αντιδραστήρα υπό πίεση και σε αντιδραστήρα με ατμοσφαιρική πίεση.

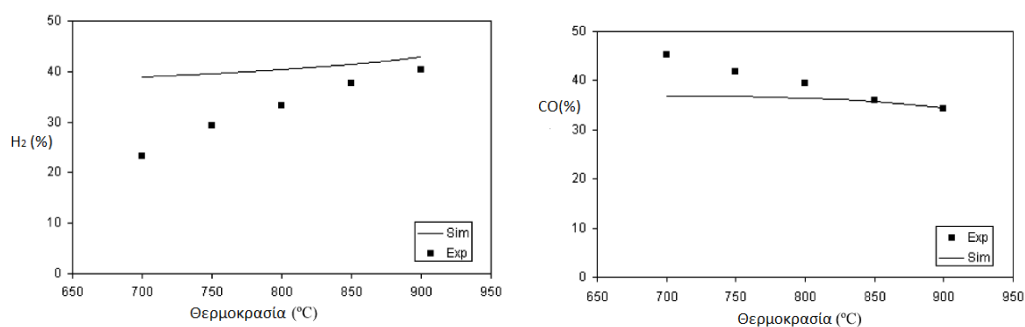
		Ατμοσφαιρική	Υπό πίεση
Ενέργεια άντλησης καυσίμου	35.450kg/h	0,3MW	0,09MW
Συμπίεση οξυγόνου	21.120Nm/h	2,85MW	4,97MW
Συμπίεση αερίου προϊόντος	100.000Nm/h	19,70MW	0,00MW
Σύνολο		22,58MW	5,05MW

1.3.4 Επίδραση της θερμοκρασίας

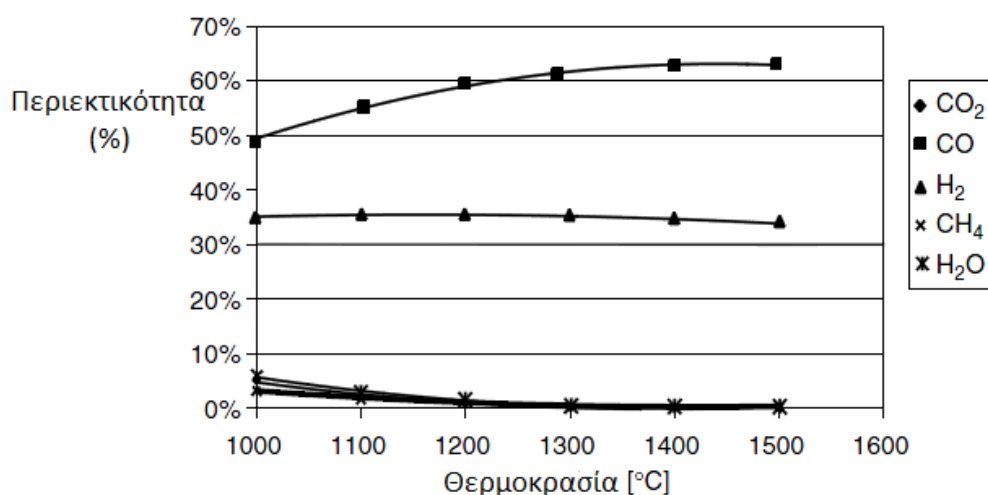
Η θερμοκρασία παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην αεριοποίηση. Η επιλογή της πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα διάφορα σημεία τήξης των υλικών της κατασκευής καθώς και τις διάφορες χημικές διεργασίες που πρόκειται να γίνουν. Συγκεκριμένα με την αύξηση της θερμοκρασίας παρατηρείται αύξηση της θερμικής αξίας του αέριου προϊόντος [12],[13]. Χαρακτηριστικά σε πείραμα που έγινε διαπιστώθηκε 10% αύξηση της θερμικής αξίας του αερίου προϊόντος με αύξηση της θερμοκρασίας από 700 σε 800 °C (εικ. 2). Επίσης παρατηρήθηκε αύξηση του επιπέδου CO για θερμοκρασίες άνω των 1000 °C ενώ για το εύρος 700-900 °C παρατηρήθηκε μείωση [14],[15] (εικ. 3). Το υδρογόνο παρουσίασε σημαντική αύξηση στο εύρος 700-900 °C αλλά σταθερή κατάσταση από 1000 °C και πάνω [10],[8]. (εικ. 4). Μετά από ένα εύρος θερμοκρασιών (>1000 °C) η θερμική αξία του παραγόμενου αερίου μειώνεται



Εικόνα 1.2 . Θερμική αξία προϊόντος σε συνάρτηση με την θερμοκρασία [12]



Εικόνα 1.3. Επίδραση θερμοκρασίας στον σχηματισμό CO και H₂ για θερμοκρασίες από 700-900 °C (Υπολογισμένο σε πρόγραμμα προσομοίωσης) [13].

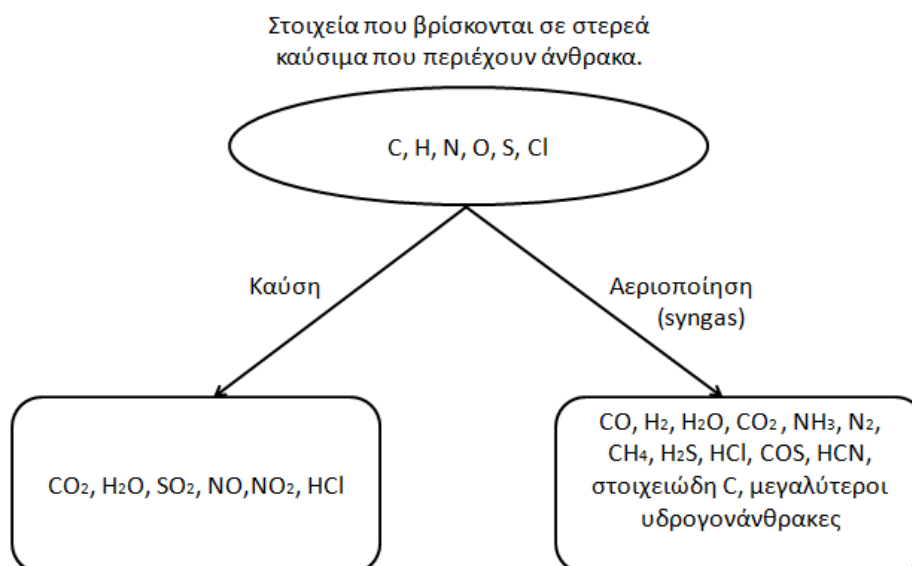


Εικόνα 1.4 . Επίδραση θερμοκρασίας στον σχηματισμό CO και H₂ για θερμοκρασίες από 1000-1500 °C [8].

Σημαντική είναι και η επίδραση της θερμοκρασίας στην παραγωγή των πισσών. Με την αύξηση της θερμοκρασίας οι πισσες ελαττώνονται. Συγκεκριμένα σε πείραμα που έγινε στους 700 °C η παραγωγή των πισσών ήταν 15,2 g/Nm³, ενώ με την αύξηση της θερμοκρασίας στους 815 °C η παραγωγή μειώθηκε στους 0,4 g/Nm³ [12]. Η προσθήκη καταλύτη (11-14 kg) αλουμινίου-νικελίου μειώνει ακόμα περισσότερο την παραγωγή των πισσών. Συγκεκριμένα βρέθηκε ότι στους 800 °C η παραγωγή ήταν 0,15 g/Nm³ [16],[17].

1.3.5 Σύγκριση αεριοποίησης και καύσης

Στο σημείο αυτό κρίνεται απαραίτητη μια σύγκριση ανάμεσα στις μεθόδους της αεριοποίησης και της καύσης. Η βασική τους διαφορά είναι στα προϊόντα που παράγονται και στην μετέπειτα αξιοποίηση τους. Κατά την καύση όλα τα αντιδρώντα μετατρέπονται σε CO₂ και H₂O (τέλεια καύση). Το διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά προβλήματα (φαινόμενο του θερμοκηπίου κ.α.). Η αντιμετώπιση του αποτελεί μείζον πρόβλημα των περισσότερων μηχανικών. Σκοπός της καύσης είναι η θερμική διάσπαση του καυσίμου για την παραγωγή θερμότητας. Κατά την αεριοποίηση το προϊόν που παράγεται (syngas) αποτελείται κυρίως από CO και H₂. Τα προϊόντα αυτά είναι πιο φιλικά προς το περιβάλλον και μπορούν μετέπειτα να χρησιμοποιηθούν αξιοποιώντας την μεγάλη θερμική ενέργεια που έχουν. Παρατίθεται στην συνέχεια ένα σχήμα για την καλύτερη εποπτεία των συστατικών που υπάρχουν σε προϊόντα και αντιδρώντα κατά την καύση και την αεριοποίηση (εικ.5).



Εικόνα 1.5. Σύνοψη χημικών στοιχείων και ενώσεων σε αεριοποίηση και καύση

Όπως παρατηρούμε από το διάγραμμα η αεριοποίηση υπερτερεί σε ότι αφορά στην χρησιμότητα αλλά και την σπουδαιότητα των προϊόντων της. Συγκεκριμένα ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα της καύσης είναι η εκπομπή μεγάλων ποσοτήτων των τοξικών NO_x και H₂S. Οι χημικές ενώσεις αυτές είναι εξαιρετικά βλαβερές για το περιβάλλον αλλά και καταστροφικές για την ίδια την εγκατάσταση. Συγκεκριμένα τα NO_x αποτελούν πρωτογενείς ρύποι που προκαλούν σημαντικές καταστροφές στους ιστούς των πνευμόνων και εξασθενίζουν την αντίσταση του οργανισμού στην πνευμονία. Εκτός αυτού είναι υπεύθυνοι για την πρόκληση εμφυσήματος, άσθματος και βρογχίτιδας. Όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις προκαλούν την όξινη βροχή και σε επίπεδο εδάφους συνεισφέρουν στην αύξηση του όζοντος και της αιθαλομίχλης [18]. Από την άλλη το υδρόθειο είναι υπεύθυνο για πολλά προβλήματα

στο νευρικό σύστημα των ανθρώπων. Εκτός αυτού προκαλεί σημαντικά προβλήματα στην εγκατάσταση καθώς είναι εξαιρετικά διαβρωτικό [19].

Κατά την αεριοποίηση δεν ευνοείται ο σχηματισμός των NO_x καθώς γίνεται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από την καύση. Το άζωτο μετατρέπεται σε N_2 και NH_3 [11] και ένα μικρό ποσοστό σε HCN [10]. Από την άλλη το S μετατρέπεται πάλι σε H_2S . Το σημαντικό όμως είναι ότι και το H_2S και η NH_3 αφαιρούνται στις μετέπειτα διαδικασίες καθαρισμού του syngas. Επίσης κατά την αεριοποίηση υπάρχει σημαντική μείωση της παραγωγής φουρανίου ($\text{C}_5\text{H}_8\text{O}$) και διοξειδίου του άνθρακα (CO_2). Τέλος το εξανθράκωμα που παράγεται κατά την διάρκεια της πυρόλυσης στην αεριοποίηση είναι πιο ενεργό από αυτό της καύσης.

1.4 Ρευστοποίηση

Ρευστοποίηση είναι η διαδικασία κατά την οποία στερεά σωματίδια αποκτούν συμπεριφορά ρευστού μέσω της αιώρησης που υφίστανται από την σύγκρουση τους με ανερχόμενο ρεύμα υγρού ή αέρα. Η μέθοδος αυτή έχει ως αποτέλεσμα την πολύ καλή μίξη και επαφή μεταξύ των σωματιδίων. Έτσι έχουμε τις ιδανικές συνθήκες για ισοθερμικό σύστημα με πολύ καλή μεταφορά θερμότητας [20]. Αυτή η μέθοδος επαφής έχει ορισμένες ασυνήθιστες ιδιότητες που οι μηχανικοί προσπαθούν να αξιοποιήσουν.

1.4.1 Φάσεις Ρευστοποίησης

Οι φάσεις της ρευστοποίησης εναλλάσσονται με την αύξηση της ταχύτητας με την οποία εισέρχεται στην κλίνη το ρευστό. Το ρευστό εισέρχεται από το κάτω μέρος της κλίνης μέσα από τον διασκορπιστή.

Αρχική Κατάσταση

Σε αυτό το σημείο δεν έχουμε ροή ρευστού στην κλίνη. Τα σωματίδια που υπάρχουν μέσα (αδρανές υλικό) βρίσκονται σε ηρεμία.

Σταθερή κλίνη (Fixed Bed)

Με την είσοδο του ρευστού στην κλίνη, το ρευστό αρχίζει να καταλαμβάνει τους κενούς χώρους που βρίσκονται ανάμεσα στα σωματίδια.

Κατάσταση ελάχιστης Ρευστοποίησης

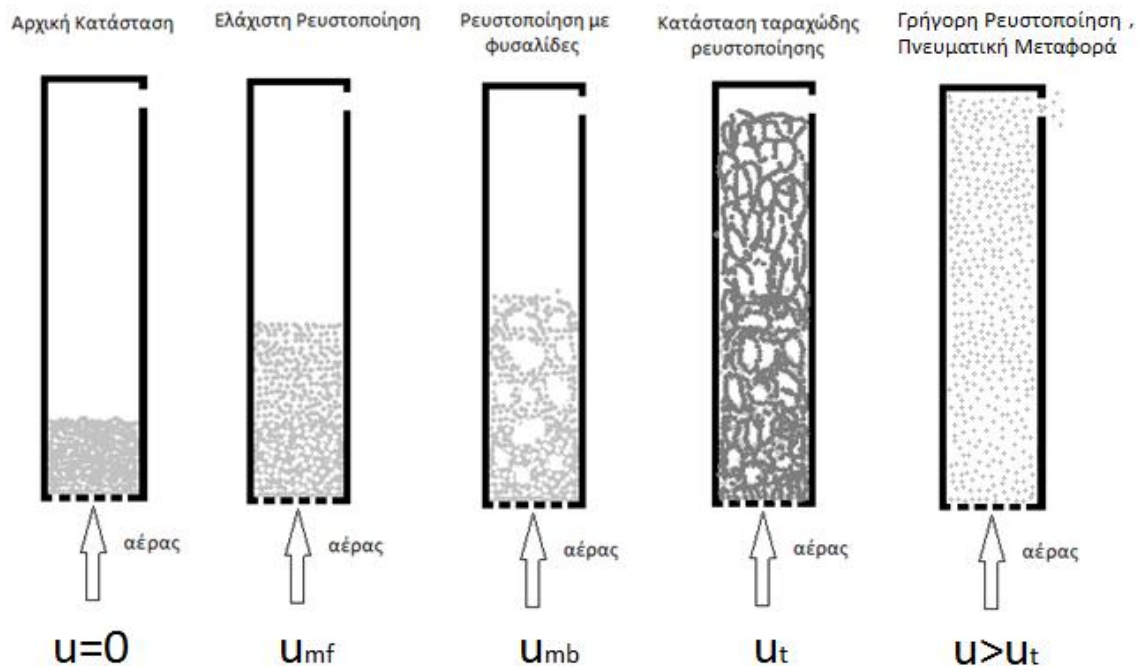
Με την αύξηση της ταχύτητας του ρευστού έως ένα σημείο φθάνουμε σε μια ταχύτητα u_{mf} όπου έχουμε την ελάχιστη ρευστοποίηση. Σε αυτό το σημείο όλα τα στερεά σωματίδια αρχίζουν να αιωρούνται και έτσι χάνεται η επαφή τους.

Ρευστοποίηση με φυσαλίδες (Bubbling fluidized bed)

Με μικρή ακόμα αύξηση της ταχύτητας του ρευστού έχουμε την ταχύτητα $u_{mb} > u_{mf}$ όπου αρχίζουν να παρατηρούνται οι πρώτες φυσαλίδες μέσα στην κλίνη. Σε αυτή την κατάσταση παρατηρούνται μεγάλες αστάθειες. Σε ακόμη μεγαλύτερη ταχύτητα η αναταραχή γίνεται όλο και πιο βίαια και η κίνηση των σωματιδίων μεγαλύτερη.

Κατάσταση παραχώδους ρευστοποίησης (turbulent fluidized bed)

Σε μεγαλύτερη αύξηση της ταχύτητας αποκτάται η οριακή ταχύτητα u_t των στερεών σωματιδίων κατά την οποία πολλά από αυτά αρχίζουν να παρασύρονται έξω από την κλίνη. Σε μεγαλύτερη ταχύτητα από την u_t η πάνω επιφάνεια του μίγματος αέρα/σωματιδίων έχει εξαφανιστεί, η έξοδος των σωματιδίων από την κλίνη γίνεται ακόμα πιο αισθητή και παρατηρείται μια κατάσταση έντονης διαταραχής των στερεών σωματιδίων και φυσαλίδες διαφόρων σχημάτων. Σε ακόμη μεγαλύτερη ταχύτητα τα σωματίδια εξέρχονται από την κλίνη (γρήγορη ρευστοποίηση, πνευματική μεταφορά).



Εικόνα 1.6. Διαδοχή των φάσεων ρευστοποίησης με την αύξηση της θερμοκρασίας

Για την επίτευξη σταθερής κατάστασης λειτουργίας του συστήματος μας πρέπει με κάποιο τρόπο τα εξερχόμενα από την κλίνη σωματίδια να επιστρέφουν σε αυτόν. Το ρόλο αυτό αναλαμβάνουν οι ΚΥΚΛΩΝΕΣ. Τα συστήματα που χρησιμοποιούν κυκλώνες εκτελούν ρευστοποίηση με ανακυκλοφορία (Circulating fluidized Bed, CFB).

1.4.2 Σωματίδια

Πολλές προσπάθειες έχουν γίνει για την επινοήση ενός κριτηρίου όπου θα προβλέπεται το είδος της ρευστοποίησης καθώς και την μετατροπή από το ένα είδος στο άλλο. Ο Geldart [21] προσέγγισε το θέμα εστιάζοντας στα χαρακτηριστικά των σωματιδίων που προκαλούν την ρευστοποίηση με τον έναν ή τον άλλον τρόπο. Χώρισε τα σωματίδια σε 4 κατηγορίες ανάλογα με την μέση διάμετρο και την πυκνότητα τους

Κατηγορία C (<20μm για ρ=2.500kg/m³)

Η φυσιολογική ρευστοποίηση των σωματιδίων αυτής της κατηγορίας είναι εξαιρετικά δύσκολη. Η δυσκολία έγκειται στο γεγονός ότι οι δυνάμεις ανάμεσα στα σωματίδια (δυνάμεις βαρύτητας) είναι μεγαλύτερες από αυτές του ρευστού. Το γεγονός αυτό συμβαίνει λόγω του ότι τα σωματίδια αυτά :

- Έχουν πολύ μικρό μέγεθος, γενικά <20μm
- Είναι αρκετά συνεκτικά
- Έχουν ισχυρές ηλεκτροστατικές φορτίσεις
- Έχουν υγρασία
- Έχουν επιφάνειες μεγάλου ιξώδους
- Είναι μαλακά
- Έχουν ακανόνιστο σχήμα

Η πτώση πίεσης σε αυτή την κατηγορία είναι πολύ μικρή. Η μίξη των σωματιδίων δεν είναι καλή , οπότε έχουμε πολύ «φτωχή» μεταφορά θερμότητας. Χαρακτηριστικά σωματίδια αυτής της κατηγορίας είναι το άμυλο , το αλεύρι και η πούδρα.

Κατηγορία A (20μm-90μm για ρ=2.500kg/m³)

Σε αυτή την κατηγορία βρίσκονται τα υλικά που είναι εύκολο να ρευστοποιηθούν, υλικά με μικρή μέση διάμετρο και με χαμηλή πυκνότητα. Η κλίση αναπτύσσεται πολύ εύκολα σε ταχύτητες ανάμεσα σε u_{mf} και u_{mb} λόγω της μικρής συνεκτικότητας των σωματιδίων. Σε μεγαλύτερες ταχύτητες έχουμε ρευστοποίηση με ελεγχόμενες φυσαλίδες μικρού μεγέθους. Το ύψος της κλίνης τότε μικραίνει. Χαρακτηριστικά σωματίδια σε αυτή την κατηγορία είναι οι FCC καταλύτες. Οι FCC καταλύτες είναι λεπτά σωματίδια εύρος πυκνότητας 0,8-0,96 g/mL. Το μέγεθος τους κυμαίνεται από 10 έως 150 μm.

Κατηγορία B (90μm-650μm για ρ=2.500kg/m³)

Οι δυνάμεις μεταξύ των σωματιδίων είναι αμελητέες και οι πρώτες φυσαλίδες αρχίζουν να διαμορφώνονται μόλις η ταχύτητα του ρευστού ξεπεράσει την u_{mf} . Χαρακτηρίζονται από την πολύ καλή ρευστοποίηση και το μέγεθος που αποκτούν οι φυσαλίδες κατά την διάρκεια της αιώρησης τους.

Κατηγορία D (>650μm για ρ=2.500kg/m³)

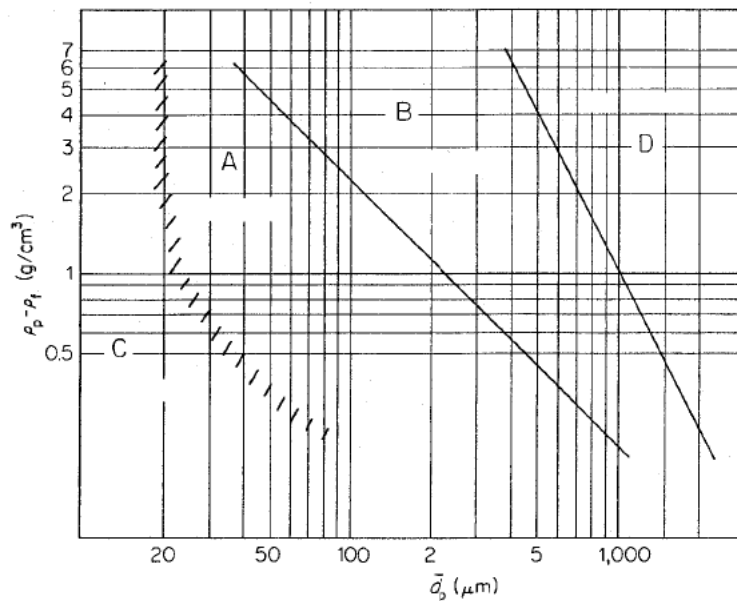
Σε αυτή την κατηγορία έχουμε μεγάλου μεγέθους σωματίδια ή μεγάλης πυκνότητας. Υπάρχει αρκετά μεγάλη δυσκολία στην ρευστοποίηση. Ειδικά αν η παροχή του ρευστού δεν είναι ομοιόμορφη παρατηρούνται μεγάλες φυσαλίδες και ταραχώδης συμπεριφορά. Χαρακτηριστικά σωματίδια αυτής της κατηγορίας είναι τα ξηρά σιτηρά και μπιζέλια, καβουρδισμένοι κόκκοι καφέ, και κάποια μεταλλεύματα.

Ακολούθως παρέχεται πίνακας που συνοψίζει τις ιδιότητες της κάθε ομάδας.

Πίνακας 1.3 Ιδιότητες ομάδων Geldart [10]

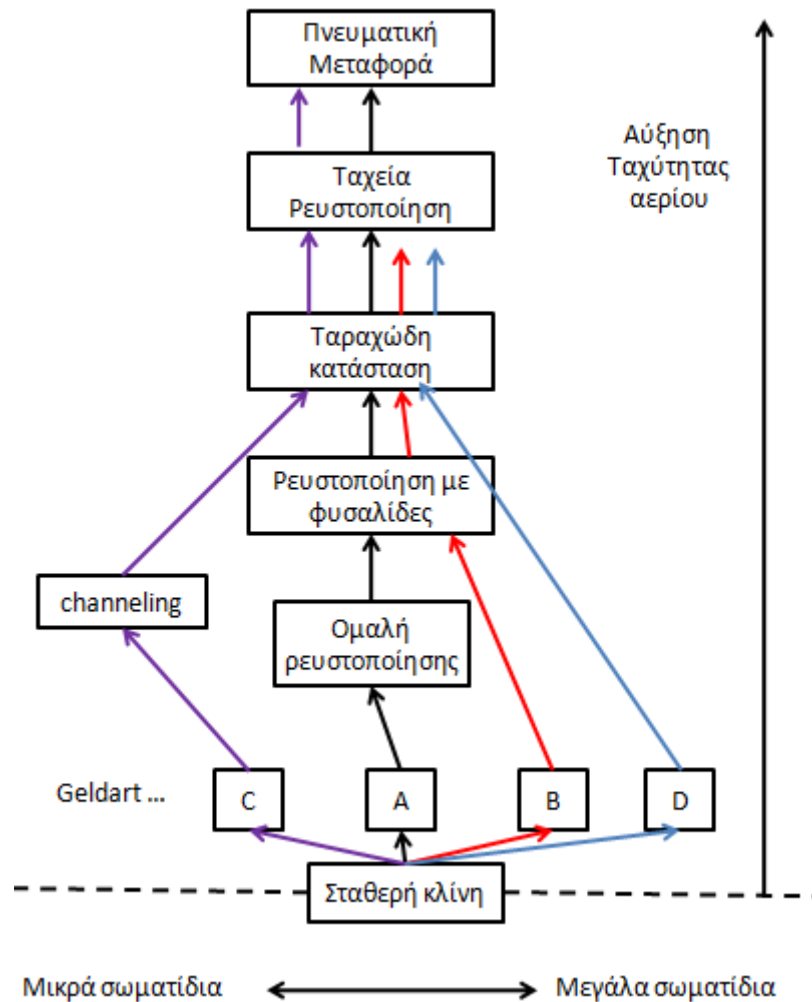
Κατηγορία	C	A	B	D
Σωματίδιο με $\rho_p=2500\text{kg/m}^3$	<20 μm	20-90 μm	90-650 μm	>650 μm
Channeling	Αυστηρή	Μικρή	Ουδέτερη	Ουδέτερη
Ανάβλυση	Καμία	Καμία	Ρηχή	Εύκολα
Διαστολή	Χαμηλή	Υψηλή	Μέτρια	Μέτρια
Ελάχιστη ταχύτητας δημιουργίας φουσαλίδων (U_{mb})	Καμία φουσαλίδα	$>U_{mf}$	$= U_{mf}$	$= U_{mf}$
Σχήμα φουσαλίδας	Μόνο καναλιού	Επίπεδη βάση σφαιρικό κάλυμμα	Σφαιρικό με μικρές οδοντώσεις	Σφαιρικό
Μίξη σωματιδίων	Πολύ χαμηλή	Υψηλή	Μέτρια	Χαμηλή
Μίξη αερίων	Πολύ χαμηλή	Υψηλή	Μέτρια	Χαμηλή
Επίπεδο κτυπήματος	Επίπεδα κτυπήματα	Αξονοσυμμετρικό	Κυρίως αξονοσυμμετρικό	Κυρίως από τα τοιχώματα
Επίδραση μεγέθους σωματιδίων στην υδροδυναμική	Άγνωστη	Σημαντική	Ελάχιστη	Άγνωστη

Το διάγραμμα που ακολουθεί μας δίνει το εύρος των τεσσάρων κατηγοριών



Εικόνα 1.7. Εύρος των κατηγοριών [22]

Τέλος ένα χρήσιμο διάγραμμα για την μεταβολή της κατάστασης μέσα στην κλίνη με την αύξηση της ταχύτητας του ρευστού.



Εικόνα 1.8. Μεταβολή της κατάστασης με την αύξηση της ταχύτητας του ρευστού [23]

1.4.3 Παράγοντες επίδρασης ρευστοποίησης

1.4.3.1 Διαφορά πίεσης

Σε κλίνη μήκους L , με σωματίδια παρόμοιου μεγέθους d_p , το ανερχόμενο ρευστό ασκεί δύναμη στα στερεά σωματίδια προκαλώντας έτσι μια πτώση πίεσης κατά μήκος της κλίνης. Ο Ergun το 1952 υπολόγισε αυτή την διαφορά πίεσης μέσα από την σχέση

$$\frac{\Delta p_{fr}}{L} g_c = 150 \frac{(1 - \varepsilon_m)^2}{\varepsilon_m^3} \frac{\mu u_o}{(\varphi_s d_p)^2} + 1.75 \frac{1 - \varepsilon_m}{\varepsilon^3} \frac{\rho_g u_o^2}{\varphi_s d_p}$$

Όπου

Δp_{fr} : η διαφορά πίεσης η οποία είναι πάντα θετική

ε_m : το κενό που υπάρχει ανάμεσα στα σωματίδια

φ_s : είναι η σφαιρικότητα των σωματιδίων. Αυτή υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Σφαιρικότητα} = \left(\frac{\text{Επιφάνεια σφαίρας}}{\text{Επιφάνεια σωματιδίου}} \right)_{\text{ιδίου όγκου}}$$

Όπως είναι αναμενόμενο $0 < \varphi_s < 1$, όπου $\varphi_s = 1$ για σφαιρικά

d_p : μέση διάμετρο των σωματιδίων

1.4.3.2 Ελάχιστη ταχύτητα ρευστοποίησης u_{mf}

Είναι η ταχύτητα του ρευστού κατά την οποία ξεκινάει η ρευστοποίηση. Από την εξίσωση του Ergun για την πτώση πίεσης προκύπτει

$$\frac{1,75}{\varepsilon_{mf}^3 \varphi_s} \left(\frac{d_p u_{mf} \rho_g}{\mu} \right)^2 + \frac{150(1 - \varepsilon_{mf})}{\varepsilon_{mf}^3 \varphi_s^2} \left(\frac{d_p u_{mf} \rho_g}{\mu} \right) = \frac{d_p^3 \rho_g (\rho_s - \rho_g) g}{\mu^2} \quad (2)$$

Όπου μπορεί εύκολα να λυθεί ως προς u_{mf} θέτοντας

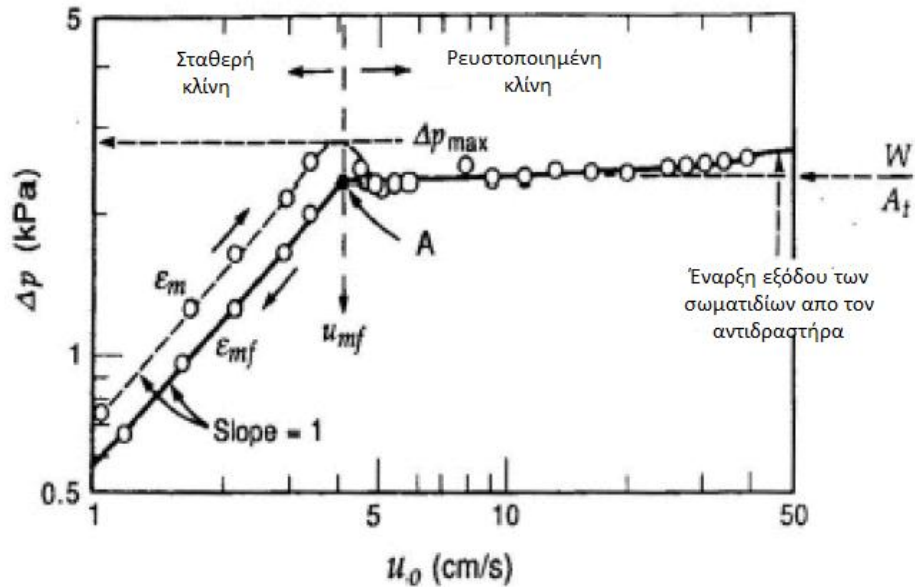
$$Re_{p,mf} = \frac{d_p u_{mf} \rho_g}{\mu} \quad (3)$$

Οπότε η (2) γίνεται

$$\frac{1,75}{\varepsilon_{mf}^3 \varphi_s} (Re_{p,mf})^2 + \frac{150(1 - \varepsilon_{mf})}{\varepsilon_{mf}^3 \varphi_s^2} Re_{p,mf} = Ar \quad (4)$$

Όπου Ar ο αριθμός Αρχιμήδη. Οπότε παρατηρούμε ότι είναι μια απλή δευτεροβάθμια εξίσωση ως προς $Re_{p,mf}$.

Στην συνέχεια παρατίθεται διάγραμμα διαφοράς πίεσης ταχύτητας. Το διάγραμμα αυτό είναι χαρακτηριστικό της ποιότητας της ρευστοποίησης.



Εικόνα 1.9. Διάγραμμα πτώσης πίεσης – ταχύτητας ρευστού [23]

1.4.3.3 Ελάχιστη ταχύτητα σχηματισμού φουσαλίδων U_{mb}

(Minimum bubbling Velocity)

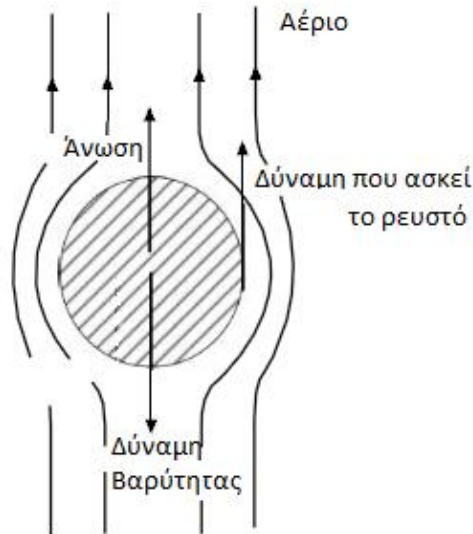
Είναι η ελάχιστη ταχύτητα του ρευστού κατά την οποία εμφανίζεται η πρώτη φουσαλίδα [21]. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου μπορεί να έχουμε φουσαλίδες πριν την U_{mb} , αυτό οφείλεται κυρίως σε ανομοιομορφία στην κατασκευή του διασκορπιστή και πιθανόν εξογκώματα στην κλίση. Ο Ambramsen και ο Geldart (1980) κατέληξαν στην ακόλουθη σχέση για τον υπολογισμό της U_{mb}

$$U_{mb} = 2.07 \exp(0.716F) \frac{d_p \rho_g^{0.06}}{\mu^{0.347}}$$

Όπου F είναι το κλάσμα μάζας των σωματιδίων μικρότερα από $45\mu\text{m}$. Σημαντική παρατήρηση εδώ είναι ότι η U_{mb} δεν εξαρτάται από την πυκνότητα των σωματιδίων.

1.4.3.4 Οριακή ταχύτητα U_t (Terminal Velocity)

Όπως προαναφέρθηκε είναι η ταχύτητα που αποκτά το ρευστό την χρονική στιγμή κατά την οποία παρατηρείται έξοδος των σωματιδίων από την κλίση [20]. Στη περίπτωση που και ρευστό (ταχύτητας U) και στερεά σωματίδια (ταχύτητας U_s) κινούνται προς τα πάνω τότε με έναν υπολογισμό των δυνάμεων που ασκούνται πάνω στο στερεό σωματίδιο έχουμε το ακόλουθο σχήμα [21]



Εικόνα 1.10. Δυνάμεις που ασκούνται πάνω στο στερεό σωματίδιο.

όπου η ισορροπία δυνάμεων δίνει

$$\text{Δύναμη Βαρύτητας} = \text{Άνωση} + \text{Δύναμη που ασκεί το ρευστό}$$

οπότε

$$m_p g = m_p \frac{\rho_g g}{\rho_p} + C_D \frac{\pi(U - U_s)^2 \rho_g}{8} d_p^2$$

Η διαφορά $U - U_s$ ονομάζεται U_t .

Ο συντελεστής C_D δίνεται από την σχέση

$$C_D = \frac{a_1}{Re^{b_1}}$$

Όπου Re ο αριθμός Reynolds και a_1, b_1 συντελεστές που δίνονται από τον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 1.4. Υπολογισμός συντελεστών a_1 και b_1

Re	Περιοχή	a_1	b_1
$0 < Re < 0,4$	Νόμοι του Stokes	24	1,0
$0,4 < Re < 500$	Νόμοι του μέσου	10	0,5
$500 < Re$	Νόμοι του Νεύτωνα	0,43	0,0

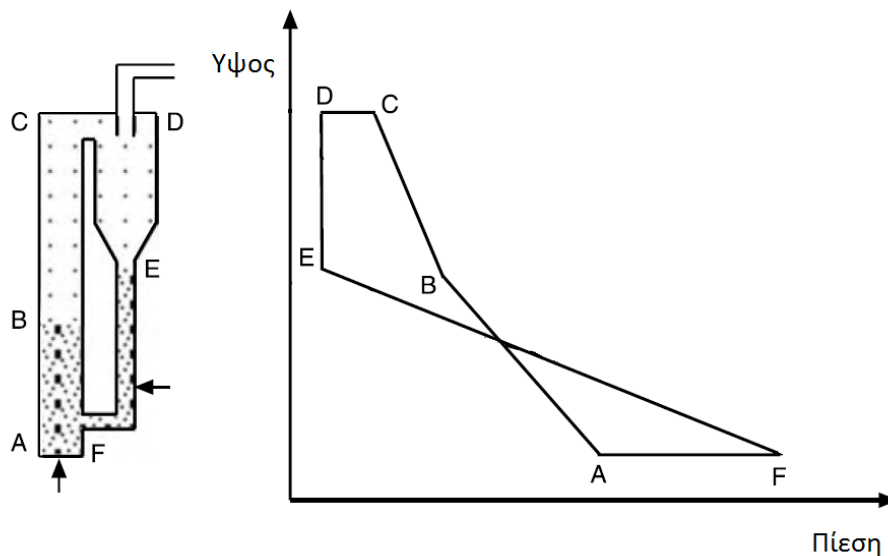
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Συνοπτική περιγραφή λειτουργίας εγκατάστασης

Η πειραματική εγκατάσταση έχει σχεδιαστεί για ρευστοποίηση με ανακυκλοφορία (Circulating Fluidized Bed) και η φάση που θα επικρατεί μέσα στον αντιδραστήρα είναι αυτή της γρήγορης ρευστοποίησης (Fast Bed). Στην εγκατάσταση θα χρησιμοποιηθεί αδρανές υλικό κατηγορίας Geldart B. Λαμβάνοντας αυτά τα στοιχεία υπόψη πρέπει να γίνει και η ανάλογη σχεδίαση της εγκατάστασης.

Σε μια ρευστοποιημένη κλίνη με ανακυκλοφορία έχοντας ορίσει την ταχύτητα του αέρα, τη μάζα των σωματιδίων κτλ, αυτό που εξετάζεται είναι ο σωστός σχεδιασμός της εγκατάστασης για την σωστή λειτουργία της ανακυκλοφορίας. Στην εγκατάσταση αυτή υπάρχει μια ισορροπία της πίεσης σε όλο το σύστημα. Το μίγμα στερεών σωματιδίων-αέρα καθώς ανέρχεται στον ανοδικό σωλήνα υφίσταται πτώση στην πίεση του, ενώ κατά την είσοδο του στον κυκλώνα η πίεση του αρχίζει να αυξάνεται. Η αύξηση αυτή συνεχίζεται σε όλη την διαδρομή μέχρι την τελική του είσοδο στο κάτω μέρος του αντιδραστήρα. Η πορεία της πίεσης φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα.

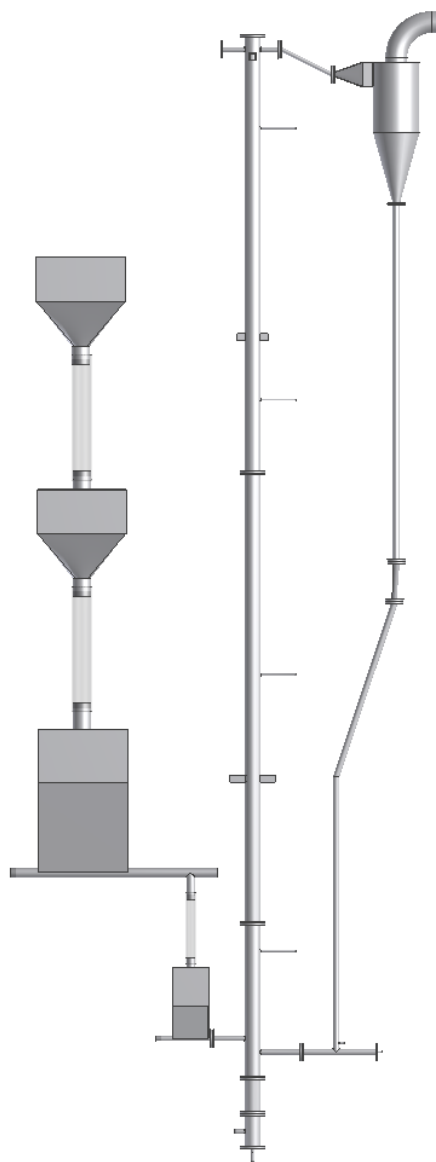


Διάγραμμα 2.1 Πίεση κατά μήκος της εγκατάστασης.

Ο σωστός σχεδιασμός της εγκατάστασης προϋποθέτει την μελέτη για τον σωστό προσδιορισμό του ύψους του καθέτου σωλήνα (standpipe) που βρίσκεται πάνω από την L-Valve. Αν δεν προσεχθεί αυτό και το μήκος του είναι μικρό, η πτώση πίεσης δεν θα είναι αυτή που χρειάζεται για να οδηγήσει τα σωματίδια μέσα στον αντιδραστήρα αλλά θα συμβαίνει το αντίθετο, τα σωματίδια θα εισέρχονται στην L-Valve από τον αντιδραστήρα. Συνεπώς δεν θα επιτυγχάνεται ανακυκλοφορία. Αφού οριστεί το ύψος του standpipe επιλέγεται και το σωστό ύψος του αντιδραστήρα. Με τα όσα προαναφέραμε συμπεραίνουμε την ζωτική σημασία που

έχει για την εγκατάσταση η L-Valve και πως τυχόν λάθος σχεδιασμού και λειτουργίας της επηρεάζεται όλο το σύστημα. Η αναλυτική περιγραφή όλων των προαναφερθέντων ακολουθεί στην συνέχεια.

Η Πειραματική μας εγκατάσταση φαίνεται συνολικά στο ακόλουθο σχήμα

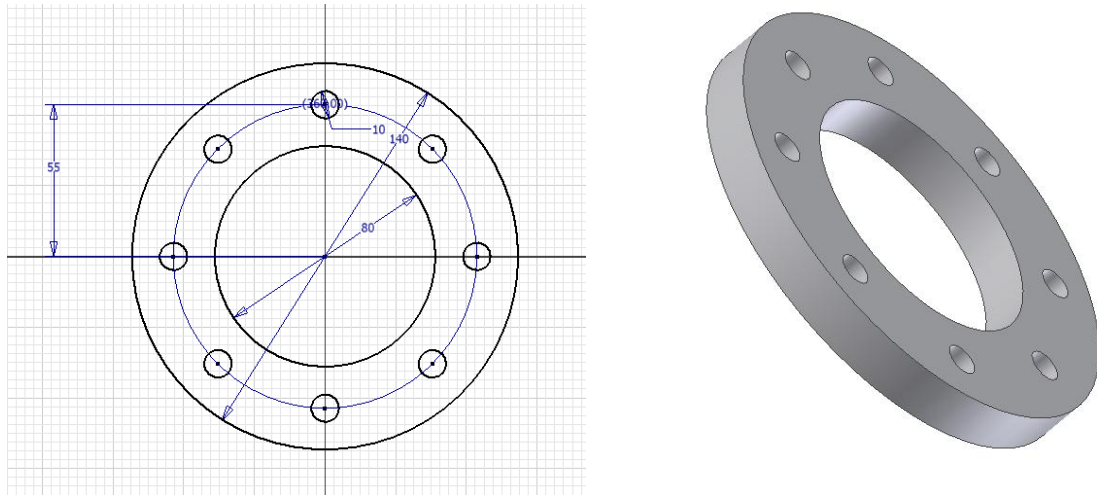


Εικόνα 2.1.Σχέδιο της εγκατάστασης σε Autodesk Inventor 2008

2.1 Τμήμα ανόδου (Riser)

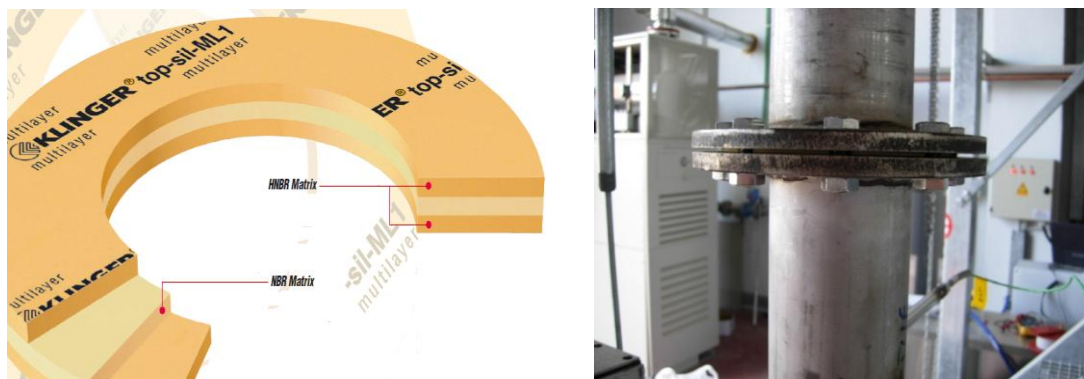
Το συνολικό ύψος του riser είναι 5.85 μέτρα. Η εσωτερική διάμετρος είναι 78mm με πάχος τοιχώματος 5,49mm. Είναι κατασκευασμένος από ανοξείδωτο χάλυβα AISI 316-316 L. Ο riser αποτελείται από 3 ξεχωριστά κομμάτια μήκους 850mm, 2500mm και 2500mm . Στο τέλος κάθε κομματιού υπήρχαν φλάντζες διαμέτρου 140mm και

πάχους 6mm(εικ.2), έτσι ώστε να ενωθούν και τα τρία επιμέρους τμήματα μεταξύ τους. Οι φλάντζες ενώθηκαν μέσω 8 κοχλιών διαστάσεων 11mm. Ο συγκεκριμένος σχεδιασμός επιλέχθηκε λόγω της εύκολης αντικατάστασης που παρέχεται για τυχών αστοχία του χάλυβα.



Εικόνα 2.2. Φλάντζα

Για την στεγανοποίηση μεταξύ των φλαντζών χρησιμοποιήθηκαν παρεμβύσματα τα οποία κόπηκαν και προσαρμόστηκαν ανάλογα. Τα παρεμβύσματα αυτά (εικ. 3) είναι της εταιρείας KLINGER και μπορούν να αντέξουν, υπό κατάλληλες συνθήκες, μέχρι 400°C [22]. Η θερμοκρασία αυτή δεν είναι δεδομένη καθώς εξαρτάται από πολλούς παράγοντες (πίεση, μέσο κλπ.).



Εικόνα 2.3. Παρεμβύσματα

Στο κάτω μέρος του riser υπάρχει ειδική διαμόρφωση για την είσοδο της βιομάζας. (εικ.4)

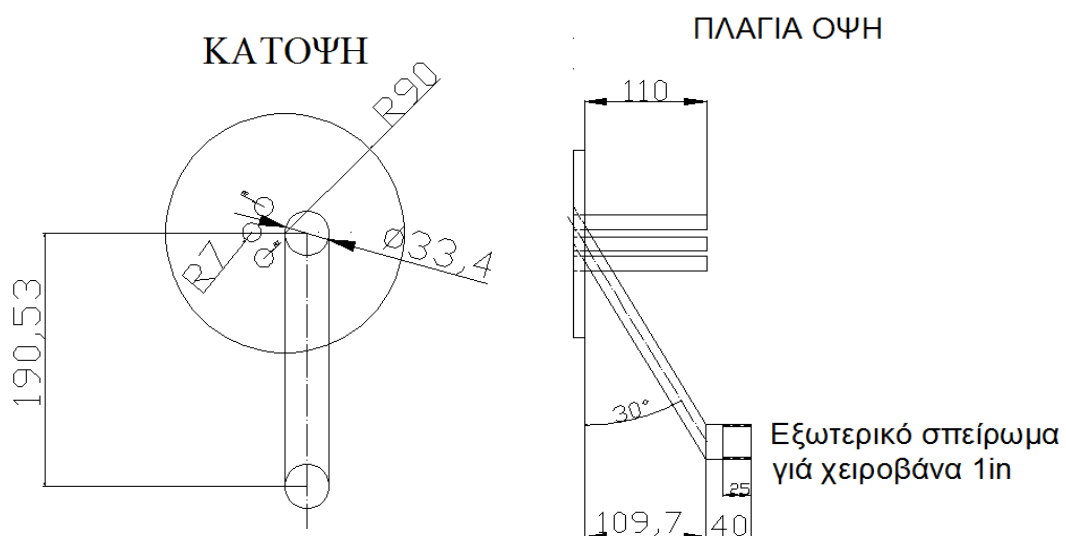


Εικόνα 2.4. Είσοδος της βιομάζας

Εδώ θα πρέπει να τονιστεί η σημασία του σωστού ύψους του αντιδραστήρα [10]. Το ύψος αυτό είναι αλληλένδετο με τον χρόνο παραμονής (residence time) των σωματιδίων. Ο χρόνος παραμονής θα πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να έχουμε αποτελεσματική αεριοποίηση της βιομάζας. Εκτός αυτού όπως προαναφέρθηκε το ύψος του αντιδραστήρα είναι αλληλένδετο και με τον ύψος της L-Valve και πρέπει να προσεχθεί ιδιαίτερος για την σωστή λειτουργία της ανακυκλοφορίας.

2.2 Καπάκι του ανοδικού σωλήνα

Στο πάνω μέρος του ανοδικού σωλήνα υπάρχει μια φλάντζα (εικ.5) με τρία ακροφύσια για μέτρηση πίεσης, θερμοκρασίας και σύνθεσης του παραγόμενου αερίου. Η φλάντζα έχει τις διαστάσεις που φαίνονται στο παρακάτω σχέδιο



Εικόνα 2.5. Μηχανολογικό σχέδιο σε AutoCAD 2007 του καπακιού του ανοδικού σωλήνα (riser)

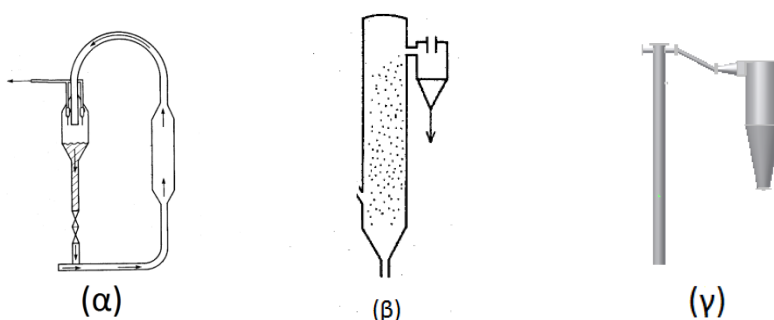
Στην συγκεκριμένη φλάντζα επίσης, υπάρχει ένας σωλήνας 30° ως προς την οριζόντια επιφάνεια, για την εισαγωγή του αδρανούς υλικού.. Η γωνία αυτή επιλέχθηκε έτσι ώστε να αποφεύγονται τυχόν «μπουκώματα» μέσα στον σωλήνα. Επίσης εξίσου σημαντικός λόγος είναι ότι αυτή η κλίση δεν επιτρέπει την είσοδο αδρανούς υλικού ή καυσίμου κατά τη διάρκεια της αεριοποίησης. Η φλάντζα φαίνεται στην εικόνα 6.



Εικόνα 2.6. Φλάντζα ανοδικού σωλήνα

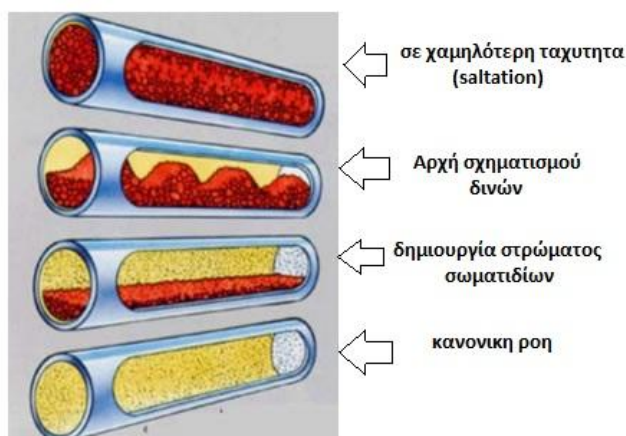
2.3 Σωλήνας ένωσης με κυκλώνα

Για τον σκοπό αυτό υπάρχουν διάφορα είδη ένωσης του ανοδικού σωλήνα με τον κυκλώνα. Σωλήνες με κοίλα (εικ.7α), οριζόντιοι σωλήνες (εικ.7β) και σωλήνες με κλίση (εικ.7γ) είναι μερικά από αυτά. Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκε σωλήνας υπό κλίση 30° και μήκους 313mm. Το υλικό είναι από ανοξείδωτο AISI 316-316 L. Στις άκρες του έχουν προσαρμοστεί φλάντζες διαμέτρου 100mm για την ένωση τους με τον ανοδικό σωλήνα και με τον κυκλώνα.



Εικόνα 2.7. Συνδετικός σωλήνας ανοδικού σωλήνα με κυκλώνα

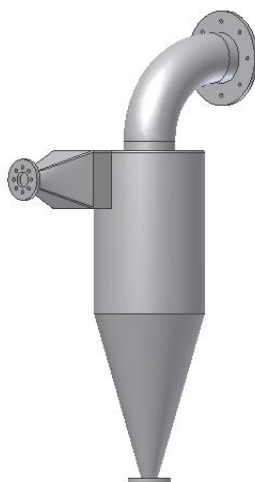
Η συγκεκριμένη επιλογή έγινε λόγω των πλεονεκτημάτων της έναντι των άλλων μεθόδων. Η χρήση οριζοντίου σωλήνα [23] προϋποθέτει συγκεκριμένη ταχύτητα του ρευστού για την ομαλή μετάβαση των σωματιδίων στον κυκλώνα. Σε χαμηλότερη ταχύτητα αρχίζουν κάποια σωματίδια να μένουν προσκολλημένα στο κάτω μέρος του σωλήνα, δυσκολεύοντας έτσι τη ροή, διαμέσου αυτού. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται saltation (εικ. 8). Επίσης ο συγκεκριμένος τύπος ένωσης εισάγει τα σωματίδια στο κυκλώνα με ταχύτητα πολύ μικρότερη από τον τύπο με τα κοίλα.



Εικόνα 2.8. Ροή μέσα σε οριζόντιο σωλήνα μίγμα αερίου-στερεών σωματιδίων [24]

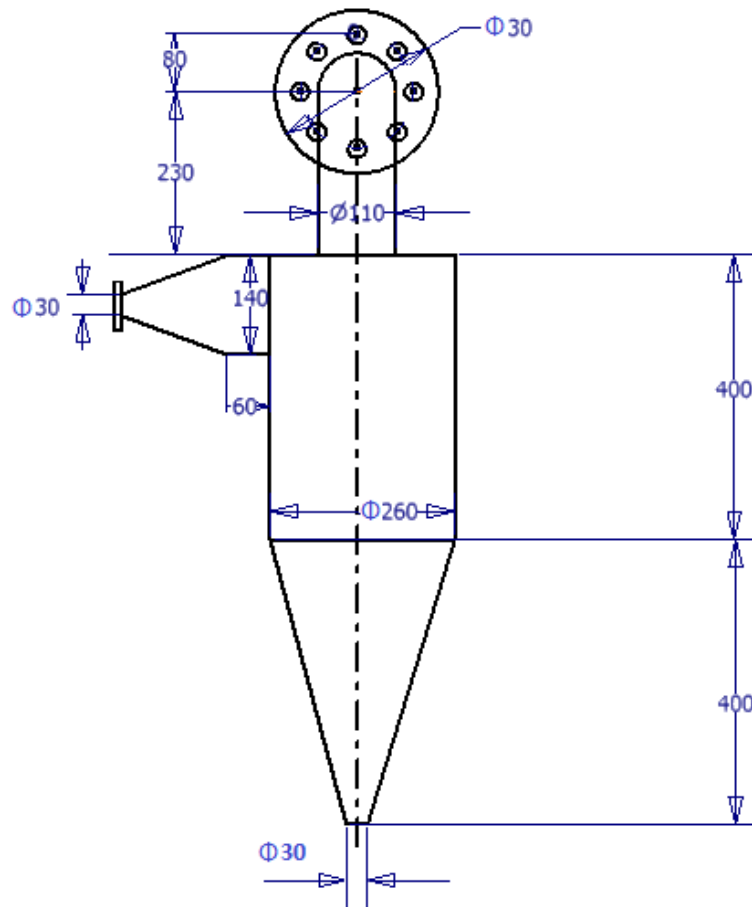
2.4 Κυκλώνας

Όπως έχουμε προαναφέρει με την αύξηση της ταχύτητας του ρευστού όλο και περισσότερα σωματίδια (αδρανές υλικό μαζί με ορισμένη ποσότητα άκαυστης βιομάζας) παρασέρνονται έξω από τον ανοδικό σωλήνα. Για την επίτευξη σταθερότητας του πειράματος απαιτείται η παρουσία του κυκλώνα (εικ. 9)



Εικόνα 2.9. Κυκλώνας

Ο κυκλώνας που χρησιμοποιήθηκε για το πειραματική διαδικασία έχει τις εξής διαστάσεις που φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα.(εικ 10)



Εικόνα 2.10. Διαστάσεις του κυκλώνα

Πολλοί είναι οι τρόποι διαχωρισμού σωματιδίων. Ενδεικτικά αναφέρονται δύο μεγάλες κατηγορίες τρόπων διαχωρισμού των σωματιδίων ανάλογα με τον τύπο δυνάμεων που θα ασκηθούν

1. Εξωτερικές δυνάμεις (βαρυτικές, ηλεκτροστατικές κ.α.)
2. Εσωτερικές δυνάμεις (διάχυση, φυγόκεντρες δυνάμεις κ.α.)

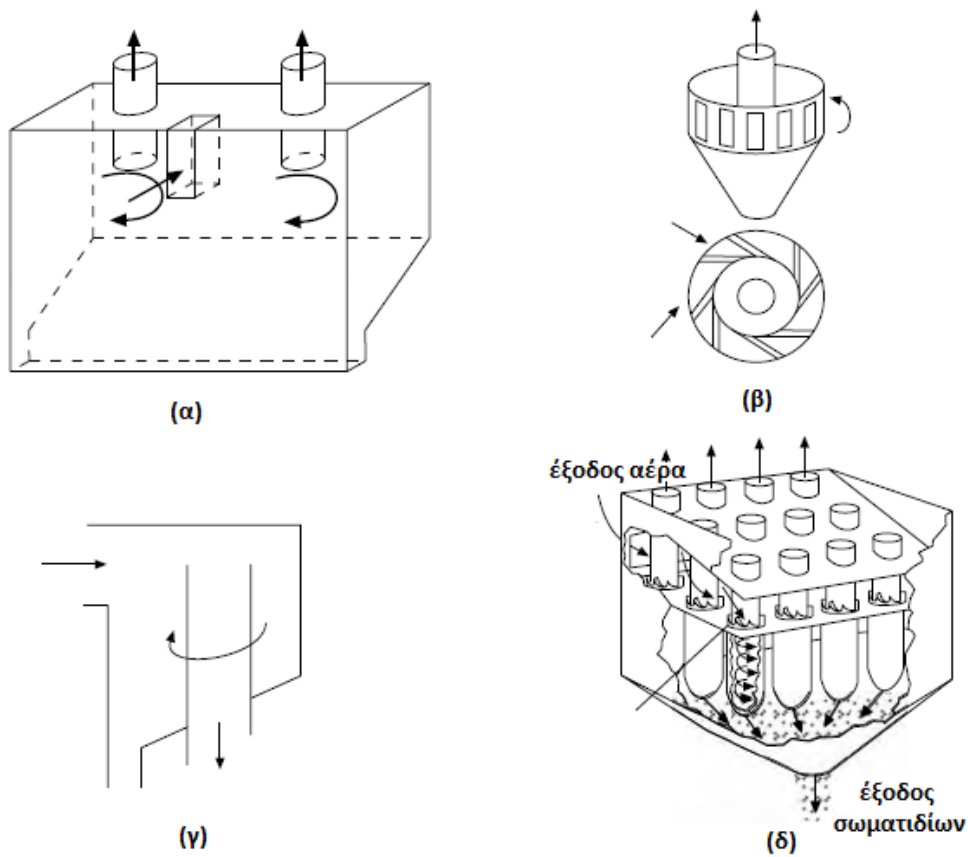
Η χρήση των κυκλώνων για το σκοπό αυτό αποτελεί τον πλέον χαρακτηριστικό τρόπο ιδιαίτερα για πιο χονδρά σωματίδια εξαιτίας των πολλών πλεονεκτημάτων του. Συγκεκριμένα

- η απλή κατασκευή τους
- η μη ύπαρξη κινούμενων εξαρτημάτων
- ο αποτελεσματικός διαχωρισμός των σωματιδίων

είναι ορισμένα από αυτά.

Οι κυκλώνες μπορούν να ταξινομηθούν στις εξής κατηγορίες [10]:

- Κατακόρυφοι-αξονικοί , κυλινδρικοί με οριζόντια είσοδο και αξονική έξοδο(εικ. 9)
- Κατακόρυφοι-αξονικοί, μη κυλινδρικοί με οριζόντια είσοδο και κατακόρυφη έξοδο των σωματιδίων (εικ. 11α)
- Κατακόρυφοι-αξονικοί με πολλές εισόδους και κατακόρυφη έξοδο (εικ. 11β)
- Κατακόρυφοι αξονικοί με οριζόντια είσοδο και έξοδο προς τα κάτω (εικ.11γ)
- Αξονική είσοδο και αξονική έξοδο (εικ. 11δ)



Εικόνα 2.11. Τύποι διαχωριστών [10]

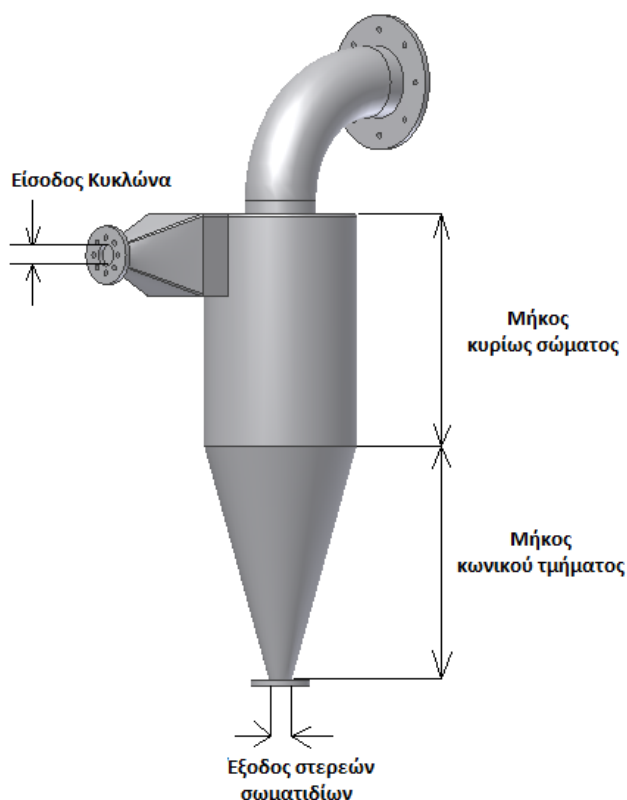
Στον αποτελεσματικό διαχωρισμό των σωματιδίων πάρα πολύ σημαντικό ρόλο παίζει η γεωμετρία του κυκλώνα. Στην εργασία τους οι B. Wang , K.W. Chu[25] ασχολήθηκαν με την επίδραση που έχουν ορισμένες σημαντικές διαστάσεις στην αποτελεσματικότητα του κυκλώνα. Συγκεκριμένα ασχοληθήκαν με το μήκος του κυρίως σώματος , τη διάμετρο της εξόδου των σωματιδίων, το μήκος του κωνικού τμήματος και τέλος την είσοδο του κυκλώνα (εικ.12).

Το **μήκος του κυρίως σώματος** επηρεάζει σημαντικά τον αποτελεσματικό διαχωρισμό των σωματιδίων. Συγκεκριμένα με την αύξηση του μήκους του για λεπτόκοκκα σωματίδια με μεγάλη πυκνότητα αυξάνεται ο διαχωρισμός, ενώ αντίθετα για λεπτά σωματίδια με μικρή πυκνότητα ο διαχωρισμός παραμένει ο ίδιος. Για χονδρόκοκκα σωματίδια ο διαχωρισμός παραμένει σταθερός.

Η **διάμετρος της εξόδου** των στερεών σωματιδίων (spigot) παίζει πολύ σημαντικό ρόλο γιατί όσο αυξάνεται, ο διαχωρισμός των σωματιδίων γίνεται μεγαλύτερος. Όταν η διάμετρος γίνει μικρότερη από μια οριακή τιμή τότε ο διαχωρισμός των σωματιδίων είναι μηδενικός καθώς όλα τα στερεά σωματίδια απομακρύνονται από το πάνω μέρος.

Το **μήκος του κωνικού τμήματος** επηρεάζει ακριβώς με τον ίδιο τρόπο τον διαχωρισμό των σωματιδίων όπως και το μήκος του κυρίως σώματος . Όσο αυξάνεται, τόσο μεγαλώνει και ο διαχωρισμός.

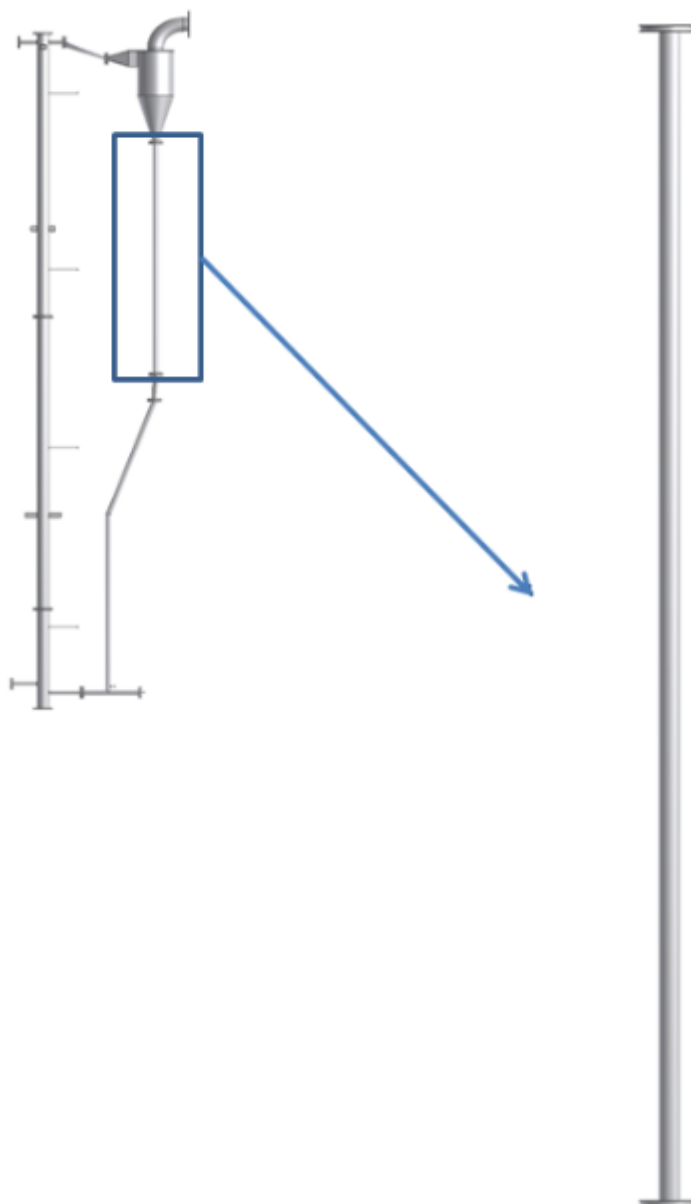
Τέλος το **μέγεθος της εισόδου του κυκλώνα (inlet)** παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στον διαχωρισμό των σωματιδίων. Συγκεκριμένα για λεπτόκοκκα σωματίδια όσο αυξάνεται το μέγεθος του, ο διαχωρισμός γίνεται καλύτερος, ενώ για χονδρόκοκκα αυξάνει αισθητά.



Εικόνα 2.12. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά ενός κυκλώνα

2.5 Καθοδικός σωλήνας (downcomer)

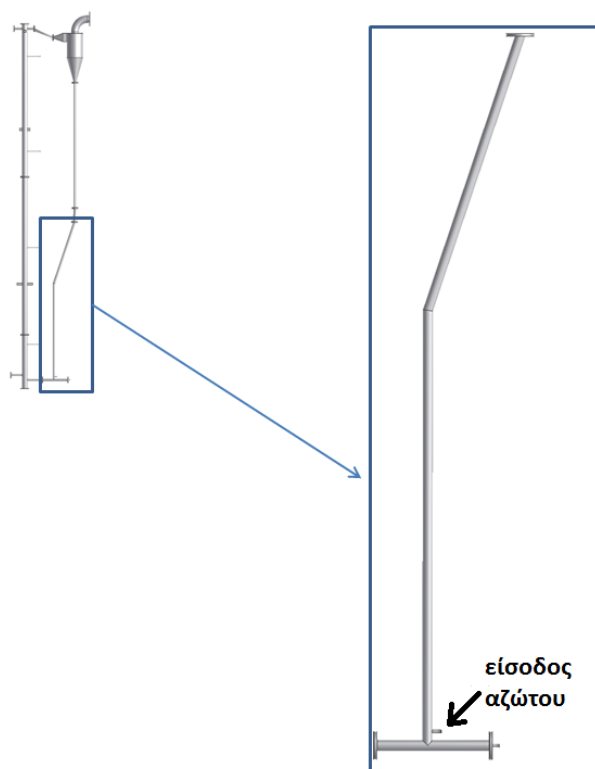
Καθώς το μίγμα των στερεών σωματιδίων απομακρύνεται από το κάτω μέρος του κυκλώνα εισέρχεται στο downcomer όπου οδηγούνται με την βοήθεια της βαρύτητας στο κάτω μέρος του και εισέρχονται στην δικλίδα σχήματος L (βλέπε παρακάτω). Το ύψος του είναι 2020mm, η εσωτερική διάμετρος 30mm και πάχος 3mm. Στις άκρες του έχουν προσαρμοστεί φλάντζες για την ένωση του με τον κυκλώνα και την L-Valve. Ο downcomer φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (εικ. 13)



Εικόνα 2.13. Καθοδικός σωλήνας-Downcomer

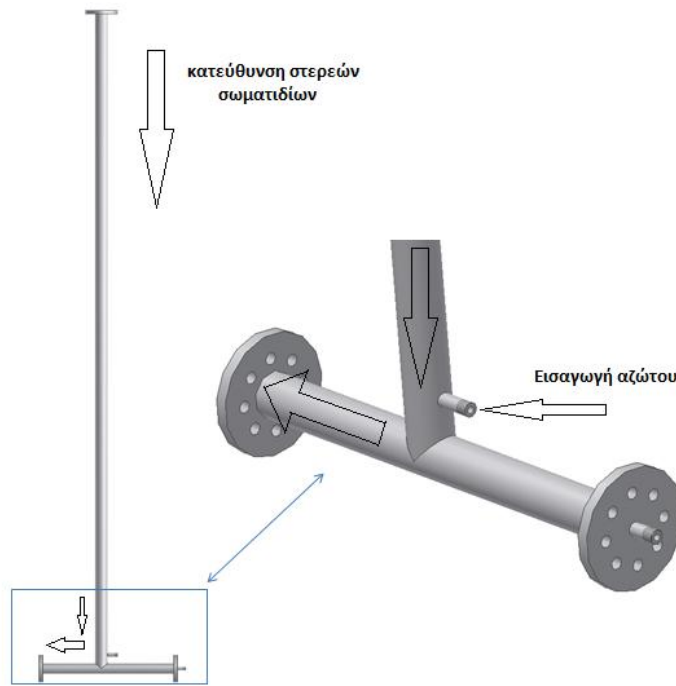
2.6 Δικλίδα σχήματος L (L-valve)

Κατά τη διαδικασία της αεριοποίησης όσα σωματίδια βιομάζας ή αδρανούς διαφύγουν από το riser, εισέρχονται στον κυκλώνα ,εν συνεχεία στο downcomer και καταλήγουν στην L-valve. Έτσι, επιστρέφουν ξανά στο riser. Η L-valve λοιπόν, επιτρέπει την επιστροφή των σωματιδίων προς τον αντιδραστήρα. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η L-valve (εικ. 14)



Εικόνα 2.14. L-Valve

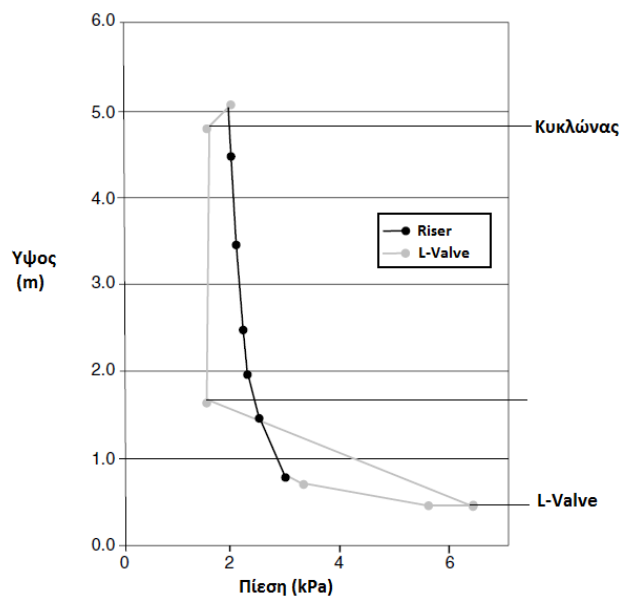
Η L-Valve είναι μια πολύ απλή κατασκευή που ανήκει στην κατηγορία των μη μηχανικών εξαρτημάτων (non-mechanical). Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω η L-valve, μέσω του οριζόντιου τμήματος της, επιτρέπει στα σωματίδια να επιστρέψουν στο riser. Είναι αρκετά σύνηθες στο οριζόντιο τμήμα να συσσωρεύεται σχετικά μεγάλη μάζα σωματιδίων. Έτσι δυσκολεύεται η ροή προς τον αντιδραστήρα. Για την αντιμετώπιση αυτής της κατάστασης έχει σχεδιαστεί μια εξωτερική υποδοχή για αέριο άζωτο (εικ.15). Έτσι εισάγοντας άζωτο με ταχύτητες όχι πολύ μεγαλύτερες από την U_{mf} ($U_{mf} < U < 3U_{mf}$), ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος ρευστοποίησης στον downcomer, τα σωματίδια ρέουν ξανά πίσω στο riser.



Εικόνα 2.15. Εξωτερική υποδοχή για αέριο άζωτο

Με αυτόν τον τρόπο η πίεση του συστήματος επαναφέρεται στην αρχική της τιμή. Το μίγμα καθώς εξέρχεται από τον κυκλώνα και ακολουθεί την διαδρομή downcomer-L-Valve αυξάνει την πίεση του με αποτέλεσμα να φθάνει στο κάτω μέρος της L-Valve και να έχει ένα μέγιστο πίεσης σαφώς ανώτερο από το μέγιστο πίεσης που υπάρχει στην αρχή του ανοδικού σωλήνα (εικ.16)

$$P_{max_{\text{ανοδικό } \sigma\omega\lambda\eta\nu\alpha}} < P_{max_{L-Valve}}$$



Εικόνα 2.16. Διάγραμμα πίεσης όλης της εγκατάστασης [10].

Ακολούθως αρχίζει να μειώνεται (κυρίως στο οριζόντιο κομμάτι) για να εξισορροπήσει στην είσοδο του αντιδραστήρα. Το γεγονός αυτό είναι πολύ σημαντικό καθώς [10] η L-Valve μπορεί να μεταφέρει το μίγμα των στερεών σωματιδίων από τον downcomer στην είσοδο του αντιδραστήρα αλλά δεν επιτρέπει το αντίστροφο, δηλαδή την είσοδο του μίγματος από τον αντιδραστήρα στην L-Valve.

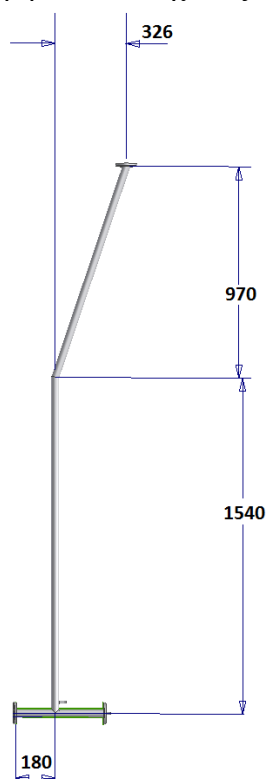
Η L-valve αποτελεί μια από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους επιστροφής των σωματιδίων στις ρευστοποιημένες κλίνες με ανακυκλοφορία. Αυτό ευθύνεται κυρίως στους παρακάτω λόγους:

- Η απλή της κατασκευή
- Η αντοχή της
- Η οικονομική κατασκευή
- Η απουσία κινούμενων εξαρτημάτων
- Η εύκολη συντήρησή της

την καθιστούν μια από τις καλύτερες επιλογές για τον σκοπό αυτό.

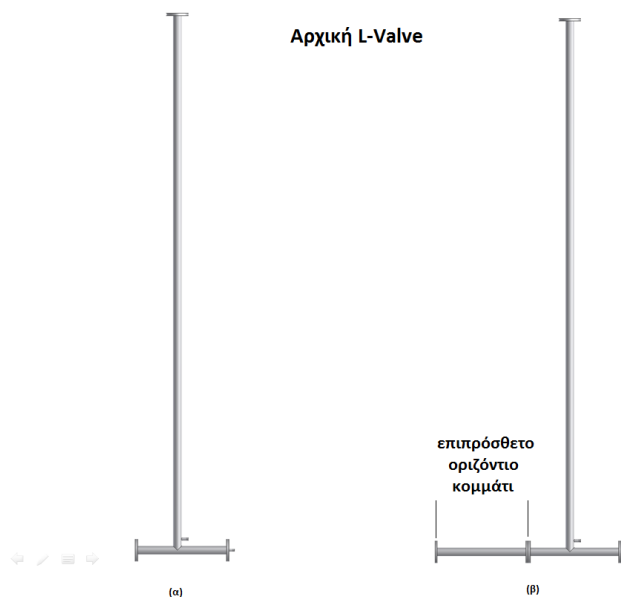
Οι δικλίδες αυτού του σχήματος λειτουργούν πολύ καλά αν τα σωματίδια ανήκουν στην κατηγορία Geldart B (βλέπε εισαγωγή ρευστοποίησης). Σε αντίθεση δεν λειτουργούν καλά με την κατηγορία A και D ενώ με την κατηγορία C αντιμετωπίζουν πολλές δυσκολίες.

Στην πειραματική μας εγκατάσταση η L-Valve έχει τις ακόλουθες διαστάσεις



Εικόνα 1.17. Διαστάσεις L-Valve

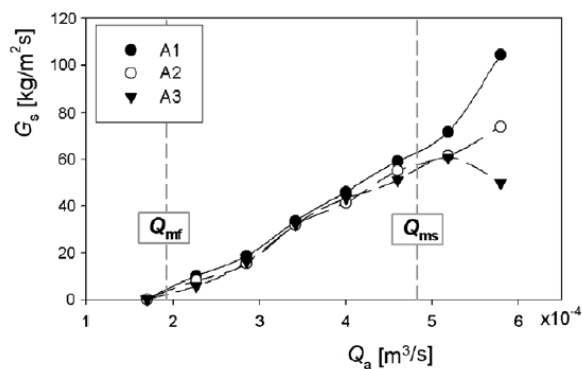
Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί ένα σχεδιαστικό λάθος. Η αρχική L-Valve είχε τη μορφή που φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα (εικ.18α). Αυτό είχε ως συνέπεια το οριζόντιο τμήμα για την ένωση με τον αντιδραστήρα να είναι αρκετά μεγάλο.(εικ.18β).



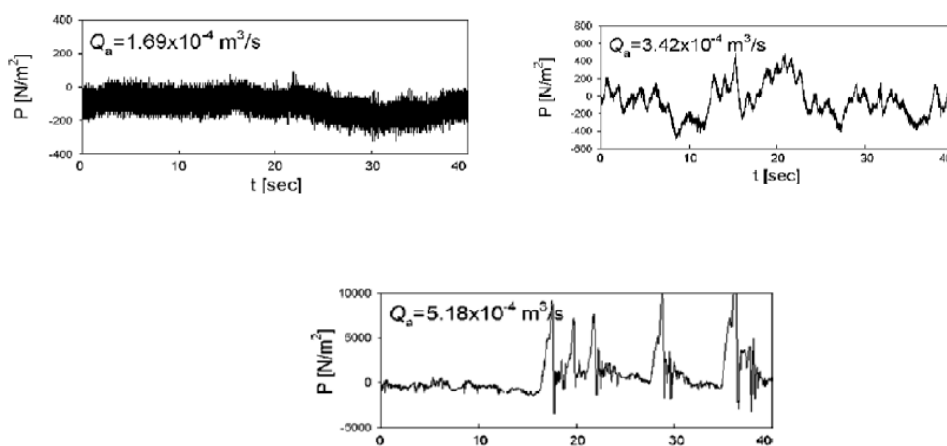
Εικόνα 2.18. Αρχική L-Valve

Κατά τον αρχικό σχεδιασμό δεν είχε λειφθεί υπόψη ο περιορισμός για το μήκος του οριζόντιου τμήματος. Το συγκεκριμένο κομμάτι της εγκατάστασης πρέπει να έχει μήκος $1,5D_L - 8D_L$. Το γεγονός αυτό σήμαινε ότι έπρεπε να περιοριστεί αυτό το μήκος ή να προστεθεί και άλλη παροχή αζώτου σε κάποιο άλλο σημείο. Η πρώτη λύση ήταν τελικά που υιοθετήθηκε. Για τον σκοπό αυτό έγινε εκ νέου ο σχεδιασμός της L-Valve σχεδιάζοντας ένα μέρος από το κατακόρυφο κομμάτι (standpipe) υπό κλίση (εικ.17).

Η θέση εισαγωγής του αζώτου ή του αέρα είναι πολύ σημαντική. Οι T.-Y. Yang και L.-P.Leu [26] στην έρευνα που έκαναν γι' αυτό το θέμα σημείωσαν κάποια πολύ ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Συγκεκριμένα τοποθέτησαν τρία σημεία εισαγωγής αέρα στο κατακόρυφο κομμάτι ($A1=0,17m$, $A2=0.27m$ και $A3=0.37m$ οι θέσεις τους). Παρατήρησαν ότι για μικρές ταχύτητες ροής του αέρα ($Q < Q_{ms}$, όπου Q_{ms} αναφέρεται στην U_{ms}) η ροή του μίγματος των στερεών σωματιδίων (G_s) παραμένει σχεδόν σταθερή και στις τρεις περιπτώσεις. Όταν όμως η Q πλησιάσει την Q_{ms} τότε οι αποκλίσεις στην G_s αρχίζουν να είναι μεγάλες. Χαρακτηριστικό της θέσης $A3$ είναι η μείωση της G_s με την αύξηση της $Q > Q_{ms}$ (εικ.19). Τέλος παρατήρησαν ότι με την αύξηση της ροής του αέρα αυξανόταν όλο και πιο έντονα οι διακυμάνσεις πίεσης. (εικ. 20).



Εικόνα 2.19. Σχέση μεταξύ της ροής των σωματιδίων και της ταχύτητας της ροής του αέρα σε τρία διαφορετικά σημεία.[26]



Εικόνα 2.20. Διακυμάνσεις πίεσης με την αύξηση της ροής του αέρα [26]

Εκτός από την L-Valve υπάρχουν και άλλα μη μηχανικά συστήματα για την επιστροφή των σωματιδίων στον αντιδραστήρα. Ενδεικτικά αναφέρεται ο πιο σημαντικός ανταγωνιστής της L-Valve που είναι η Loop-seal.

2.6.1.Εναλλακτική λύση -Loop-Seal

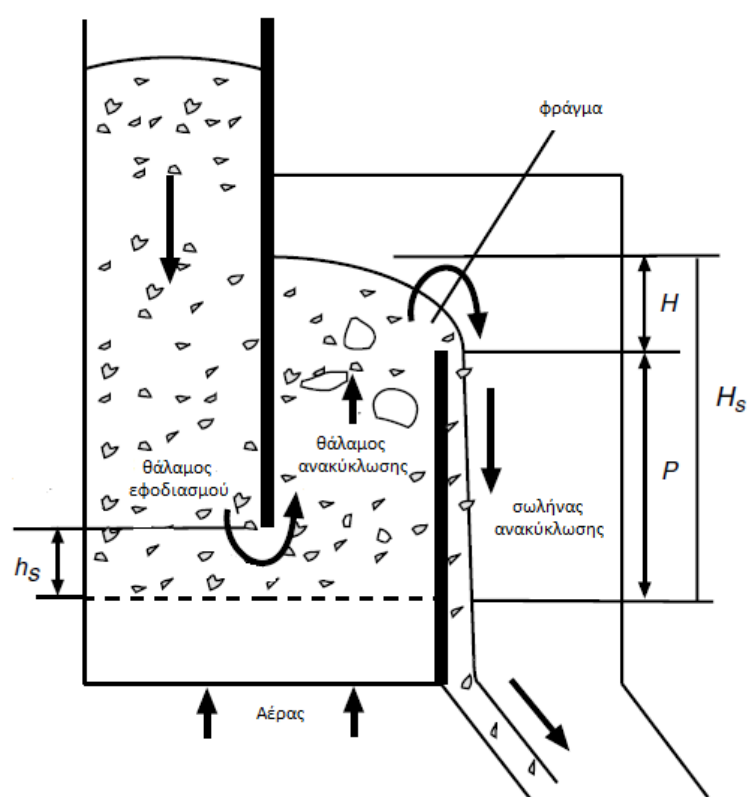
Η loop seal ανήκει στην κατηγορία των μη μηχανικών συστημάτων και χρησιμοποιείται ευρέως σε εγκαταστάσεις ρευστοποιημένης κλίνης με ανακυκλοφορία [10],[27],[28]. Ο σκοπός της λειτουργία της είναι ακριβώς ο ίδιος με αυτόν της L-Valve, η επιστροφή δηλαδή του αδρανούς υλικού και των άκαυστων σωματιδίων στον αντιδραστήρα.

Η loop-seal (εικόνα 21) αποτελείται από δύο θαλάμους, τον θάλαμο εφοδιασμού (supply chamber) και τον θάλαμο ανακύκλωσης (recycle chamber) που διαχωρίζονται με ένα χώρισμα στο πάνω μέρος. Ο θάλαμος εφοδιασμού ενώνεται με το downcomer και έτσι εισέρχονται τα σωματίδια στην loop-seal. Τα σωματίδια στην συνέχεια συσσωρεύονται στο κάτω μέρος του. Σε περίπτωση που είχαμε κάποιο υγρό αυτό θα συνέχιζε στον θάλαμο ανακύκλωσης και από εκεί στον αντιδραστήρα, αλλά με τα στερεά σωματίδια δεν συμβαίνει το ίδιο. Συγκεκριμένα παρατηρείται μια

συσσώρευση τους στο κάτω μέρος του θαλάμου εφοδιασμού που οφείλεται στην τριβή, τόσο μεταξύ των σωματιδίων και του συστήματος όσο και των εσωτερικών δυνάμεων μεταξύ των σωματιδίων. Οι δυνάμεις αυτές εξαρτώνται από το σχήμα και από το μέγεθος των σωματιδίων. Ο συντελεστής τριβής μεταξύ των σωματιδίων σχετίζεται με την γωνία εναπόθεσης τους. (repose angle, α).

Με την εισαγωγή αέρα από το κάτω μέρος της βαλβίδας, οι εσωτερικές δυνάμεις τριβής αρχίζουν να μειώνονται. Με την αύξηση της ταχύτητας του αέρα αυτές οι δυνάμεις εκμηδενίζονται επιτρέποντας την ροή των σωματιδίων προς τον θάλαμο ανακύκλωσης.

Από εκεί τα σωματίδια μέσω της ρευστοποίησης που υφίστανται αρχίζουν να αιωρούνται. Με την αιώρηση τους ξεπερνούν σε ύψος το φράγμα που υπάρχει (weir) και μέσω της βαρύτητας οδηγούνται απευθείας στον αντιδραστήρα.



Εικόνα 2.21 . Loop-Seal [10]

2.6.2 Σύγκριση L-Valve – Loop-Seal

Οι διαφορές [29] που υπάρχουν μεταξύ των δύο αυτών συστημάτων έχουν να κάνουν κυρίως με την συμβατότητα τους με τα διάφορα υλικά καθώς και την οικονομικότητά τους. Η L-Valve είναι γενικά πιο απλή κατασκευή από την Loop-seal και έτσι το κόστος της είναι σαφώς πιο χαμηλό. Παρολαυτά παρατηρείται μια σαφώς ανωτερότητα της Loop-seal όσον αφορά την συμβατότητα τους με τα διάφορα σωματίδια. Συγκεκριμένα η Loop-seal δεν αντιμετωπίζει καμία δυσκολία με τα σωματίδια της κατηγορίας Geldart B (χρησιμοποιούμενα υλικά στην πειραματική εγκατάσταση) ενώ η L-Valve αντιμετωπίζει μικρή. Με την κατηγορία Geldart C, η

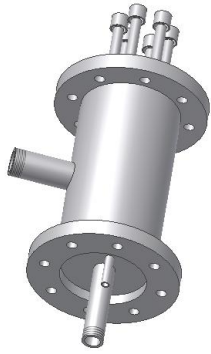
Loop-seal δεν μπορεί να δουλέψει σε αντίθεση με την L-valve που μπορεί με δυσκολίες. Με την κατηγορία A η Loop-seal δουλεύει χωρίς προβλήματα ενώ η L-Valve αντιμετωπίζει δυσκολίες. Τέλος μια άλλη διαφορά είναι ότι η loop-seal συνήθως προτιμάται σε λέβητες και αεριοποιητές CFB ενώ L-Valve σε αντιδραστήρες CFB. Συνοπτικά φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 2.1 . Σύγκριση Loop-seal με L-Valve

	Loop-seal	L-Valve
Οικονομικότητα	Πιο ακριβή	Πιο οικονομική
Geldart A	Συμβατή	Συμβατή με δυσκολίες
Geldart B	Συμβατή (πολύ καλά)	Συμβατή
Geldart C	Μη συμβατή	Συμβατή με δυσκολίες
Geldart D	Μη συμβατή	Μη συμβατή

2.7 Διασκορπιστής

Ο διασκορπιστής έχει το σχήμα που φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα (εικ.22). Οι διαστάσεις του φαίνονται παρακάτω (εικ. 23) Η λειτουργία του είναι να εισάγει τον προθερμασμένο αέρα στον αντιδραστήρα. Η είσοδος του αέρα γίνεται από την παράπλευρη επιφάνεια, όπου έχει διαμορφωθεί ειδική εξοχή. Στην συνέχεια οδηγείται προς τα πάνω και εισάγεται στον αντιδραστήρα μέσω των ειδικών διαμορφώσεων που έχουν γίνει. Αξίζει να αναφερθεί η γεωμετρία αυτών των διαμορφώσεων καθώς ο αέρας εξέρχεται από αυτά από το κάτω μέρος της πάνω κεφαλής (εικ. 24α). Ο λόγος που έγινε αυτό είναι για να αποφευχθούν τυχόν μπουκώματα σε αυτές τις εισόδους του αέρα από άκαυστα των χημικών αντιδράσεων που θα κάτσουν στο κάτω μέρος του αντιδραστήρα. Επίσης, ο συγκεκριμένος σχεδιασμός μειώνει το φαινόμενο της φθοράς (attrition) των σωματιδίων του αδρανούς υλικού. Στο κάτω μέρος του διασκορπιστή υπάρχουν υποδοχές για την είσοδο οργάνων μέτρησης θερμοκρασίας και πίεσης (εικ 24β). Επίσης υπάρχει ένας κεντρικός σωλήνας 30mm για την εξαγωγή της τέφρας. Γι'αυτό το λόγο έχει εξωτερικό σπείρωμα 1inch για την τοποθέτηση χειροβάνας.

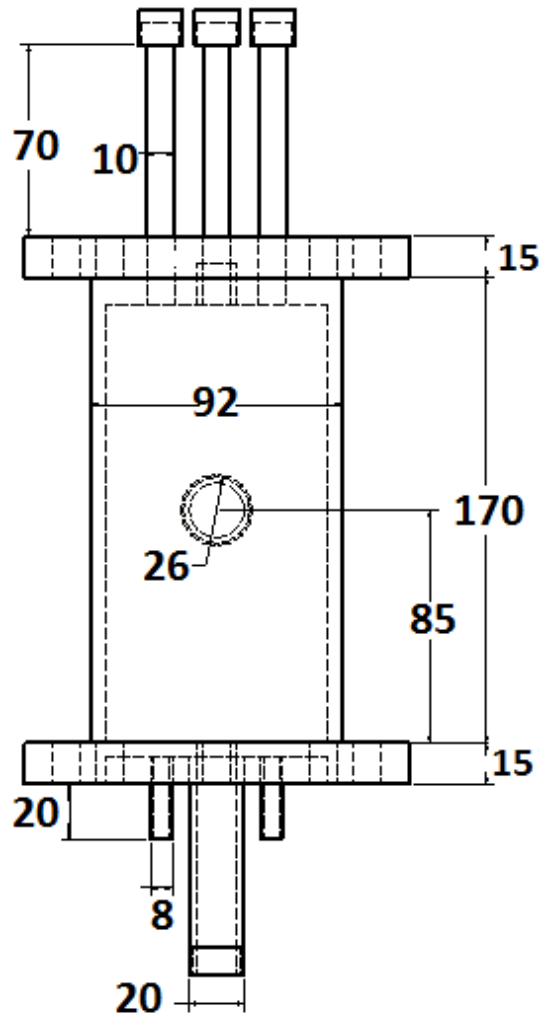


(α)

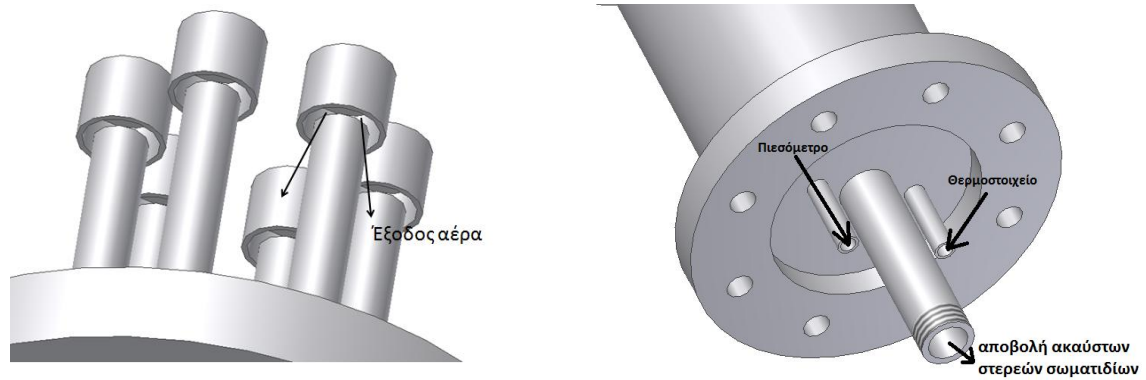


(β)

Εικόνα 2.22. Διασκορπιστής (α)μόνος του και (β)συνδεδεμένος στην εγκατάσταση



Εικόνα 2.23. Διαστάσεις διασκορπιστή



Εικόνα 2.24. Διασκορπιστής (α)έξοδος αέρα από το πάνω μέρος (β) κάτω μέρος

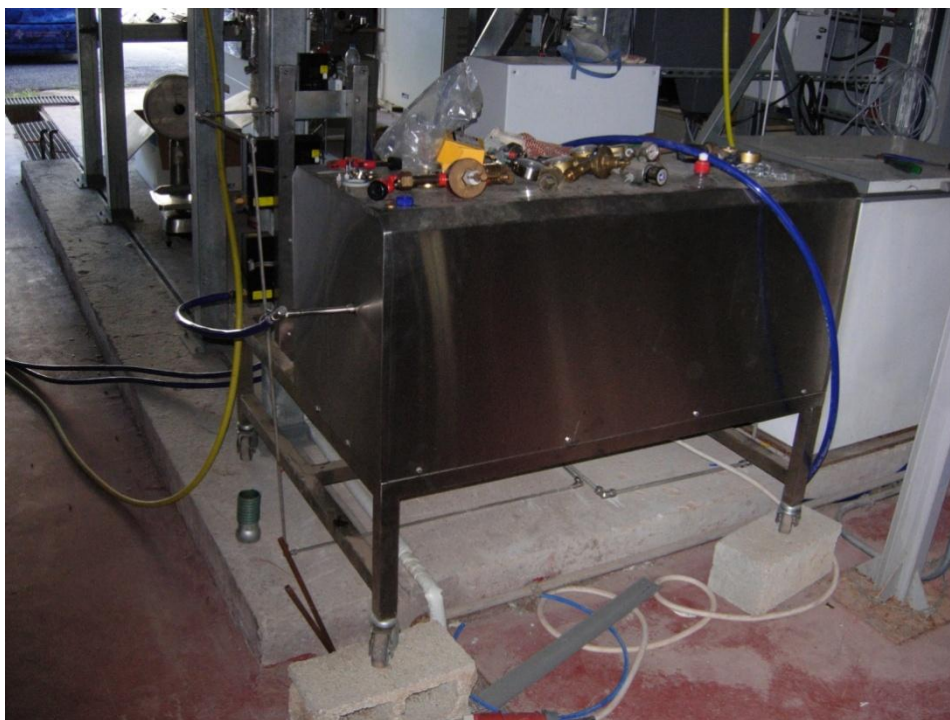
2.8 Προθερμαντήρας αέρα

Ο προθερμαντήρας (εικ.26) χρησιμεύει στην θέρμανση του αέρα προτού αυτός εισέλθει στον αντιδραστήρα. Η λειτουργία του είναι απλή. Προμηθεύεται αέρα από τον συμπιεστή και με την βοήθεια του ηλεκτρικού ρεύματος (ηλεκτρικές αντιστάσεις) προθερμαίνει τον αέρα στην επιθυμητή θερμοκρασία (300-400 °C). Ο έλεγχος για την θερμοκρασία γίνεται από έναν πίνακα ελέγχου (εικ. 25). Ακολούθως ο θερμός αέρας πλέον, μέσω κατάλληλων σωληνώσεων που αντέχουν στις υψηλές θερμοκρασίες εισέρχεται στο διασκορπιστή από το στόμιο του αέρα. Η προθέρμανση του αέρα στην αεριοποίηση είναι πολύ σημαντική. Η αύξηση της θερμικής απόδοσης του αντιδραστήρα [15] , η καλύτερη και ταχύτερη διεργασία της αεριοποίησης [30] αποτελούν αναμφισβήτητα τους πιο χαρακτηριστικούς λόγους για τον σκοπό αυτό.



Εικόνα 2.25 . Πίνακας ελέγχου προθερμαντήρα

Οι C.Lucas και D. Szewczyk [14] στην ερευνά τους για την σημασία της προθέρμανσης του αέρα κατά την αεριοποίηση κατέληξαν πως ο αέρας σε υψηλή θερμοκρασία παρέχει επιπρόσθετη ενέργεια στην διαδικασία της αεριοποίησης που βελτιώνει την θερμική αποσύνθεση των στερεών σωματιδίων. Επίσης, βελτιώνει την θερμική ισχύ του αέριου προϊόντος και σημειώνει αποτελεσματική μείωση της πίεσης, της αιθάλης και των εξανθρακωμάτων.



Εικόνα 2.26. Προθερμαντήρας αέρα

2.9 Συμπιεστής

Ο συμπιεστής (εικ.27) είναι απαραίτητος σε ένα πείραμα ρευστοποίησης καθώς είναι αυτός που τροφοδοτεί με αέρα ολόκληρο το σύστημα. Η σύνδεση του με την πειραματική εγκατάσταση, στην προκειμένη περίπτωση τον προθερμαντήρα, γίνεται με κοινό λάστιχο. Βρίσκεται σε εξωτερικό χώρο έτσι ώστε να υπάρχει προστασία από τυχόν πρόβλημα. Παρέχει ένα εύρος πιέσεων από ατμοσφαιρική μέχρι 6 bar. Ο αέρας στέλνεται από το συμπιεστή προς την ρευστοποιημένη κλίνη με πίεση περίπου 2,5 bar, όπου εν συνεχεία πέφτει στο 1,6bar (κατά την είσοδό του στον διασκορπιστή). Η πτώση πίεσης οφείλεται στην λειτουργία των παροχόμετρων που στην έξοδο τους δίνουν ατμοσφαιρική πίεση και στην διαφορετική διατομή των σωληνώσεων.



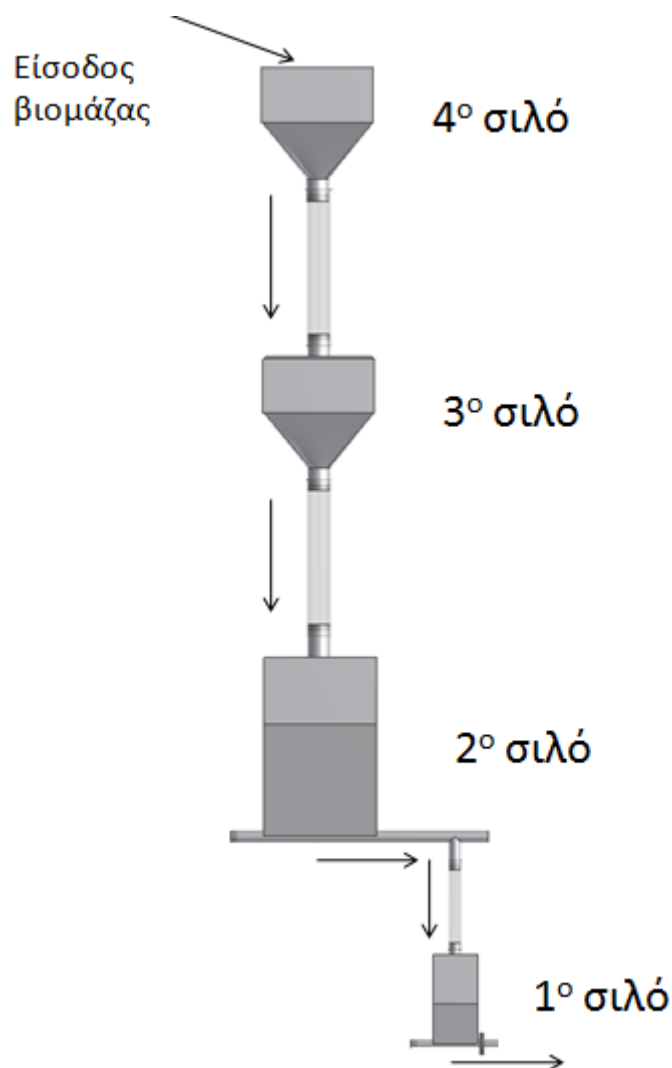
Εικόνα 2.27. Συμπιεστής αέρα

2.10 Σιλό

Τα σιλό (εικ.29) είναι υπεύθυνα για την τροφοδοσία του αντιδραστήρα με την καύσιμη ύλη. Βρίσκονται δίπλα στον αντιδραστήρα και έχουν κωνικό σχήμα. Υπάρχουν 4 σιλό, το ένα πάνω από το άλλο. Οι χειριστές της εγκατάστασης τοποθετούν χειρονακτικά την καύσιμη ύλη στο 4ο σιλό το οποίο βρίσκεται στο 3^ο επίπεδο (ύψος περίπου 5,5 μέτρα). Λόγω βαρύτητας η καύσιμη ύλη αρχίζει να πέφτει από το 4^ο στο 3^ο σιλό που βρίσκεται ακριβώς από κάτω, ομοίως από το 3^ο στο 2^ο. Το 2^ο όμως με το 1^ο δεν βρίσκονται σε κατακόρυφη θέση αλλά έχουν μια απόσταση μεταξύ τους. Για την μετακίνηση της καύσιμης ύλης χρησιμοποιήθηκε ηλεκτροκινητήρας με εξωτερικό κοχλία (εικ.28). Στο 2^ο σιλό έχει δημιουργηθεί κατάλληλη εισδοχή για την υποδοχή αυτού του κοχλία στο κάτω μέρος του. Έτσι η καύσιμη ύλη εισάγεται στο πρώτο σιλό. Από εκεί πάλι με την βοήθεια ηλεκτροκινητήρα και με έναν εσωτερικό κοχλία εισάγεται στον αντιδραστήρα στο κάτω μέρος του(εικ. 4). Τα σιλό τροφοδοτούνται με 10kg/h, αλλά η μέγιστη παροχή τους είναι 20Kg/h. Η χωρητικότητα των σιλό είναι $30 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$, $110 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$, $90 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ και $90 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ για το 1^ο, 2^ο, 3^ο και 4^ο αντίστοιχα.



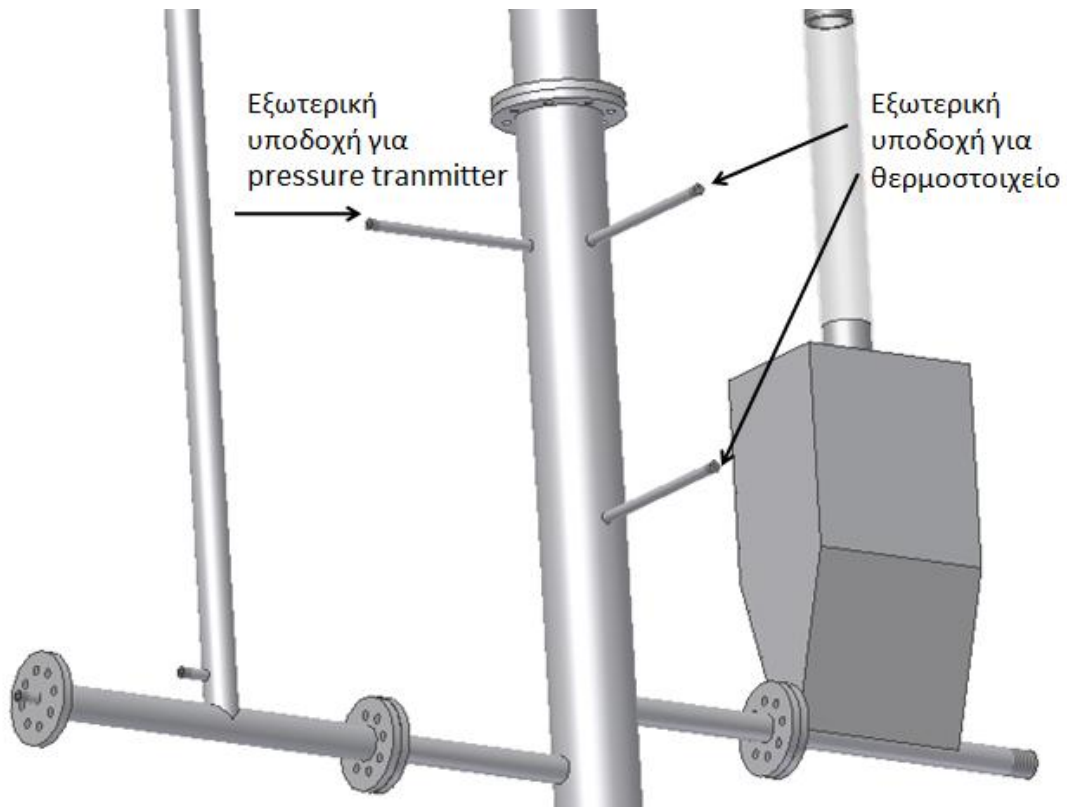
Εικόνα 2.28. Ηλεκτροκινητήρας



Εικόνα 2.29. Διάταξη των σιλό και κατεύθυνση της βιομάζας προς τον αντιδραστήρα.

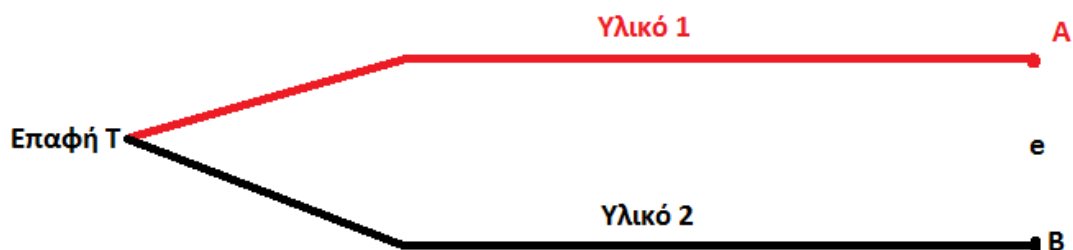
2.11 Θερμοστοιγεία (thermocouple)

Για την μέτρηση της θερμοκρασίας σε διάφορα σημεία του αντιδραστήρα τοποθετήθηκαν σε ακροφύσια θερμοστοιγεία (εικ. 30). Τα θερμοστοιγεία που χρησιμοποιήσαμε είναι τύπου K. Τα συγκεκριμένα θερμοστοιγεία έχουν την δυνατότητα να μετράνε θερμοκρασίες από $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ μέχρι $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$ [31], γεγονός που είναι απαραίτητο για την πειραματική διάταξη καθώς η θερμοκρασία θα ξεπεράσει τους $900\text{ }^{\circ}\text{C}$. Η ευαισθησία αυτών των οργάνων είναι $41\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$. Τα συγκεκριμένα θερμοστοιγεία είναι ευρύτατα διαδεδομένα στο εμπόριο και έτσι αποτελούν μια σχετικά οικονομική λύση. Η τοποθέτηση τους είναι τέτοια ώστε το μπροστινό τους τμήμα (σημείο ένωσης των δύο υλικών) να εφάπτεται στη εσωτερική επιφάνεια του αντιδραστήρα. Τα δυο υλικά που το απαρτίζουν είναι κράμα Νικελίου-Χρωμίου (Ni-Cr) και κράμα Νικελίου(Ni).



Εικόνα 2.30. Εξωτερική υποδοχή για θερμοστοιχεία

Η βασική αρχή λειτουργίας τους [32],[33] βασίζεται στη θεωρία του T.J. Seebeck κατά την οποία όταν δύο μεταλλικοί αγωγοί, διαφορετικών υλικών, έλθουν σε επαφή, τότε στα άκρα τους αναπτύσσεται ηλεκτρεγερτική δύναμη (εικ.31). Η ηλεκτρεγερτική αυτή δύναμη, οφείλει την ύπαρξή της σε καθαρά θερμικά αίτια. Το μέγεθος της εξαρτάται από το είδος των υλικών των δύο μεταλλικών αγωγών και από την θερμοκρασία που επικρατεί στο σημείο επαφής τους. Η τάση αυτή που αναπτύσσεται μετράται με βολτόμετρο και έτσι μέσω κατάλληλης προσαρμογής προκύπτει η θερμοκρασία εντός του αντιδραστήρα.



Εικόνα 2.31. Αρχή λειτουργίας θερμοστοιχείου

2.12 Μετρητές πίεσης (pressure transducers)

Για την μέτρηση της πίεσης σε διάφορα μέρη της εγκατάστασης χρησιμοποιήσαμε τους μετρητές πίεσης (εικ. 32). Για τον σκοπό αυτό διαμορφώθηκαν ειδικές εξωτερικές εισδοχές (εικ. 30). Τα πιεσόμετρα ενώθηκαν με τις εισδοχές αυτές μέσω ανοξείδωτων σωλήνων οι οποίοι κόπηκαν και προσαρμόστηκαν ανάλογα. Τα πιεσόμετρα είναι τοποθετημένα πάνω σε ειδικά διαμορφωμένες βάσεις και έχουν στερεωθεί πάνω στη στήριξη της κατασκευής. Η απόσταση των σωληνώσεων επιλέχθηκε να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη έτσι ώστε να αποφευχθούν μεγαλύτερες απώλειες. Τα πιεσόμετρα αγοράστηκαν από την εταιρεία WIKA και είναι το μοντέλο S-10, μετρούν από 0 έως 10 bar και στέλνουν ρεύμα από 0 έως 20 mA.



Εικόνα 2.32. Μετρητής πίεσης

Η αρχή λειτουργίας των μετρητών αυτών βασίζεται στην κίνηση του διαφράγματος που υπάρχει στο εσωτερικό του μετρητή πίεσης. Η πίεση που επικρατεί στο εσωτερικό του οργάνου μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα με την βοήθεια του διαφράγματος, το οποίο δρα σαν αισθητήριο όργανο. Το ηλεκτρικό σήμα που παράγεται αλλάζει ανάλογα με την πίεση που επικρατεί και έτσι μπορεί να υπολογιστεί.

2.13 Παροχόμετρα (Mass flow controllers-MFC)

Στην πειραματική μας εγκατάσταση χρησιμοποιήθηκαν τρία παροχόμετρα (εικ 33). Το πρώτο χρησιμοποιήθηκε για τον καθορισμό της ποσότητας εισόδου αζώτου στην L-Valve, το δεύτερο για τον καθορισμό της ποσότητας εισόδου του αέρα στον αντιδραστήρα μέσω του διασκορπιστή και το τρίτο για το άζωτο στο πρώτο σιλό. Τα ροόμετρα που χρησιμοποιήθηκαν αγοράστηκαν από την εταιρεία Aalborg. Συγκεκριμένα το πρώτο ήταν το GFC67 το οποίο μετράει αέρα (0-500 lt/min), το δεύτερο είναι το GFC47 το οποίο μετράει αέριο άζωτο (0-100 lt/min) και το τρίτο είναι το GFC67 το οποίο μετράει αέριο άζωτο (0-300 lt/min).

Η αρχή λειτουργίας αυτών των οργάνων [34] βασίζεται στην μηχανική των ρευστών. Συγκεκριμένα το ρευστό εισέρχεται από την μια είσοδο του ροόμετρου και ακολούθως ένα μικρό μέρος του διαχωρίζεται και πηγαίνει μέσα από ένα αγωγό (δευτερεύων αγωγός) με αισθητήρα ανοξειδώτου χάλυβα. Το υπόλοιπο ρευστό συνεχίζει την ροή του μέσα από τον κύριο αγωγό. Η γεωμετρία του κάθε αγωγού είναι έτσι σχεδιασμένη έτσι ώστε να διασφαλίσει την στρωτή ροή σε αυτούς. Μέσα από διάφορες φυσικές διεργασίες στο δευτερεύων αγωγό μπορεί να υπολογιστεί η ταχύτητα του. Σύμφωνα με τις αρχές της ρευστομηχανικής σε κάθε αγωγό οι ταχύτητες της ροής είναι ανάλογες μεταξύ τους. Έτσι η ταχύτητα που θα μετρηθεί μέσα στον δευτερεύων αγωγό είναι ανάλογη με αυτήν του κυρίως αγωγού, οπότε μπορεί να υπολογιστεί και η ταχύτητα του αερίου.



Εικόνα 2.33. Παροχόμετρα (Mass flow controllers-MFC)

2.14 Ηλεκτρικές Αντιστάσεις

Η ανάγκη υψηλής θερμοκρασίας για την επίτευξη της κατάλληλης αεριοποίησης οδήγησε στην τοποθέτηση ηλεκτρικών αντιστάσεων κατά μήκος του αντιδραστήρα και του κυκλώνα. Για τον σκοπό αυτό τοποθετήθηκαν δύο ειδών αντιστάσεις

1. Η αντιστάσεις μέσω ακτινοβολίας (kanthal) και
2. Αντιστάσεις μέσω επαφής (Horst)

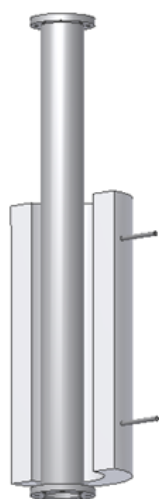
2.14.1 Αντιστάσεις Kanthal

Οι συγκεκριμένες αντιστάσεις τοποθετήθηκαν κατά μήκος του αντιδραστήρα. Είναι κυλινδρικές ώστε να μπορούν να προσαρμοστούν πάνω του. Τροφοδοτούνται με ρεύμα από τον πίνακα ελέγχου και ελέγχονται απευθείας από αυτόν. Οι αντιστάσεις θερμαίνονται και μέσω της ακτινοβολίας που παράγουν θερμαίνουν τον αντιδραστήρα στην κατάλληλη θερμοκρασία. Είναι φτιαγμένες από κεραμικό υλικό και μπορούν να λειτουργήσουν έως 1150 °C. Για τον καλύτερο έλεγχο τους χωρίστηκαν σε ζώνες θέρμανσης. Η τοποθέτηση τους στον αντιδραστήρα φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 2.34. Ηλεκτρικές αντιστάσεις Kanthal κατά μήκος του αντιδραστήρα.

Οι αντιστάσεις έχουν στηριχτεί με μεταλλικό έλασμα πάνω στο αντιδραστήρα και έχουν τοποθετηθεί κομμάτια από κεραμοβάμβακα στο κάτω μέρος τους έτσι ώστε να υπάρχει επιπλέον στήριξη. Στο πάνω και κάτω μέρος των αντιστάσεων υπάρχουν κυλινδρικές βάσεις έτσι ώστε να αποτρέπονται τυχόν διαρροές θερμότητας και ακτινοβολίας. Η πορεία της κατασκευής φαίνεται στην συνέχεια.



(α)
Εισαγωγή
πρώτου μέρους
αντίστασης



(β)
Εισαγωγή
δευτέρου μέρους
αντίστασης



(γ)
Εισαγωγή καπάκι
μόνωσης



(δ)
Εισαγωγή καπάκι
μόνωσης



(ε)
Στήριξη της αντίστασης
στο αντιδραστήρα



(ζ)
Στήριξη με
κεραμοβάμβακα πάνω
στην φλάτζα

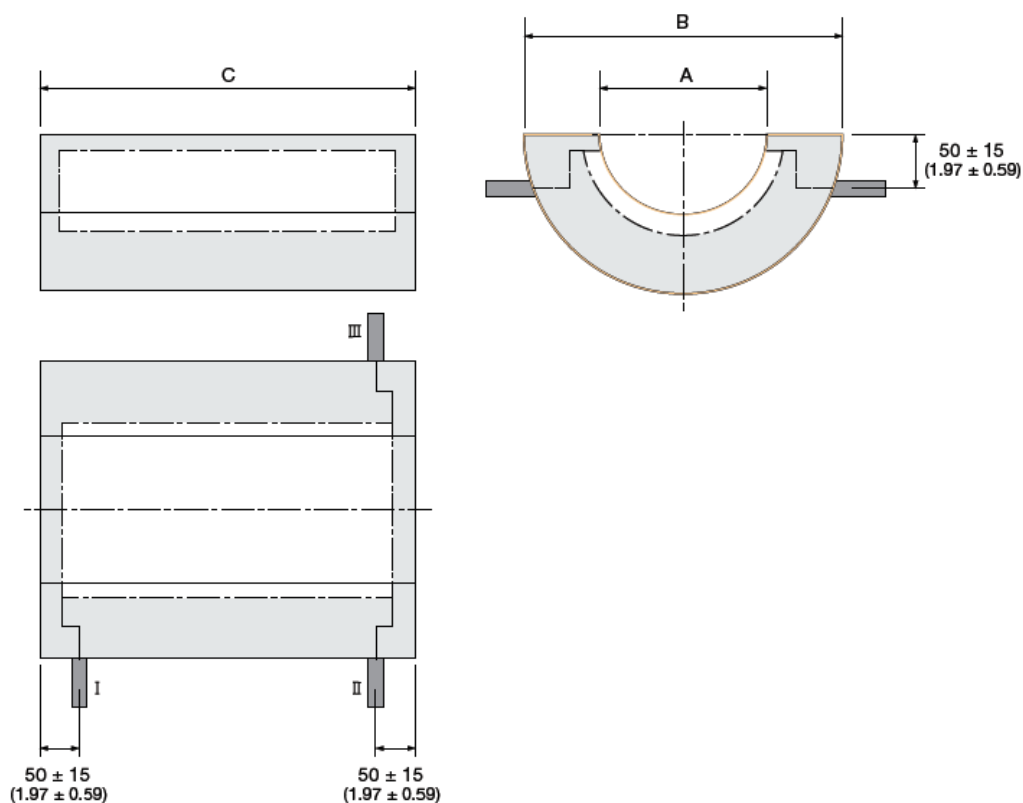
Εικόνα 2.35. Διαδικασία εγκατάστασης των αντιστάσεων στον αντιδραστήρα.

Στην εγκατάσταση χρησιμοποιήθηκαν 3 είδη αντιστάσεων Kanthal. Ανήκουν στην κατηγορία Fibrothal [35]. Τα τρία αυτά είδη φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 2.2. Τύπος αντιστάσεων

Όνομασία	Κωδικός	A(mm)	B(mm)	C(mm)	Ισχύς (W)	Volt (V)
HAS 150/250/57,5	DF830280	150	300	250	950	57.5
HAS 150/300/57,5	DF830284	150	300	300	1150	57.5
HAS 150/500/115	DF830288	150	300	500	1900	115

Όπου A, B, C φαίνονται στο παρακάτω σχήμα



Εικόνα 2.36. Διαστάσεις των αντιστάσεων [35].

2.14.2 Αντιστάσεις Horst

Οι συγκεκριμένες αντιστάσεις επιλέχθηκαν λόγω της ανάγκης για θέρμανση σε σημεία τα οποία είτε είχαν πολύ μικρή επιφάνεια (διασκορπιστής) είτε είχαν διαφορετικό του κυλινδρικού σχήματος (κυκλώνας και σωλήνας ένωσης με κυκλώνα). Αγοράστηκαν από την εταιρεία Horst. Η ισχύς που παρέχουν φαίνεται

στον παρακάτω πίνακα. Τροφοδοτούνται με ρεύμα από τον πίνακα ελέγχου και ελέγχονται από αυτόν. Για την προσκόλληση τους στον αντιδραστήρα χρησιμοποιήθηκε ειδική ταινία. Η τοποθέτηση τους στα διάφορα σημεία φαίνεται στις ακόλουθες εικόνες.

Η ισχύς που παράγουν είναι

Πίνακας 2.3 Ισχύς αντιστάσεων

Τμήμα	Ισχύς (W)
Διασκορπιστής	500
Μικρό τμήμα αντιδραστήρα	500
Πλάγιο τμήμα ένωσης με κυκλώνα	340
Κυκλώνας	1500

Τοποθέτηση αντιστάσεων στον διασκορπιστή



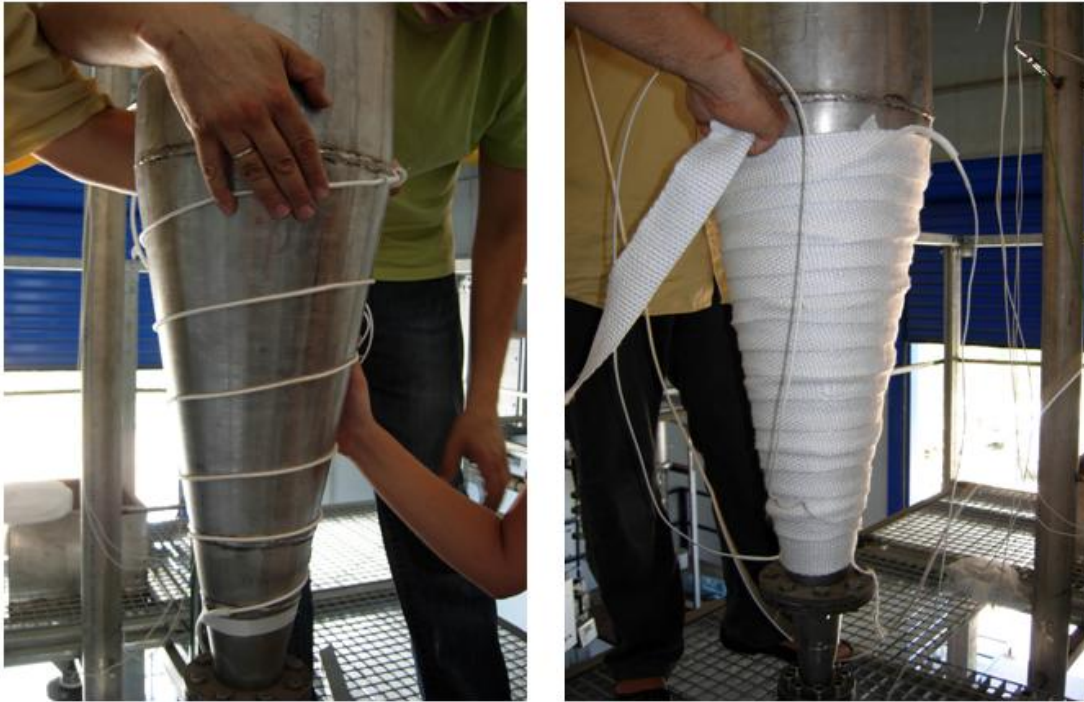
Εικόνα 2.37. Τοποθέτηση αντιστάσεων στον διασκορπιστή

Τοποθέτηση αντιστάσεων στον σωλήνα ένωσης με τον κυκλώνα



Εικόνα 2.38. Τοποθέτηση αντιστάσεων στον σωλήνα ένωσης με τον κυκλώνα

Τοποθέτηση στον κυκλώνα



Εικόνα 2.39. Τοποθέτηση αντιστάσεων στον κυκλώνα

Συνολική τοποθέτηση των αντιστάσεων στον αντιδραστήρα.

Το σύνολο των αντιστάσεων φαίνεται στην εικόνα 40 πάνω στον αντιδραστήρα. Γίνεται περιγραφή τόσο του μήκους κάθε αντίστασης όσο και της ζώνης που αυτή ανήκει. Η συνδεσμολογία έγινε με τέτοιο τρόπο (σύνδεση σε σειρά) έτσι ώστε η συνολική τάση τροφοδοσίας της κάθε ζώνης να είναι στα 220V.

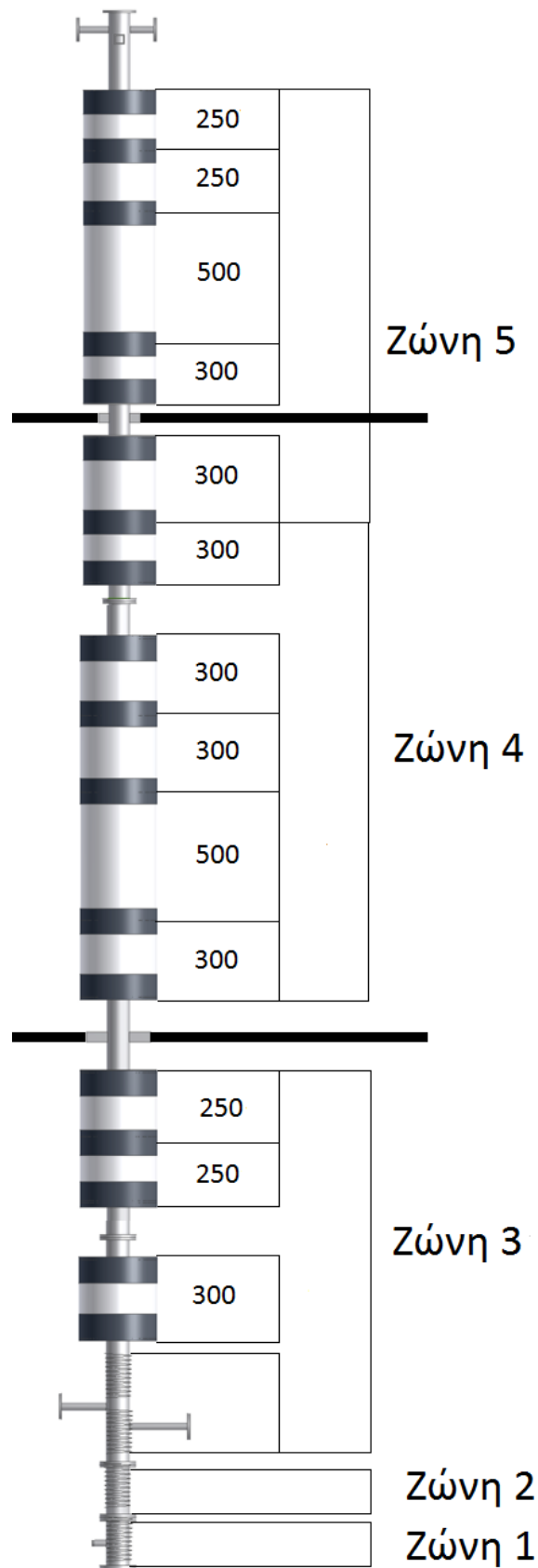
2.15 Μονώσεις

Για την μόνωση της εγκατάστασης χρησιμοποιήθηκαν δύο ειδών μονώσεις

1. Κεραμοβάμβακας
2. Πετροβάμβακας

2.15.1 Κεραμοβάμβακας.

Ο κεραμοβάμβακας τοποθετήθηκε ως πρώτο στρώμα μόνωσης πάνω στον αντιδραστήρα. Μέσω αυτού επιθυμείται η απορρόφηση των μεγάλων ποσοτήτων θερμότητας που εκλύονται. Ο κεραμοβάμβακας είναι κατασκευασμένος από fiberfrax πυρίμαχες κεραμικές ίνες και είναι αρκετά εύκαμπτος έτσι ώστε να μπορεί να προσαρμόζεται στην κάθε επιφάνεια. Η θερμοκρασία λειτουργίας του είναι στους 1250 °C και η θερμοκρασία τήξης στους 1760 °C. Η τοποθέτηση του κεραμοβάμβακα έγινε σε όλη την έκταση της εγκατάστασης αλλά και σε σημεία εκτός αυτής όπου



Εικόνα 2.40. Σύνολο των αντιστάσεων στον αντιδραστήρα.

υπάρχουν υψηλές εκπομπές θερμότητας (π.χ. έξοδος προθερμαντήρα). Η τοποθέτηση φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 2.41. Μόνωση Κεραμοβάμβακα

2.15.2 Πετροβάμβακας

Η τοποθέτηση του έγινε ως επιπλέον στρώση πάνω από τον κεραμοβάμβακα. Ο πετροβάμβακας είναι κατασκευασμένος από ίνες οξειδίου πυριτίου – αλουμινίου και έχει θερμομονωτικές και ηχομονωτικές ιδιότητες. Αντέχει σε θερμοκρασίες [36] μέχρι 1000°C. Σε θερμοκρασίες πάνω από αυτή δεν φλέγεται αλλά αρχίζει να λιώνει. Η τοποθέτηση του έγινε ακριβώς στα ίδια σημεία με τον κεραμοβάμβακα. Η τοποθέτηση του φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



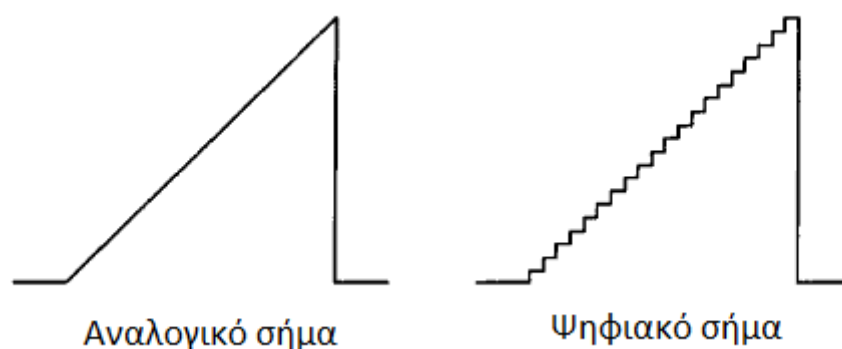
Εικόνα 2.42. Μόνωση πετροβάμβακα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. Καταγραφή Δεδομένων (Data acquisition)

3.1 Εισαγωγή

Η ανάγκη άμεσης παρακολούθησης και καταγραφής της εξέλιξης ενός πειράματος αποτέλεσε την αιτία της δημιουργίας προγραμμάτων καταγραφής δεδομένων (data acquisition systems). Τα συστήματα καταγραφής δεδομένων αποτελούν προγράμματα ή διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για να συλλέξουν κάποια δεδομένα ή να επεξεργαστούν κάποιο φαινόμενο [37]. Η χρήση των υπολογιστών αυτοματοποιεί αυτή την διαδικασία ,επιτυγχάνοντας μεγαλύτερη λήψη δεδομένων σε λιγότερο χρόνο και με λιγότερα σφάλματα. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να επεξεργαστούν και να αποθηκευτούν δίνοντας την δυνατότητα στον χειριστή να τα μελετήσει, να τα επεξεργαστεί καθώς και να τα δει μέσα από κάποιο γράφημα. Τα δεδομένα αρχικά συλλέγονται [38] από κάποιον μεταλλάκτη που μέσω κάποιου φυσικού φαινομένου παράγουν συνήθως ηλεκτρική τάση στις άκρες τους. Η τάση αυτή αποτελεί το αναλογικό σήμα που στέλνει ο μεταλλάκτης. Το σήμα αυτό είναι συνεχές. Τις περισσότερες φορές περιέχει ορισμένους ηλεκτρικούς θορύβους οι οποίοι είναι ανεπιθύμητοι. Μέσω κατάλληλων φίλτρων το σήμα καθαρίζεται και έτσι προσεγγίζει καλύτερα την πραγματική τιμή του φυσικού φαινομένου. Οι υπολογιστές αυτό που αντιλαμβάνονται είναι το ψηφιακό σήμα δηλαδή διακεκριμένες τιμές που απέχουν κάποιο χρονικό διάστημα (συνήθως σταθερό) η μία με την άλλη. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται οι αναλογοψηφιακοί μετατροπείς οι οποίοι μετατρέπουν το σήμα από αναλογικό σε ψηφιακό (από την συνεχή στην διακριτοποιημένη μορφή). Αν ο χρόνος που γίνεται η δειγματοληψία πάρει πολύ μικρές τιμές τότε θα υπάρχει μια πολύ καλή προσέγγιση του φυσικού φαινομένου (εικ. 1)



Εικόνα 3.1. Μετατροπή αναλογικού σήματος σε ψηφιακό

Βέβαια τα συστήματα αυτά λειτουργούν και αντίστροφα. Πολλές φορές υπάρχει η ανάγκη ελέγχου κάποιας τιμής. Για τον σκοπό αυτό το πρόγραμμα μπορεί να εκτελεί την ακριβώς αντίστροφη διαδικασία. Συγκεκριμένα στέλνει το επιθυμητό

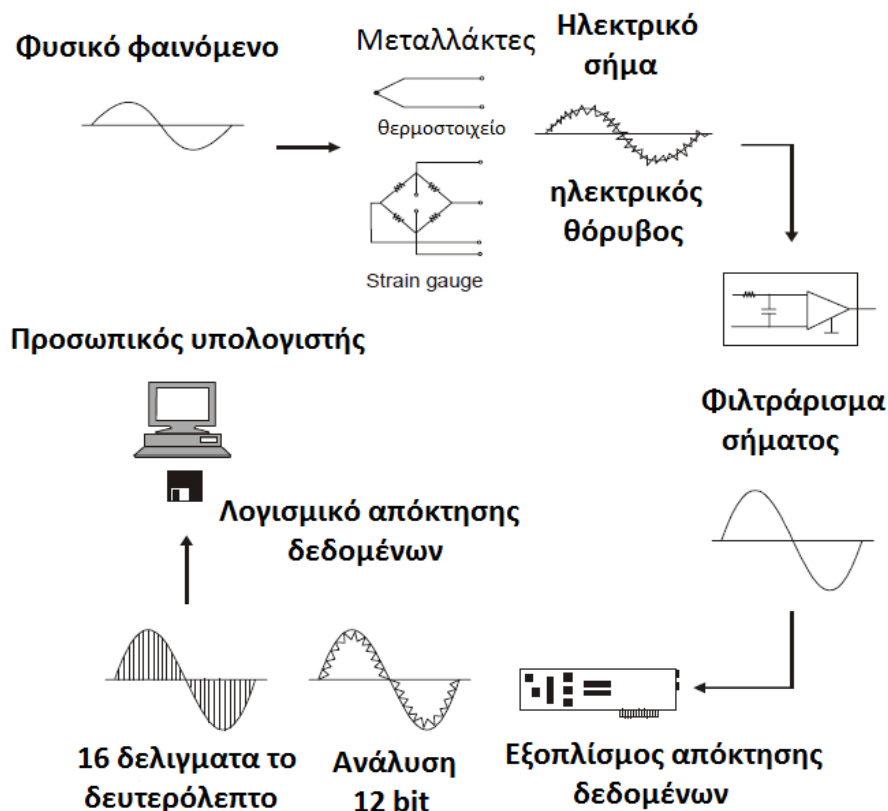
ψηφιακό σήμα και μέσω ενός ψηφιοαναλογικού μετατροπέα (DAC- Digital-Analog Converter) μετατρέπεται σε αναλογικό σήμα. Το σήμα αυτό μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί από τα όργανα ελέγχου και να επιβληθεί η όποια μεταβολή.

Το σύστημα καταγραφής δεδομένων μπορεί να χωριστεί στις εξής ενότητες

1. Αισθητήρες που μετατρέπουν τις φυσικές παραμέτρους σε ηλεκτρικό σήμα
2. Εξοπλισμό (hardware) για την μετατροπή του ηλεκτρικού σήματος σε ψηφιακό
3. Υπολογιστικό πρόγραμμα (software) που αντλεί το σήμα από τον αναλογοψηφιακό μετατροπέα και το επεξεργάζεται ανάλογα με τις ανάγκες του πειράματος.

Τα υπολογιστικά προγράμματα που έχουν δημιουργηθεί περιλαμβάνουν ένα πολύ φιλικό προς τον χρήστη περιβάλλον και μέσω έτοιμων υπορουτίνων εκτελούνται οι εντολές που είναι απαραίτητες. Οι γλώσσες προγραμματισμού αυτών των προγραμμάτων είναι συνήθως οι BASIC, C, Fortran, Java, Lisp και Pascal [39].

Ένα συνοπτικό σχήμα στην καταγραφή των δεδομένων αποτελεί το ακόλουθο (εικ. 2)



Εικόνα 3.2. Συνοπτική παρουσίαση του συστήματος καταγραφής των δεδομένων.

3.2 Δεδομένα που καταγράφονται και ελέγχονται στην πειραματική εγκατάσταση.

Στην πειραματική εγκατάσταση τα φυσικά μεγέθη που καταγράφονται είναι τα ακόλουθα:

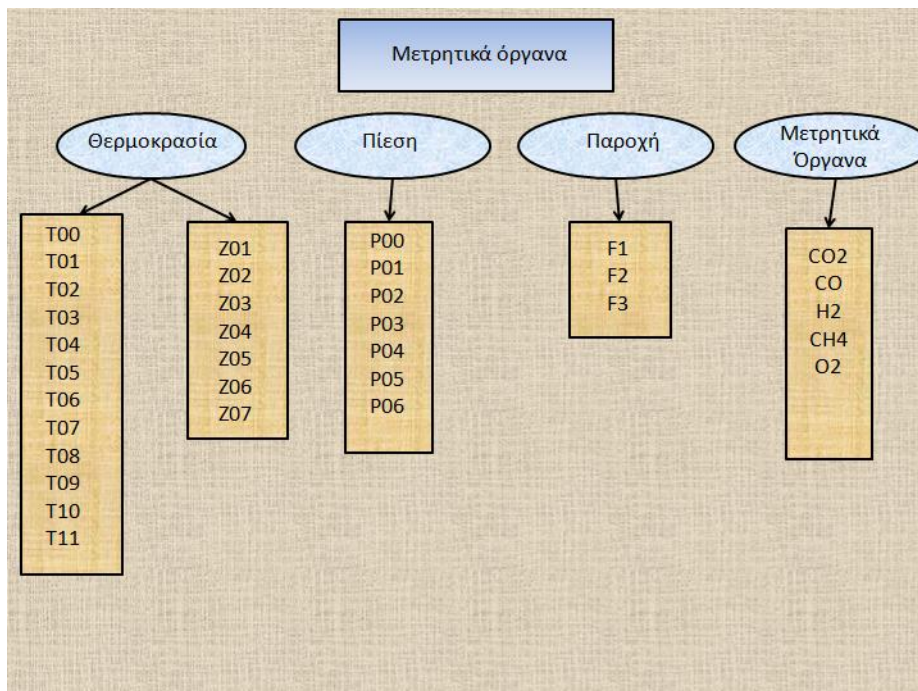
- 1) Θερμοκρασία. Η θερμοκρασία όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο καταγράφεται μέσω των θερμοστοιχείων τύπου K. Τα συγκεκριμένα παράγουν μία τάση στις άκρες τους και έτσι στέλνουν τον αναλογικό σήμα. Στην εγκατάσταση υπάρχουν 12 θερμοστοιχεία που μετρούν την θερμοκρασία στο εσωτερικό της, τα οποία είναι τοποθετημένα σε συγκεκριμένα σημεία έτσι ώστε να γίνεται καλύτερος έλεγχος. Τα θερμοστοιχεία αυτά ονομάστηκαν για την εύκολη αναγνώριση τους από τους χειριστές T00 , T01 ... T11. Εκτός από αυτά υπάρχουν και άλλα 7 θερμοστοιχεία τα οποία μετρούν την θερμοκρασία των αντιστάσεων (εξωτερικά της πειραματικής μονάδας). Έχουν χωριστεί 7 ζώνες και την μέτρηση καθεμιάς έχει αναλάβει ένα θερμοστοιχείο. Για την εύκολη αναγνώριση τους ονομάστηκαν Z01, Z02, ... Z07.
- 2) Πίεση. Η πίεση μετράται μέσω των πιεσόμετρων Wika τα οποία παράγουν τάση στις άκρες τους. Στη εγκατάσταση τοποθετήθηκαν 7 πιεσόμετρα τα οποία μετρούν την πίεση στο εσωτερικό του αντιδραστήρα. Για την εύκολη αναγνώριση τους ονομάστηκαν P00, P01, ..., P06
- 3) Παροχή. Η παροχή μετράται μέσα από τα 3 παροχόμετρα της Aalborg (αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο). Για την εύκολη αναγνώριση τους ονομάστηκαν F1, F2 και F3. Το F1 μετράει την παροχή του αζώτου προς της L-Valve, το F2 μετράει την παροχή του αζώτου στα σιλό και το F3 μετράει την παροχή του αέρα στον διασκορπιστή.
- 4) Μετρητικά όργανα παραγόμενου αερίου. Το παραγόμενο αέριο αναλύεται και μετράται από τα μετρητικά όργανα της εταιρείας ABB. Τα αέρια που μετρούνται είναι CO, CO₂, CH₄, O₂ και H₂

Όπως αναφέρθηκε εκτός από την καταγραφή των φυσικών μεγεθών είναι απαραίτητος και ο έλεγχος ορισμένων. Συγκεκριμένα στην εγκατάσταση γίνεται έλεγχος στον/στην

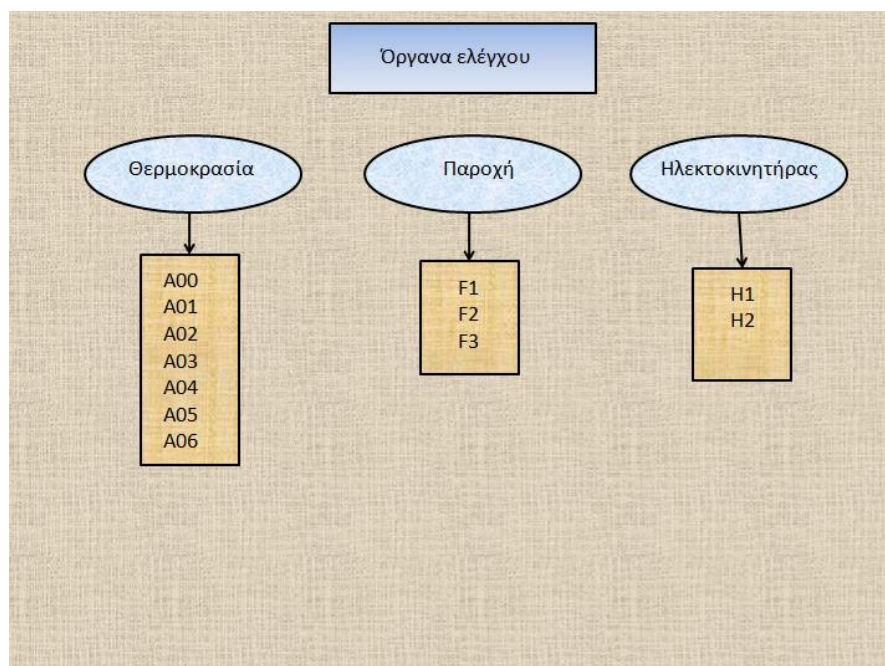
- 1) Παροχή. Τα παροχόμετρα είναι τα ίδια με αυτά που ορίστηκαν προηγουμένως F1 , F2 , F3. Το F1 ελέγχει την παροχή του αζώτου στην L-Valve, το F2 ελέγχει την παροχή του αζώτου στα σιλό και το F3 ελέγχει την παροχή του αέρα στον διασκορπιστή.
- 2) Θερμοκρασία. Η θερμοκρασία του αντιδραστήρα ελέγχεται και καθορίζεται μέσα από τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας στις ηλεκτρικές αντιστάσεις. Υπάρχουν 7 ζώνες αντιστάσεων και συνεπώς 7 σημεία ελέγχου. Για την εύκολη χρήση τους δόθηκαν οι ονομασίες A00, A01, ... A06

- 3) Ηλεκτροκινητήρα. Οι στροφές του ηλεκτροκινητήρα ρυθμίζονται από τον πίνακα ελέγχου. Ο πάνω ηλεκτροκινητήρας ονομάστηκε H1 ενώ ο κάτω H2

Συνοπτικά καταγράφονται στον ακόλουθο πίνακα όλα τα μετρητικά όργανα (εικ.3) καθώς και αυτά που ελέγχουν την εγκατάσταση (εικ.4).



Εικόνα 3.3. Μετρητικά όργανα



Εικόνα 3.4. Όργανα ελέγχου

3.3 Συνδεσμολογία με τον πίνακα ελέγχου

Όλα τα ηλεκτρικά καλώδια της εγκατάστασης που ξεκινάν από τα μετρητικά όργανα ή τα όργανα ελέγχου καταλήγουν στο πίνακα. Ο αριθμός τους όπως γίνεται αντιληπτό είναι αρκετά μεγάλος με συνέπεια να προκαλείται πρόβλημα στη μετακίνηση των χειριστών στους χώρους του πειράματος. Γι'αυτό το λόγο δημιουργήθηκε ειδική μεταλλική κατασκευή για την οδήγηση τους μέσω συγκεκριμένης οδού στον πίνακα ελέγχου. Τα καλώδια που είναι υπεύθυνα για την ρύθμιση της θερμοκρασίας στις ηλεκτρικές αντιστάσεις λόγω της μεγάλης ισχύς που απαιτείται εισέρχονται στον πίνακα ελέγχου από το πλάγιο μέρος (εικ. 5) μέσω τριφασικών πριζών. Όλα τα υπόλοιπα εισέρχονται από το κάτω μέρος του πίνακα.

Πρόοψη



Πλάγια όψη



Εικόνα 3.5. Πίνακας ελέγχου (πλάγια όψη)

3.4 Πίνακας Ελέγχου

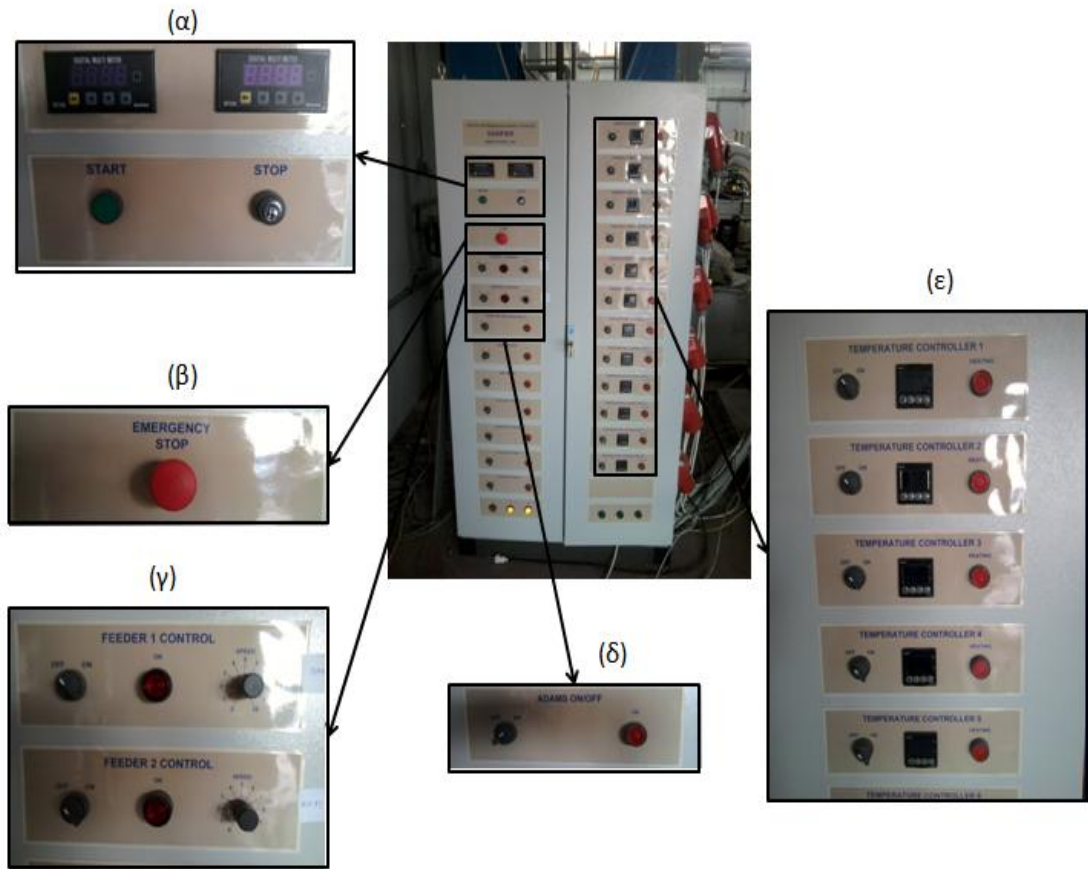
Ο πίνακας ελέγχου (εικ.6) αποτελεί το μέρος στο οποίο καταλήγουν όλα τα ηλεκτρικά καλώδια καθώς και το κέντρο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας για όλα τα μετρητικά όργανα της εγκατάστασης. Η δημιουργία του είναι αποκλειστικά ηλεκτρολογική υπόθεση.



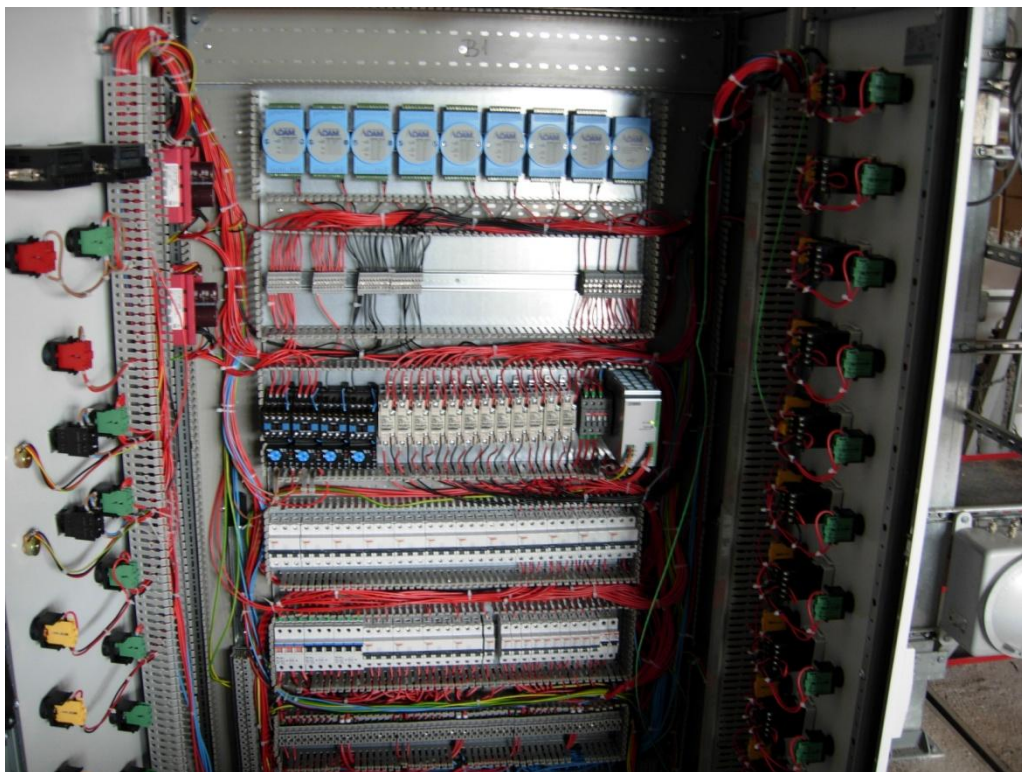
Εικόνα 3.6. Πίνακας ελέγχου

Στο εξωτερικό και μπροστινό μέρος του πίνακα υπάρχουν κυρίως οι διακόπτες για την έναρξη και κλείσιμο των διαφόρων λειτουργιών καθώς και διάφορα μετρητικά όργανα και όργανα ελέγχου. Συγκεκριμένα στο πάνω αριστερό μέρος του πίνακα υπάρχει ο διακόπτης για την έναρξη της λειτουργίας του (εικ.7α) και ακριβώς από κάτω ο διακόπτης για το άμεσο κλείσιμο όλων των διεργασιών στον πίνακα σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης (εικ.7β). Από κάτω βρίσκονται οι διακόπτες έναρξης διάφορων λειτουργιών όπως των ηλεκτροκινητήρων (εικ.7γ) και των αναλογοψηφιακών και ψηφιοαναλογικών μετατροπέων (adams) (εικ.7δ). Στο δεξιό μέρος είναι οι διακόπτες για την ρύθμιση της θερμοκρασίας των αντιστάσεων (εικ.7ε) αλλά και η ένδειξη της μέτρησης της από τα θερμοστοιχεία των ζωνών.

Στο εσωτερικό του πίνακα είναι συνδεδεμένα όλοι οι αναλογοψηφιακοί και ψηφιοαναλογικοί μετατροπείς (Adams) (εικ. 8) καθώς και ο απαραίτητος ηλεκτρολογικός εξοπλισμός για την τροφοδοσία τους με ρεύμα.



Εικόνα 3.7. Πίνακας ελέγχου και ανάλυση των λειτουργιών του



Εικόνα 3.8. Εσωτερικό του πίνακα ελέγχου.

3.5 Αναλογοψηφιακοί - Ψηφιοαναλογικοί μετατροπείς

Στην πειραματική εγκατάσταση χρησιμοποιήθηκαν μετατροπείς αναλογικού σήματος σε ψηφιακό και το αντίστροφο. Συγκεκριμένα τα εξής μοντέλα

- ✓ ADAM 4024 ως ψηφιοαναλογικοί μετατροπείς (2 συσκευές)
- ✓ ADAM 4019+ ως αναλογοψηφιακοί (7 συσκευές)
- ✓ ADAM 4520 μετατροπέας από RS-485 σε RS-232 (θα επεξηγηθούν στην συνέχεια)

Να τονιστεί ότι στον πίνακα υπάρχουν και άλλοι μετατροπείς οι οποίοι όμως λειτουργούν ως κλειστό κύκλωμα και δείχνουν κατευθείαν στις οθόνες τους τις ενδείξεις (εικ.7ε) (ηλεκτρικές αντιστάσεις, ηλεκτροκινητήρες). Τα adams αναφέρονται ξεχωριστά καθώς θα είναι εκείνα που θα μετατρέπουν το σήμα που θα στέλνεται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή και θα ελέγχεται από τους χειριστές μέσω προγράμματος.

3.5.1 Μοντέλο ADAM-4024

Το ADAM 4024 (εικ. 9) αποτελεί [40] τον μετατροπέα από ψηφιακά σε αναλογικά σήματα. Έχει 4 κανάλια και μπορεί να επικοινωνήσει με τον υπολογιστή μέσω του πρωτοτύπου RS-485 και παρέχει κωδικοποίηση τόσο σε ASCII(βλέπε παράρτημα Β) όσο και σε Modbus RTU (βλέπε παράρτημα Α), που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα. Παρέχει την δυνατότητα εξόδου τόσο σε ρεύμα (Α) όσο και σε τάση (V). Τροφοδοτείται με τάση 24 V, αλλά λειτουργεί σε ένα εύρος από 10 έως 30V.. Σε αυτό το adam (νούμερο 1) συνδέονται τα καλώδια που πηγαίνουν στα παροχόμετρα. Συγκεκριμένα στο κανάλι 0 συνδέεται το παροχόμετρο F1, στο κανάλι 1 το F2 και στο κανάλι 2 το F3. Για καλύτερη εποπτεία της συνδεσμολογίας ακολουθεί ο πίνακας 1. Μέσω αυτού του adam θα δίνεται στο κάθε παροχόμετρο η απαραίτητη τιμή για τον καθορισμό της παροχής των αερίων.



Εικόνα 3.9. Adam 4024

Πίνακας 3.1. Συνδεσμολογία του Adam No1

Είδος	Αριθμός ADAM	Όνομα Παροχόμετρου	Κανάλι σύνδεσης
Παροχή	1	F1	0
		F2	1
		F3	2

3.5.2 Μοντέλο Adam 4019+

Το ADAM 4019+ (εικ. 10) [41] αποτελεί τον μετατροπέα από αναλογικά σε ψηφιακά σήματα. Έχει 8 κανάλια και μπορεί να επικοινωνήσει με τον υπολογιστή μέσω του πρωτοτύπου RS-485 και παρέχει κωδικοποίηση τόσο σε ASCII όσο και σε Modbus RTU. Έχει την δυνατότητα εισόδου σε V, mV και mA. Μπορεί επίσης να συνδεθεί απευθείας με θερμοστοιχεία τύπου K (αλλά και τους ακόλουθους τύπους J, T, E, R , S, B). Δέχεται ρεύμα από 4 έως 20 mA και μπορεί να μετρήσει θερμοκρασίες από 0 έως 1370 °C. Η τάση τροφοδοσίας του είναι τα 24 V αλλά μπορεί να λειτουργήσει στο εύρος 10-30V. Όπως προαναφέρθηκε υπάρχουν 7 adams 4019+ συνδεδεμένα στον πίνακα ελέγχου. Η συνδεσμολογία τους έχει ως εξής:

Στο ADAM νούμερο 3 συνδέονται όλα τα καλώδια που έρχονται από τα πιεσόμετρα. Η συνδεσμολογία φαίνεται στον πίνακα 2.



Εικόνα 3.10. Adam 4019+

Πίνακας 3.2. Συνδεσμολογία του Adam No3.

Είδος	Αριθμός ADAM	Όνομα Πιεσόμετρου	Κανάλι σύνδεσης
Πίεση	3	P00	0
		P01	1
		P02	2
		P03	3
		P04	4
		P05	5
		P06	6

Στο Adam με το νούμερο 4 συνδέονται τα καλώδια που εισέρχονται από τα παροχόμετρα. Στο κανάλι 0 συνδέεται το παροχόμετρο F1, στο κανάλι 2 συνδέεται το παροχόμετρο F2 ενώ στο κανάλι 3 το παροχόμετρο F3. Για την καλύτερη εποπτεία της συνδεσμολογίας ακολουθεί ο πίνακας 3.

Πίνακας 3.3. Συνδεσμολογία του Adam No4

Είδος	Αριθμός ADAM	Όνομα Παροχόμετρου	Κανάλι σύνδεσης
Παροχή	4	F1	0
		F2	1
		F3	2

Στο Adam με το νούμερο 5 συνδέονται τα καλώδια που έρχονται από το μετρητικό όργανο (ABB) που μετράει την περιεκτικότητα του κάθε αερίου στο παραγόμενο προϊόν. Η συνδεσμολογία φαίνεται στον πίνακα 4.

Πίνακας 3.4. Συνδεσμολογία του Adam No5

Είδος	Αριθμός ADAM	Όνομα αερίου	Κανάλι σύνδεσης
Αέριο προϊόν	5	CH ₄	0
		CO	1
		CO ₂	2
		O ₂	3
		H ₂	4

Στα Adam με νούμερο 7 και 8 εισέρχονται απευθείας τα καλώδια από τα θερμοστοιχεία. Η συνδεσμολογία φαίνεται στον πίνακα 5 και 6

Πίνακας 3.5. Συνδεσμολογία του Adam No8

Είδος	Αριθμός ADAM	Όνομα Θερμοστοιχείου	Κανάλι σύνδεσης
Θερμοκρασία	8	T00	0
		T01	1
		T02	2
		T03	3
		T04	4
		T05	5
		T06	6
		T07	7

Πίνακας 3.6. Συνδεσμολογία του Adam No7

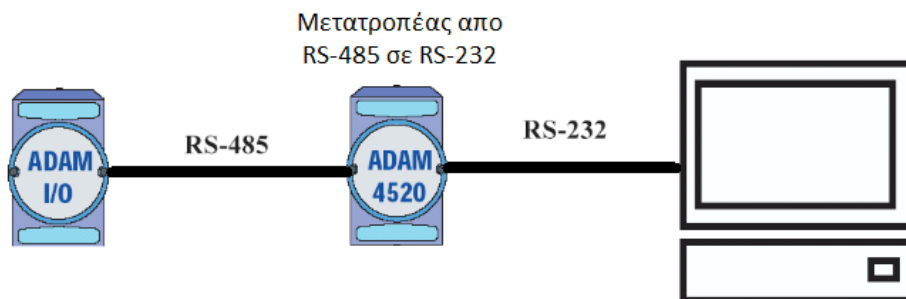
Είδος	Αριθμός ADAM	Όνομα Θερμοστοιχείου	Κανάλι σύνδεσης
Θερμοκρασία	7	T08	8
		T09	9
		T10	10
		T11	11

3.5.3 Μοντέλο Adam 4520

Το Adam 4520 (εικ.11) [42] είναι ένας μετατροπέας από RS-485 σε RS-232. Όπως προαναφέρθηκε όλα τα adam που υπάρχουν στην εγκατάσταση, χρησιμοποιούν το πρότυπο RS-485 για την επικοινωνία τους. Το συγκεκριμένο Adam έχει ως ρόλο την μετατροπή των δεδομένων από RS-485 σε RS-232 (εικ. 12) και την μετέπειτα μεταφορά των δεδομένων στον Η/Υ μέσω του καλωδίου RS-232(εικ. 13).



Εικόνα 3.11. Adam 4520



Εικόνα 3.12. Συνοπτική περιγραφή μετατροπής από RS-485 σε RS-232.



Εικόνα 3.13. Θύρες RS-232

3.5.3.1 Πρότυπο επικοινωνίας RS-485

Το πρότυπο RS-485 είναι ένα πρότυπο επικοινωνίας σε δυαδική μορφή για την σειριακή επικοινωνία μεταξύ των συσκευών και του υπολογιστή [43]. Αποτελεί αναβάθμιση του σειριακού πρωτόκολλου RS-232. Ενώ το RS-232 επιτρέπει την σειριακή επικοινωνία μεταξύ δύο συσκευών το RS-485 επιτρέπει την επικοινωνία με περισσότερες. Το RS-485 δεν αποτελεί κάποιο πρωτόκολλο επικοινωνιών. Το μόνο που καθορίζει είναι τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αποστολέα και του λήπτη [44] όπως τάσεις των σημάτων που θα χρησιμοποιηθούν, τι σύνδεσμοι θα υπάρχουν μεταξύ των συσκευών κ.α.. Σε αυτό το πρότυπο υπάρχει συνήθως ένας χειριστής που δίνει τις εντολές (master) και οι συσκευές που τις λαμβάνουν (slaves) [45]. Η κάθε εντολή περιλαμβάνει και την διεύθυνση της κάθε συσκευής που θα σταλεί. Μόλις η εντολή φτάσει στη συσκευή, γίνεται άμεσα η εκτέλεση της και στην συνέχεια στέλνεται η απάντηση στον χειριστή για την επιτυχία της εντολής. Το πρότυπο αυτό δεν καθορίζει την κωδικοποίηση (π.χ. ASCII) που θα γίνει αλλά μόνο την αποστολή της.

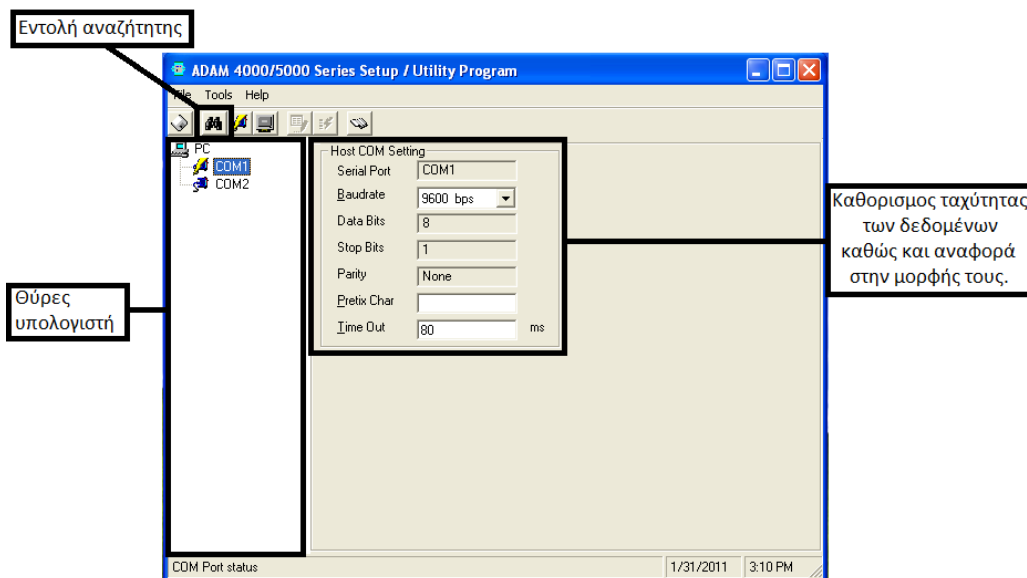
3.6 Εισαγωγή των δεδομένων στον ηλεκτρονικό υπολογιστή

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως όλα τα δεδομένα που ανταλλάσσονται με τις συσκευές εισέρχονται ή εξέρχονται από τον υπολογιστή μέσα από το καλώδιο RS-232 που ενώνεται με την ανάλογη θύρα. Λόγο του ότι οι υπολογιστές που υπήρχαν δεν είχαν την ανάλογη θύρα χρησιμοποιήθηκε ένας μετατροπέας από RS-232 σε USB.

3.6.1 Εγκατάσταση της επικοινωνίας υπολογιστή- συσκευών

Η εγκατάσταση της επικοινωνίας γίνεται με το πρόγραμμα Utility που το παρέχει η εταιρεία Advantech μαζί με την αγορά των adams. Το περιβάλλον του utility είναι αρκετά φιλικό προς τον χρήστη (εικ. 14). Κατά την έναρξη του προγράμματος γίνεται η αναζήτηση των διαφόρων συσκευών που είναι συνδεδεμένες στην κάθε θύρα του

υπολογιστή. Συγκεκριμένα με την έναρξη του προγράμματος εμφανίζεται το ακόλουθο παράθυρο



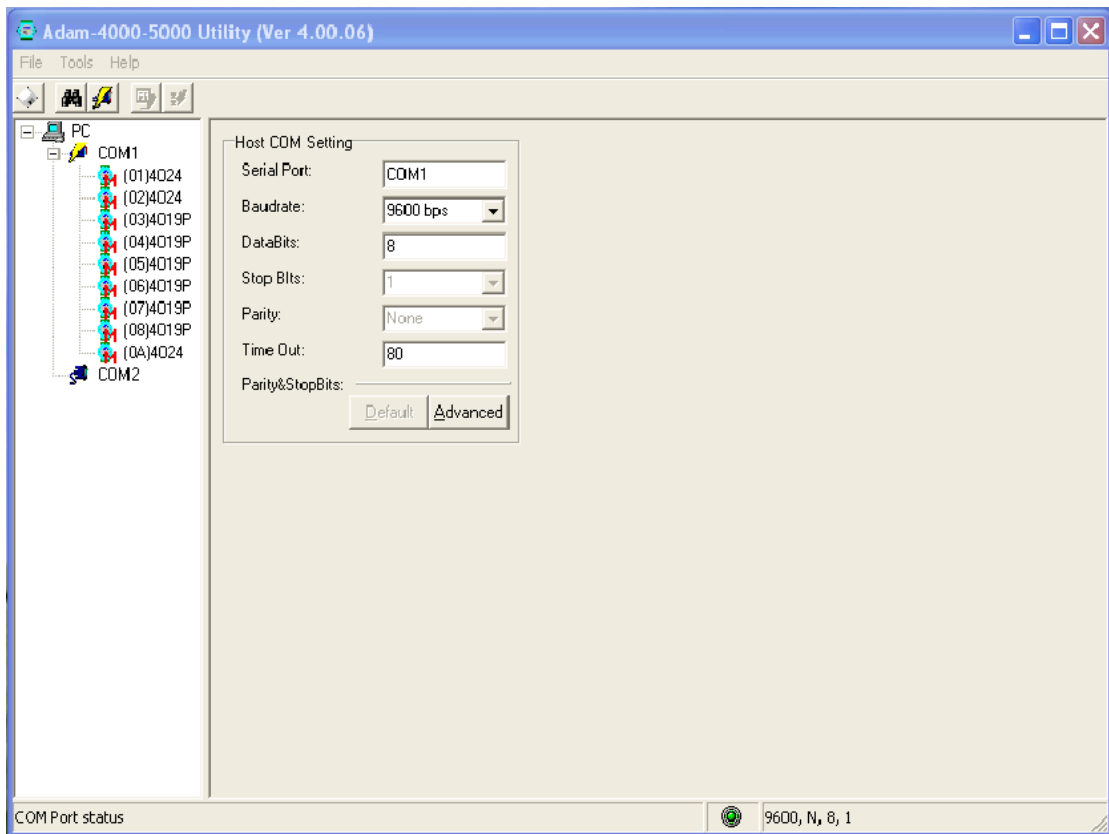
Εικόνα 3.14. Αρχικό παράθυρο στο Adam Utility

Στο αριστερό παράθυρο βλέπουμε τις θύρες του υπολογιστή. Από αυτές επιλέγουμε αυτή που έχουμε συνδέσει το καλώδιο USB και με την εντολή αναζήτησης το πρόγραμμα αρχίζει να διαβάζει τις συσκευές που είναι συνδεδεμένες (στην προκειμένη περίπτωση τα adams). Το κάθε adam έχει συγκεκριμένη διεύθυνση έτσι ώστε να ρυθμιστεί η επικοινωνία με τον χρήστη. Η διεύθυνση δίνεται αρχικά από το utility αλλά μπορεί να την αλλάξει ο χρήστης. Οι διευθύνσεις των adam είναι οι ίδιες με αυτές που έχουν αναφερθεί προηγουμένως. Στο δεξιό παράθυρο δίνεται μια περιγραφή της μορφής των δεδομένων, καθώς και η δυνατότητα να τροποποιηθεί η ταχύτητα αποστολής τους. Για την επικοινωνία των συσκευών έχει καθοριστεί η ταχύτητα 9600 bps (bits per second).

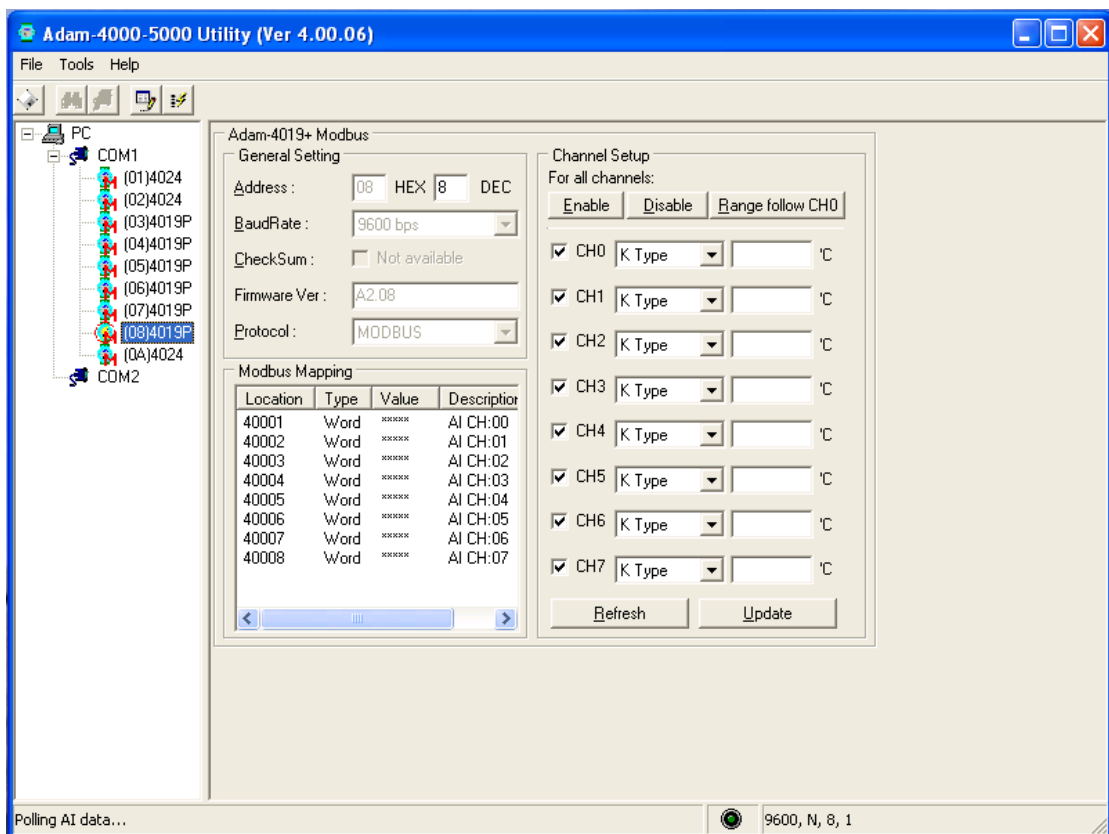
Μετά την αναζήτηση των συσκευών εμφανίζεται κάτω από την θύρα του υπολογιστή το σύνολο των adam (εικ. 15). Επιλέγοντας το κάθε ένα ξεχωριστά μπορεί ο χειριστής να διαβάσει τις ενδείξεις των οργάνων (adam 4019 +) (εικ. 16) αλλά και να τους δώσει την επιθυμητή τιμή (adam 4024) (εικ. 17).

Επιλέγοντας κάποιο από τα adam 4019+ εμφανίζεται το παράθυρο που φαίνεται στην εικόνα 16. Σε αυτό το παράθυρο ο χρήστης παρατηρεί τις ενδείξεις των οργάνων, προσαρμόζει τις μονάδες μέτρησης των μετρούμενων μεγεθών και ενεργοποιεί και να απενεργοποιεί τις εισόδους .

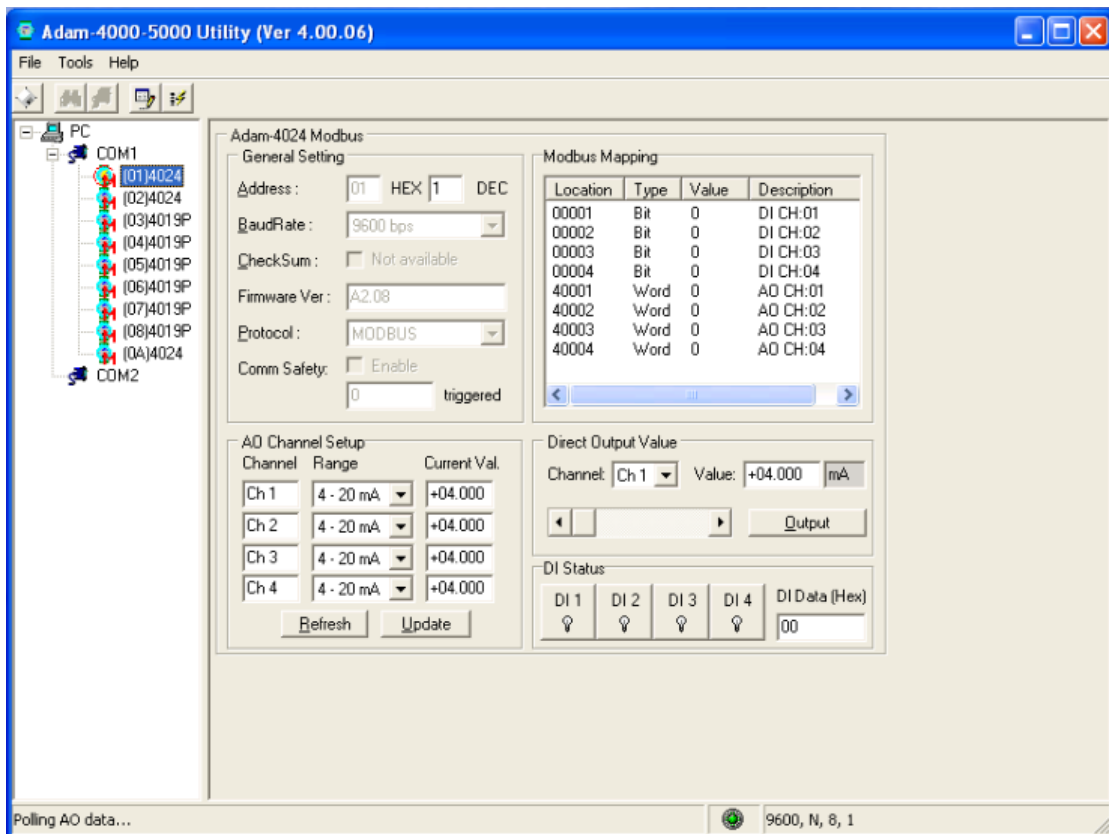
Επιλέγοντας κάποιο από τα adam 4024 ο χρήστης μπορεί να δώσει την επιθυμητή τιμή στα όργανα αλλά και να ρυθμίσει τις μονάδες μέτρησης των αποστελλόμενων δεδομένων. Παράλληλα μπορεί να ενεργοποιήσει και να απενεργοποιήσει τις εξόδους.



Εικόνα 3.15. Αρχικό παράθυρο στο Adam Utility



Εικόνα 3.16. Παράθυρο adam 4019+ στο Adam Utility



Εικόνα 3.17. Παράθυρο adam 4024 στο Adam Utility

3.7 Εισαγωγή των δεδομένων στο DasyLab 11.0

Για την συνοπτική παρακολούθηση και έλεγχο του πειράματος επιλέχθηκε το υπολογιστικό πρόγραμμα DasyLab 11.0. Το πρόγραμμα περιέχει ένα πολύ φιλικό περιβάλλον προς τον χρήστη και δεν απαιτεί ιδιαίτερες προγραμματιστικές ικανότητες για την λειτουργία του. Η περιγραφή του μπορεί να χωριστεί κατά κάποιον τρόπο σε δυο ενότητες. Η πρώτη αποτελεί την δημιουργία μιας συνδεσμολογίας που να εκτελεί τις όποιες διεργασίες είναι επιθυμητές από τον χρήστη (περιβάλλον εργασίας, worksheet) και η δεύτερη είναι η οπτική παρακολούθηση των μετρήσεων του πειράματος σε ένα περιβάλλον όπου δεν μπορεί να επέμβει ο χρήστης παρά μόνο για τον καθορισμό κάποιας τιμής σε κάποιο όργανο ή την επιβολή κάποιας διεργασίας (περιβάλλον επικοινωνίας, layout). Όλες οι επιλογές που έχει ο χρήστης στο περιβάλλον επικοινωνίας είναι αποτέλεσμα της συνδεσμολογίας που έχει γίνει στο περιβάλλον εργασίας.

3.7.1 Εισαγωγή των δεδομένων της θερμοκρασίας

3.7.1.1 Περιβάλλον εργασίας του dasyLab (Worksheet)

3.7.1.1.1 Αναλογική Είσοδος μέσω πρωτοκόλλου Modbus (Modbus Analog Input)

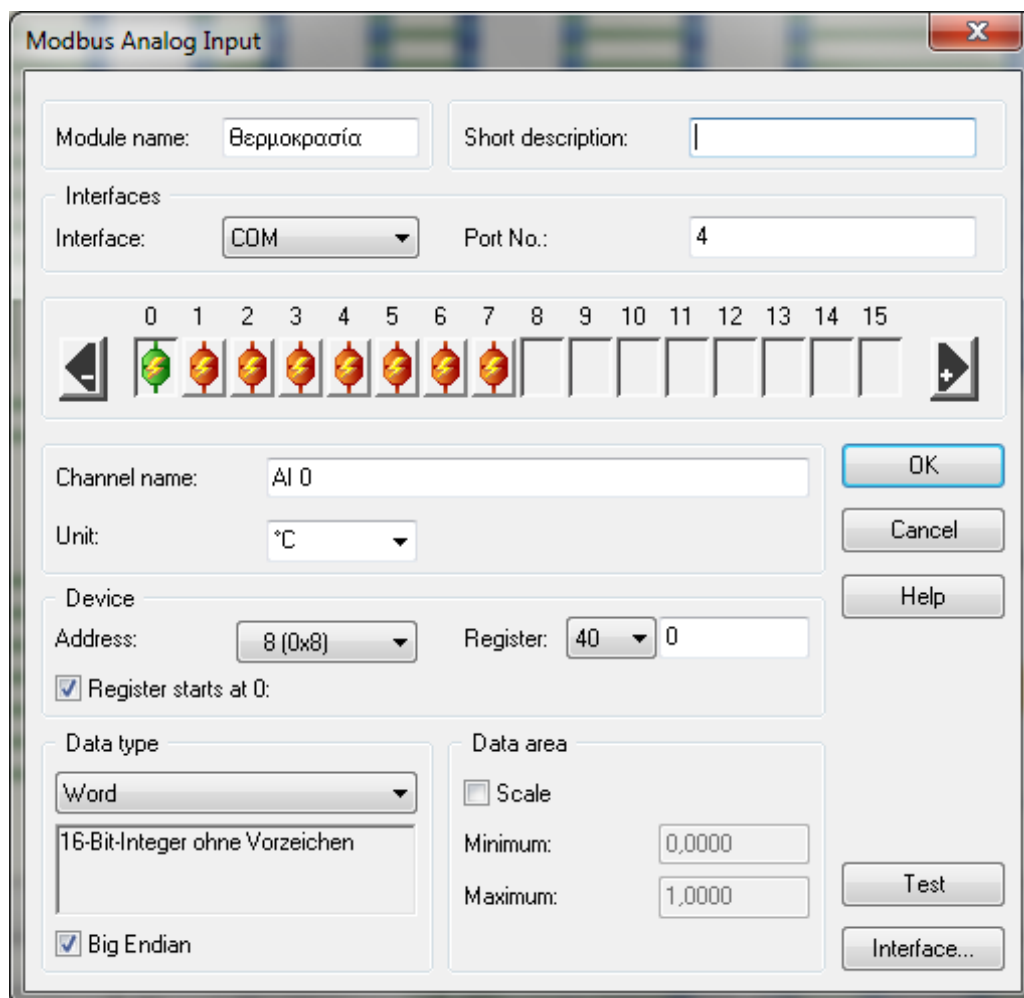
Για την εισαγωγή των δεδομένων εισάγουμε καταρχάς την ανάλογη υπορουτίνα (module) εισόδου. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επειδή η κωδικοποίηση έχει γίνει

μέσω του πρωτοκόλλου Modbus επιλέγεται το module “Modbus Analog Input” (εικ.18) που βρίσκεται στο φάκελο Inputs/Outputs.



Εικόνα 3.18. Modbus Analog Input (αναλογική είσοδος)

Ανοίγοντας αυτό το module πρέπει να γίνουν οι κατάλληλες τροποποιήσεις έτσι ώστε να επιτευχθεί η επικοινωνία με τα adams. Το εσωτερικό του module φαίνεται στην εικόνα 19.

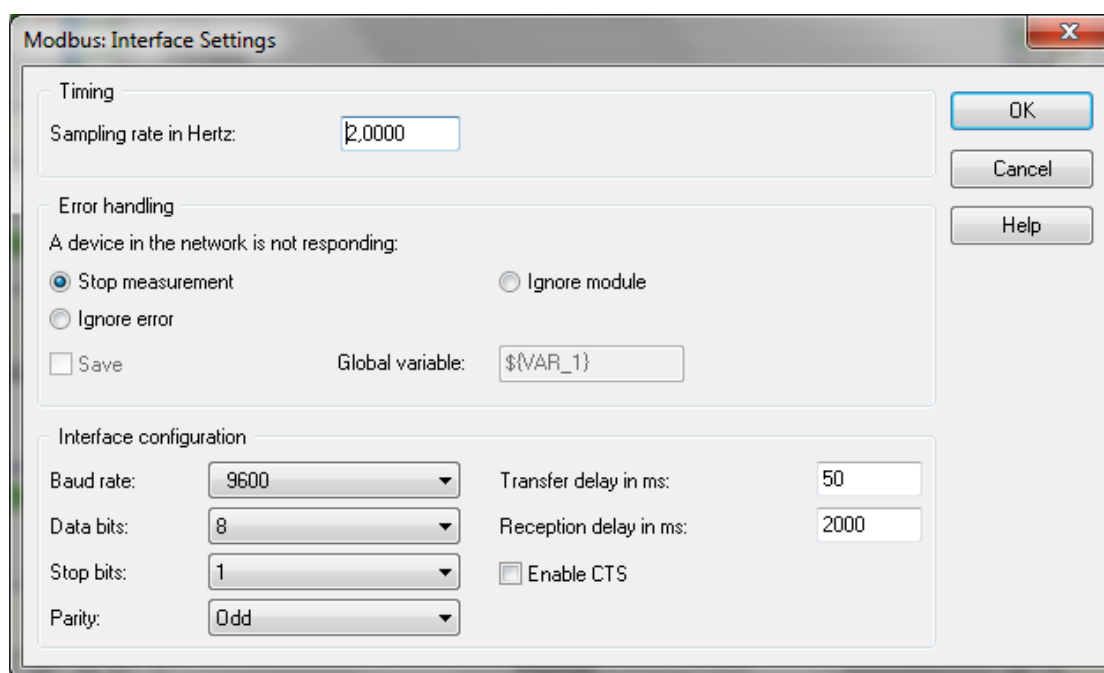


Εικόνα 3.19. Εσωτερικό του Modbus Analog Input.

Στο πάνω μέρος του module δίνεται καταρχάς το όνομα του μετρούμενου μεγέθους. Ακριβώς από κάτω στην ενότητα Interfaces πρέπει να οριστεί ο τύπος της θύρας που επικοινωνεί με τα adams (Interface). Λόγω του ότι είναι USB επιλέχθηκε η επιλογή COM. Στο Port No ορίζεται ο αριθμός της θύρας USB. Ακολούθως το dasyLab παρέχει την δυνατότητα στο ίδιο module να μπορούν να εισάγονται παραπάνω από ένα δεδομένα. Θα μπορούσαν να μπουν και οι 12 μετρήσεις στο ίδιο module αλλά για αποφυγή τυχόν σύγχυσης, σε κάθε module αντιστοιχίστηκε ένα

adam. Συνεπώς για το adam 8 που έχει 8 κανάλια και παρέχει 8 τιμές τις θερμοκρασίας επιλέχθηκε ο αριθμός 7. Για το adam 7 επιλέχθηκε ο αριθμός 3. Στην συνέχεια επιλέγοντας την κάθε είσοδο ξεχωριστά πρέπει να καθοριστούν όλα τα υπόλοιπα ζητούμενα στο κάτω μέρος. Έχοντας επιλέξει την πρώτη είσοδο (αριθμός 0) ορίζεται το όνομα του καναλιού (Chanel name) που είναι το T00 καθώς και την μονάδα μέτρησης που είναι °C. Ακριβώς από κάτω υπάρχει η ενότητα Device. Σε αυτήν την ενότητα δίνεται η ακριβής διεύθυνση τόσο του adam όσο και του καναλιού. Για παράδειγμα για την T1 επιλέγεται το adam 8(0x8) στην διεύθυνση (address) και στην επιλογή register επιλέγεται το 40 και μετά το κανάλι 0. Για να επιλεγεί το κανάλι 0 πρέπει να γίνει ενεργή η επιλογή που είναι ακριβώς από κάτω “Register starts at 0” δηλαδή “ Η εγγραφή ξεκινάει από το 0”. Στην συνέχεια στο κάτω αριστερά κομμάτι του module επιλέγεται ο τύπος των δεδομένων, όπου πρέπει να είναι σε πλήρη συμφωνία με αυτά που έχουν ρυθμιστεί στο πρόγραμμα utility. Στην κάτω δεξιά γωνία υπάρχει η επιλογή data area (περιοχή δεδομένων) όπου μπορεί να γίνει κάποιος περιορισμός στο εύρος των εισερχομένων δεδομένων.

Επιλέγοντας την επιλογή Interface (Διεπαφή) προκύπτει το ακόλουθο παράθυρο. (εικ. 20).



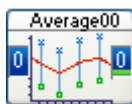
Εικόνα 3.20. Επιλογή Interface

Καταρχάς το παράθυρο αυτό αφορά όλα τα κανάλια που τοποθετήθηκαν στο module και δεν χρειάζεται να γίνει για το καθένα ξεχωριστά. Στο πάνω μέρος του παραθύρου ορίζεται η συχνότητα δειγματοληψίας. Ακολουθώντας το πρόγραμμα δίνει την επιλογή στο χειριστή για το πώς πρέπει να ενεργήσει σε περίπτωση που κάποια συσκευή ή κάποιο κανάλι στο σύστημα που έχει στηθεί δεν ανταποκρίνεται. Η επιλογή που δόθηκε από εμάς ήταν η διακοπή της μέτρησης. Στην συνέχεια υπάρχει η ενότητα Interface configuration. Σε αυτήν την ενότητα πρέπει να ρυθμιστούν οι

επιλογές των εισερχόμενων δεδομένων όπως ακριβώς είχαν οριστεί στο utility (εικ.14)

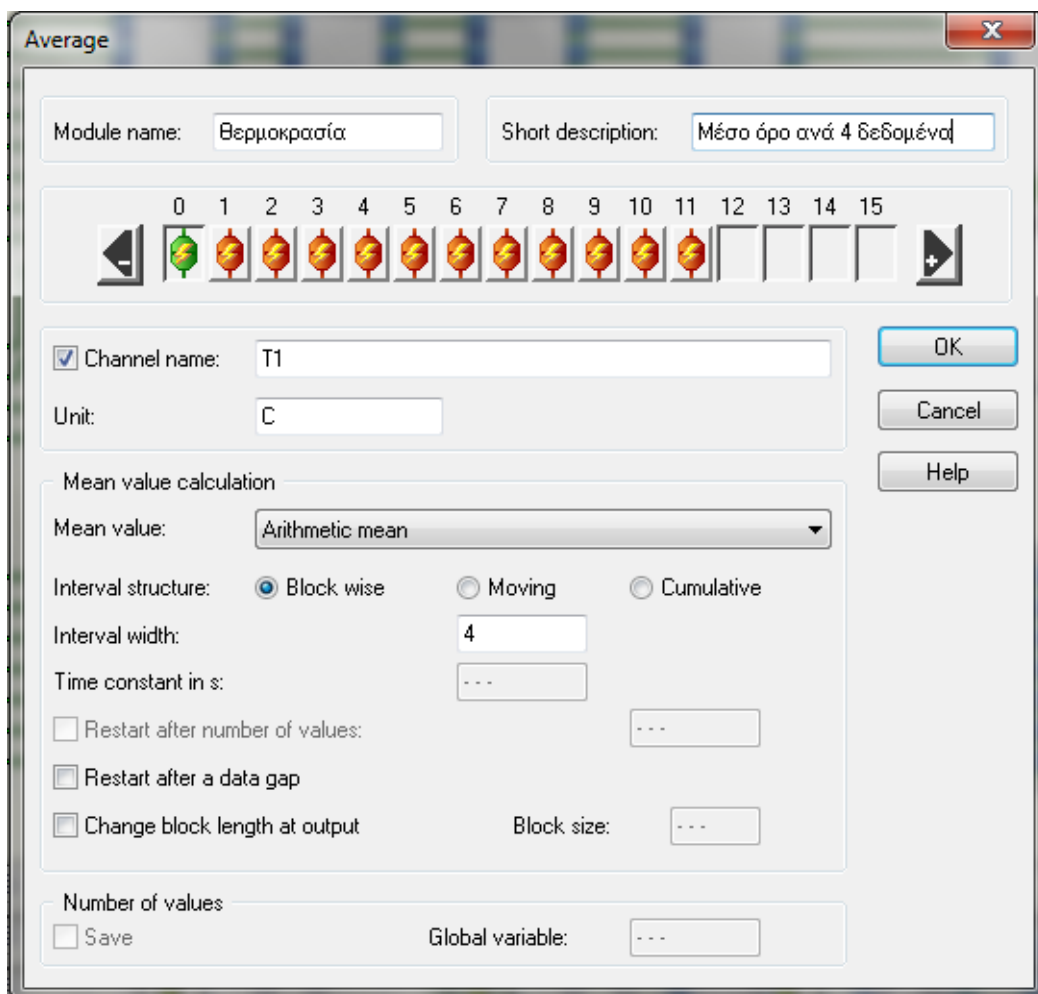
3.7.1.1.2 Μέσος Όρος (Average)

Καθώς έχουν γίνει οι απαραίτητες ρυθμίσεις για την είσοδο των δεδομένων, στην συνέχεια αρχίζει η επεξεργασία τους. Τα δεδομένα εξέρχονται από το module εισόδου και εισέρχονται στο module Average (Μέσο όρο)(ειν.21) που βρίσκεται στην ενότητα Data Reduction (μείωση των δεδομένων).



Εικόνα 3.21. Module Μέσου όρου (Average)

Το εσωτερικό του module φαίνεται στην εικόνα 22. Και σε αυτό πρέπει να οριστούν το όνομα του module καθώς και τα ονόματα σε κάθε κανάλι. Μια σύντομη περιγραφή της λειτουργίας του module δίνεται στο πάνω δεξιά μέρος έτσι ώστε να αποφεύγονται συγχύσεις.



Εικόνα 3.22. Module Average (Μέσος όρος)

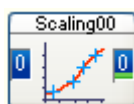
Με τον module αυτό επεξεργάζονται οι τιμές αντλώντας ένα μέσο όρο από το πλήθος των τιμών που εισέρχονται. Αυτό που πρέπει να οριστεί από τον χειριστή είναι το Interval width δηλαδή το πλάτος των τιμών. Ορίστηκε ο αριθμός 4. Εκτός από το μέσο όρο δίνεται και η δυνατότητα για έξοδο του μέσου όρου των ριζών των αποτελεσμάτων, των τετραγώνων τους καθώς και η παροχή του ενδιάμεσου αριθμού των δεδομένων. Ο μέσος όρος υπολογίζεται από την σχέση

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

όπου
 \bar{x} = ο μέσος όρος
 n = το πλάτος τιμών
 x_i = μετρηθείσα τιμή

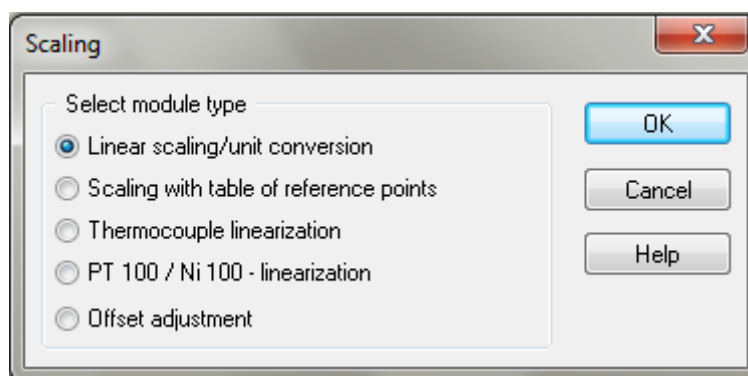
3.7.1.1.3 Βαθμονόμηση (Scaling)

Καθώς τα δεδομένα εξέρχονται από το module Average εισέρχονται στο module της βαθμονόμησης (Scaling) (εικ.23). Το module αυτό βρίσκεται στην ενότητα Mathematics (των μαθηματικών σύμβολων).



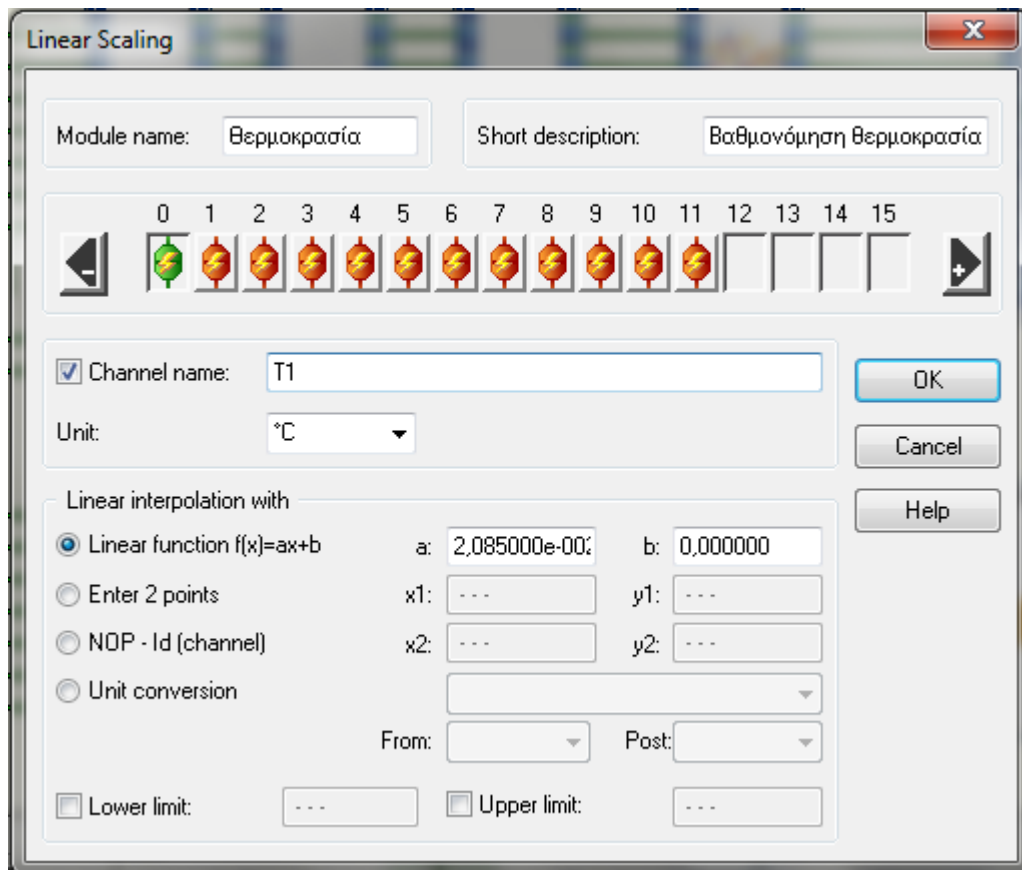
Εικόνα 3.23 . Module Βαθμονόμησης (Scaling)

Τα δεδομένα που εισέρχονται σε αυτό το module δεν αντιπροσωπεύουν την πραγματική τιμή του μετρούμενου μεγέθους αλλά μια άλλη αξία (value). Με αυτό το module φροντίζεται η βαθμονόμηση της μετρηθείσας τιμής. Το εύλογο ερώτημα είναι πως είναι γνωστή η πραγματική τιμή του μετρούμενου μεγέθους. Η πραγματική τιμή αντλείται μέσα από το utility που η βαθμονόμηση γίνεται αυτόματα και οι τιμές που δείχνει είναι οι πραγματικές. Το scaling στο αρχικό του παράθυρο δίνει την δυνατότητα να επιλέξει κάποιος του τρόπους μέσα από τους οποίους θα κάνει βαθμονόμηση (εικ. 24). Συγκεκριμένα παρέχει την δυνατότητα για γραμμική βαθμονόμηση , βαθμονόμηση με άντληση των δεδομένων από πίνακα και διάφορα άλλα. Η επιλογή που έγινε ήταν αυτή της γραμμικής βαθμονόμησης λόγω της μεγάλης απλότητας αλλά και ευκολίας που παρουσιάζει.



Εικόνα 3.24. Αρχικό παράθυρο επιλογών στο module βαθμονόμησης (Scaling)

Το εσωτερικό του Scaling φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα



Εικόνα 3.25. Εσωτερικό του module της Βαθμονόμησης (Scaling)

Ορίζεται και εδώ η ονομασία του συγκεκριμένου module, των καναλιών αλλά και μια σύντομη περιγραφή της διαδικασίας του. Στην συνέχεια επιλέγεται ο τρόπος της γραμμικής βαθμονόμησης. Συγκεκριμένα δίνεται η επιλογή για γραμμικοποίηση μέσω της σχέσης $y=ax+b$ ορίζοντας τα a, b και γραμμικοποίηση μέσω της εισαγωγής από τον χρήστη των συντεταγμένων των δύο σημείων. Τέλος παρέχεται και η επιλογή μετατροπής μονάδων.

Η επιλογή που έγινε ήταν αυτή της εξίσωσης $y=ax+b$ η οποία χαρακτηρίζεται από την απλότητα της. Για την εύρεση των σταθερών a και b χρειάστηκε να πάρουμε δεδομένα από το utility. Δίνεται ένα απλό παράδειγμα. Στο κανάλι 0 που περιέχει την θερμοκρασία T00 σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή όπου δεν υπήρχε κάποια μεταβολή στην θερμοκρασία πήραμε την τιμή από το utility 200°C . Στο dasytab με ένα module όπως το digital meter (θα αναφερθεί στην συνέχεια) καταγράφηκε ότι η τιμή που έδινε το module της βαθμονόμησης για $a=1$ ήταν 40000. Οπότε έτσι προέκυπτε το νέο a , όπου ήταν και η ζητούμενη σταθερά. Το b το ορίσαμε μηδέν, διότι για $x=0$ το y πρέπει να είναι 0.

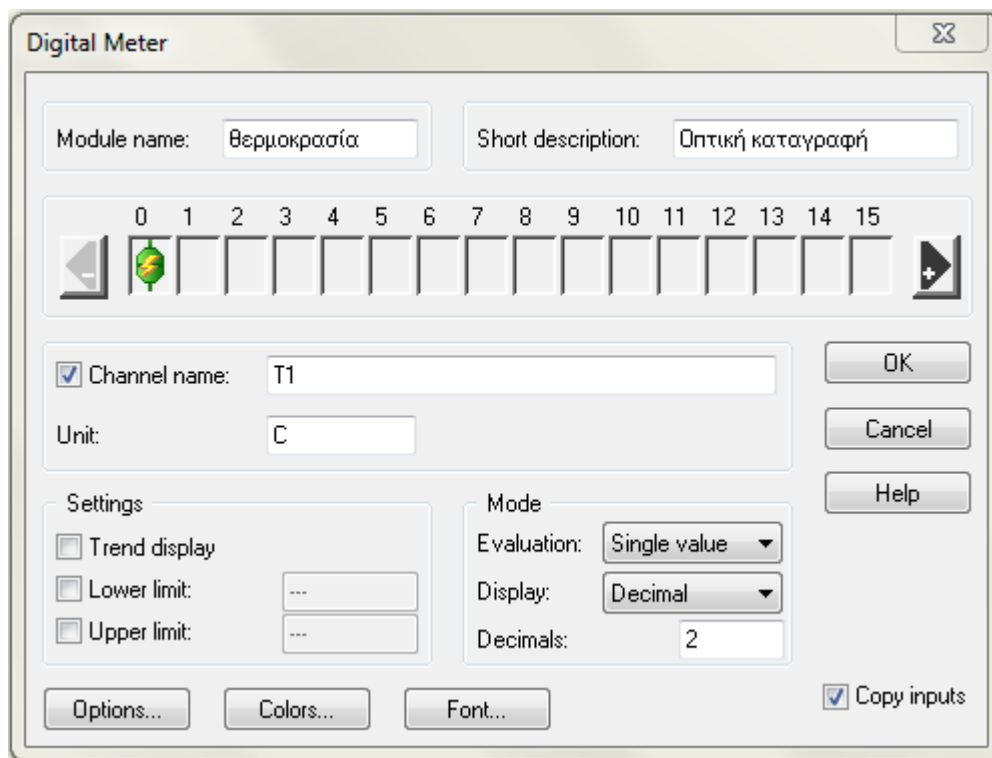
3.7.1.1.4 Ψηφιακό όργανο μέτρησης (Digital Meter)

Μετά από το module της βαθμονόμησης τα δεδομένα εισέρχονται στο module του ψηφιακού οργάνου μέτρησης (εικ.26). Το module αυτό είναι υπεύθυνο για την οπτική εισαγωγή των δεδομένων στο περιβάλλον επικοινωνίας του DasyLab. Το συγκεκριμένο module βρίσκεται στην ενότητα Display (επίδειξης) των modules.



Εικόνα 3.26. Ψηφιακό όργανο μέτρησης

Το εσωτερικό του module φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 3.27. Εσωτερικό module οργάνου ψηφιακής μέτρησης (Digital Meter)

Μέσα από αυτό το module μπορεί να καθοριστεί η απεικόνιση που θα έχει η καταγραφή της τιμής στο περιβάλλον επικοινωνίας του dasyLab. Στην ενότητα Mode παρέχεται η δυνατότητα για επεξεργασία του αριθμού των δεδομένων. Δίνει επιλογές για το πόσα ψηφία θα έχει, σε ποιο σύστημα να γίνει η καταγραφή (δεκαδικό , δεξαεδικό κ.α.) ποιες τιμές θα προβάλλει (μέγιστες, ελάχιστες, μέσο όρο κ.α.). Στις επιλογές Option, Color και Font μπορεί να επεξεργαστεί ο χρήστης τον αριθμό των δεκαδικών ψηφίων που θα έχει ο αριθμός, το χρώμα, την γραμματοσειρά καθώς και το πλαίσιο στο οποίο θα προβάλλεται ο αριθμός. Η εντολή Copy inputs στο κάτω δεξιό μέρος παρέχει την δυνατότητα της αντιγραφής των δεδομένων από την είσοδο σε μια έξοδο για την περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων. Λόγω του ότι για κάθε digital meter αντιστοιχεί και μια καταγραφή τιμών στο περιβάλλον επικοινωνίας,

επιλέχθηκε σε κάθε κανάλι να αντιστοιχεί και ένα συγκεκριμένο Module οργάνου ψηφιακής μέτρησης. Αυτό παρέχει την ευκολία στον χρήστη για την μετακίνηση της κάθε καταγραφής πάνω στο περιβάλλον επικοινωνίας, έτσι ώστε να τοποθετηθεί στο σωστό σημείο και να γίνει ακόμα πιο εύκολη η παρακολούθηση του πειράματος.

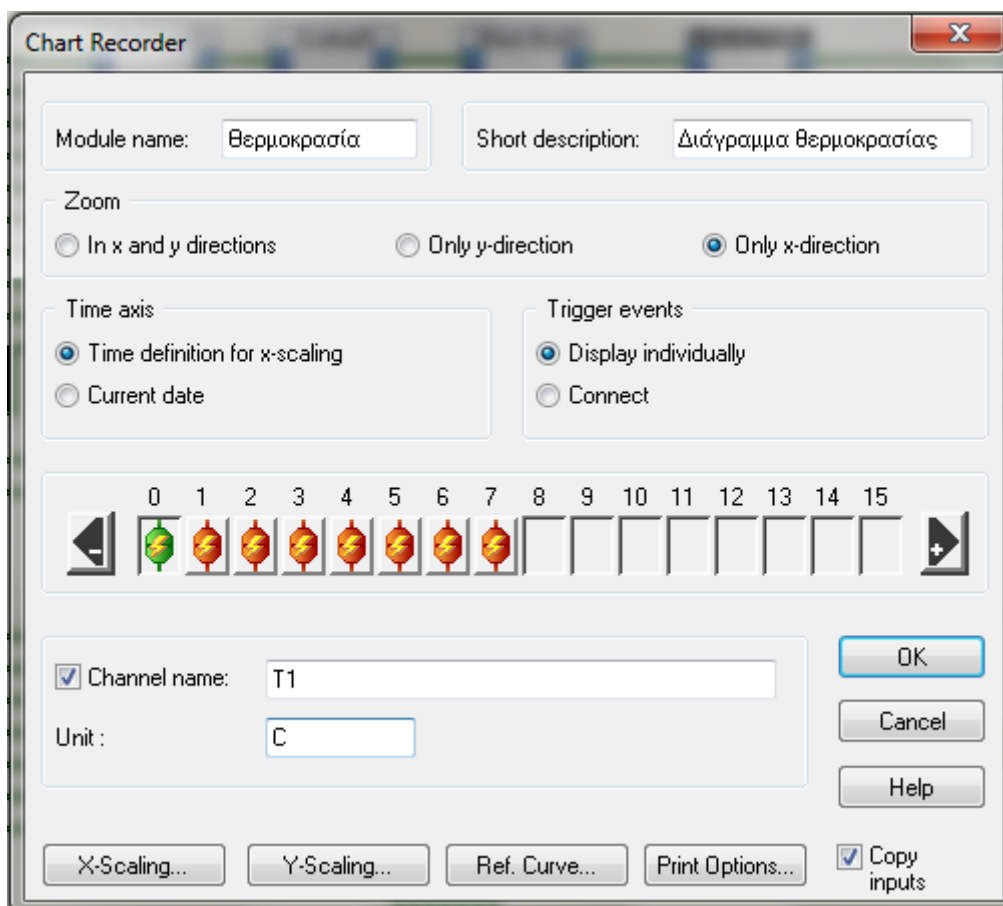
3.7.1.1.5 Διάγραμμα (Chart recorder)

Μετά από το ψηφιακό όργανο μέτρησης τα δεδομένα εισέρχονται στο module που είναι υπεύθυνο για την δημιουργία διαγραμμάτων (Chart recorder) (εικ.28). Το συγκεκριμένο module βρίσκεται στην ενότητα Display (επίδειξης) των modules.



Εικόνα 3.28.Module διαγραμμάτων (Chart recorder)

Το εσωτερικό του module φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα



Εικόνα 3.29. Εσωτερικό του module καταγραφής δεδομένων (Chart recorder)

Μέσα από αυτό το module δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη της δημιουργίας κάποιου διαγράμματος στο περιβάλλον επικοινωνίας του DasyLab. Οι επιλογές που υπάρχουν δίνουν την δυνατότητα για επεξεργασία της απεικόνισής του. Παρέχει την

δυνατότητα για την επιλογή των μονάδων σε κάθε άξονα, την μεγέθυνση ενός άξονα, την χρήση βοηθητικών γραμμών για την καλύτερη εποπτεία του διαγράμματος και μια πληθώρα άλλων επιλογών.

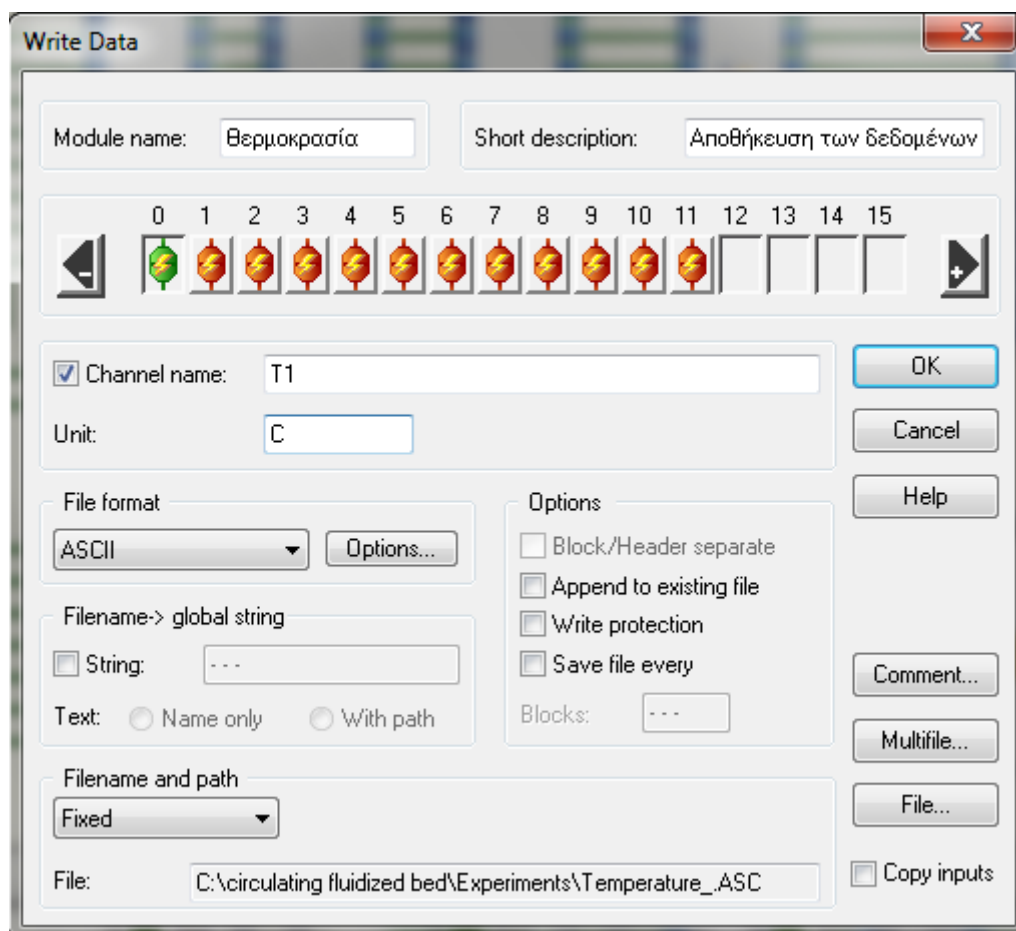
3.7.1.1.6 Αποθήκευση των δεδομένων (Write Data)

Μετά από την έξοδο των δεδομένων από το module της καταγραφής των δεδομένων σε διάγραμμα, τα δεδομένα εισέρχονται στο module αποθήκευσης των δεδομένων (Write Data) (εικ.30). Το συγκεκριμένο module βρίσκεται στην ενότητα των αρχείων (Files).



Εικόνα 3.30. Module αποθήκευσης των δεδομένων (Write Data)

Το εσωτερικό του module φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα



Εικόνα 3.31. Εσωτερικό του module Αποθήκευσης των δεδομένων (Write Data)

Μέσα από αυτό το module δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη για αποθήκευση των δεδομένων σε κάποιο ξεχωριστό αρχείο. Στην ενότητα File format επιλέγεται η κωδικοποίηση που θα γίνει στα αρχεία. Η επιλογή που έγινε ήταν αυτή της

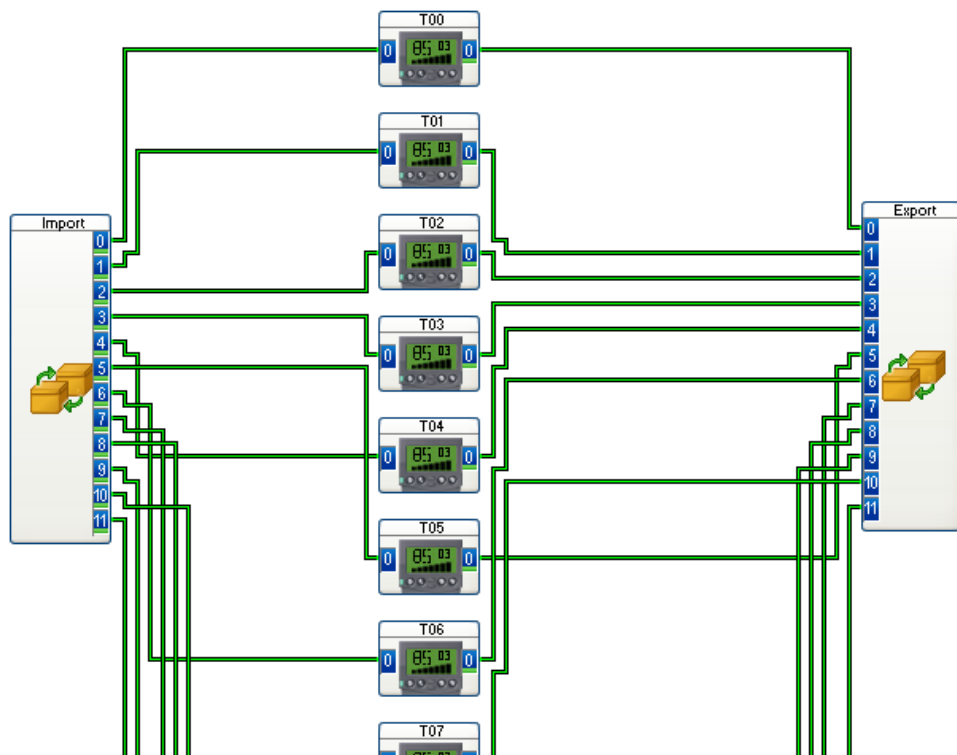
κωδικοποίησης μέσω του πρωτόκολλου ASCII. Ο λόγος που έγινε αυτή η επιλογή ήταν ότι είναι κατανοητή από το Microsoft Excel που χρησιμοποιείται ευρέως και παρέχει μια καλή εσοπτεία των αποτελεσμάτων. Στο κάτω μέρος του module υπάρχει η δυνατότητα να επιλέξουμε το μέρος στο οποίο θα αποθηκεύονται τα αρχεία.

3.7.1.1.7 Μαύρο κουτί (Black box)

Το module των μαύρων κουτιών (εικ.32) δεν παρέχει κάποια επεξεργασία στα δεδομένα αλλά διευκολύνει τον χρήστη στην ομαλή τοποθέτηση των modules μέσα στο περιβάλλον εργασίας. Αυτό που δημιουργεί το μαύρο κουτί είναι ένα επιπλέον επίπεδο στο περιβάλλον εργασίας. Για την οικονομία χώρου μέσα στο περιβάλλον εργασίας χρησιμοποιήσαμε το module μαύρο κουτί για να εισάγουμε όλα τα modules των ψηφιακών οργάνων μέτρησης (digital meter) (εικ. 33)



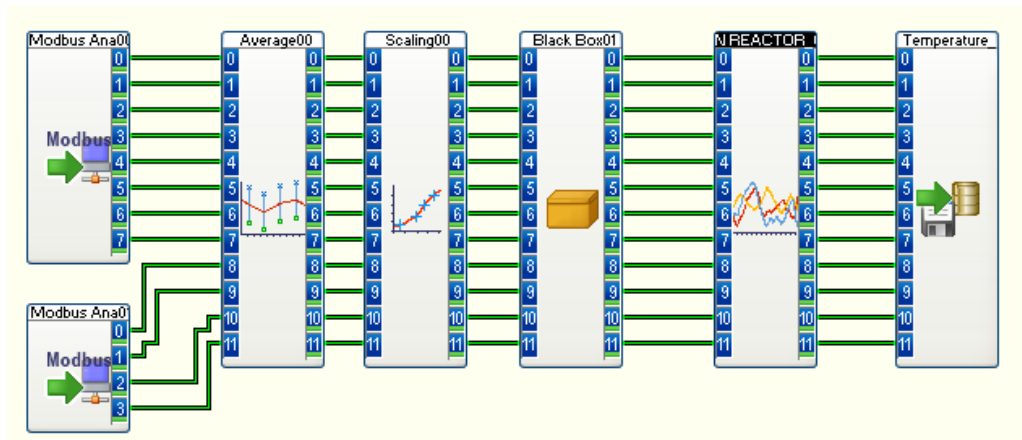
Εικόνα 3.32. Μαύρο κουτί



Εικόνα 3.33. Στο εσωτερικό των μαύρων κουτιών

3.7.1.1.8 Συνολική συνδεσμολογία για την επεξεργασία της θερμοκρασίας

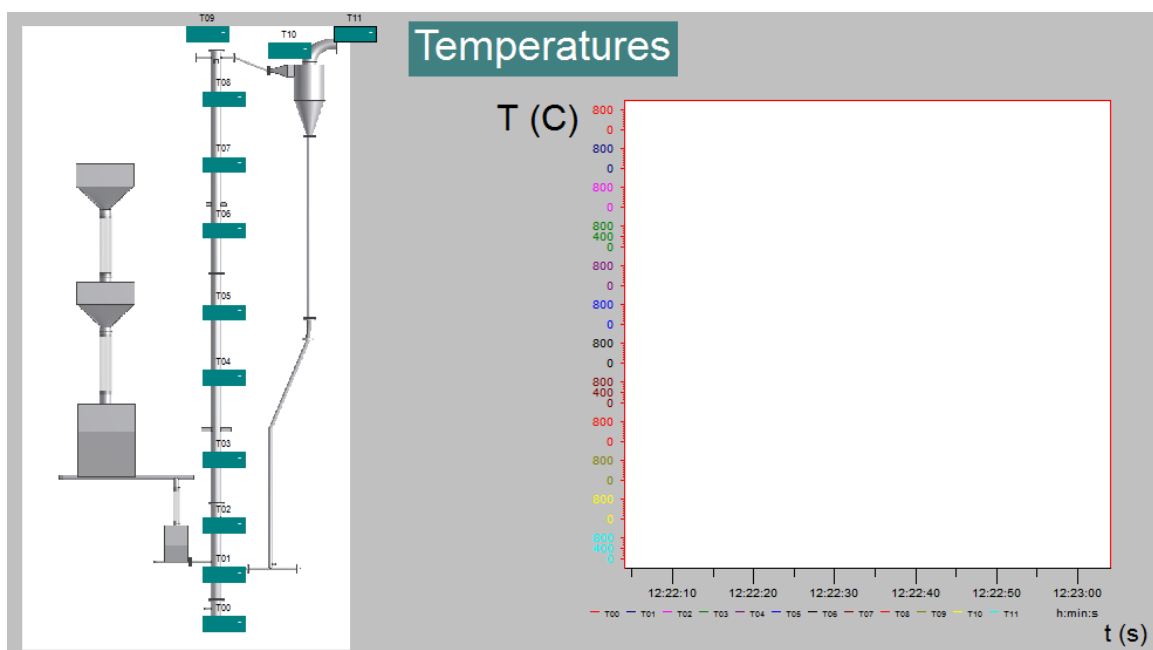
Ακολουθώς παρέχεται εικόνα για την συνολική περιγραφή της επεξεργασίας των δεδομένων της θερμοκρασίας στο περιβάλλον εργασίας.



Εικόνα 3.34. Συνολική επεξεργασία των δεδομένων θερμοκρασίας στο περιβάλλον εργασίας του dasylab

3.7.1.2 Περιβάλλον επικοινωνίας με τον χρήστη (layout) για την θερμοκρασία

Από το περιβάλλον εργασίας μέσω την επιλογής layout εισερχόμαστε στο περιβάλλον επικοινωνίας. Για την οπτική παρακολούθηση της θερμοκρασίας έχει δημιουργηθεί το ακόλουθο περιβάλλον.



Εικόνα 3.35. Περιβάλλον επικοινωνίας για την θερμοκρασία

Όπως παρατηρούμε κατά μήκος της εγκατάστασης έχουν τοποθετηθεί οι μετρήσεις από τα ψηφιακά όργανα μέτρησης για την καλύτερη εποπτεία της εγκατάστασης. Στο δεξιό μέρος είναι το διάγραμμα θερμοκρασίας-χρόνου. Έχουν

τοποθετηθεί όλα μαζί σε ένα διάγραμμα για την οικονομία χώρου και για την συνοπτική παρακολούθησή τους. Η επικοινωνία μεταξύ των δυο επιπέδων γίνεται με την εισαγωγή των πιο πάνω modules σε αυτό το επίπεδο. Το μόνο που χρειάζεται είναι η σωστή τοποθέτηση του ονόματος του κάθε module που είναι απαραίτητο.

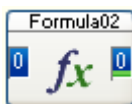
3.7.2 Εισαγωγή των δεδομένων της πίεσης

3.7.2.1 Περιβάλλον εργασίας του *dasyLab* (Worksheet)

Η διαδικασία είναι ακριβώς ίδια με την προηγούμενη, μόνο που υπάρχει επιπλέον η ανάγκη μέτρησης της διαφοράς πίεσης. Για τον σκοπό αυτό εισάγεται ένα επιπλέον module, αυτό της αριθμητικής επεξεργασίας των δεδομένων.

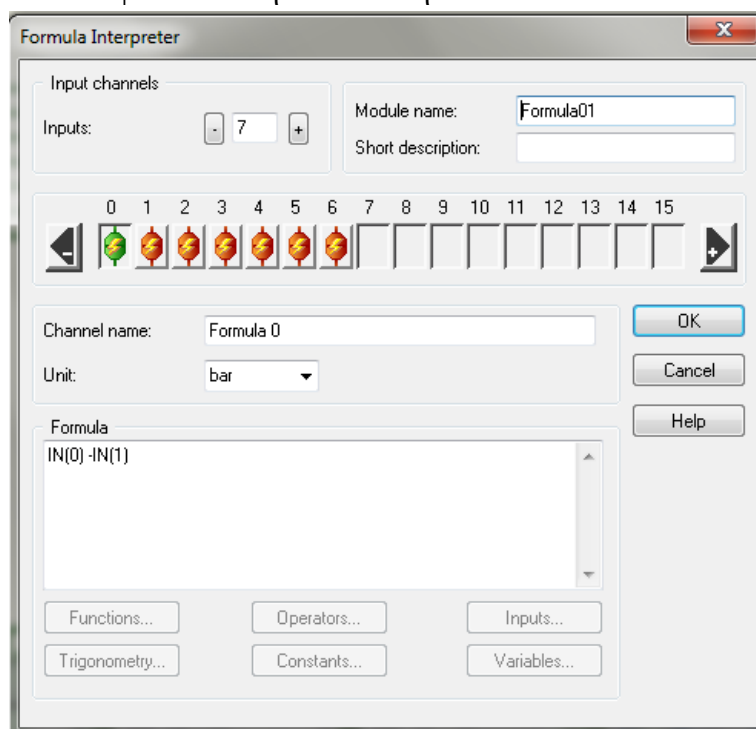
3.7.2.1.1 Αριθμητική επεξεργασία των δεδομένων (formula interpreter)

Το Module αυτό επιτρέπει την διεξαγωγή αριθμητικών πράξεων και βρίσκεται στην ενότητα Mathematics (Μαθηματικών).



Εικόνα 3.36. Module αριθμητικών πράξεων (formula interpreter)

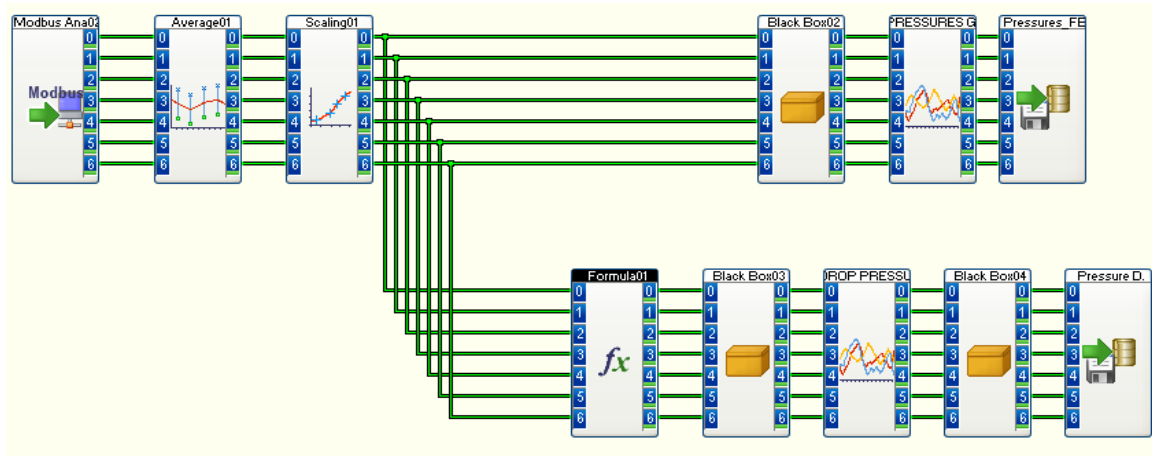
Μέσω αυτού μπορούμε να αφαιρέσουμε το ένα από το άλλο σήμα. Για παράδειγμα αν θέλει κάποιος να δημιουργήσει την διαφορά P1-P2 και το σήμα για την P1 έρχεται από το κανάλι 0 ενώ το σήμα για την P2 έρχεται από το κανάλι 1 τότε για να προκύψει η διαφορά πληκτρολογείται IN(0)-IN(1). Το εσωτερικό του συγκεκριμένου Module φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 3.37. Εσωτερικό του module μαθηματικών πράξεων

3.7.2.1.2 Συνολική συνδεσμολογία για την επεξεργασία της πίεσης

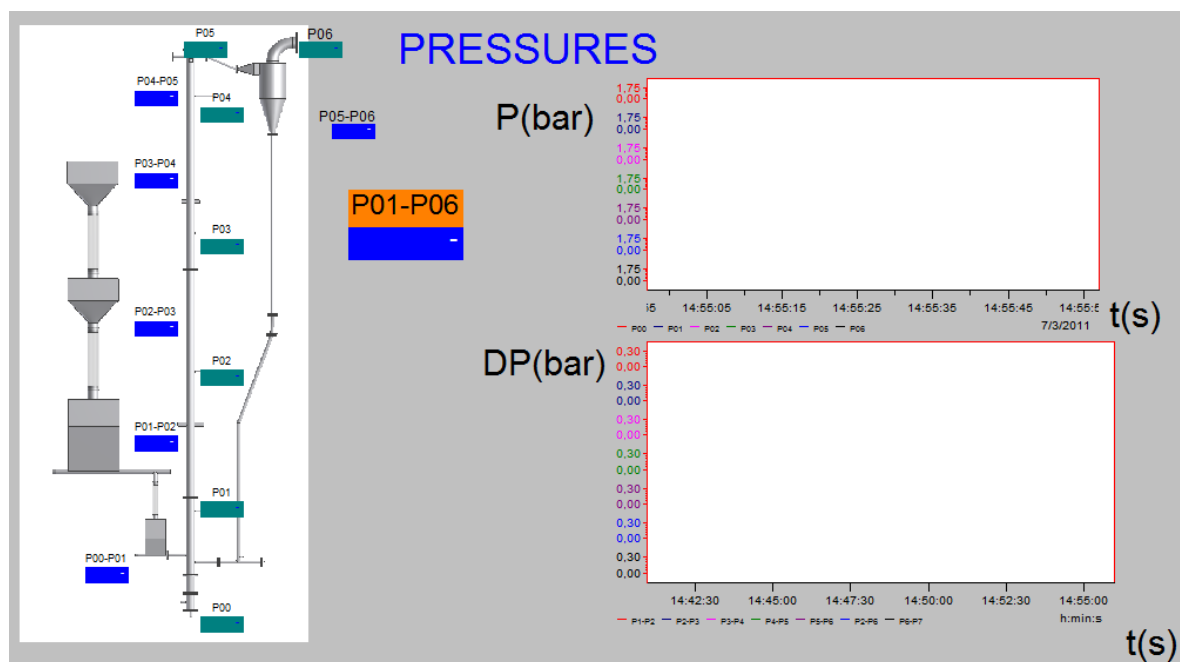
Στην συνέχεια παρέχεται εικόνα για την συνολική περιγραφή της επεξεργασίας των δεδομένων της πίεσης στο περιβάλλον εργασίας.



Εικόνα 3.38. Συνολική επεξεργασία των δεδομένων πίεσης στο περιβάλλον εργασίας του dasylab

3.7.2.2 Περιβάλλον επικοινωνίας με τον χρήστη (layout) για την πίεση

Για την οπτική παρακολούθηση της πίεσης έχει δημιουργηθεί το ακόλουθο περιβάλλον.



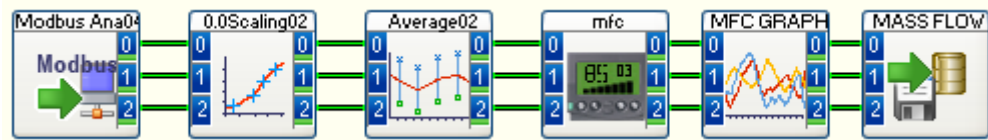
Εικόνα 3.39. Περιβάλλον επικοινωνίας για την πίεση

3.7.3 Εισαγωγή/Εξαγωγή των δεδομένων της παροχής

3.7.3.1 Περιβάλλον εργασίας του dasylab (Worksheet)

3.7.3.1.1 Είσοδος δεδομένων παροχής

Τα modules που χρησιμοποιήθηκαν είναι ακριβώς τα ίδια με προηγουμένως. Παρατίθεται η επεξεργασία των δεδομένων που έγινε.



Εικόνα 3.40. Συνολική επεξεργασία των δεδομένων παροχής εισόδου στο περιβάλλον εργασίας του dasylab

3.7.3.1.2 Έξοδος δεδομένων παροχής

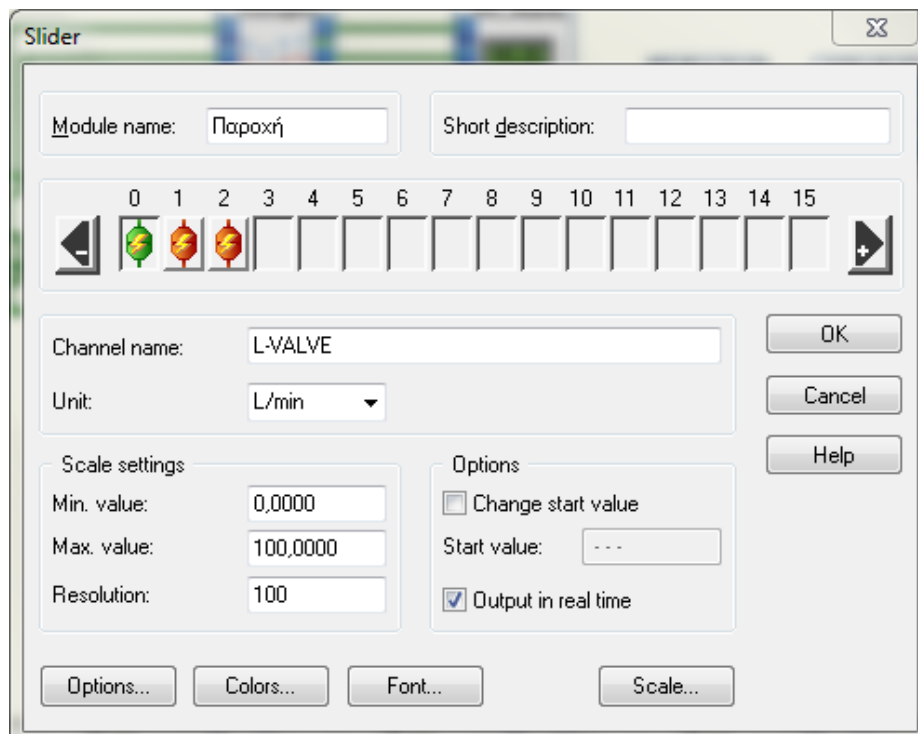
3.7.3.1.2.1 Module Ολισθητής (Slider)

Για τον έλεγχο της παροχής των διάφορων αερίων χρησιμοποιήθηκε το module slider (ολισθητής) (εικ.41) που βρίσκεται στην ενότητα Control (ελέγχου).



Εικόνα 3.41. Module Ολισθητής (Slider)

Μέσα από το module αυτό δίνεται η δυνατότητα στο χειριστή για έλεγχο της παροχής των αερίων μέσα από το περιβάλλον επικοινωνίας. Η λειτουργία του είναι απλή καθώς παρέχει στο χρήστη ένα παράθυρο όπου μπορεί να εισάγει κατευθείαν την επιθυμητή τιμή της παροχής. Το εσωτερικό του module φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 3.42. Εσωτερικό του module Ολίσθησης (Slider)

Όπως παρατηρούμε στο παράθυρο αυτό πρέπει να εισάγουμε το όνομα του καναλιού καθώς και την μονάδα μέτρησης των δεδομένων. Στη ενότητα Scale Settings (Ρυθμίσεις κλίμακας) ρυθμίζεται η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή που μπορεί να δώσει ο χρήστης. Υπάρχουν και άλλες ρυθμίσεις όπως ρύθμιση της μορφής του παραθύρου και των χαρακτηριστικών των δεδομένων που θα εμφανίζονται στο περιβάλλον επικοινωνίας.

3.7.3.1.2.2 Αναλογική Έξοδος μέσω πρωτοκόλλου Modbus (Modbus Analog Output)

Για την αποστολή των δεδομένων στα παροχόμετρα χρησιμοποιείται το module αναλογικής εξόδου (Modbus analog output) που βρίσκεται στην ενότητα Inputs/Outputs.

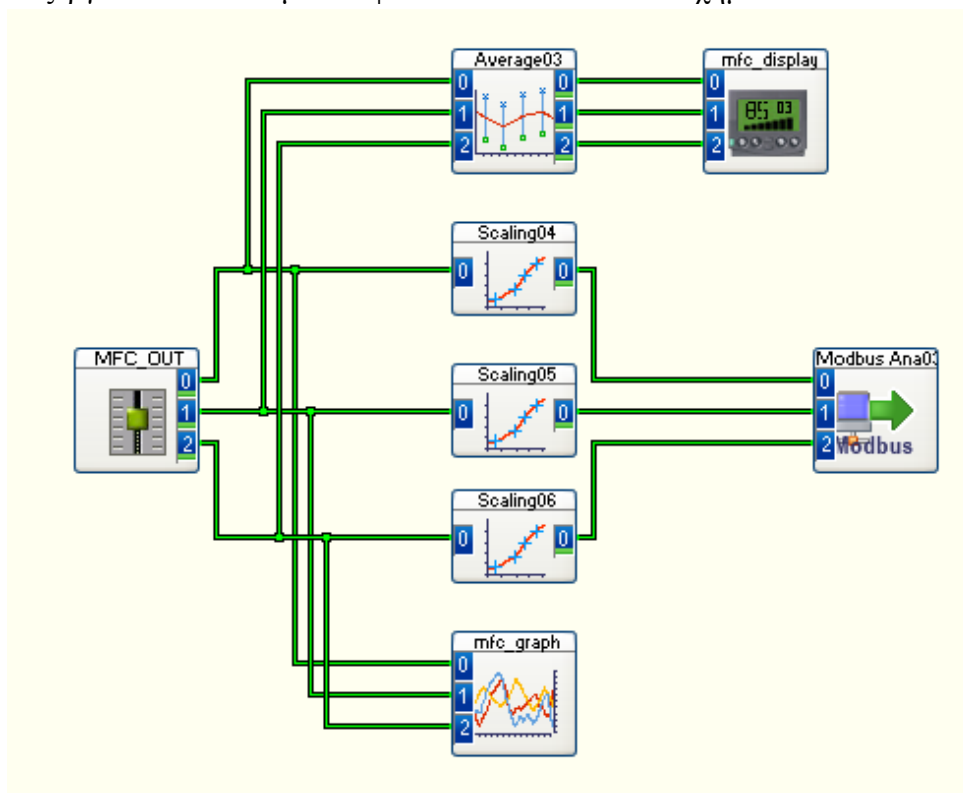


Εικόνα 3.43. Module αναλογικής εξόδου

Το εσωτερικό του module είναι ακριβώς το ίδιο με αυτό της εισόδου και απαιτούνται οι ίδιες ρυθμίσεις (ορισμός της σωστής διεύθυνσης του adam και του κάθε καναλιού).

3.7.3.1.2.3 Συνολική συνδεσμολογία για την επεξεργασία της εξόδου της παροχής

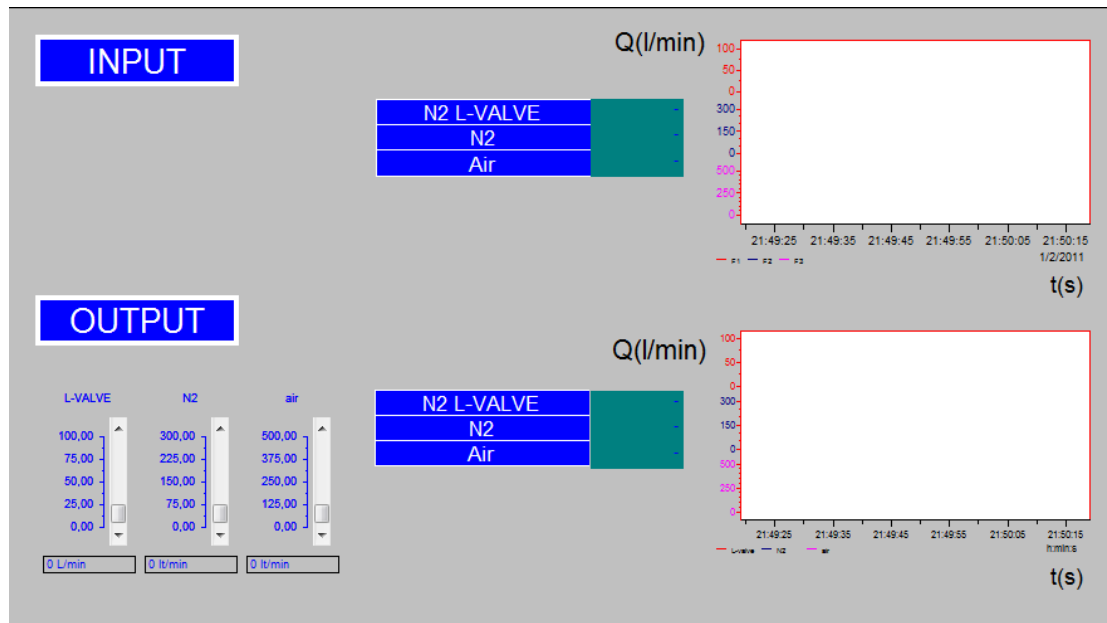
Η επεξεργασία των δεδομένων φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα



Εικόνα 3.44. Συνολική επεξεργασία των δεδομένων παροχής εξόδου στο περιβάλλον εργασίας του dasyLab

3.7.3.2 Περιβάλλον επικοινωνίας με τον χρήστη (layout) για την παροχή

Για την οπτική παρακολούθηση της παροχής έχει δημιουργηθεί το ακόλουθο περιβάλλον.

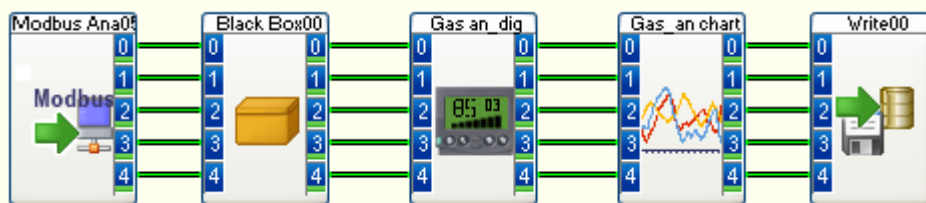


Εικόνα 3.45. Περιβάλλον επικοινωνίας για την παροχή

3.7.4 Εισαγωγή των δεδομένων για την βαθμονόμηση των αερίων προϊόντων και ανάλυση τους.

3.7.4.1 Περιβάλλον εργασίας του dasylab (Worksheet)

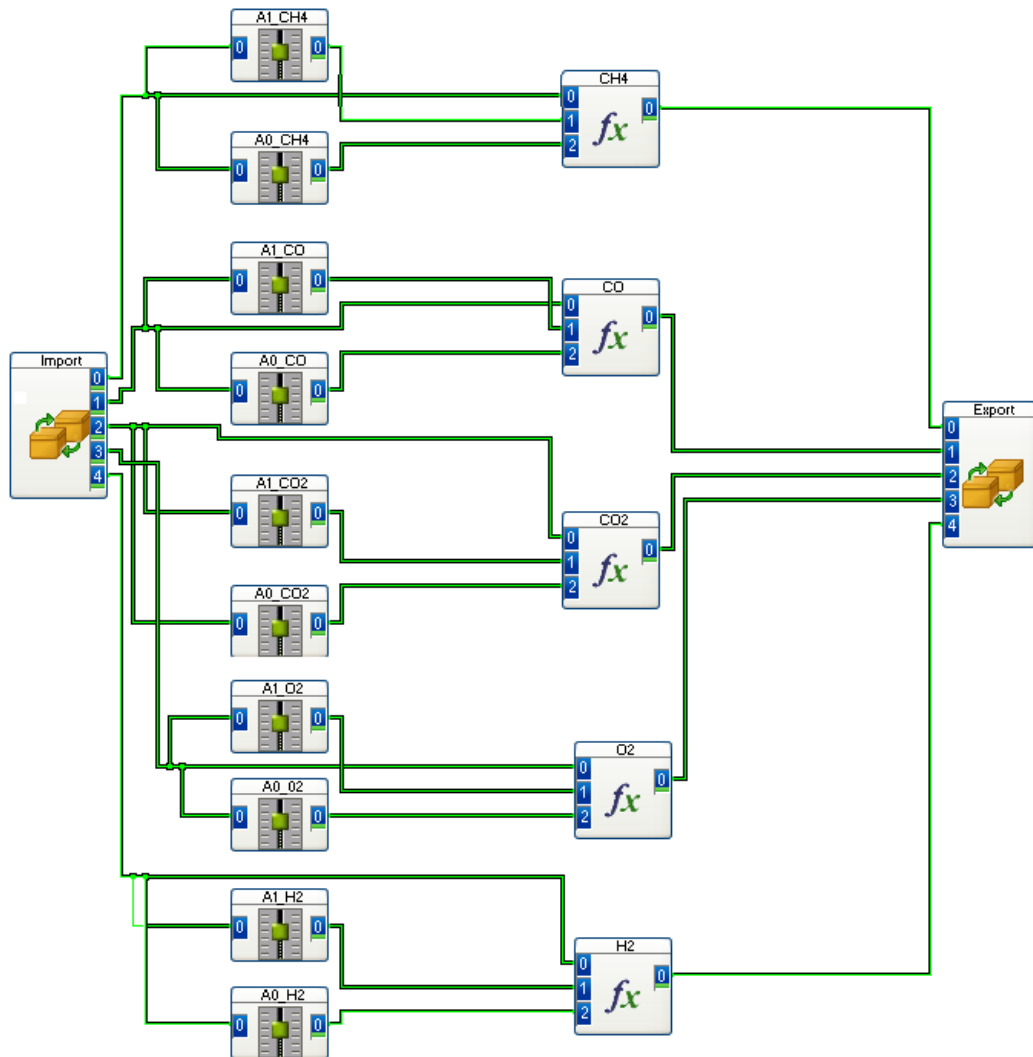
Τα modules που χρησιμοποιήθηκαν έχουν αναφερθεί και περιγραφεί σε προηγούμενη ενότητα. Η συνολική επεξεργασία του σήματος φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



Εικόνα 3.46 . Συνολική επεξεργασία των δεδομένων για την βαθμονόμηση των αερίων στο περιβάλλον εργασίας του dasylab

Αυτό που πρέπει να αναφερθεί στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι η λειτουργία του μαύρου κουτιού (εικ.47). Μέσω του μαύρου κουτιού παρέχεται η δυνατότητα στον χρήστη να βαθμονομήσει τα αέρια προϊόντα της αεριοποίησης. Συγκεκριμένα η εισαγωγή των απαραίτητων τιμών για την βαθμονόμηση των αερίων (A0 και A1) γίνεται μέσω του module Slider. Στην συνέχεια γίνεται η ανάλογη αριθμητική

επεξεργασία μέσω του module των μαθηματικών πράξεων και προκύπτει η επιθυμητή τιμή για το αέριο προϊόν. Ακολουθώντας μέσω των modules που ακολουθούν καταγράφονται και αποθηκεύονται οι διάφορες τιμές που προέκυψαν.

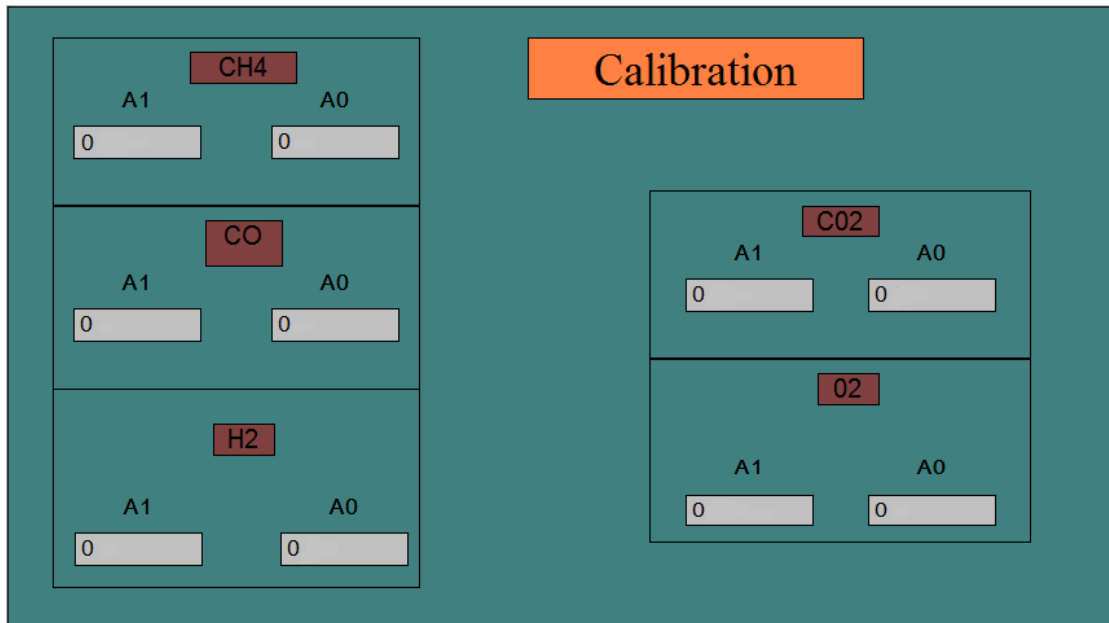


Εικόνα 3.47. Μαύρο κουτί στην βαθμονόμηση των αερίων προϊόντων

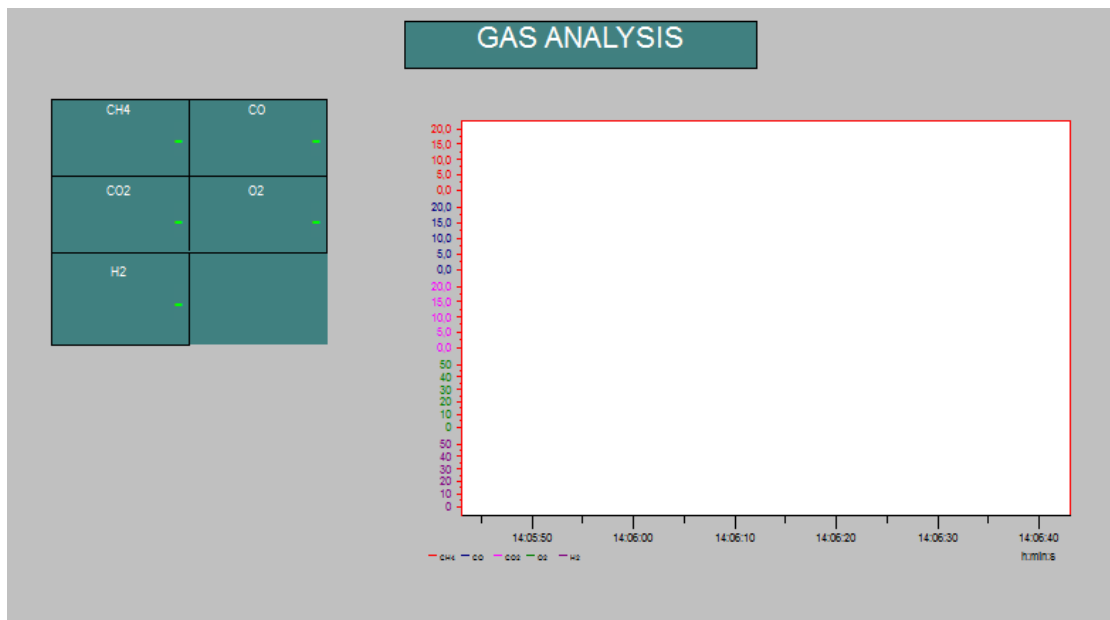
Πολύ προσοχή απαιτεί η ένωση που δημιουργήθηκε μεταξύ των διαφόρων modules των slider και της γραμμής που εξέρχεται από το module εισόδου του μαύρου κουτιού. Η ενεργεία αυτή έγινε λόγω του ότι ένα slider για την ένωση του με άλλα σήματα και την συνολική τους επεξεργασία πρέπει να έχει την ίδια συχνότητα και το ίδιο μορφή των δεδομένων με αυτά. Για τον λόγο αυτό η ένωση τους με την κεντρική γραμμή που προέρχεται από το Module εισόδου του μαύρου κουτιού δεν έχει σκοπό την άντληση κάποιων δεδομένων αλλά τον συγχρονισμό και την δημιουργία κατάλληλων προς επεξεργασία δεδομένων.

3.7.4.2 Περιβάλλον επικοινωνίας με τον χρήστη (Layout)

Στην συνέχεια παρατίθεται το περιβάλλον επικοινωνίας με τον χρήστη για την ανάλυση των αερίων αλλά και την βαθμονόμηση τους.



Εικόνα 3.48. Περιβάλλον επικοινωνίας για την βαθμονόμηση των αερίων



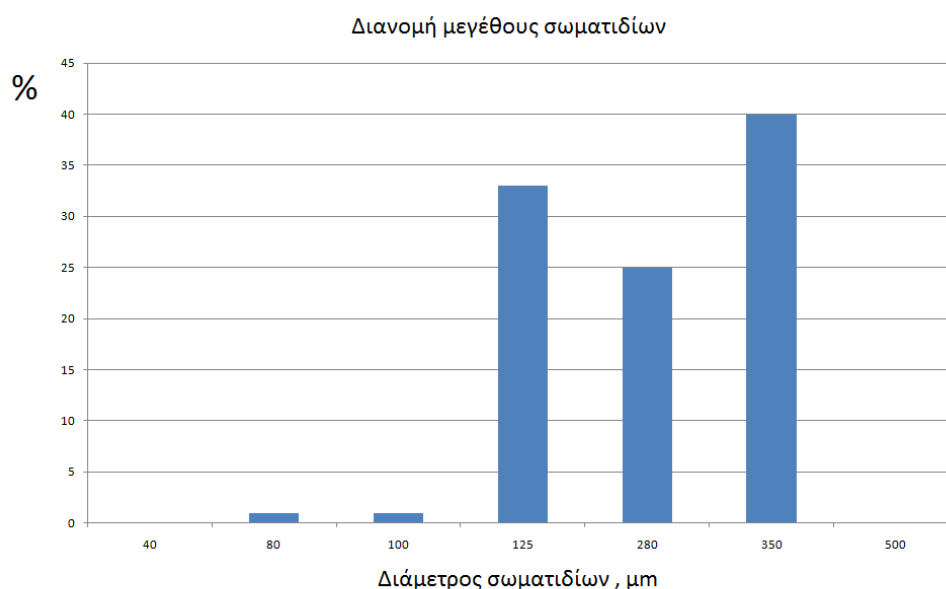
Εικόνα 3.49. Περιβάλλον επικοινωνίας για την ανάλυση των αερίων προϊόντων.

Κεφάλαιο 4

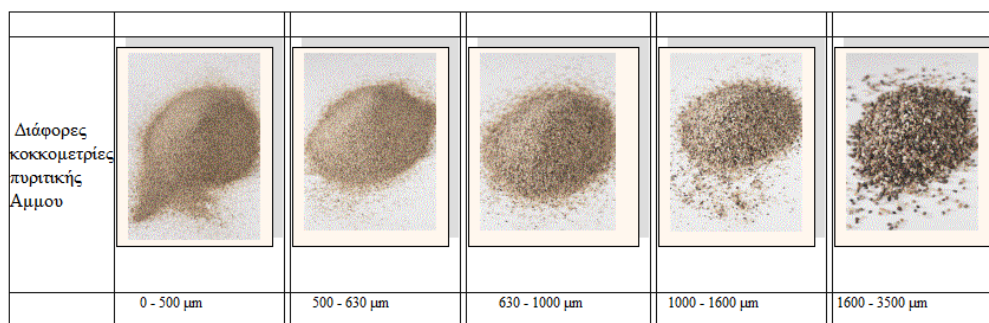
Πειράματα ελέγχου λειτουργίας

Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής της εγκατάστασης καθώς και του συστήματος καταγραφής των δεδομένων (data acquisition) αυτό που είχε σειρά ήταν ο έλεγχος της λειτουργίας της καταγραφής των δεδομένων. Για τον σκοπό αυτό έγινε πείραμα με την τοποθέτηση μόνο του αδρανούς υλικού. Το πείραμα διήρκησε τρεις ώρες αλλά πιο πριν είχε γίνει η αρχική προθέρμανση της εγκατάστασης μέσα από τις αντιστάσεις στους 750 °C.

Ως αδρανές υλικό χρησιμοποιήθηκε η άμμος (sand quartz) (εικ. 1) πυκνότητας περίπου 2600 kg/m³ και κοκκομετρίας όπως φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα. Η άμμος ανήκει στην κατηγορία Geldart B. Η ποσότητα που εισάχθηκε στον αντιδραστήρα ήταν 5kg.



Διάγραμμα 4.1. Διανομή σωματιδίων αδρανούς υλικού (sand ,quartz)



Εικόνα 4.1. Διάφορες κοκκομετρίες πυριτικής άμμου.

Σκοπός αυτών των πειραμάτων ,απουσία βιομάζας, ήταν ο έλεγχος του συστήματος για ρευστοποίηση και ρευστοποίηση με ανακυκλοφορία. Ο έλεγχος αυτός έγινε μέσα από την παρατήρηση των διαγραμμάτων πίεσης και θερμοκρασίας. Για την διεξαγωγή αυτών των πειραμάτων έγιναν οι απαραίτητες αρχικές ρυθμίσεις.

Παροχή:

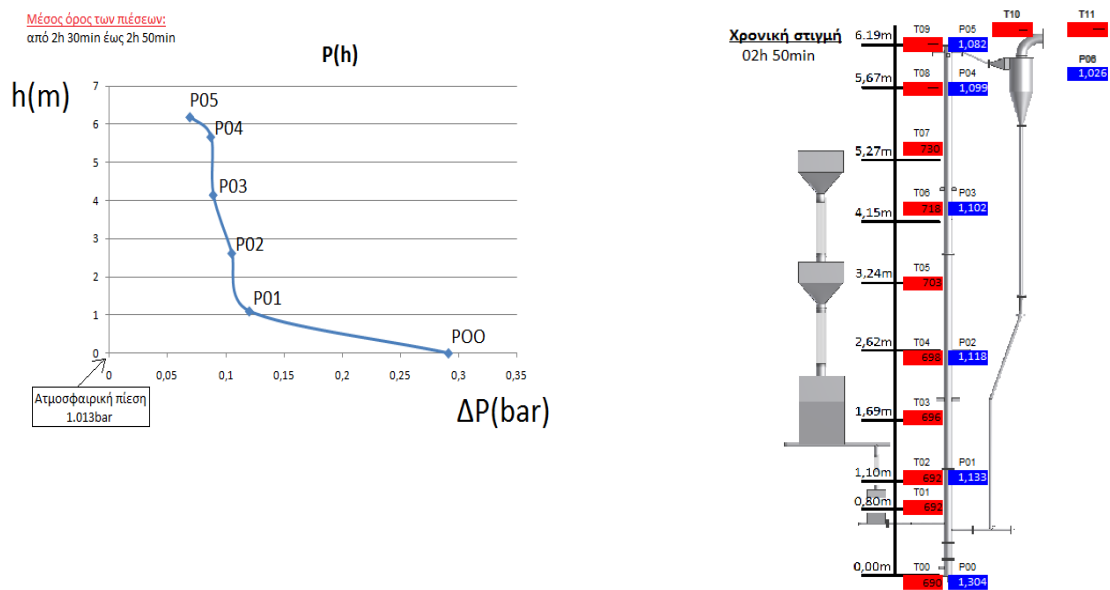
- ✓ L-Valve → 4lt/min
- ✓ Riser → 240lt/min

Θεωρητικοί υπολογισμοί

- ✓ $U_{mf}=0.096\text{m/s}$
- ✓ $U_t=0.82\text{m/s}$
- ✓ $\Delta P = (1.1 - 1.2) \frac{mg}{A} = (112.2 - 122.4)\text{mbar}$

για $h=5.85\text{m}$, $A= \pi R^2=0.00477\text{m}^2$

Διάγραμμα Πίεσης –Υψους



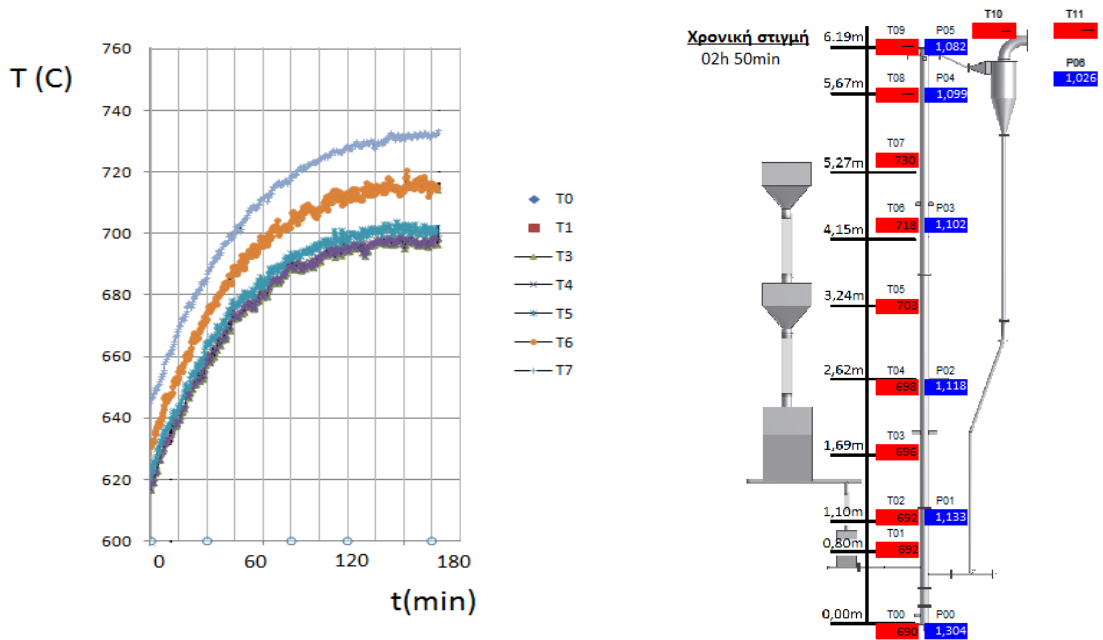
Διάγραμμα 4.2. Πίεση-Υψος

Το διάγραμμα αυτό μας δείχνει το μέσο όρο των τιμών της πίεσης στα διάφορα μέρη του ανοδικού σωλήνα για 20 λεπτά. Η μέτρηση αυτή έγινε στο διάστημα 2h 30min έως 2h 50min. Από το διάγραμμα παρατηρούμε μια μεγάλη πτώση πίεσης στο αρχικό κομμάτι, όπου είναι η πτώση πίεσης στον διασκορπιστή. Ακολούθως στον ανοδικό σωλήνα υπάρχει μια πτώση πίεσης σε όλο το μήκος του . Αυτή η πτώση πίεσης μας δείχνει την ύπαρξη σωματιδίων στα διάφορα σημεία του και έτσι

πιστοποιείται η ύπαρξη της ρευστοποίησης με ανακυκλοφορία (fast fluidization) . Να τονιστεί πως η διαφορά πίεσης στον άξονα τον χ είναι ως προς την ατμοσφαιρική πίεση (1,013 bar).

Στα δεξιά του διαγράμματος βλέπουμε τις μετρήσεις που είχαμε στο dasylab την χρονική στιγμή 2ωρών και 50 λεπτών από την έναρξη του πειράματος.

Διάγραμμα θερμοκρασίας-χρόνου



Διάγραμμα 4.3. Κατανομή θερμοκρασίας στον ανοδικό σωλήνα

Από το διάγραμμα αυτό παρατηρούμε, μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, την ομοιογένεια της θερμοκρασίας μέσα στον αντιδραστήρα, που αποτελεί το πλέον χαρακτηριστικό σημείο της ρευστοποίησης. Οι θερμοκρασίες είναι παραπλήσιες λόγω της πολύ καλής μετάδοσης θερμότητας από το αδρανές υλικό.

Συμπεράσματα

Η διπλωματική που μου ανατέθηκε είχε ως σκοπό την ανάπτυξη της καταγραφής των δεδομένων μέσα στο λογισμικό πρόγραμμα του DasyLab 11.0 για τον χειρισμό ρευστοποιημένης κλίνης με ανακυκλοφορία. Μέσα από αυτή την διαδικασία μου έγινε γνωστή η έκταση και οι δυσκολίες που υπάρχουν σε μια πειραματική εγκατάσταση. Η διαφορά με την θεωρητική μελέτη ήταν αισθητή καθώς παράγοντες οι οποίοι αμελούνται, εμφανίζονται συνέχεια. Ο χρόνος σε ένα τέτοιο εγχείρημα δεν ήταν με το μέρος μας καθώς και η πιο μικρή δυσκολία, η πιο ασήμαντη μας κόστιζε αρκετές μέρες έως και εβδομάδες.

Εκτός αυτού η χρήση του λογισμικού του DasyLab εμπειρείχε πολλές παγίδες που πρέπει ο αρχάριος χειριστής να προσέχει. Η εξοικείωση επιτυγχάνεται με τον καιρό και θέματα πολύπλοκα και άγνωστα στην αρχή φαντάζουν πολύ απλά στην συνέχεια.

Τέλος όσον αφορά την πειραματική εγκατάσταση αισθάνομαι πολύ τυχερός που συμμετείχα σε αυτό το πείραμα καθώς η αίσθηση της δημιουργίας που είχα όλο αυτόν τον καιρό αποτελεί κινητήριοις δύναμη για την μελλοντική μου πορεία.

Μελλοντική Εργασία

Αυτή την στιγμή η πειραματική εγκατάσταση βρίσκεται ένα στάδιο πριν την έναρξη των πειραμάτων αεριοποίησης. Όλα τα εξαρτήματα έχουν τοποθετηθεί και αναμένονται μικρές λεπτομέρειες για την έναρξη του πειράματος. Αυτό που σίγουρα θα χρειαστεί στην συνέχεια είναι μερικές προσθήκες στο DasyLab. Στον προσεχής μέλλον θα προστεθούν κάποια επιπλέον όργανα μέτρησης και ελέγχου των αερίων, οπότε θα πρέπει να δημιουργηθεί και το ανάλογο περιβάλλον εργασίας που θα επιτρέπει την επικοινωνία με τα όργανα και το ανάλογο περιβάλλον επικοινωνίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] <http://el.wikipedia.org/wiki/Βιομάζα>
- [2] Η ενέργεια και οι πηγές της. Τι, πως, γιατί? *Εκδόσεις Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας*. Υπουργείο ανάπτυξης. Γενική γραμματεία έρευνας και τεχνολογίας. Γεωργ. Θεοφ. Καλκάνης. 1^η έκδοση, Πικέρμι 1997.
- [3] http://en.wikipedia.org/wiki/World_energy_resources_and_consumption
- [4] Το ελληνικό ενεργειακό σύστημα. Υπουργείο Ανάπτυξης, Ελληνική Δημοκρατία, Φεβρουάριος 2009. Ομάδα μελέτης Κέντρο Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- [5] Εγχειρίδιο Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας – για δυνητικούς χρήστες. *Εκδόσεις Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Πικέρμι 2006.*
- [6] Industrial uses of biomass Energy, the example of Brazil, *Taylor and Francis 2002*, edited by Frank Rosillo-Calle, Sergio V. Bajay, Harry Rothman.
- [7] Θεωρία Καύσης και συστήματα καύσης Μ. Φούντη, *Πανεπιστημιακές εκδόσεις ΕΜΠ*, Αθήνα 2005
- [8] Gasification – Christopher Higman- Marten van der Burgt, *Gulf Professional Publishing (2003) ISBN*
- [9] Biomass steam gasification – an extensive parametric modeling study , *Bioresource Technology, Volume 77, Issue 1, March 2001, Pages 71-79*, G. Schuster, G. Löffler, K. Weigl, H. Hofbauer.
- [10] Combustion and Gasification in Fluidized beds, Prabir Basu, *Taylor & Francis*, 2006
- [11] Gasification technologies- A primer for engineers and scientists, *Process Safety and Environmental Protection, Volume 84, Issue 6, November 2006, Pages 476-477*, John Rezaion, Nicholas P. Cheremisinoff.
- [12] Biomass gasification in a circulating fluidized bed , *Biomass and Bioenergy, Volume 26, Issue 2, February 2004, Pages 171-193*, X. T. Li, J. R. Grace, C. J. Lim, A. P. Watkinson, H. P. Chen, J. R. Kim
- [13] Simulation of biomass gasification in fluidized bed reactor using ASPEN PLUS, *Biomass and Bioenergy, Volume 32, Issue 12, December 2008, Pages 1245-1254*, Mehrdokht B. Nikoo, Nader Mahinpey
- [14] High-temperature air and steam gasification of densified biofuels, *Biomass and Bioenergy, Volume 27, Issue 6, December 2004, Pages 563-575*, C. Lucas, D. Szewczyk, W. Blasiak, S. Mochida.

- [15] http://en.wikipedia.org/wiki/Air_preheater
- [16] Steam-gasification of biomass in a fluidized bed of olivine particles. *Biomass and bioenergy*, Volume 19, Issue 3, September 2000, Pages 187-197 , Rapagna S, Jand N, Kiennemann A, Foscolo PU.
- [17] Review of literature on catalysts for biomass gasification, *Fuel Processing Technology*, Volume 73, Issue 3, 13 November 2001, Pages 155-173 , Fuel processing technology 2001, Sutton D, Kelleher B, Ross JRH.
- [18] <http://www.cleanairsys.com/emissions/nox/index.htm>
- [19] http://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_sulfide
- [20] Gas fluidization, *Elsevier New York 1990* , Mel Pell
- [21] Gas fluidization Technology, *A Wiley-Interscience publication 1996*, Geldart D.
- [22] Klinger top-sil-ML1 Unique Multi-Layer material concept- A milestone for fibre reinforced gaskets.
- [23] Fluidization Engineering, *Butterworth-Heinemann Boston second edition 1991* Daizo Kunii, Octave Levenspiel
- [24] <http://www.macawberindia.com>
- [25] Computational study of the multiphase flow and performance of dense medium cyclones: Effect of Body dimensions, *Minerals Engineering*, Volume 24, Issue 1, January 2011, Pages 19-34, B.Wang, K.W.Chu, A.B. Yu, A.Vince, G.D. Barnett, P.J.Barnett.
- [26] Multi-resolution analysis of wavelet transform on pressure fluctuations in an L-Valve, *International Journal of Multiphase Flow*, Volume 34, Issue 6, June 2008, Pages 567-579, T.-Y. Yang, L.-P.Leu.
- [27] An analysis of loopseal operations in a circulating fluidized bed, *Chemical Engineering Research and Design*, Volume 78, Issue 7, October 2000, Pages 991-998, P. Basu and L.Cheng.
- [28] Studies in the operation of loop-seal in circulating fluidized bed boilers, *Applied Energy*, Volume 86, Issue 9, September 2009, Pages 1723-1731, Prabir Basu and James Butler
- [29] Handbook of fluidization and fluid-particle systems, *China Particuology* July 2003, edited by Wen- Ching Yang, Marcel Dekker, Inc.
- [30] Θερμοηλεκτρικοί σταθμοί, εκδόσεις Φούντας, 2^η έκδοση 2003, Εμμ. Κ. Κακαράς
- [31] <http://www.omega.com/thermocouples.html>

- [32] Μετρήσεις τεχνικών μεγεθών, Πανεπιστημιακές εκδόσεις ΕΜΠ Β΄ Έκδοση, Αθήνα 1989, Σ.Ε.Σιμοπούλου
- [33] <http://en.wikipedia.org/wiki/Thermocouple#K>
- [34] Operating manual GFC Mass flow controller της Aalborg
- [35] Fibrothal Handbook Heating and Insulation Systems, Kanthal
- [36] <http://el.wikipedia.org/wiki/Πετροβάμβακας>
- [37] <http://www.omega.com/prodinfo/dataacquisition.html>
- [38] Practical Data acquisition for Instrumentation and control systems, *Elsevier* 2003, John Park and Steve Mackay
- [39] http://en.wikipedia.org/wiki/Data_acquisition
- [40] http://www.advantech.com/products/ADAM-4024/mod_5E18F39B-38EF-4033-98F9-1EDE917139EE.aspx (datasheet of 4024)
- [41] http://www.advantech.com/products/ADAM-4019+/mod_8F5DFAA0-C563-4D4A-A23B-0703746BE68B.aspx (datasheet of 4019+)
- [42] http://www.advantech.com/products/ADAM-4520/mod_8DCEE4B7-FBDE-4C5D-9752-ED2F2FBD00BF.aspx (datasheet of 4520)
- [43] <http://www.wisegeek.com>
- [44] <http://en.wikipedia.org/wiki/EIA-485>
- [45] User manual for adam-4000 series, www.advantech.com
- [46] Data acquisition techniques using Pcs, *Academic Press New York* 2003 2nd edition, Howard Austerlitz.
- [47] <http://www.simplymodbus.ca>
- [48] <http://en.wikipedia.org/wiki/Modbus>
- [49] <http://www.modbus.org>
- [50] <http://el.wikipedia.org/wiki/ASCII>
- [51] <http://www.ip.gr/el/dictionary/65-ASCII>
- [52] Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας , *Πανεπιστημιακές εκδόσεις ΕΜΠ* ,Αθήνα 2008, Αρθούρος Ζερβός.

Συμβολισμοί

Δp_{fr} η πτώση πίεση κατά Ergun

L μήκος κλίνης

$g=9,8 \text{ m/s}^2$, η επιτάχυνση της βαρύτητας

$$g_c = \frac{1 \text{ kg} \cdot \text{m}}{\text{N} \cdot \text{s}^2} = 32.2 \frac{\text{lb} \cdot \text{ft}}{\text{lb}_f \cdot \text{s}^2}$$
$$= \frac{9,8 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}}{\text{kg} - \text{wt} \cdot \text{s}^2}, \text{ συντελεστής μεταφοράς}$$

ϵ_m κλάσμα κενού

ϵ_{mf} κλάσμα κενού σε συνθήκες ελάχιστης ρευστοποίησης

μ ιξώδες

u_o ταχύτητα ρευστού

ϕ_s σφαιρικότητα

d_p μέση διάμετρο των σωματιδίων

ρ_g πυκνότητα αερίου

u_{mf} ταχύτητα ελάχιστης ρευστοποίησης

ρ_s πυκνότητα στερεών

Re Αριθμός Reynolds

$Re_{p,mf}$ Αριθμός Reynolds, σε συνθήκες ελάχιστης ρευστοποίησης

Ar Αριθμός Αρχιμήδη

u_{mb} Ελάχιστη ταχύτητα σχηματισμού φυσαλίδων

F Κλάσμα μάζας των σωματιδίων μικρότερα από $45\mu\text{m}$

u_t τερματική ταχύτητα

m_p μάζα σωματιδίων

$$C_D = \frac{a_1}{Re^{b_1}}, \text{ συντελεστής}$$

U ταχύτητα αερίου

U_s ταχύτητα στερεών σωματιδίων

a_1 συντελεστής για τον υπολογισμό του C_D

b_1 συντελεστής για τον υπολογισμό του C_D

Συντομογραφίες

BFB Ρευστοποιημένη κλίνη με φυσαλίδες

CFB Ρευστοποιημένη κλίνη με ανακυκλοφορία

FCC Fluidized Catalyst Cracking

MFC Παροχόμετρα (Mass flow controllers)

DAC Ψηφιοαναλογικοί μετατροπείς

ADC Αναλογοψηφιακοί μετατροπείς

USB Ενιαίος Σειριακός Δίαυλος (Universal Serial Bus)

COM Component Object Model

Παράρτημα Α

Πρωτόκολλο Modbus

Το modbus [47],[48],[49] είναι ένα σειριακό πρωτόκολλο επικοινωνίας που έχει ως ρόλο την μετάβαση πληροφοριών μέσω σειριακών γραμμών στις ηλεκτρονικές συσκευές. Η ηλεκτρονική συσκευή που απαιτεί μια πληροφορία ονομάζεται Modbus Master ενώ αυτές που τις προμηθεύουν Modbus Slaves. Σε ένα συνηθισμένο δίκτυο υπάρχει μια συσκευή Master και από 1 έως 247 Slaves.

Το Modbus χρησιμοποιείται για να συνδέσει έναν υπολογιστή (supervisor) με τις ηλεκτρονικές συσκευές (RTU-Remote Terminal Unit). Υπάρχουν οι εξής εκδόσεις πρωτοκόλλου Modbus

- ✓ Σειριακές γραμμές (Modbus RTU και Modbus ASCII)
- ✓ Ethernet (Modbus TCP)

Στο πείραμα χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο Modbus RTU.

Modbus RTU

Το modbus RTU χρησιμοποιείται στις σειριακές επικοινωνίες και κάνει χρήση της δυαδικής απεικόνισης των δεδομένων. Τα δεδομένα πρέπει να μεταφέρονται συνεχώς χωρίς ενδιάμεσους χαρακτήρες λήξης ή έναρξης.. Το κάθε μήνυμα αποτελείται από 8 bit. Πριν και μετά από αυτό υπάρχει άλλο 1, οπότε συνολικά είναι 10 bit. Το εύρος των χαρακτήρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι 256. Το πρωτόκολλο αυτό αποτελεί την πιο διαδεδομένη εφαρμογή του modbus.

Modbus ASCII

Και αυτό χρησιμοποιείται στις σειριακές επικοινωνίες αλλά κάνει χρήση των χαρακτήρων ASCII. Η αρχή του κάθε μηνύματος σημειώνεται με ένα σύμβολο (:), ενώ το τέλος με ένα σύμβολο επαναφοράς. Κάθε μήνυμα αποτελείται από 7 bit. Το εύρος των χαρακτήρων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι 16.

Παράρτημα Β

Κωδικοποίηση ASCII

Η ASCII [50],[51] είναι το ευρύτατα χρησιμοποιούμενο σύστημα κωδικοποίησης στον κόσμο. Τα περισσότερα προγράμματα επεξεργασίας κειμένου επιτρέπουν στους χρήστες να σώσουν τα έγγραφα σε κωδικοποίηση ASCII, καθώς είναι παγκόσμια και εξυπηρετεί την μεταφορά αρχείων μεταξύ διαφορετικών προγραμμάτων. Η ASCII περιλαμβάνει ορισμούς για 128 χαρακτήρες. Από αυτούς 33 είναι οι μη εκτυπώσιμοι χαρακτήρες ελέγχου και 94 οι εκτυπώσιμοι.

Δυαδ.	Οκτ.	Δεκ.	Δεκαεξ.	Συντ.	[t 1]	[t 2]	[t 3]	Περιγραφή	Ελληνικά
000 0000	000	0	00	NUL	NUL	^@	\0	Null character	
000 0001	001	1	01	SOH	SOH	^A		Start of Header	Αρχή Επικεφαλίδας
000 0010	002	2	02	STX	STX	^B		Start of Text	Αρχή Κειμένου
000 0011	003	3	03	ETX	ETX	^C		End of Text	Τέλος Κειμένου
000 0100	004	4	04	EOT	EOT	^D		End of Transmission	Τέλος Μετάδοσης
000 0101	005	5	05	ENQ	ENQ	^E		Enquiry	Ερώτημα
000 0110	006	6	06	ACK	ACK	^F		Acknowledgment	Αναγνώριση
000 0111	007	7	07	BEL	BEL	^G	\a	Bell	Κουδούνι
000 1000	010	8	08	BS	BS	^H	\b	Backspace ^{[t 4][t 5]}	
000 1001	011	9	09	HT	HT	^I	\t	Horizontal Tab ^[t 6]	
000 1010	012	10	0A	LF	LF	^J	\n	Line feed	Τροφοδοσία γραμμής
000 1011	013	11	0B	VT	VT	^K	\v	Vertical Tab	
000 1100	014	12	0C	FF	FF	^L	\f	Form feed	Τροφοδοσία φόρμας
000 1101	015	13	0D	CR	CR	^M	\r	Carriage return ^[t 7]	Επιστροφή φορέα
000 1110	016	14	0E	SO	SO	^N		Shift Out	
000 1111	017	15	0F	SI	SI	^O		Shift In	
001 0000	020	16	10	DLE	DLE	^P		Data Link Escape	
001 0001	021	17	11	DC1	DC1	^Q		Device Control 1 (συχνά XON)	
001 0010	022	18	12	DC2	DC2	^R		Device Control 2	
001 0011	023	19	13	DC3	DC3	^S		Device Control 3 (συχνά XOFF)	
001 0100	024	20	14	DC4	DC4	^T		Device Control 4	
001 0101	025	21	15	NAK	NAK	^U		Negative Acknowledgement	
001 0110	026	22	16	SYN	SYN	^V		Synchronous idle	
001 0111	027	23	17	ETB	ETB	^W		End of Transmission Block	
001 1000	030	24	18	CAN	CAN	^X		Cancel	
001 1001	031	25	19	EM	EM	^Y		End of Medium	
001 1010	032	26	1A	SUB	SUB	^Z		Substitute	
001 1011	033	27	1B	ESC	ESC	^[	\e^[t 8]	Escape ^[t 9]	Διαφυγή
001 1100	034	28	1C	FS	FS	^[\		File separator	
001 1101	035	29	1D	GS	GS	^]		Group Separator	
001 1110	036	30	1E	RS	RS	^_		Record separator	
001 1111	037	31	1F	US	US	^_		Unit separator	
111 1111	177	127	7F	DEL	DEL	^?		Delete ^{[t 11][t 5]}	

Εικόνα 1. Μη εκτυπώσιμοι χαρακτήρες [50]

Διαδ.	Οκτ.	Δεκ.	Δεκαεξ.	Γραφ.	Διαδ.	Οκτ.	Δεκ.	Δεκαεξ.	Γραφ.	Διαδ.	Οκτ.	Δεκ.	Δεκαεξ.	Γραφ.
010 0000	040	32	20	sp	100 0000	100	64	40	@	110 0000	140	96	60	`
010 0001	041	33	21	!	100 0001	101	65	41	A	110 0001	141	97	61	a
010 0010	042	34	22	"	100 0010	102	66	42	B	110 0010	142	98	62	b
010 0011	043	35	23	#	100 0011	103	67	43	C	110 0011	143	99	63	c
010 0100	044	36	24	\$	100 0100	104	68	44	D	110 0100	144	100	64	d
010 0101	045	37	25	%	100 0101	105	69	45	E	110 0101	145	101	65	e
010 0110	046	38	26	&	100 0110	106	70	46	F	110 0110	146	102	66	f
010 0111	047	39	27	'	100 0111	107	71	47	G	110 0111	147	103	67	g
010 1000	050	40	28	(	100 1000	110	72	48	H	110 1000	150	104	68	h
010 1001	051	41	29	)	100 1001	111	73	49	I	110 1001	151	105	69	i
010 1010	052	42	2A	*	100 1010	112	74	4A	J	110 1010	152	106	6A	j
010 1011	053	43	2B	+	100 1011	113	75	4B	K	110 1011	153	107	6B	k
010 1100	054	44	2C	,	100 1100	114	76	4C	L	110 1100	154	108	6C	l
010 1101	055	45	2D	-	100 1101	115	77	4D	M	110 1101	155	109	6D	m
010 1110	056	46	2E	.	100 1110	116	78	4E	N	110 1110	156	110	6E	n
010 1111	057	47	2F	/	100 1111	117	79	4F	O	110 1111	157	111	6F	o
011 0000	060	48	30	0	101 0000	120	80	50	P	111 0000	160	112	70	p
011 0001	061	49	31	1	101 0001	121	81	51	Q	111 0001	161	113	71	q
011 0010	062	50	32	2	101 0010	122	82	52	R	111 0010	162	114	72	r
011 0011	063	51	33	3	101 0011	123	83	53	S	111 0011	163	115	73	s
011 0100	064	52	34	4	101 0100	124	84	54	T	111 0100	164	116	74	t
011 0101	065	53	35	5	101 0101	125	85	55	U	111 0101	165	117	75	u
011 0110	066	54	36	6	101 0110	126	86	56	V	111 0110	166	118	76	v
011 0111	067	55	37	7	101 0111	127	87	57	W	111 0111	167	119	77	w
011 1000	070	56	38	8	101 1000	130	88	58	X	111 1000	170	120	78	x
011 1001	071	57	39	9	101 1001	131	89	59	Y	111 1001	171	121	79	y
011 1010	072	58	3A	:	101 1010	132	90	5A	Z	111 1010	172	122	7A	z
011 1011	073	59	3B	;	101 1011	133	91	5B	[	111 1011	173	123	7B	{
011 1100	074	60	3C	<	101 1100	134	92	5C	\	111 1100	174	124	7C	|
011 1101	075	61	3D	=	101 1101	135	93	5D	]	111 1101	175	125	7D	}
011 1110	076	62	3E	>	101 1110	136	94	5E	^	111 1110	176	126	7E	~
011 1111	077	63	3F	?	101 1111	137	95	5F	_					

Εικόνα 2. Εκτυπώσιμοι χαρακτήρες [50].